

Robotik artroplasti: Güncel maliyet analizi

Robotic arthroplasty: Current cost analysis

Kerem Başarır¹, Rauf Alizada²

¹Özel Muayenehane, Ankara

²Özel Çankaya Hastanesi, Ortopedi ve Travmatoloji Kliniği, Ankara

Robotik destekli artroplasti sistemleri, artan cerrahi doğruluk ve hasta memnuniyetine ek olarak, maliyet-etkinlik açısından da dikkat çekici sonuçlar sunmaktadır. Bu derlemede, total diz, unikondiler diz ve total kalça artroplastisi alanında yapılan güncel ekonomik analizler incelenmiş ve robotik sistemlerin uzun vadeli finansal sürdürülebilirliği değerlendirilmiştir. Literatürdeki veriler, robotik cerrahinin yüksek ilk yatırım maliyetlerine rağmen; daha kısa hastanede kalış süresi, azalan revizyon oranları, düşük taburculuk sonrası sağlık hizmeti kullanımı ve toplam epizot bakım maliyetlerinde (EBM) tasarruf gibi avantajlar sağladığını ortaya koymaktadır. Artan maliyet-etkinlik oranı (*incremental cost-effectiveness ratio*, ICER) hesaplamaları çoğunlukla kabul edilebilir ödeme eşiklerinin altında kalmakta, özellikle yüksek vaka hacimli merkezlerde sistemin ortalama iki yıl içinde maliyetini karşılayabildiği bildirilmektedir. Bir sağlık teknolojisinin maliyet-etkin kabul edilip edilmeyeceğini belirlemede kritik öneme sahip olan ödemeye istekli olunan eşik değeri (*willingness to pay*, WTP), gelişmiş ülkelerde genellikle 50.000-100.000 ABD doları/kaliteye uyarlanmış yaşam yılı (*quality-adjusted life year*, QALY) aralığında tanımlanmakta olup, birçok çalışmada robotik artroplasti uygulamalarının bu eşik değerlerin altında kaldığı bildirilmiştir. Bu bulgular doğrultusunda, robotik artroplasti sistemleri uygun hasta seçimi ve cerrahi hacimle birleştirildiğinde, yalnızca klinik değil aynı zamanda ekonomik açıdan da sağlık hizmetlerinde değer yaratan bir yatırım olarak öne çıkmaktadır.

Ahtar sözcükler: robotik; artroplasti; maliyet-etkinlik

In addition to improved surgical accuracy and enhanced patient satisfaction, robotic-assisted arthroplasty systems offer compelling outcomes in terms of cost-effectiveness. This review examines recent economic analyses in the fields of total knee, unicompartmental knee, and total hip arthroplasty, and evaluates the long-term financial sustainability of robotic systems. Despite their high initial acquisition costs, data from the literature demonstrate that robotic surgery provides significant advantages such as reduced length of hospital stay, lower revision rates, decreased utilization of post-discharge healthcare services, and savings in total episode-of-care costs. Incremental cost-effectiveness ratio (ICER) calculations frequently fall below widely accepted cost-effectiveness thresholds, and in high-volume centers, the investment in robotic systems has been reported to be recoverable within approximately two years. The willingness to pay (WTP) threshold-an essential benchmark in determining whether a health technology is deemed cost-effective-is typically defined as \$50,000 to \$100,000 per quality-adjusted life year in developed countries. Numerous studies have found that robotic-assisted arthroplasty procedures remain below these WTP thresholds. In light of these findings, when combined with appropriate patient selection and sufficient surgical volume, robotic arthroplasty systems emerge not only as clinically advantageous but also as economically valuable investments within modern healthcare delivery.

Key words: robotic; arthroplasty; cost-effectiveness

Artroplasti cerrahisi, ileri evre osteoartrit neden olduğu ağrılı ve fonksiyonel bozuklukları tedavi etmede uzun süredir altın standart olarak kabul edilmektedir. Özellikle total diz artroplastisi (TDA), dünya genelinde en sık uygulanan ortopedik ameliyatlardan biri haline gelmiş olup yalnızca Amerika Birleşik Devletleri'nde (ABD) yılda 600.000'den fazla vaka gerçekleştirilmektedir ve bu sayının 2030 yılına kadar 935.000'e

ulaşması öngörülmektedir.^[1] Ancak TDA uygulanan hastaların yaklaşık %20'si sonuçlardan memnun olmadığı bildirilmektedir.^[2] Bu memnuniyetsizliğin ardında; hasta beklentilerinin yanı sıra komponent malpozisyonu ve yumuşak doku dengesizliği gibi teknik faktörler yer almaktadır. Bu bağlamda, son yıllarda ortopedik cerrahide teknolojik gelişmelerin başında gelen robotik cerrahi sistemleri, özellikle total diz ve kalça artroplastisi

uygulamalarında cerrahi doğruluğu arttırmak ve hasta sonuçlarını iyileştirmek amacıyla kullanılmaya başlanmıştır. Son dönemde, bilgisayarlı tomografi (BT) eşliğinde gerçekleştirilen üç boyutlu modellemeye robotik kol destekli eklem artroplastisi uygulamalarında belirgin bir artış gözlenmektedir. Bu teknoloji sayesinde, total kalça artroplastisi ameliyatlarında asetabular bileşenin güvenli bölgeye daha isabetli yerleştirilmesiyle birlikte, unikondiller ve TDA ameliyatlarında bileşen hizalamasında anlamlı iyileşmeler elde edilmiştir. Ameliyat sırasında robotik kol, belirlenen stereotaktik sınırlar içinde hareket ederek kemik kesilerini yüksek hassasiyetle gerçekleştirir ve yumuşak dokuya minimum müdahaleyle ideal denge ve hizalama elde edilmesini destekler. Bu sistemlerin potansiyel klinik avantajları arasında; bileşen yerleşiminde artan doğruluk, yumuşak doku korumasına bağlı olarak azalan ameliyat sonrası ağrı, hasta tarafından bildirilen sonuç ölçümlerinde iyileşme ve revizyon cerrahisi gereksiniminde azalma yer almaktadır.^[3,4]

Robotik cerrahi sistemleri, ortopedik uygulamalarda cerrahi hassasiyeti artırma potansiyeli taşımasına rağmen, önemli düzeyde ilk yatırım ve işletme maliyetleri gerektirmektedir. Robotik sistemlerinin edinme ya da kiralama bedelleri genellikle 800.000 Amerika Birleşik Devletleri (ABD) dolarına kadar ulaşabilmektedir. Bu teknolojilere ilişkin yalnızca donanım yatırımları değil, aynı zamanda her vaka için gereken özel sarf malzemeleri ve cerrahi giderler de toplam maliyet yükünü arttırmaktadır. Bu durum, özellikle kamu kaynaklarıyla finanse edilen sağlık sistemlerinde, söz konusu teknolojilerin maliyet etkinliğinin dikkatli ve kapsamlı biçimde değerlendirilmesini zorunlu kılmaktadır. Ayrıca, robotik sistemlerin kullanımının ameliyat süresinde potansiyel bir artışa yol açabileceği de göz önünde bulundurulmalıdır.

Sonuç olarak, robotik artroplasti sistemlerinin klinik faydaları kadar ekonomik sonuçlarının da değerlendirilmesi, hem hasta bakım kalitesini arttırmak hem de sağlık hizmetlerinin sürdürülebilirliğini sağlamak açısından kritik önemdedir.

EKONOMİK PARAMETRELER

Robotik artroplasti uygulamalarının maliyet-etkinlik analizinde, yalnızca doğrudan ekipman maliyetleri değil, çok sayıda klinik ve cerrahi sürecin bütüncül olarak değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu kapsamda; sistemin ilk yatırım maliyeti (cihaz kurulumu, yazılım lisansları ve bakım-onarım sözleşmeleri), vakaya özgü tek kullanımlık sarf malzemeleri, ameliyat öncesi BT gereksinimi, sağlık çalışanlarının teknolojik uyum süreci, hastanede kalış süresi (HKS), hastaneye yeniden yatış oranları, nitelikli bakım tesisi (NBT) ihtiyacı ve 90 günlük epizot bakım maliyeti (EBM) gibi çok sayıda parametre dikkate alınma-

lıdır. Ayrıca, bir sağlık kurumunda yıllık gerçekleştirilen vaka sayısı, sistemin uzun vadede maliyet etkinliğini belirleyen önemli bir faktör olarak öne çıkmaktadır. Bu değişkenlerin her biri, hem kısa vadeli hem de uzun vadeli sağlık harcamaları üzerinde doğrudan etki yaratma potansiyeline sahiptir.

Sağlık ekonomisinde kullanılan başlıca kavramlardan biri olan kaliteye uyarlanmış yaşam yılı (*quality-adjusted life year*, QALY) bir sağlık müdahalesinin bireye sağladığı toplam sağlık kazanımını hem yaşam süresi hem de yaşam kalitesi açısından ölçen birleşik bir birimdir. Kaliteye uyarlanmış yaşam yılı değeri, hastanın belirli bir sağlık durumunda geçirdiği zamanın, o durumdaki yaşam kalitesiyle çarpılmasıyla hesaplanır. Bir diğer önemli kavram olan ödemeye istekli olunan eşik değer (*willingness to pay*, WTP), sağlık sisteminin veya toplumun, kazanılan her bir QALY için ödemeye razı olduğu en yüksek tutarı ifade eder. Bu değer, müdahalenin maliyet-etkin kabul edilip edilemeyeceğini belirlemek açısından kritik öneme sahiptir. Maliyet-etkinlik analizinde yaygın olarak kullanılan bir başka gösterge ise artan maliyet-etkinlik oranı (*incremental cost-effectiveness ratio*, ICER)'dir. Artan maliyet-etkinlik oranı, yeni bir sağlık teknolojisinin geleneksel yöntemle göre ne kadar ek maliyetle ne kadar ek sağlık kazancı sağladığını ortaya koyar. Genellikle ek maliyet/kazanılan QALY formülü ile hesaplanır. Elde edilen ICER değeri, mevcut WTP eşiği ile karşılaştırılarak söz konusu müdahalenin maliyet-etkin olup olmadığına karar verilir. Gelişmiş ülkelerde WTP eşiği sıklıkla 50.000-100.000 ABD doları/QALY aralığında kabul edilmekteyken, sınırlı sağlık bütçesine sahip ülkelerde bu eşik daha düşük düzeyde tanımlanabilmektedir.

TOTAL DİZ ARTROPLASTİSİ

Günümüzde TDA uygulamalarının ve buna bağlı olarak gelişen revizyon cerrahilerinin sayısında belirgin bir artış gözlenmektedir. Bu durum, sağlık sistemleri üzerinde giderek artan bir ekonomik yük oluşturmaktadır. Özellikle primer TDA sonrası karşılaşılan komponent malpozisyonları ve yumuşak doku dengesizlikleri, revizyon cerrahisinin başlıca nedenleri arasında yer almaktadır.^[5] Bu bağlamda, primer cerrahi sırasında protez bileşenlerinin doğru yerleştirilmesi ve optimal yumuşak doku dengesi sağlanması amacıyla robot yardımlı cerrahi sistemleri klinik uygulamalara dâhil edilmiştir. Robot yardımlı cerrahinin, protez yerleşiminde yüksek doğruluk sağlaması ve ameliyat sırasında yumuşak doku gerginliğini objektif biçimde değerlendirme imkânı sunması, bu teknolojiye olan ilgiyi arttırmıştır.

Yeni bir teknoloji olması nedeniyle, robot yardımlı cerrahiye ilişkin maliyet-etkinlik analizlerini içeren literatür henüz sınırlı sayıdadır. Vermue ve ark.'nın yaptığı çalış-

mada, son evre osteoartrit tanısı alan 67 yaşındaki hasta modeli tasarlayarak robot yardımcı TDA'nın maliyet-etkinliğini değerlendirmek amacıyla bir Markov karar analizi modeli oluşturulmuştur.^[6] Bu modelde; implant hizalanması ve sağkalımı, enfeksiyon insidansı, revizyon oranları ve mortalite verileri, konvansiyonel cerrahi yöntemle karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir. Çalışma bulgularına göre, robotik kol yardımcı (RKY) TDA'nın maliyet-etkin kabul edilebilmesi için yıllık en az 253 vakanın gerçekleştirilmesi gerektiği ve bu sayının altında kalan cerrahi hacimlerde artan maliyetler nedeniyle maliyet-etkinlik düzeyine ulaşamadığı bildirilmiştir (ICER < 50.000 \$/QALY).

Bir diğer çalışmada ise Hua ve ark., 65 yaş üzeri Medicare hastalarında RKY TDA'nın maliyet-etkinliğini değerlendiren bir karar analitik modeli geliştirmiştir.^[7] Temel senaryoda RKY-TDA, 41.331 ABD doları/QALY'lik bir ICER ile 50.000 ABD doları/QALY olarak belirlenen WTP eşiğinin altında kalarak maliyet-etkin bulunmuştur. Model sonuçlarına göre, RKY-TDA'nın özellikle yıllık vaka sayısının 49'un üzerinde olduğu yüksek hacimli merkezlerde maliyet-etkinlik açısından avantaj sağladığını ve maliyet-etkinliğin en çok hastane vaka hacmi ve ameliyat sonrası bakım maliyetlerine duyarlı olduğunu bildirmişlerdir.

Cotter ve ark., yaptıkları çalışmada aynı cerrah ve implant sistemiyle uygulanan konvansiyel ve robotik vakalarının 90 günlük bakım (EBM) maliyetleri karşılaştırılmıştır. Robotik kol yardımcı TDA'da ameliyathane maliyetleri daha yüksek olmasına rağmen (10.295 ABD dolarına karşı 9.999 ABD doları), HKS (1,2 güne karşı 1,6 gün), opioid kullanımı ve taburculuk sonrası maliyetlerdeki düşüş sayesinde toplam 90 günlük EBM manuel TDA'ya (MTDA) göre anlamlı düzeyde daha düşük bulunmuş ve maliyet-etkinlik olarak konvansiyonel yöntemle göre daha avantajlı olduğunu bildirmişlerdir.^[8]

Mont ve ark. tarafından yayımlanan bir çalışmada, robotik TDA ile MTDA grupları arasında 30, 60 ve 90 günlük zaman dilimlerinde toplam epizot ödemeleri, sağlık hizmeti kullanımı ve yeniden yatış oranları bakımından farklılıklar araştırılmıştır. Robotik kol yardımcı TDA uygulanan kohortta, MTDA grubuna kıyasla daha düşük toplam bölüm (epizot) ödemeleri saptanmıştır.^[9] Sırasıyla; 30. günde 17.768 ABD dolarına karşın 19.899 ABD doları, 60. günde 18.174 ABD dolarına karşın 20.492 ABD doları ve 90. günde 18.568 ABD dolarına karşın 20.960 ABD doları olarak rapor edilmiştir.

Rajan ve ark. tarafından 2022 yılında yayınlanan bir diğer çalışmada, RKY-TDA ile MTDA sonrası yaşam boyu klinik ve ekonomik sonuçları öngörmek amacıyla bir Markov durum analizi tasarlanmıştır.^[10] Robotik kol yardımcı TDA'ya özgü ek maliyetler arasında ameliyat öncesi BT taraması, robotik sistemin satın alınması ve tek kul-

lanımlık sarf malzemeleri yer almıştır. Çalışmada düşük (10 vaka/yıl), orta (100 vaka/yıl) ve yüksek (200 vaka/yıl) olmak üzere üç farklı kurumsal vaka hacmi senaryosu değerlendirilmiştir. Revizyon oranlarının belirlenmesinde sistematik derlemeler temel alınmıştır. Modelleme sonuçlarına göre, RKY-TDA uygulanan hastalarda 13,55; MTDA uygulananlarda ise 13,29 QALY elde edilmiştir. Özellikle orta ve yüksek vaka hacmine sahip merkezlerde hesaplanan ICER değerlerinin, WTP sınırlarının altında kaldığı gösterilmiştir. Ayrıca, 50.000 ABD doları/QALY eşiği temel alındığında, RKY-TDA'nın maliyet etkin kabul edilebilmesi için gereken ortalama hasta sayısının 42'nin üzerinde olması gerektiği vurgulanmıştır.

Gregory ve ark., tarafından yapılan bir çalışmada, RKY-TDA ve MTDA uygulanan hastalarda 90 günlük EBM maliyetleri ile sağlık hizmeti kullanım verileri karşılaştırılmıştır.^[11] Çalışmada büyük bir özel sağlık sigortası veri tabanından yararlanılmış ve BT tarama maliyetleri endeks maliyetlerin bir parçası olarak değerlendirilmiştir. Robotik kol yardımcı TDA uygulanan grupta HKS ortalama 1,7 gün iken, MTDA grubunda 2,0 gün olarak bildirilmiştir. Ayrıca, RKY-TDA kohortunda endeks işlem maliyetleri 29.984 ABD doları, taburculuk sonrası maliyetler 7.189 ABD doları ve toplam 90 günlük EBM maliyetleri 37.174 ABD doları olarak hesaplanmıştır. Buna karşılık, MTDA grubunda sırasıyla 31.280, 7.728 ve 39.008 ABD doları şeklinde daha yüksek maliyetler bildirilmiştir. Ayrıca, manuel cerrahi uygulanan hastalarda NBT yatış oranlarının %26, yeniden yatış oranlarının ise %16 daha fazla olduğu belirtilmiştir.

Cool ve ark., tarafından yapılan bir çalışmada, Medicare standart analitik dosyaları kullanılarak RKY-TDA ile MTDA uygulanan hastaların 90 günlük EBM maliyetleri karşılaştırılmıştır.^[12] Bulgular, RKY-TDA uygulanan grupta hastanede kalış süresinin 1,8 gün, MTDA grubunda ise 2,5 gün olduğunu göstermiştir. Robotik kol yardımcı TDA kohortunda hastane yatışı sırasında oluşan endeks işlem maliyeti 12.384 ABD doları, taburculuk sonrası maliyetler ise 5.234 ABD doları olarak hesaplanmıştır. Bu değerler, MTDA grubunda sırasıyla 13.024 ve 6.978 ABD doları olarak bildirilmiştir. Toplamda, 90 günlük EBM maliyetleri RKY-TDA grubunda 18.568 ABD doları iken, MTDA grubunda 20.960 ABD doları olarak bulunmuştur. Ayrıca RKY-TDA grubunda daha az hasta NBT veya yatılı rehabilitasyon merkezlerine taburcu edilmiştir (%15,2'ye karşı %28,3). Evde sağlık hizmeti kullanımı da RKY-TDA grubunda daha düşüktür (ortalama 11,9 ziyarete karşın 14,3 ziyaret) ve buna bağlı evde bakım maliyetleri daha düşük gerçekleşmiştir (3.045 ABD dolarına karşın 3.536 ABD doları). Ek olarak, RKY-TDA uygulanan hastalarda acil servis kullanım oranı %11,2, yeniden hastaneye yatış oranı ise %5,2 olarak saptanmıştır. Bu oranlar MTDA grubunda sırasıyla %13,3 ve %7,8 olarak bildirilmiştir.

Bununla birlikte, RKY-TDA'nın her durumda maliyet açısından avantajlı olmadığını ortaya koyan çalışmalar da bulunmaktadır. Tompkins ve ark. tarafından yapılan retrospektif bir incelemede, kurumsal düzeyde gerçekleştirilen TDA vakaları üzerinden robotik ve manuel cerrahiler karşılaştırılmıştır.^[13] Her iki grupta da altı cerrah yer almış ve vaka sayıları 359 ile 938 arasında değişmiştir. Analize, robotik sistemle ilişkili doğrudan maliyetler de dâhil edilmiştir. Çalışmada her iki grupta benzer HKS raporlanırken, RKY-TDA grubunda endeks işlem maliyetlerinin manuel cerrahi grubuna kıyasla daha yüksek olduğu saptanmıştır (11.615 ABD dolarına karşın 8.674 ABD doları). Nitelikli bakım tesisinde taburcu olma oranları her iki grupta benzer düzeyde kalmıştır (%5). Bununla birlikte, RKY-TDA uygulanan hastalarda yeniden yatış oranı daha düşük bulunmuştur (%1,2'ye karşı %4,9). Çalışmada 90 günlük EBM veya taburculuk sonrası sağlık hizmeti giderleri değerlendirilmemiştir.

Fang ve ark. tarafından yayımlanan bir çalışmada, kurumlarında gerçekleştirilen RKY-TDA ve MTDA vakaları için zaman odaklı, faaliyete dayalı bir maliyet analizi yapılmıştır.^[14] Çalışma kapsamında yalnızca yatarak tedavi sürecine ilişkin maliyetler değerlendirilmiş; 90 günlük EBM veya taburculuk sonrası hizmet kullanımı analiz edilmemiştir. Bulgular, RKY-TDA uygulanan hastalarda hastanede kalış süresinin daha kısa olduğunu göstermiştir (1,8 güne karşın 2,1 gün). Ancak, RKY-TDA'nın endeks işlem maliyetleri MTDA'ya kıyasla yaklaşık %10 oranında daha yüksek bulunmuştur. Bu artışın, esas olarak ameliyat sırasında artan iş gücü gereksinimi ve sarf malzemesi kullanımından kaynaklandığı belirtilmiştir.

UNİKONDİLER DİZ ARTROPLASTİSİ

Robotik yardımcı unikondiler diz artroplastisi (UDA), özellikle son yıllarda artan teknolojik gelişmelerle birlikte, hem cerrahi hassasiyet hem de ekonomik sürdürülebilirlik açısından dikkat çeken bir tedavi seçeneği hâline gelmiştir. Yapılan ilk çalışmalar, robotik sistemlerle gerçekleştirilen UDA uygulamalarında özellikle altıncı hafta ve üçüncü ayda Western Ontario and McMaster Universities Osteoarthritis Index (WOMAC) ve Knee Society Score (KSS) skorlarında belirgin klinik iyileşmelerin görüldüğünü göstermektedir.^[15] Robotik sistemler, ameliyat öncesi planlama doğrultusunda yüksek düzeyde tekrarlanabilirlik ve güvenilirlik sunarak, implant yerleşiminin daha hassas ve tutarlı olmasını sağlamaktadır. Bu özellik, başarılı klinik sonuçların büyük ölçüde implant bileşenlerinin doğru hizalanmasına bağlı olduğu UDA'da büyük önem taşımaktadır.^[16]

Bununla birlikte, klinik karar süreçlerinde UDA'nın daha yüksek revizyon riski taşıması, cerrahların bu yöntemi tercih etmesinde önemli bir kısıtlayıcı faktör olarak

ortaya çıkmaktadır. Medial kompartman artritisi olan ve UDA için uygun kriterleri karşılayan hastaların %25 ile %47'si hâlen TDA ile tedavi edilmektedir.^[17] Revizyon riskinin yüksekliğine ilişkin kaygılar, büyük oranda düşük vaka hacimli merkezlerde ve bu cerrahiye seyrek uygulayan cerrahlarla ilişkilidir.^[18,19] Ancak buna rağmen, güncel ekonomik değerlendirmeler UDA'nın TDA'ya kıyasla daha maliyet-etkin olduğunu göstermektedir.^[20, 21]

Konvansiyonel UDA prosedürlerinde implant yerleşiminin doğruluğu, cerrahın manuel enstrümantasyonla gerçekleştirdiği kesimlerin doğruluğuna bağlıdır. Bilgisayar destekli cerrahi teknikler bu konuda bazı avantajlar sunmakla birlikte, hâlen manuel kesim bloklarına ve hizalama aparatlarına bağımlılık devam etmektedir. Robotik sistemler ise özellikle doküsal geri bildirim sağlayan teknolojiler sayesinde bu bağımlılığı ortadan kaldırarak cerraha hastaya özgü cerrahi planlamayı doğru bir şekilde uygulama imkânı tanır. Robotik UDA'nın benimsenmesi, yalnızca klinik sonuçlar üzerinde değil, vaka hacimleri ve hastane gelirleri üzerinde de belirgin bir artış yaratmaktadır.

Robotik teknolojinin ilk kez uygulandığı bir merkezde, cerrahın yıllık UDA vaka sayısı 21'den 65'e çıkarak %310 oranında artmış, aynı dönemde TDA vaka sayısı da %13'lük bir artışla 295'ten 448'e yükselmiştir. Bu durum, UDA uygulamalarındaki artışın yalnızca robotik sistemle sınırlı kalmayıp genel diz cerrahisi hacmine de pozitif bir yansıma yarattığını göstermektedir. Bu artışın halkla ilişkiler çalışmalarıyla değil, doğrudan hasta deneyimlerine dayalı referanslarla sağlandığı vurgulanmaktadır.

Swank ve ark. yayımladıkları derleme makalesinde robotik UDA'nın maliyet analizine bakıldığında, çeşitli parametrelerde anlamlı ekonomik avantajlar göze çarpmaktadır. Örneğin, ameliyat öncesi BT taramasından hastaneye 125 ABD doları gelir sağlanmaktadır. Ortalama HKS TDA'da 3,7 gün iken robotik UDA'da yalnızca bir gündür. Günlük hastane maliyeti 450 ABD doları olarak alındığında, kalış süresine bağlı maliyet tasarrufunun vaka başına 790 ABD doları olduğunu bildirmişlerdir.^[22] Ayrıca, robotik UDA implantlarının ortalama maliyeti (3.700 ABD doları), TDA implantlarından (4.500 ABD doları) daha düşüktür. Tüm bu parametreler bir araya getirildiğinde, yatarak gerçekleştirilen bir robotik UDA işlemi için vaka başına ortalama katkı kârı 5.090 ABD doları olarak hesaplanmaktadır. Ayaktan cerrahi birimlerinde gerçekleştirilen UDA işlemleri için de oldukça avantajlı bir ekonomik model mevcuttur. Ayaktan ödeme tutarları son iki yılda önemli oranda artarak vaka başına 17.495 ABD dolarına ulaşmıştır. Ayaktan cerrahi merkezlerinde bu tutarın %65'i geri ödenmektedir ve bu oranla bile ayaktan cerrahi merkezler için ayaktan robotik UDA başına katkı kârı yaklaşık 10.290 ABD dolarıdır. Yatarak ve ayaktan

hasta oranları %25/%75 kabul edildiğinde, ortalama katkı kârı vaka başına 5.790 ABD doları olarak öngörülmektedir. Bu öngörü doğrultusunda, yalnızca 63 hastaya robotik UDA uygulanması ve hastaların ameliyat sonrası birinci günde taburcu edilmesiyle hastane için yıllık 489.638 ABD doları ek gelir elde edilmesi mümkündür. Aynı merkezde diz cerrahisinde yıllık %15'lik bir büyüme sürdüğü takdirde, takip eden yıl için 72 robotik UDA vakasıyla birlikte ek 559.587 ABD doları gelir ve tasarruf sağlanabileceği hesaplanmaktadır. Bu veriler, pazar payında herhangi bir ek artış olmasa dahi, robotik teknolojinin iki yıl içerisinde kendi maliyetini tamamen karşılayabileceğini göstermektedir.

Cool ve ark. tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada, Optum Insight Inc. veri tabanı kullanılarak 2013-2015 yılları arasında yaklaşık 750 hastaya ait veriler retrospektif olarak incelenmiş ve hem birincil hem de revizyon uygulamaları açısından robotik kol yardımcı unikondiler diz artroplastisi (RKY-UDA) ile manuel UDA (MUDA) karşılaştırılmıştır. Robotik kol yardımcı UDA uygulanan grupta HKS ortalama 1,8 gün iken MUDA grubunda bu süre iki gün olarak bildirilmiştir.^[23] Sürece ilişkin maliyetler incelendiğinde, RKY-UDA grubunda 25.786 ABD doları, MUDA grubunda ise 26.307 ABD doları olarak hesaplanmıştır. Ayrıca, RKY-UDA uygulanan hastalarda iki yıl içerisinde revizyon oranı %0,81 ile MUDA'daki %5,28'e kıyasla belirgin şekilde daha düşük bulunmuştur. Bu durum, iki yıllık takip süresince RKY-UDA uygulanan hastalarda, ilk cerrahiye takiben gerçekleşen hastane yatışlarına ilişkin maliyetlerin de azaldığını göstermektedir.

Benzer şekilde, Clement ve ark. tarafından yapılan bir başka çalışmada, İngiltere ve Galler'deki ulusal eklem kayıt verileri kullanılarak RKY-UDA'nın, MUDA ve TDA'ya göre maliyet etkinliğini değerlendiren bir Markov modeli oluşturulmuştur. Modelde robotik sistemin kiralınması ve bakımı, ameliyat öncesi BT taramaları ve tek kullanımlık malzeme giderleri gibi doğrudan maliyet kalemleri de dikkate alınmıştır.^[24] Ortalama yaşı 65 olan ve 100 hastadan oluşan bir kohort üzerinden yapılan simülasyonda, RKY-UDA sonrası hasta başına 13,59 QALY elde edilirken bu değer MUDA için 12,20 QALY, TDA için ise 11,80 QALY olarak rapor edilmiştir. Buna göre RKY-UDA'nın, TDA'ya kıyasla QALY başına maliyeti 1.395 sterlin, MUDA'ya kıyasla ise 1.170 sterlin olarak hesaplanmış ve her iki durumda da bu değer, Birleşik Krallık için kabul edilebilir maliyet eşiği olarak belirlenen 20.000 sterlin/QALY sınırının oldukça altında kalmıştır. Çalışmada ayrıca, vaka hacmindeki artış ve HKS'deki azalma ile birlikte RKY-UDA'nın maliyet etkinliğinin daha da iyileştiği vurgulanmıştır. Bu bulgular, izole medial kompartman osteoartriti olan ve UDA için uygun kriterleri karşılayan hastalarda RKY-UDA'nın maliyet açısından etkili bir cerrahi yaklaşım olduğunu desteklemektedir.

Sonuç olarak, robotik kol destekli UDA uygulamaları yalnızca cerrahi doğruluk ve hasta memnuniyeti açısından değil, aynı zamanda cerrahi verimlilik ve finansal sürdürülebilirlik açısından da dikkat çekici avantajlar sunmaktadır. Gelişmiş teknolojilerin getirdiği ilk yatırım maliyetleri göz önüne alındığında dahi, orta vadede hastane gelirlerine katkısı, işlem hacmindeki artış, hasta başı maliyet tasarrufu ve daha kısa hastanede kalış süreleriyle bu sistemlerin maliyet-etkin olduğu açıkça görülmektedir. Ayrıca, hasta açısından bakıldığında, daha kısa iyileşme süreci, daha düşük revizyon oranı ve artan implant ömrü gibi klinik kazanımlar, robotik UDA'nın değerini daha da pekiştirmektedir.

TOTAL KALÇA ARTROPLASTİSİ

Robotik kol yardımcı total kalça artroplastisi (RKY-TKA), hastaya özgü anatomik verilerin ileri düzey görüntüleme yöntemleriyle elde edilmesini takiben, cerraha ameliyat sırasında aktif yönlendirme sağlayan bir sistemle çalışır. Robotik kol, cerrahın önceden belirlenmiş optimal implant yerleşim sınırları içinde kalmasına yardımcı olarak, femoral ve asetabular bileşenlerin daha hassas konumlandırılmasını mümkün kılar. Geleneksel tekniklere kıyasla daha yüksek yerleştirme doğruluğu sağlayan bu sistem, özellikle implant ömrü ve uzun vadeli fonksiyon açısından avantajlar sağlamaktadır.^[25-27] Robotik sistemin sunduğu hassasiyet, deneyimi daha az olan cerrahlar için de cerrahi güvenliği artırıcı bir unsur olabilir. Mevcut literatürde RKY-TKA'nın implant yerleşiminde sağladığı doğruluğun yüksek olduğu vurgulanmaktadır. Mevcut literatürde RKY-TKA üzerine yapılan çalışmalar, RKY-TDA'ya kıyasla daha sınırlıdır. Maldonado ve ark. tarafından yapılan bir çalışmada, RKY-TKA ile manuel total kalça artroplastisinin (MTKA) maliyet etkinliği karşılaştırılmıştır.

^[28] Bu amaçla, beş yıllık bir zaman dilimini kapsayan ve yıllık döngülerle işleyen bir Markov modeli oluşturulmuştur. Modelde, ödeyici maliyetlerinin hesaplanmasında Yatan Hasta Medicare %100 Standart Analitik Dosyası'ndan elde edilen veriler kullanılmıştır. Robotik kol yardımcı TKA için enfeksiyon, çıkık ve revizyon oranları kurum içi sonuçlara dayanırken MTKA'ya ilişkin olasılıklar literatürden alınmıştır. Modelleme sonuçlarına göre, hem kamu (Medicare) hem de özel sigorta senaryolarında RKY-TKA'nın toplam maliyetleri MTKA'ya kıyasla daha düşük bulunmuştur. Medicare senaryosunda ortalama toplam maliyet RKY-TKA için 14.410 ABD doları, MTKA için ise 15.355 ABD doları olarak hesaplanmıştır. Özel sigorta kapsamında ise bu değerler sırasıyla 15.212 ve 17.022 ABD doları olarak bildirilmiştir. Ayrıca RKY-TKA'nın, MTKA'ya göre daha yüksek QALY sağladığı belirlenmiştir (2,96'ya karşın 2,92). Bu bulgular doğrultusunda araştırmacılar, RKY-TKA'nın hem daha az maliyetle uygulanabilir olduğunu hem de klinik etkinlik açısından avantaj sağladığını belirtmiştir.

Emara ve ark., yayımladıkları çalışmada yalnızca yatan hasta bakımına ilişkin maliyet verilerini içeren ulusal yatan hasta örneği (*national inpatient sample*, NIS) kullanılmıştır.^[29] Bu nedenle, taburculuk sonrası sağlık hizmeti kullanımı veya maliyetleri çalışmaya dâhil edilmemiştir. Bulgulara göre, yatan hasta bakım maliyetleri RKY-TKA grubunda, MTKA grubuna kıyasla daha yüksek bulunmuştur (18.416 ABD dolarına karşın 17.266 ABD doları). Ancak, RKY-TKA uygulanan hastalarda HKS daha kısa saptanmıştır (2,2 güne karşın 2,3 gün). Ayrıca, RKY-TKA grubunda NBT'e taburcu edilen hasta oranı MTKA grubuna göre biraz daha düşük olmakla birlikte, bu fark istatistiksel olarak anlamlı değildir (%17,4'e karşın %18,5). Dikkat çekici olarak, RKY-TKA uygulanan hastalarda cerrahi sonrası komplikasyon oranları daha düşüktür. Özellikle, kalça çıkığı oranı RKY-TKA grubunda %0,1 iken, MTKA grubunda %0,8 olarak bildirilmiştir. Ayrıca, perioperatif küçük komplikasyonlar RKY-TKA grubunda %12,8, MTKA grubunda ise %21,6 oranında gözlenmiştir. İmplantla ilişkili mekanik komplikasyon oranları da RKY-TKA lehine daha düşük bulunmuştur (%0,5'e karşın %3,1).

Kirchner ve ark. tarafından gerçekleştirilen bir diğer çalışmada ise Emara ve ark.'nın çalışmasında olduğu gibi NIS veri tabanı kullanılmıştır.^[30] Çalışmada, RKY-TKA ile MTKA arasında yatarak tedavi maliyetleri karşılaştırılmış ve RKY-TKA grubunda daha yüksek maliyetler bildirilmiştir (20.046 ABD dolarına karşın 18.258 ABD doları). Ancak, taburculuk sonrası bakım veya taburcu olma durumlarına ilişkin herhangi bir veri raporlanmamıştır.

Clement ve ark. tarafından 2022 yılında gerçekleştirilen çalışmada, RKY-TKA ile MTKA arasındaki maliyet etkinlik karşılaştırması, hasta tarafından bildirilen sonuç ölçümleri temelinde değerlendirilmiştir.^[31] Araştırmacılar, iki grup arasındaki QALY kazanımlarını analiz etmişlerdir. Robotik kol yardımcı TKA uygulanan hastalarda, MTKA'ya kıyasla 0,091 birimlik ek QALY artışı gözlenmiştir. Ekonomik modellemede ise, yılda 50 RKY-TKA gerçekleştirilen bir merkez için RKY-TKA'nın maliyeti kazanılan her QALY başına yaklaşık 3.000 sterlin olarak hesaplanmıştır. Bu maliyet, yıllık işlem hacmi 200'e ulaştığında 1.000 sterlin seviyesine kadar düşmektedir. Çalışma sonuçlarına göre, RKY-TKA uygulaması hem 10 yıllık takip süresi hem de yaşam boyu zaman ufkunda MTKA'ya kıyasla maliyet açısından daha etkin bir girişim olarak değerlendirilmiştir. Elde edilen ICER değerlerinin, Birleşik Krallık'ta yaygın olarak kabul edilen 20.000 sterlin/QALY eşik değerinin altında kaldığı belirtilmiştir.

Barsoum ve ark. tarafından yapılan çalışmada, BT taraması rehberliğinde gerçekleştirilen üç boyutlu RKY-TKA ile MTKA geçiren hastalar karşılaştırılmıştır.^[32] Araştırmada, her iki grup için 90 günlük EBM ve sağlık

hizmeti kullanım verileri analiz edilmiştir. Bulgulara göre, RKY-TKA uygulanan hastalarda HKS MTKA'ya kıyasla daha kısa bulunmuştur (1,5 güne karşın 1,7 gün). Ayrıca, 90 günlük toplam EBM RKY-TKA grubunda daha düşük saptanmıştır (35.436 ABD dolarına karşın 37.009 ABD doları). Taburculuk sonrası oluşan maliyetler de RKY-TKA lehine daha düşük gerçekleşmiştir (3.929 ABD dolarına karşın 4.205 ABD doları). Endeks işlem maliyetleri incelendiğinde, RKY-TKA grubunda 31.507 ABD doları olarak belirlenmiş olup bu maliyete ameliyat öncesi gerekli olan BT taraması da dâhil edilmiştir. Buna karşılık, MTKA grubunda endeks maliyeti 32.804 ABD doları olarak hesaplanmıştır. Çalışmada ayrıca, yatan hasta hizmeti kullanım oranının RKY-TKA grubunda daha düşük olduğu (RKY-TK= %2,3; MTKA= %3,4) belirlenmiştir.

Pierce ve ark. tarafından yapılan çalışmada, Medicare ve Medicaid Hizmetleri Merkezi verileri kullanılarak, RKY-TKA ve MTKA uygulanan hastalarda taburculuk sonrası sağlık hizmeti kullanımı ve 90 günlük EBM değerlendirilmiştir.^[33] Bulgulara göre, endeks işlem maliyetleri RKY-TKA grubunda MTKA'ya kıyasla bir miktar daha yüksek olmakla birlikte (12.827 ABD dolarına karşın 12.665 ABD doları), bu fark istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır. Öte yandan, toplam 90 günlük EBM RKY-TKA grubunda daha düşük saptanmıştır (19.734 ABD dolarına karşın 20.519 ABD doları). Hastanede kalış süresi, RKY-TKA uygulanan hastalarda MTKA'ya kıyasla daha kısa gerçekleşmiştir (2,3 güne karşın 2,5 gün). Ayrıca, RKY-TKA grubundaki hastaların NBT'ye kabul edilme oranı MTKA grubuna göre daha düşüktür (%20,8'e karşın %25,0). Nitelikli bakım servisine kabul edilen hastalar arasında, RKY-TKA uygulanan bireylerin burada geçirdiği süre daha kısa olup (18 güne karşın 19,6 gün), bu da ortalama 1.224 ABD doları düzeyinde maliyet tasarrufu sağlamıştır. Ek olarak, evde sağlık hizmetleri kapsamında oluşan toplam maliyetler de RTKA grubunda daha düşük bulunmuştur (3.352 ABD dolarına karşın 3.496 ABD doları).

SONUÇ

Robotik destekli artroplasti uygulamalarının ilk yatırım ve işletme maliyetleri yüksek olmakla birlikte, yapılan çok sayıda ekonomik değerlendirme; özellikle yüksek vaka hacmine sahip merkezlerde, bu sistemlerin uzun vadede maliyet-etkin olduğunu göstermektedir. Robotik sistemlerin; ameliyat sonrası sağlık hizmeti kullanımını azaltması, hastanede kalış süresini kısaltması, revizyon oranlarını düşürmesi ve hasta başı toplam bakım maliyetlerinde tasarruf sağlaması bu sonuçta belirleyici olmuştur.

Artan maliyet-etkinlik oranı değerlerinin sıklıkla kabul edilebilir ödeme istekliliği eşiklerinin altında kaldığı görülmüş; bu da robotik cerrahiyi sağlık sistemleri

açısından uygulanabilir ve sürdürülebilir bir yatırım hâline getirmiştir. Özellikle 90 günlük EBM'nin azaltılması ve QALY kazanımının yüksekliği, bu teknolojinin ekonomik değerini desteklemektedir.

Sonuç olarak, uygun hasta seçimi, yeterli vaka hacmi ve sistematik ekonomik değerlendirme ile robotik artroplastik uygulamaları, yalnızca klinik değil, aynı zamanda finansal açıdan da sağlık hizmetleri için rasyonel ve stratejik bir tercihtir.

KAYNAKLAR

- Sloan M, Premkumar A, Sheth NP. Projected volume of primary total joint arthroplasty in the U.S., 2014 to 2030. *J Bone Joint Surg Am* 2018;100(17):1455-60. [Crossref](#)
- Bourne RB, Chesworth BM, Davis AM, Mahomed NN, Charron KD. Patient satisfaction after total knee arthroplasty: Who is satisfied and who is not? *Clin Orthop Relat Res* 2010;468(1):57-63. [Crossref](#)
- Onggo JR, Onggo JD, De Steiger R, Hau R. Robotic-assisted total knee arthroplasty is comparable to conventional total knee arthroplasty: A meta-analysis and systematic review. *Arch Orthop Trauma Surg* 2020;140(10):1533-49. [Crossref](#)
- Ng N, Gaston P, Simpson PM, Macpherson GJ, Patton JT, Clement ND. Robotic arm-assisted versus manual total hip arthroplasty: A systematic review and meta-analysis. *Bone Joint J* 2021;103-b(6):1009-20. [Crossref](#)
- Sharkey PF, Hozack WJ, Rothman RH, Shastri S, Jacoby SM. Insall Award paper. Why are total knee arthroplasties failing today? *Clin Orthop Relat Res* 2002(404):7-13. [Crossref](#)
- Vermue H, Tack P, Gryson T, Victor J. Can robot-assisted total knee arthroplasty be a cost-effective procedure? A Markov decision analysis. *Knee* 2021;29:345-52. [Crossref](#)
- Hua Y, Salcedo J. Cost-effectiveness analysis of robotic-arm assisted total knee arthroplasty. *PLoS One* 2022;17(11):e0277980. [Crossref](#)
- Cotter EJ, Wang J, Illgen RL. Comparative cost analysis of robotic-assisted and jig-based manual primary total knee arthroplasty. *J Knee Surg* 2022;35(2):176-84. [Crossref](#)
- Mont MA, Cool C, Gregory D, Coppolecchia A, Sodhi N, Jacofsky DJ. Health care utilization and payer cost analysis of robotic arm assisted total knee arthroplasty at 30, 60, and 90 days. *J Knee Surg* 2021;34(3):328-37. [Crossref](#)
- Rajan PV, Khlopas A, Klika A, Molloy R, Krebs V, Piuze NS. The cost-effectiveness of robotic-assisted versus manual total knee arthroplasty: A Markov model-based evaluation. *J Am Acad Orthop Surg* 2022;30(4):168-76. [Crossref](#)
- Gregory DA, Coppolecchia A, Scotti DJ, Chen Z, Mont MA, Jacofsky D. A 90-day episode-of-care analysis including computed tomography scans of robotic-arm assisted versus manual total knee arthroplasty. *J Knee Surg* 2023;36(10):1077-86. [Crossref](#)
- Cool CL, Jacofsky DJ, Seeger KA, Sodhi N, Mont MA. A 90-day episode-of-care cost analysis of robotic-arm assisted total knee arthroplasty. *J Comp Eff Res* 2019;8(5):327-36. [Crossref](#)
- Tompkins GS, Sypher KS, Li HF, Griffin TM, Duwelius PJ. Robotic versus manual total knee arthroplasty in high volume surgeons: A comparison of cost and quality metrics. *J Arthroplasty* 2022;37(8s):S782-S9. [Crossref](#)
- Fang CJ, Mazzocco JC, Sun DC, Shaker JM, Talmo CT, Mattingly DA, et al. Total knee arthroplasty hospital costs by time-driven activity-based costing: Robotic vs conventional. *Arthroplast Today* 2022;13:43-7. [Crossref](#)
- Cobb J, Henckel J, Gomes P, Harris S, Jakopcak M, Rodriguez F, et al. Hands-on robotic unicompartmental knee replacement: A prospective, randomised controlled study of the acrobot system. *J Bone Joint Surg Br* 2006;88(2):188-97. [Crossref](#)
- Sinha RK. Outcomes of robotic arm-assisted unicompartmental knee arthroplasty. *Am J Orthop (Belle Mead NJ)*. 2009;38(2 Suppl):20-2. [Crossref](#)
- Willis-Owen CA, Brust K, Alsop H, Miraldo M, Cobb JP. Unicompartmental knee arthroplasty in the UK National Health Service: An analysis of candidacy, outcome and cost efficacy. *Knee* 2009;16(6):473-8. [Crossref](#)
- Liddle AD, Pandit H, Judge A, Murray DW. Optimal usage of unicompartmental knee arthroplasty: A study of 41,986 cases from the National Joint Registry for England and Wales. *Bone Joint J* 2015;97-b(11):1506-11. [Crossref](#)
- Pandit H, Hamilton TW, Jenkins C, Mellon SJ, Dodd CA, Murray DW. The clinical outcome of minimally invasive Phase 3 Oxford unicompartmental knee arthroplasty: A 15-year follow-up of 1000 UKAs. *Bone Joint J* 2015;97-b(11):1493-500. [Crossref](#)
- Peersman G, Jak W, Vandenlangenberg T, Jans C, Cartier P, Fennema P. Cost-effectiveness of unicompartmental versus total knee arthroplasty: A Markov model analysis. *Knee* 2014;21 Suppl 1:S37-42. [Crossref](#)
- Kleeblad LJ, van der List JP, Zuiderbaan HA, Pearle AD. Larger range of motion and increased return to activity, but higher revision rates following unicompartmental versus total knee arthroplasty in patients under 65: A systematic review. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2018;26(6):1811-22. [Crossref](#)
- Swank ML, Alkire M, Conditt M, Lonner JH. Technology and cost-effectiveness in knee arthroplasty: Computer navigation and robotics. *Am J Orthop (Belle Mead NJ)*. 2009;38(2 Suppl):32-6.
- Cool CL, Needham KA, Khlopas A, Mont MA. Revision analysis of robotic arm-assisted and manual unicompartmental knee arthroplasty. *J Arthroplasty* 2019;34(5):926-31. [Crossref](#)
- Clement ND, Deehan DJ, Patton JT. Robot-assisted unicompartmental knee arthroplasty for patients with isolated medial compartment osteoarthritis is cost-effective: A markov decision analysis. *Bone Joint J* 2019;101-b(9):1063-70. [Crossref](#)
- Chen X, Xiong J, Wang P, Zhu S, Qi W, Peng H, et al. Robotic-assisted compared with conventional total hip arthroplasty: Systematic review and meta-analysis. *Postgrad Med J* 2018;94(1112):335-41. [Crossref](#)
- Domb BG, El Bitar YF, Sadik AY, Stake CE, Botser IB. Comparison of robotic-assisted and conventional acetabular cup placement in THA: A matched-pair controlled study. *Clin Orthop Relat Res* 2014;472(1):329-36. [Crossref](#)

27. 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](#)
28. Maldonado DR, Go CC, Kyin C, Rosinsky PJ, Shapira J, Lall AC, et al. Robotic arm-assisted total hip arthroplasty is more cost-effective than manual total hip arthroplasty: A markov model analysis. *J Am Acad Orthop Surg* 2021;29(4):e168-e77. [Crossref](#)
29. Emara AK, Zhou G, Klika AK, Koroukian SM, Schiltz NK, Higuera-Rueda CA, et al. Is there increased value in robotic arm-assisted total hip arthroplasty?: A nationwide outcomes, trends, and projections analysis of 4,699,894 cases. *Bone Joint J* 2021;103-b(9):1488-96. [Crossref](#)
30. Kirchner GJ, Lieber AM, Haislup B, Kerbel YE, Moretti VM. The cost of robot-assisted total hip arthroplasty: Comparing safety and hospital charges to conventional total hip arthroplasty. *J Am Acad Orthop Surg* 2021;29(14):609-15. [Crossref](#)
31. Clement ND, Gaston P, Hamilton DF, Bell A, Simpson P, Macpherson GJ, et al. A cost-utility analysis of robotic arm-assisted total hip arthroplasty: Using robotic data from the private sector and manual data from the national health service. *Adv Orthop* 2022;2022:5962260. [Crossref](#)
32. Barsoum W, Gregory D, Needham K, Mont M, Sodhi N, Coppolecchia A, et al. Advantages of robotic arm-assisted total hip arthroplasty: A 90-day episode-of-care clinical utility and cost analysis. *J Comp Eff Res* 2023;12(5):e220208. [Crossref](#)
33. Pierce J, Needham K, Adams C, Coppolecchia A, Lavernia C. Robotic-assisted total hip arthroplasty: An economic analysis. *J Comp Eff Res* 2021;10(16):1225-34. [Crossref](#)