

BÖLÜM 2

ROBOTİK DİZ CERRAHİSİ

Ortaç GÜRAN¹
Ramadan ÖZMANEVRA²

GİRİŞ

Robotlar, üzerlerindeki sensörler ile çevresini algılayan, veriyi yorumlayan ve bu sonuca göre karar alıp uygulayan aygıtlar olarak tanımlanmakta ve teknolojik gelişmelerle beraber günlük yaşantımızda her geçen gün daha fazla yer kaplamaktadırlar. Günümüzde en çok endüstriyel üretimde kullanılmakla beraber artık evlerimizde yerleri süpüren robotlarla bile karşılaşmaktayız. Robot kelimesi ilk defa 1971 yılında Çek yazar Karel Capek tarafından “Rossom’s Universal Robots (RUR)” adlı oyununda kullanılmıştır. Çek dilinde “Robota”, “zorunlu iş gücü, köle emeği” anlamında kullanılan kelimedenden türetilmiştir (1,2). Endüstride daha kısa sürede daha ucuz maliyetle daha fazla üretimi amaçlayan robot kullanımı tıp alanında doktorun yardımcısı olarak hata payını minimuma indirerek, olası komplikasyonların önüne geçmeyi amaçlamaktadır.

DİZ PROTEZİ UYGULAMASINDA ROBOTİK CERRAHİ

Robotik cerrahi, geniş hareket aralığı, istikrarlı ve hassas oluşu, hareket yeteneklerini çeşitlendirme gibi birçok avantaj sağlamaktadır (1). Cerrahi uygulamalarda robot kullanımı ilk olarak beyin biyopsisinde iğne konumlandırma amacıyla “Westinghouse Electric” tarafından geliştirilen PUMA 560 ile başlamıştır (3). Ortopedide cerrahi robotun ilk kullanımı ise Robodoc’un (Curexo Technology, Fremont, CA, ABD) diz ve kalça artroplastisini gerçekleştirmek için kullanıldığı 1986 yılında olmuştur (4). Ancak, teknik karmaşıklığı, daha uzun çalışma süresi ve yüksek komplikasyon oranı nedeniyle bu teknolojinin gelişimi kısıtlandı (5). 2002 yılında yapılan çalışmada asetabular socketin bilgisayar ve manuel hizalama ile yerleştirilmesi karşılaştırılmış ve robotik yaklaşımın çok daha hassas şekilde

¹ Uzm. Dr., Prof. Dr. İlhan Varank Sancaktepe Eğitim ve Araştırma Hastanesi, Ortopedi ve Travmatoloji AD., ortacguran@gmail.com

² Doç. Dr., Uluslararası Kıbrıs Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Ortopedi ve Travmatoloji AD., rozmanevra@gmail.com

yapılabildiği görülmüştür (6). Robotik cerrahi kavramının hastalar arasında oldukça popüler ve talep edilen bir uygulama olduğu yadsınamaz bir gerçekliktir. Bu popüler kavramın bilimsel olarak değerlendirilmesinde uygulama tekniği, cerraha ve hastaya yönelik avantajları ve dezavantajları araştırılmalıdır.

Total Diz Artroplastisi (TDA) teknikleri 1990'lardan günümüze kadar büyük ölçüde gelişmiştir. İmplantın doğru konumlandırılması, mekanik eksenini restore etme ve bağ dengesinin sağlanması iyi fonksiyonel sonuçları ve çok yüksek implant sağkalımını garanti ediyor gibi görünmektedir. Üç boyutlu baskının (3D-printing) hızlı gelişimiyle, implant konumlandırmanın doğruluğunu artırmak için ameliyat öncesi görüntülemeye (BT taraması, MRG) dayalı hastaya özel kesme kılavuzları üretilmektedir (7,8).

Navio PFS (Blue Belt Technologies, Plymouth, MN, USA), Mako (Mako Stryker, Fort Lauderdale, FL, USA), Rosa (Zimmer-Biomet, Warsaw, Indiana, USA) ve iBlock (OMNLife Science, East Taunton, MA, USA) gibi yeni robotik sistemler geliştirildi. Tıpta kullanılan robot teknolojisinin farklı tasarımlarını karakterize etmek için çeşitli sınıflandırma sistemleri önerilmiştir. Robotik sistemleri 4 kategoriye ayırmışlardır: pasif, aktif, interaktif ve tele-operated (9).

- *Pasif sistemler*, cerrah tarafından manuel olarak hareket ettirilen bir aleti tutan mafsallı bir koldan oluşur ve aletin konumu navigasyon sistemi tarafından tanınır. Tamamen cerrahın kontrolünde olan prosedürün uygulanmasına doğrudan katılmazlar.
- *Aktif sistemler*, çok düzlemli cerrahi manipülasyonları otonom olarak (cerrahın katılımı olmadan) gerçekleştirmek için preoperatif ve intraoperatif planlama verilerini kullanan robotlardır. Robodoc® bu gruba uyar.
- *İnteraktif sistemler*, robot ile robotu kısıtlayan cerrah arasında bir etkileşim gerektiren robotlardır. Bu grupta iki tür strateji vardır: yarı aktif ve sinerjik sistemler. Yarı aktif sistemlerde bu mekanik kısıtlama, cerraha geri bildirim verilmeyen bir hareket olarak özetlenebilir. Tersine, sinerjik sistemler için mekanik kısıtlamalar programlanabilir.
- Son olarak, *teleoperated sistemler*, bir cerrah tarafından uzaktan kontrol edilen robotlara karşılık gelir. En iyi bilinen örnek DaVINCI® robotudur.

ROBODOC

1986 yılında geliştirilen Robodoc (Curexo Technology, Sacramento, CA, USA), eklem replasman cerrahisi için kullanılan ORTHODOC (robotik kol ve yazılım) içeren ilk sistemdi. Şu anda TSolution-One (Think Surgical Inc, Fremont, CA, USA; daha önce Curexo Technology) adı altında satılmaktadır. Bu, açık bir platformla (yani tüm implantlar için uygun) ameliyat öncesi BT tarama görüntülerine dayanan otonom bir aktif sistemdir (cerrah etkileşimi olmadan) (10,11).

İBLOCK

Daha önce Praxiteles olarak adlandırılan iBlock robotik kesme kılavuzu (OMNI-life Science, Raynham, MA, ABD), TKA implantasyonuna yardımcı olmak için 2010 yılında Gıda ve İlaç Dairesi (FDA) tarafından onaylandı. Bu, cerrahın yalnızca preoperatif plana dayalı olarak femur kemiği kesimleri yapmasına yardımcı olan ve standart bir salınımlı testere bıçağı kullanımıyla ilişkili hataları önleyen motorlu bir kesme kılavuzudur. Bu sistemin ana avantajı, BT taramasına gerek olmamasıdır. Tersine, kapalı bir platform olarak çalışır, bu nedenle yalnızca belirli bir diz implantı türü ile kullanılabilir ve boşluk dengelemesi (gap balancing) sağlamaz (4).

NAVIO

Blue Belt Technologies tarafından geliştirilen ve şu anda Smith & Nephew (Watford, İngiltere) tarafından dağıtılan Navio PFS, cerrah tarafından manuel olarak kontrol edilen bir robotik oyuncudur. İlk olarak 2012 yılında FDA tarafından uni-kondiler diz replasmanı için onaylanmıştır, şimdi ise total eklem replasmanı için mevcuttur. Bildiğimiz kadarıyla, bu sistemle ilgili herhangi bir çalışma yayınlanmamıştır.

Bu, navigasyon alanında oyuncunun yörüngesini takip eden başka bir yarı aktif sistemdir. Oyuncunun dönüş hızını ve uzantısını (veya geri çekilmesini) manşonundan kontrol ederek rezeksiyonların planlandığı gibi yapılmasını sağlar (12,13). Bu robotik sistem, ameliyat öncesi BT tarama görüntüleri gerektirmez. Anatomik yer işaretlerini konumlandırdıktan ve doğruladıktan ve distal femur ve proksimal tibianın kemik anatomisini belirledikten sonra, bu optik navigasyon sistemi, cerrahın optimal implant boyutunu ve konumlandırmasını belirlemesini sağlar. Ayrıca ameliyat öncesi plana uygun olarak hassas kemik rezeksiyonu yapılmasına da olanak sağlar. Cerrah ameliyat öncesi plandan saptığında oyuncu durur.

MAKO

Mako Robotik Kol Etkileşimli Sistemi başlangıçta Mako Surgical Corporation tarafından geliştirildi ve şimdi Stryker Orthopedics (Mahwah, NJ, ABD) tarafından satılmaktadır. 2016 yılında FDA tarafından onaylanmıştır. Bu sistem, dokunsal bir arayüz kullanarak TKA implantasyonuna yardımcı olan robotik bir koldan oluşur. Bu yarı aktif robot, ameliyat öncesi planda tanımlanan kesimin ötesine geçtiğinde testereyi durdurur; böylece bir cerrahın dizin dizilimini düzeltme ve yumuşak dokuları koruma yeteneğini geliştirir (14-16).

ROSA KNEE

Rosa Knee robotu, Zimmer-Biomet (Varşova, IN, ABD) tarafından MedTech (Montpellier, Fransa) ile işbirliği içinde geliştirildi ve Ocak 2019'da FDA tarafından onaylandı. Bu sistem, robotik kolun, navigasyon verileri kullanılarak elde edilen intraoperatif plana göre kesim kılavuzlarının konumlandırılmasına izin verdiği interaktif bir robotik platformdur. Bu, Navio robotu gibi, bir atlas (X-Atlas™) kullanarak hastanın dizinin 3 boyutlu bir modelini oluşturmak için ameliyat öncesi radyografilerle desteklenebilen, görüntüsüz bir sistemdir. Sistem, rezeksiyonlar ve bunların yumuşak doku zarfı üzerindeki etkileri hakkında intraoperatif veriler sağlar (17).

Çoğu adım robotik sistemler arasında aynı olmakla birlikte aralarında bazı farklar bulunmaktadır (Tablo 1). Robotik sistemler, bağ durumunu ve alt ekstremitenin dinamik dizilimini (özellikle fleksiyon aralığının ortasında) dikkate alarak cerrahi planı gerçekleştirmeye yardımcı olur. Bu sistemler ayrıca hastanın morfolojisine ve iskelet boyutlarına en uygun implant boyutu hakkında kesin bilgiler sunar. Robotik sistemlerin kullanımına yönelik öğrenme eğrisi bir düzine vakaya indirgenmiştir.

Tablo 1. Diz protezi cerrahisinde kullanılan farklı robotik sistemlerin özellikleri

Robotik sistem	Preoperatif görüntüleme	Kinematik	Planlama	Fonksiyon	Uygulama alanı
MAKO	BT	Evet	Evet	Robotik kol: testere, oyucu	TKA, Uni, TDA
NAVIO	Yok	Evet	Hayır	Navigasyonlu oyucu	Uni, TKA
ROSA	Standart X-ray	Evet	Evet	Robotik kol: kesi kılavuzu	TDA, Uni*, TKA*

TKA: total kalça artroplastisi, Uni: Unikondiler diz protezi, TDA: total diz artroplastisi
Uni*, TKA*: FDA onayları alındı.

LİTERATÜR

Robotik yardımcı total diz artroplastisinde (RATDP) deneyimli bir cerrahın varlığı bu cerrahiye yeni başlayacak cerrahların öğrenme eğrisini düzleştirebilir. Üretici firmalar özellikle ilk vakalarda genişletilmiş destek sağlamalıdır (18). 280 ortopedi asistanının katıldığı anket çalışmasında, katılımcıların %67,1'i robotik cerrahide kendini rahat hissetmiyor olmasına rağmen %71.4'ü robotiğin eğitim-

lerini kolaylaştırma potansiyeline sahip olduğuna inanıyor. %90'ı ise robot teknolojisinin kalıcı olduğuna inanıyor (19).

Hangi robotik sistem olursa olsun, cerrahın operasyonun planlanmasından ve onaylanmasından asıl sorumlu olduğu unutulmamalıdır. Robota yalnızca cerrahın direktiflerinin kesin ve tutarlı bir şekilde uygulanması emanet edilebilir. Bununla birlikte robotik sistemlerin başlangıç yatırım maliyetleri, cerrahın ve cerrahi ekibin öğrenim eğrisi gibi faktörleri de göz önünde bulundurmak gerekir (20).

Web of science (WOS) veri tabanı kullanılarak 2000-2019 yılları arasında yapılan 224 klinik araştırmadan en fazlasının sırasıyla ABD (99), Çin (38) ve Birleşik Krallık (27) olduğu bulunmuş. En çok katkı sunan kurum ise Çin'den 15 yayımla Beijing Jishuitan Hastanesi olmuş. Robotik cerrahi konusunda sayıca en çok ve etkili yayına sahip dergi Journal of Arthroplasty olarak bulunmuştur. Çoğunlukla diz ve spinal cerrahide kullanılmak üzere 14 farklı tür robot incelenmiş ve bunlardan diz ve kalça cerrahisinde MAKO, spinal cerrahide de en sık Mazor kullanıldığı görülmüştür (21). Web of science ve Pubmed veri tabanları 2008-2020 arasında 3 ana başlıkta taranmış; eğitim, planlama ve intraoperatif navigasyon. 34 cerrahi eğitim sistemi, 31 cerrahi planlama ve 41 cerrahi navigasyon sistemi incelenmiş. Bilgisayar destekli ortopedik cerrahi sistemlerinin henüz gelişme aşamasında olduğu, gelecekteki cerrahi eğitim sistemlerinin hasta anatomisine sahip sentetik modeller içermesi gerektiği ve otomatik planlamaya sahip cerrahi planlama sistemleri, multimodal füzyon robotik yardım ve görüntülemeye sahip cerrahi navigasyon sistemlerinin geliştirilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır (22).

Ekim 2018-Haziran 2020 tarihleri arasında 486 TDP hastası ile yapılan retrospektif bir çalışmada Mako ve konvansiyonel TDP cerrahisinde postoperatif hemoglobin değişikliği ve kan transfüzyon ihtiyacı karşılaştırılmış ancak anlamlı bir fark bulunmamıştır (23). İşe dönüş ve araç kullanımı ile ilgili 48 tane robotik yardımcı TDP uygulanan hastada, 3 hafta içerisinde %38, 2 ay içerisinde %90 oranında tam kapasite işe dönüş ve araç kullanımı gözlenmiş ve bu literatürde konvansiyonel TDP ile karşılaştırıldığında robotik yardımcı TDP'nin benzer ya da daha iyi sonuçlar gösterdiği bulunmuştur (24). Joo ve ark., Ekim 2016-Haziran 2021 arasında gerçekleştirdikleri çok merkezli çalışmalarında minimum 2 yıllık takip süresi olan 861 RATDP uygulanmış hastada, tutarlı klinik iyileşme ve koronal, aksiyel ve sagittal düzlemlerde hedeflenen dizilim sağlanmasında ve intraop dengeli gap aralığı sağlanmasında mükemmel klinik sonuçlar ve hasta memnuniyeti elde etmişlerdir (25).

Konvansiyonel TDP ile RATDP'nin karşılaştırıldığı bir diğer çalışmaya 37 robotik, 35 konvansiyonel TDP hastası dahil edilmiş. RATDP cerrahi süre açısın-

dan anlamlı olarak uzun bulunurken, kan kaybında, diz skorlarında, postop DVT açısından anlamlı fark saptanmamış. Bununla birlikte tibia komponent yerleşimi açısız kusuru RATDP grubunda daha düşük bulunmuştur (26). Bir çalışmada ulusal veritabanı kullanılarak Nisan 2017 ile Eylül 2019 arasında 4,135 RATDP ve konvansiyonel TDP analiz edilmiş. 90 günlük efektif operasyon tutarları RATDP grubunda daha az bulunmuş. Sonuç olarak BT tarama maliyeti dahil edildiğinde bilateral RATDP vakalarının konvansiyonel TDP vakalarından daha düşük maliyetlerle ilgili olduğu görülmüştür (27).

Mart 2020 tarihine kadar PubMed, Cochrane Library, Web of Science ve Em-base veritabanları taranarak sistematik bir araştırma yapılmıştır. Robot destekli teknolojinin kemik kesileri ve hazırlığı, implant yerleştirme başarısını artırdığı, teknik değişkenliği ve aykırı değerleri azalttığı, ekstremitte diziliminin yeniden düzenlenmesinde başarı oranını arttırdığı görülmüştür. Erken klinik sonuçların mükemmel olduğu ancak orta vadede implant sağkalımında fark görülmediği belirtilmiştir. Robotik destekli teknolojinin potansiyel dezavantajları arasında nispeten düşük zaman ve maliyet etkinliği, robotik UDP (unikondiler diz protezi) ile ilgili bazı komplikasyonların görülmesi ve yüksek kalitede literatür desteğinin olmaması sayılabilir. Bu derleme robotik UDP kullanımının implant yerleşimi ve dizilim restorasyonu konusunda başarıyı arttırabileceğini göstermektedir. Bununla birlikte klinik sonuçlar ve uzun vadeli sonuçlar hakkında kapsamlı çalışmaların olmaması nedeniyle iyileştirilmiş bileşen konumlandırmasının daha iyi klinik sonuçlara mı yoksa implantın uzun vadeli sağkalımına mı dönüştüğü belirsizliğini koruyor. Bununla birlikte doğru bir implant pozisyonu muhtemelen faydalı olduğundan robot destekli teknoloji UDP'de tavsiye edilmeye değerdir (28).

SONUÇ

Günümüzde robotlar ortopedik cerrahide kendine kullanım alanı bulmuş ve yapılan çalışmalarda başarılı sonuçlar elde ettiği gösterilmiştir. Robotlara ulaşım maliyeti ve öğrenim eğrisi göz önünde bulundurulmasına rağmen önümüzdeki yıllarda ameliyathanelerde robotlarla daha sık karşılaşacağız. Gelişmelerle beraber şu an üroloji, genel cerrahi gibi branşlarda sıkça gördüğümüz cerrahın steril olmadan sadece robotik kolları kullanarak ameliyatı gerçekleştirmesi Ortopedik cerrahide de mümkün olabilir. Bunun bir sonraki aşamasında uzaktan bağlantı yoluyla dünyanın diğer ucundaki bir cerrahın robotlar yardımıyla hasta ameliyat etmesi sağlanabilir.

Şu an ortopedik cerrahide robotik kullanımı cerrahın başarı oranını arttıran destek elemanları seviyesindedir ancak ortopedistlerin geri bildirimleri ışığında

geliştirilecek yeni tasarımlarla beraber robotlar her geçen gün kendilerine daha fazla yer bulacaktır.

KAYNAKLAR

1. Pugin F, Bucher P, Morel P. History of robotic surgery: from AESOP® and ZEUS® to da Vinci®. *J Visc Surg.* 2011 Oct;148(5 Suppl):e3-8. doi: 10.1016/j.jviscsurg.2011.04.007. Epub 2011 Oct 4. PMID: 21974854.
2. Türkeli S. Tıp Alanında Kullanılan Robotlar. Yıldız MS (ed.) *Sağlıkta İleri Teknoloji Uygulamaları* içinde. Ankara: Nobel Akademik Yayıncılık; 2019. p. 45-56.
3. Stefano GB. Robotic Surgery: Fast Forward to Telemedicine. *Med Sci Monit.* 2017 Apr 17;23:1856. doi: 10.12659/msm.904666. PMID: 28414709; PMCID: PMC5404821.
4. Jacofsky DJ, Allen M. Robotics in Arthroplasty: A Comprehensive Review. *J Arthroplasty* 2016;31:2353-63.
5. Parsley BS. Robotics in Orthopedics: A Brave New World. *J Arthroplasty* 2018;33:2355-7.
6. Digioia AM 3rd, Jaramaz B, Plakseychuk AY, et al. Comparison of a mechanical acetabular alignment guide with computer placement of the socket. *J Arthroplasty.* 2002 Apr;17(3):359-64. doi: 10.1054/arth.2002.30411. PMID: 11938515.
7. Seon J-K, Park H-W, Yoo S-H, Song E-K. Assessing the accuracy of patient-specific guides for total knee arthroplasty. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2016;24:3678-83.
8. Ollivier M, Parratte S, Lunebourg A, Viehweger E, Argenson J-N. The John Insall Award: No Functional Benefit After Unicompartmental Knee Arthroplasty Performed With Patient-specific Instrumentation: A Randomized Trial. *Clin Orthop Relat Res* 2016;474:60-8.
9. Schneider O, Troccaz J. A six-degree-of-freedom passive arm with dynamic constraints (PAD-yC) for cardiac surgery application: preliminary experiments. *Comput Aided Surg* 2001;6:340-51.
10. Bargar WL, Bauer A, Börner M. Primary and Revision Total Hip Replacement Using the Robodoc(R) System. *Clinical Orthopaedics and Related Research (1976-2007)* 1998;354:82.
11. Liow MHL, Chin PL, Pang H-N, Tay DKJ, Yeo SJ. THINK surgical TSolution-One® (Robodoc) total knee arthroplasty. *Sicot-J* 2017;3:63.
12. Lonner JH, Fillingham YA. Pros and Cons: A Balanced View of Robotics in Knee Arthroplasty. *Journal of Arthroplasty* 2018;33:2007-13.
13. van der List JB, Chawla H, Joskowicz L, Pearle AD. Current state of computer navigation and robotics in unicompartmental and total knee arthroplasty: a systematic review with meta-analysis. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2016;24:3482-95.
14. Kayani B, Konan S, Pietrzak JRT, Haddad FS. Iatrogenic Bone and Soft Tissue Trauma in Robotic-Arm Assisted Total Knee Arthroplasty Compared With Conventional Jig-Based Total Knee Arthroplasty: A Prospective Cohort Study and Validation of a New Classification System. *J Arthroplasty* 2018;33:2496-501.
15. Khlopas A, Sodhi N, Sultan AA, Chughtai M, Molloy RM, Mont MA. Robotic Arm- Assisted Total Knee Arthroplasty. *J Arthroplasty* 2018;33:2002-6.
16. Sultan AA, PiuZZi N, Khlopas A, Chughtai M, Sodhi N, Mont MA. Utilization of robotic-arm assisted total knee arthroplasty for soft tissue protection. *Expert Rev Med Devices* 2017;14:925-7.
17. <https://www.zimmerbiomet.com>
18. Schopper C, Proier P, Luger M, Gotterbarm T, Klaskan A. The learning curve in robotic assisted knee arthroplasty is flattened by the presence of a surgeon experienced with robotic assisted surgery. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2022 Jul 21:1-8. doi: 10.1007/s00167-022-07048-6. Epub ahead of print. PMID: 35864240; PMCID: PMC9302947.

19. LeRoy TE, Puzziatiello R, Ho B, Van Schuyver PR, Kavolus Ii JJ. Orthopaedic Trainee Views on Robotic Technologies in Orthopaedics: A Survey-Based Study. *J Knee Surg.* 2022 Jul 18. doi: 10.1055/s-0042-1748901. Epub ahead of print. PMID: 35850132.
20. Innocenti B, Bori E. Robotics in orthopaedic surgery: why, what and how? *Arch Orthop Trauma Surg.* 2021 Dec;141(12):2035-2042. doi: 10.1007/s00402-021-04046-0. Epub 2021 Jul 13. PMID: 34255170.
21. Li C, Wang L, Perka C, Trampuz A. Clinical application of robotic orthopedic surgery: a bibliometric study. *BMC Musculoskelet Disord.* 2021 Nov 22;22(1):968. doi: 10.1186/s12891-021-04714-7. PMID: 34809652; PMCID: PMC8609816.
22. Wang M, Li D, Shang X, Wang J. A review of computer-assisted orthopaedic surgery systems. *Int J Med Robot.* 2020 Oct;16(5):1-28. doi: 10.1002/rcs.2118. Epub 2020 Jul 7. PMID: 32362063.
23. Stimson LN, Steelman KR, Hamilton DA, Chen C, Darwiche HF, Mehadli A. Evaluation of Blood Loss in Conventional vs MAKOpasty Total Knee Arthroplasty. *Arthroplast Today.* 2022 Jul 19;16:224-228. doi: 10.1016/j.artd.2022.06.003. PMID: 35880226; PMCID: PMC9307488.
24. Bhowmik-Stoker M, Mathew KK, Chen Z, Chen AF, Hozack WJ, Mahoney O, Orozco FR, Mont MA. Return to Work and Driving After Robotic Arm-Assisted Total Knee Arthroplasty. *Arthroplast Today.* 2022 Jul 19;16:219-223. doi: 10.1016/j.artd.2022.06.002. PMID: 35880225; PMCID: PMC9307493.
25. Joo PY, Chen AF, Richards J, Law TY, Taylor K, Marchand K, Clark G, Collopy D, Marchand RC, Roche M, Mont MA, Malkani AL. Clinical results and patient-reported outcomes following robotic-assisted primary total knee arthroplasty: a multicentre study. *Bone Jt Open.* 2022 Aug;3(8):589-595. doi: 10.1302/2633-1462.37.BJO-2022-0076.R1. PMID: 35848995; PMCID: PMC9350694.
26. Xu J, Li L, Fu J, Xu C, Ni M, Chai W, Hao L, Zhang G, Chen J. Early Clinical and Radiographic Outcomes of Robot-Assisted Versus Conventional Manual Total Knee Arthroplasty: A Randomized Controlled Study. *Orthop Surg.* 2022 Jul 18. doi: 10.1111/os.13323. Epub ahead of print. PMID: 35848154.
27. 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.* 2022 Jul 11. doi: 10.1055/s-0042-1749083. Epub ahead of print. PMID: 35817055.
28. Liu P, Lu FF, Liu GJ, Mu XH, Sun YQ, Zhang QD, Wang WG, Guo WS. Robotic-assisted uni-compartmental knee arthroplasty: a review. *Arthroplasty.* 2021 May 2;3(1):15. doi: 10.1186/s42836-021-00071-x. PMID: 35236463; PMCID: PMC8796542.