

Robotik artroplastinin tarihçesi ve gelişimi

History and development of robotic arthroplasty

Emrah Çalışkan

Koç Üniversitesi Tıp Fakültesi, Ortopedi ve Travmatoloji Ana Bilim Dalı, İstanbul

Son yıllarda robotik sistemlerin cerrahi bilimler ile ortopedi ve travmatoloji alanındaki kullanımının göreceli artması, yirminci yüzyılın ortalarında endüstriyel alanda başlayan robotik evrimin doğal bir ilerlemesidir. Bu robotik evrim ortopedi ve travmatolojide, özellikle de artroplasti alanında büyük beklenti oluşturmuştur. Beklenti temelde implant sağkalımının uzaması, doğal eklem algısının geri kazanılması ve komplikasyonların azalması şeklindedir. Robot destekli cerrahinin ilk gelişimlerinden başlayarak günümüzdeki yapay zekâ ve hassas yönlendirme sistemleriyle entegrasyonuna kadar olan bütün robotik sistemler, cerrahi sonuçlar açısından umut vadetmektedir. Önümüzdeki yıllarda birikecek bilgi neticesinde verilerin akılcı analizi ve teknolojiye gelişmeler ile bu umudun karşılanması beklenmektedir. Dolayısıyla cerrahide robotik sistemlerin tarihsel gelişimini ve artroplasti alanındaki evrimini incelemek geleceğe yön verecek olan bu teknolojinin anlaşılmasını kolaylaştıracaktır.

Anahtar sözcükler: robotik cerrahi; artroplasti; tarihçe; yapay zekâ; cerrahi robotlar

In recent years, the relative proliferation of the use of robotic systems in the field of surgery and orthopedics is the natural progression of a robotic evolution that began in the industrial field in the middle of the twentieth century. This robotic evolution has created great expectations in the field of surgery, especially in the field of arthroplasty. This expectation is basically a prolongation of implant survival, obtaining natural joint perception and decrease in complications. Starting from the first developments of robot-assisted surgery to its integration with today's artificial intelligence and precision guidance systems, all robotic systems promise hope in terms of surgical results. With the help of data that will accumulate in the coming years, this hope is expected to be met with the rational analysis of the data and the developments in technology. Meanwhile examining the historical development of robotic systems in surgery and their evolution in the field of arthroplasty will facilitate the understanding of this technology that will shape the future.

Key words: robotic surgery; arthroplasty; history; artificial intelligence; surgical robots

Robotik sistemlerin cerrahi bilimlere entegrasyonu, modern tıp için çığır açıcı bir gelişme olmuştur. Ortopedik cerrahide, özellikle artroplasti alt branşı, robotik teknolojilerden büyük ölçüde faydalanmıştır. Robotik sistemler sayesinde kemik kesilerinde, yumuşak doku dengelenmesinde ve implant pozisyonlamadaki artmış hassasiyet beraberinde azalmış komplikasyonları ve mükemmel fonksiyonel sonuç beklentisini getirmiştir.^[1-2] Bu derleme makalesinde, robotik cerrahinin kökenleri, mevcut evrimi, artroplastideki uygulamaları ve gelecekteki olasılıklar ele alınmaktadır.

CERRAHİDE KULLANILAN ROBOTİK SİSTEMLERİN TARİHÇESİ

Başlangıçta endüstriyel alanda ağır işleri kolaylaştırmak ve hızlandırmak için kullanılmaya başlanan robotik

sistemlerin cerrahide kullanımı 1980'lere dayanmaktadır. İlk robot destekli sistemler, cerrahi hassasiyeti arttırmak amacıyla geliştirilmiştir. 1985 yılında geliştirilen PUMA 560 (Unimate, New Jersey, Amerika Birleşik Devletleri), nörocerrahi işlemlerde kullanılan ilk robotik sistemlerden biri olmuştur. Benzer yıllarda üroloji ve genel cerrahi, kalp damar cerrahisi ve kadın doğum alanlarında robotik sistemlerin devreye girdiği görülmektedir. Yine aynı yıllarda özellikle PROBOT ve ROBODOC sistemleri, robot destekli ortopedik cerrahinin temelini atmıştır.^[3]

Robotik Sistemlerin Cerrahiye Entegrasyonu

PUMA 560 (1985-Unimate, New Jersey, Amerika Birleşik Devletleri), nörocerrahi biyopsilerinde rehber olması için bilgisayarlı tomografi (BT) ile entegre şekilde kullanılmış ve robot destekli cerrahinin ilk örneğini oluş-

turmuştur.^[4] 1990'ların başında yeni nesil nöroşirürjik robot Minerva tanıtıldı. Bu robot ise, stereotaktik bir nöroşirürji robotuydu ve intraoperatif BT tarayıcısı ile robota bağlı bir baş çerçevesi kullanarak arttırılmış rijitlik ve hassasiyet sağlıyordu. ROBODOC (1988-*Integrated Surgical Systems*, Delaware, Amerika Birleşik Devletleri) ortopedik cerrahi için geliştirilen ilk robotik sistem olup total kalça artroplastisinde femoral medullanın hazırlanmasında kullanılmıştır. Ayrıca 1988'de, ürolojideki en erken robotik prosedür *Imperial College*'da (Londra, Birleşik Krallık) klinik bir çalışmada PROBOT kullanılarak gerçekleştirildi. 1993 yılında, Computer Motion, Inc. tarafından optimal konumlandırma için otomatik endoskopik sistem (AESOP) adı verilen laparoskopik kamera tutma ve konumlandırmaya yardımcı olmak için robotik bir kol piyasaya sürüldü. (Santa Barbara, Kaliforniya). 1998 yılı, hem ZEUS robotik cerrahi sistemi (*Computer Motion*, Inc.) hem de Da Vinci cerrahi sisteminin [*Intuitive Surgical*, Inc., Sunnyvale (CA), Amerika Birleşik Devletleri] her ikisi de mafsallı robotik kollarını manipüle eden uzaktan cerrahi konsollarla pazara sunulmasıyla cerrahi robotik alanında önemli bir dönemdi. Amerika Birleşik Devletleri Gıda ve İlaç İdaresi (FDA), Temmuz 2000'de genel laparoskopik cerrahi (kolesistektomi ve gastroözofageal reflü ameliyatı), 2001'de prostat ameliyatı, Kasım 2002'de mitral kapak onarım ameliyatı ve 2005'te jinekolojik ameliyatlara için Da Vinci robotunu onayladı. Da Vinci cerrahi sistemi laparoskopik cerrahide devrim yaratarak ortopedik robotik sistemlerin gelişimini etkilemiştir.^[5]

Bu öncü sistemler, modern robot destekli cerrahinin temelini oluşturmuştur. Zamanla robotik teknoloji; hassasiyet, verimlilik ve klinik sonuçlar açısından önemli gelişmeler kaydetmiştir.

ARTROPLASTİDE ROBOTİK SİSTEMLERİN EVRİMİ

Robotik sistemlerin artroplastide kullanımı yıllar içinde önemli ölçüde gelişmiştir. Başlıca ilerlemeler şunlardır:

ROBODOC: Howard A. Paul ve William L. Bargar, çimentosuz kalça protezi için femur hazırlığını optimize etmek amacıyla ROBODOC sistemini geliştirdi. 1992'de klinik kullanıma giren ve dünyada ilk ortopedik cerrahi robot olan ROBODOC, görüntü kılavuzlu, aktif ve otonom bir sistemdi. İlk olarak köpeklerde test edilen sistem, 1994'te Avrupa'da onaylandı ve bugüne kadar 24.000'den fazla eklem artroplastisinde kullanıldı. 2008'de FDA onayı alan ROBODOC, kalça ve diz protezlerinde yüksek doğruluk sağlasa da uzun ameliyat süresi ve enfeksiyon riski gibi dezavantajları bulunuyordu.^[6-10]

CASPAR: (*Ortho-Maquet/URS Ortho Rastatt*, Almanya), erken dönem otonom bir robotik sistem olup total kalça artroplastisi ve total diz artroplastisi için görüntü kılavuzluğunda kullanılan ROBODOC'a benzer aktif bir robottu.

Total diz artroplastisinde mekanik aksın doğruluğunu arttırdığı ve tibiofemoral hizalamayı iyileştirdiği gösterilmiş olsa da ameliyat öncesi vidalar gerektirmesi gibi kısıtlayıcı yönleri vardı. Total kalça artroplastisinde femoral bileşenin yerleşimini daha hassas hâle getirirse de ameliyat sonrası anteverسیون açılarında düşük doğruluk gösterdi ve ameliyat sürelerini uzatarak daha fazla kan kaybına ve komplikasyonlara neden oldu. CASPAR artık klinik kullanıma uygun değildir. Acrobot ise *Imperial College* London'da geliştirilen, aktif kısıtlama prensibiyle çalışan ve cerraha kemik rezeksiyonunda hassasiyet sağlayan bir sistemdi. Modern haptik sistemlerin öncüsü olan Acrobot, *Stanmore Implants* tarafından satın alındı ve daha sonra MAKO *Surgical*'a devredildi.^[5,11]

Sonraki nesil robotik sistemler, cerrahların kontrolünü ve güvenliğini arttıran yarı aktif ve pasif tasarımlar sunmuştur. 2006'da tanıtılan MAKO (Stryker), robot destekli diz ve kalça artroplastisinde önemli bir dönüm noktası olmuştur ve haptik geri bildirim ile gerçek zamanlı navigasyon sağlamıştır.^[12] Benzer şekilde, ROSA (Zimmer Biomet) ve NAVIO (Smith & Nephew), hassasiyeti arttıran izleme ve planlama yetenekleri sunarak, cerrahi süreci tam otomatik hâle getirmeden robotik desteğin avantajlarını sağlamıştır.^[13,14]

GÜNÜMÜZDE ARTROPLASTİDE KULLANILAN ROBOTİK SİSTEMLER

Modern robotik artroplastisi sistemleri, cerrahi doğruluğu arttırmak için gelişmiş görüntüleme, haptik geri bildirim ve gerçek zamanlı navigasyonu entegre etmektedir. Günümüzde klinik uygulamalarda yaygın olarak kullanılan başlıca robotik sistemler şunlardır:

1. **MAKO (Stryker):** En yaygın kullanılan robot destekli platformlardan biri olup, total ve parsiyel diz artroplastisiyle total kalça artroplastisi için ameliyat öncesi BT tabanlı planlama, intraoperatif ayarlamalar ve haptik rehberlik sunar.^[15]
2. **ROSA (Zimmer Biomet):** Hem total diz hem de kalça artroplastisi için kullanılan bu sistem, kemik rezeksiyonlarına ve implant hizalamasına yardımcı olmak için optik izleme ve gerçek zamanlı geri bildirim sunar.^[16]
3. **NAVIO (Smith & Nephew):** MAKO'nun aksine, NAVIO ameliyat öncesi BT taraması gerektirmez, bunun yerine intraoperatif görüntüleme ve gerçek zamanlı izlemeye dayanır. Bu, daha düşük maliyetli bir alternatif sunarken hassasiyeti korur.^[14]
4. **CORI (Smith & Nephew):** NAVIO'nun gelişmiş bir versiyonu olan CORI, yüzey haritalama teknolojisi ve yapay zekâ destekli analizlerle diz artroplastisi prosedürlerinde kişiselleştirmeyi artırır.^[17]

5. **Cuvis Joint (Curexo):** Otonom hassasiyet sunan bu tam robotik destekli sistem, diz artroplastisinde gerçek zamanlı izleme ve yüksek düzeyde özelleştirme imkânı sunar.^[18]
6. **Velys (DePuy Synthes, Johnson & Johnson):** Robot destekli diz artroplastisi pazarına yeni giren bu sistem, iş akışı verimliliğine odaklanarak mevcut DePuy Synthes implant sistemleriyle entegre çalışır.^[19]

GELECEK YÖNELİMLERİ: YAPAY ZEKÂ VE MAKİNE ÖĞRENİMİ ENTEGRASYONU

Gelecekte, yapay zekâ entegrasyonu, artırılmış gerçeklik (AR) ve gelişmiş haptik geri bildirim sistemleri robotik artroplastide daha fazla rol oynayacaktır. Yapay zekâ destekli analizler cerrahi planlamayı kişiselleştirebilirken, AR yardımcı navigasyon intraoperatif görselleştirmeyi iyileştirebilir.

Yapay zekâ tabanlı robotik sistemler, cerrahi karar alma süreçlerini iyileştirerek tahmine dayalı analizler ve otomatik planlama sağlamaktadır. Makine öğrenimi algoritmaları, intraoperatif adaptasyonu geliştirerek anatomik değişikliklere dayalı ayarlamalar yapılmasını sağlamaktadır. Yapay zekâ destekli robotik platformlar, hasta özelinde cerrahi planlamaya katkıda bulunarak uzun vadeli fonksiyonel sonuçları iyileştirmesi beklenmektedir.

SONUÇ

Robotik artroplasti, erken dönem otonom sistemlerden gelişmiş yarı aktif ve haptik destekli cihazlara doğru büyük bir evrim geçirmiştir. Devam eden yeniliklerle, robot destekli artroplasti gelecekte eklem replasman cerrahisinde standart bir uygulama hâline gelebilir.

KAYNAKLAR

1. Karaytuğ K, Çalışkan E, Abdelnasser MK, Sorial R, Kamath AF. Does the integration of robotic technology improve outcomes in unicompartmental knee arthroplasty? J Arthroplasty 2025;40:65-6. [Crossref](#)
2. Dhavadov AA, Dikmen G, D'Apuzzo MR, Yeo SJ, Zagra L, Bilgen OF, et al. Does the use of robotic technology improve outcomes in primary total hip arthroplasty? J Arthroplasty 2025;40:130-1. [Crossref](#)
3. Jess H. Lonner and James F. Fraser. A Brief History of Robotics in Surgery. In: Jess H Lonner, editor. Robotics in knee and hip arthroplasty: Current Concepts, Techniques and Emerging Uses. Springer Nature Switzerland AG; 2019 p. 3-13. [Crossref](#)
4. Davies B. A review of robotics in surgery. Proc Inst Mech Eng H 2000;214(1):129-40. [Crossref](#)
5. Mark W. Allen and David J. Jacofsky. Evolution of Robotics in Arthroplasty. In: Jess H Lonner, editor. Robotics in knee and hip arthroplasty: Current Concepts, Techniques and Emerging Uses. Springer Nature Switzerland AG; 2019 p. 13-27. [Crossref](#)
6. Bargar WL, Bauer A, Borner M. Primary and revision total hip replacement using the Robodoc system. Clin Orthop Relat Res 1998;354:82-91. [Crossref](#)
7. Bargar WL. Robots in orthopaedic surgery. Clin Orthop Relat Res 2007;463:31-6. [Crossref](#)
8. Chun YS, Kim KI, Cho YJ, Kim YH, Yoo MC, Rhyu KH. Causes and patterns of aborting a robot-assisted arthroplasty. J Arthroplast 2011;26:621-5. [Crossref](#)
9. Jakopec M, Harris SJ, Rodriguez y Baena F, Gomes P, Cobb J, Davies BL. The first clinical application of a "hands-on" robotic knee surgery system. Comput Aided Surg 2010;6:329-39. [Crossref](#)
10. Park SE, Lee CT. Comparison of robotic-assisted and conventional manual implantation of a primary total knee arthroplasty. J Arthroplast 2007;22:1054-9. [Crossref](#)
11. Mazoochian F, Pellingahr C, Huber A, Kircher J, Refior HJ, Jansson V. Low accuracy of stem implantation in THR using the CASPAR-system: Anteversion measurements in 10 hips. Acta Orthop Scand 2009;75:261-4. [Crossref](#)
12. Lang JE, Mannava S, Floyd AJ, Goddard MS, Smith BP, Mofidi A, et al. Robotic systems in orthopaedic surgery. J Bone Joint Surg Br 2011;93-B:1296-9. [Crossref](#)
13. Eijking HM, Dorling IM, van Haaren EH, Hendrickx R, Nijenhuis T, Schotanus MGM, et al. Image-based robotic (ROSA® knee system) total knee arthroplasty with inverse kinematic alignment compared to conventional total knee arthroplasty: Study protocol and the inverse kinematic alignment in 8-steps using the ROSA® knee system for knee balancing technique explained. J Orthop Surg Res 2025;20(1):47. [Crossref](#)
14. Hasegawa M, Tone S, Naito Y, Sudo A. Comparison of accuracy and early outcomes in robotic total knee arthroplasty using NAVIO and ROSA. Sci Rep 2024;14(1):3192. [Crossref](#)
15. Marchand R, Sequeira SB, Hameed D, Angerett N, Scholl L, Mont MA. Mako robotic-arm assisted total knee arthroplasty: Updated software. Surg Technol Int 2024;45:1817.
16. Zhang EJX, Yeo W, Liu EX, Chen JY, Pang HN, Yeo SJ, et al. Does robotic surgical assistant (ROSA) functionally aligned TKA lead to higher satisfaction than conventional mechanically aligned TKA: A propensity-matched pair analysis. J Orthop 2024;63:93-7. [Crossref](#)
17. Adamska O, Modzelewski K, Szymczak J, Świderek J, Maciąg B, Czuchaj P, et al. Robotic-assisted total knee arthroplasty utilizing NAVIO, CORI imageless systems and manual TKA accurately restore femoral rotational alignment and yield satisfactory clinical outcomes: A randomized controlled trial. Medicina (Kaunas) 2023;27:236. [Crossref](#)
18. Lee HJ, Park KK, Park YB, Choi SW, Kim BO, Kim SH. Accuracy of advanced active robot for total knee arthroplasty: A cadaveric study. J Knee Surg 2024;37(2):135-41. [Crossref](#)
19. Alton TB, Severson EP, Ford MC, Lesko J, Leslie IJ. VELYS robotic-assisted total knee arthroplasty: Enhanced accuracy and comparable early outcomes versus manual instrumentation during adoption. J Exp Orthop 2025;12(1):e70163 [Crossref](#)