

HİTİT SAĞLIK DERGİSİ

HITIT HEALTH JOURNAL

e-ISSN: 3023-7297 Sayı|Issue: 4 - Nisan|April 2025

Sağlık Hizmetlerinde Robotik Cerrahinin Gelişimi ve Yapay Zeka Entegrasyonu

Development Of Robotic Surgery And Artificial Intelligence Integration In Health Care

Hilal Demirhan KELEŞ¹  | Erdal EKE² 

¹Süleyman Demirel Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Sağlık Yönetimi Anabilim Dalı Doktora Programı, Isparta,Türkiye.

²Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, Türkiye.

Sorumlu Yazar | Correspondence Author

Hilal Demirhan KELEŞ

d1940232005@ogr.sdu.edu.tr

Address for Correspondence: Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, Türkiye.

ROR ID: <https://ror.org/02hmy9x20>

Makale Bilgisi | Article Information

Makale Türü | Article Type: Derleme | Review

Doi: doi.org/10.69563/hititsaglikderg.1552173

Geliş Tarihi | Received: 18.09.2024

Kabul Tarihi | Accepted: 24.02.2025

Yayın Tarihi | Published: 30.04.2025

Atıf | Cite As

Keleş. H. D., Eke, E. (2025). Sağlık hizmetlerinde robotik cerrahinin gelişimi ve yapay zeka entegrasyonu. Hitit Sağlık Dergisi, 4, 41-53.
<https://doi.org/10.69563/hititsaglikderg.1552173>

Hakem Değerlendirmesi: İki Dış Hakem / Çift Taraflı Körlleme.

Etik Beyanı: Bu çalışma için etik kurul iznine ihtiyaç bulunmamaktadır.

İntihal Kontrolleri: Yapıldı – intihal.net

Çıkar Çatışması: Yazarlar çalışma ile ilgili çıkar çatışması beyan etmemiştir.

Şikayetler: hmj@hitit.edu.tr

Katkı Beyanı: Fikir/kavram: H.D.K., E.E. Tasarım: H.D.K., E.E. Veri toplama ve Veri İşleme: H.D.K., E.E. Analiz ve Yorum: H.D.K., E.E. Kaynak tarama: H.D.K., E.E. Makalenin Yazımı: H.D.K., E.E. Eleştirel inceleme: H.D.K., E.E.

Gönüllü Onamı: Bu çalışma için katılımcı onamına ihtiyaç bulunmamaktadır.

Finansal Destek: Finansal destek alınmamıştır.

Telif Hakkı & Lisans: Dergi ile yayın yapan yazarlar, CC BY-NC 4.0 kapsamında lisanslanan çalışmalarının telif hakkını elinde tutar.

Peer Review: Double anonymized - Two External.

Ethical Statement: There is no need for ethics committee approval for this study.

Plagiarism Check: Yes - intihal.net

Conflict of Interest: The author(s) has no conflict of interest to declare.

Complaints: hmj@hitit.edu.tr

Authorship Contribution: Idea/concept: H.D.K., E.E. Design: H.D.K., E.E. Data Collection and Data Processing: H.D.K., E.E. Analysis and Interpretation: H.D.K., E.E. Literature Review: H.D.K., E.E. Writing the Article: H.D.K., E.E. Critical review: H.D.K., E.E.

Voluntary Consent: Participant consent is not required for this study.

Financial Disclosure: There are no financial funds for this article.

Copyright & License: Authors publishing with the journal retain the copyright of their work licensed under CC BY-NC 4.0.

Sağlık Hizmetlerinde Robotik Cerrahinin Gelişimi ve Yapay Zeka Entegrasyonu

Öz

Amaç: Geleneksel cerrahi yöntemlerin yetersiz kalması minimal invaziv cerrahi yöntemlerinin gelişmesine ortam hazırlamıştır. Minimal invaziv cerrahi yöntemler arasında robotik cerrahi ise son on yılda akıl almaz bir hızla gelişme göstermiştir. Bu gelişme sağlık personeli ve hastalara tedavi konusundan büyük kolaylık sağlamıştır. Tüm bunların yanı sıra cerrahi yöntemlere yapay zeka özelliklerinin dahil edilmesi de diğer gelişmelerden biridir. Bu nedenle bu çalışmada robotik cerrahi uygulamalarını ve yapay zekanın entegrasyonunu detayı bir şekilde incelemek amaçlanmıştır.

Yöntem: Çalışma literatür taramasına dayanmaktadır. Bu doğrultuda çalışmada “robot kelimesinin ilk olarak kim tarafından nerede geçtiği, zaman içinde hangi aşamalardan geçerek bugünkü halini aldığı, robotik cerrahi kavramının ne anlama geldiği, ilk olarak nerede ortaya çıktığı, dünyada ve Türkiye’deki gelişim evreleri, sağlık hizmetlerindeki gelişimi ve yapay zeka ile entegre edilmesine” dair konulara yer verilmiştir.

Bulgular: Robotik cerrahi, minimal invaziv cerrahinin sıklıkla kullanılmasının ardından bir ihtiyaç sonucu ortaya çıkmıştır. Robotik cerrahide sonraki durak, yapay zeka özelliklerinin cihaza entegrasyonu ve otonom işlemlerin hayata geçirilmesidir. Şu an dünyada 71 ülkede faaliyet göstermektedir. Türkiye bu ülkelerden biri olup, toplamda 45 cerrahi robota sahiptir. Çalışmaya başlandığından bu yana rakamlardaki sürekli artış, konunun stratejik ilerlemesi noktasında çeşitli kurum ve kuruluşların oluşturulmasını ve işbirliği içinde çalışmasını sağlamıştır. Robotik cerrahi, başta üroloji olmak üzere genel cerrahi, kadın hastalıkları ve kalp damar cerrahisi gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Özellikle hassas ve karmaşık ameliyatlarda cerrahlara büyük kolaylık sağlayarak daha güvenli ve başarılı operasyonların gerçekleştirilmesine yardımcı olmaktadır. Farklı cerrahi uzmanlık dallarında giderek daha fazla tercih edilmesi, robotik cerrahinin gelecekte sağlık sektöründe daha önemli bir yer edineceğini göstermektedir.

Sonuç: Robotik cerrahinin sağlık alanında gün geçtikçe geliştiği ve yapay zeka ile birlikte daha da güçlendiği görülmektedir. Birçok uzmanlık alanında da gelişme göstermesi gerek hasta gerekse de sağlık sistemi açısından kaliteli sağlık hizmeti noktasında önemli katkılar sağlamaktadır. Sonraki süreçte var olan pek çok sorunun çözüm bulabilmesi için cerrahi robotlardaki artışla birlikte araştırma ve araştırmacı sayısında da ciddi bir artışın yaşanması beklenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Robotik Cerrahi, Yapay Zekâ, Sağlık Hizmetleri, Sağlık Yönetimi

Development of Robotic Surgery and Artificial Intelligence Integration in Health Care

Abstract

Objective: The inadequacy of traditional surgical methods has paved the way for the development of minimally invasive surgical methods. Among minimally invasive surgical methods, robotic surgery has developed at an incredible pace in the last decade. This development has provided great convenience to healthcare personnel and patients in terms of treatment. In addition to all these, the inclusion of artificial intelligence features in surgical methods is another development. Therefore, this study aims to examine robotic surgery applications and the integration of artificial intelligence in detail.

Method: The study is based on a literature review. In this context, the study includes topics such as “who first used the word robot and where, what stages it went through over time to reach its current state, what the concept of robotic surgery means, where it first emerged, its development stages in the world and in Turkey, its development in healthcare services and its integration with artificial intelligence”.

Findings: Robotic surgery emerged as a result of a need following the frequent use of minimally invasive surgery. The next stop in robotic surgery is the integration of artificial intelligence features into the device and the implementation of autonomous procedures. It is currently operating in 71 countries around the world. Turkey is one of these countries and has a total of 45 surgical robots. Since the study began, the continuous increase in the numbers has enabled the establishment and cooperation of various institutions and organizations in terms of the strategic progress of the subject. Robotic surgery is used in many fields such as urology, general surgery, gynecology and cardiovascular surgery. It provides great convenience to surgeons, especially in delicate and complex surgeries, and helps to perform safer and more successful operations. The fact that it is increasingly preferred in different surgical specialties shows that robotic surgery will gain a more important place in the health sector in the future.

Conclusion: It is seen that robotic surgery is developing day by day in the health field and is getting stronger with artificial intelligence. Its development in many specialties provides important contributions to quality health services for both the patient and the health system. In the following process, it is expected that there will be a significant increase in the number of research and researchers along with the increase in surgical robots in order to find solutions to many existing problems.

Keywords: Robotic Surgery, Artificial Intelligence, Health Services, Health Management

Giriş

Robot kelimesi son 30 yılda özellikle sanayi ve imalat sektöründe adından sıklıkla söz ettirmiştir. Günümüze yaklaştıkça robot; endüstri, tıp, askeri, hizmet ve eğlence sektörlerine yayılarak çapını genişletmiş çeşitli isimler ve türleri ile yaşam alanına dahil olmuştur. Başlarda robotlar, insan gücünün yetemediği yapılması zor olan hassas ve tehlikeli işleri otomatikleştirmek ve kolaylaştırmak amacıyla tasarlanmış endüstriyel robotlardı. Sağlık sektöründe ise robotlar, insan becerilerini geliştirmek, iş yükünü azaltmak ve sağlık personeline destek sağlamak gibi hedeflerle kullanılmaktadır.

Bu amaç doğrultusunda, sağlık alanında sosyal refakatçi robotlardan laparoskopik cerrahi operasyonlar için kullanılan robotlara, implant ve protezlere entegre edilen robotik sistemlerden mekanik cihazlara kadar çeşitli robot türleri bulunmaktadır. Özellikle cerrahi işlemler için robotik gelişmeler, bilgiyi ameliyathane ve müdahale esnasında eyleme dönüştürerek işlemin etkinliğini artırma, prosedürler gerçekleştirilirken insanın fiziksel sınırının ötesinde ve aynı zamanda insan kontrolünü sürdürme isteğinden kaynaklanmaktadır (Dahl & Boulos, 2013: 2; Okamura et al., 2010: 26; Vanni & Salin, 2017: 180).

Günümüzde cerrahide kullanılan robotlar, robot kollarının bulunduğu bir hasta arabası, görüş ve iletişim sağlayan vizyon sepeti ve tüm kontrolün cerrahda olduğu bir konsoldan oluşmaktadır (Intuitive, 2022). Geleneksel minimal invaziv cerrahinin aksine, robotlar cerrahın vücut içinde el becerisine sahip olmasını, çok minimal hareketleri ölçeklemesini ve operatör ile alet uçları arasında bir bağlantı kurulmasını sağlamaktadır. Yeni nesil cerrahi robotlarda ise bu durum, yapay zekanın dahil edilmesiyle çeşitli kolaylıkları beraberinde getirmiştir. Bunlar ilgili verileri cerrahın görmesini sağlayan ekranlar ve performansı değerlendirmek, sonuçları tahmin etmek için cerrahi hareketlerin ve hasta durumunun tanınması gibi çok çeşitli bilgisayar ve fiziksel geliştirmeler şeklinde sıralanabilir (Okamura et al., 2010: 26-30).

Çalışma, sağlık hizmetlerinde robotik cerrahinin mevcut durumunu, kullanımını ve gelişimini incelemektedir. Özellikle yapay zeka eklentileriyle şekillenen robotik cerrahinin gelecekte otonom sistemlere evrileceği öngörülmektedir. Çalışma, bu teknolojik dönüşüm sürecini ele alarak literatürdeki eksiklikleri tamamlamayı ve robotik cerrahinin sağlık alanındaki rolünü daha iyi anlamayı amaçlamaktadır.

Robotik Cerrahinin Gelişimi

1990'ların başındaki minimal invaziv cerrahi, cerrahın ellerini doğrudan insan vücuduna koymak zorunda olmadığı bir dönemi başlatmıştır. Cerrah ile hasta arasına aletler yerleştirildiğinde, robotik entegrasyon kaçınılmaz hale gelmişti. Bu gelişmeler akla; "Bir aletle küçük bir kesiye ulaşılabilirse, neden bir robotik kolla ulaşılmasın?" sorusunu getirmiştir. Robotik kavramının ardındaki fikir, cerrahın dokunma duygusu özelliklerini geliştirmek ve daha akıcı, minimal invaziv cerrahi prosedürlerinin gerçekleştirilmesine olanak sağlamaktır. Ancak her yeni teknolojiyle birlikte artan maliyetler ve kullanım zorlukları yeni nesil robotların daha küçük, daha akıllı ve daha az masraflı bir şekilde üretilmesine olanak sağlamıştır (Oleynikov, 2008:1121). Halihazırdaki tekniklerin yetersiz gelmesi, cerrah ve hasta açısından bazı kayıplara neden olması veya işgücünde yeni arayışlara ihtiyaç duyulması gibi çoğaltılabilecek nedenlerle ortaya çıkan bu yeni teknolojinin tüm dünyada nasıl bir ilerleme katettiği merak edilenler arasındadır. İşte bu noktada sağlık hizmetlerinde robotik cerrahinin geçmişten bugüne gelişimini dünya ve Türkiye özelinde incelemek gerekmektedir.

Dünyada Robotik Cerrahi

Robotik cerrahi denemeleri ilk olarak 1987'de Fransa'da Philippe Mouret tarafından ve iki yıl sonra Amerika Birleşik Devletleri'nde Eddie Joe Reddick tarafından gerçekleştirilmiştir (Zegarra et al., 1997: 487; Fiorilio et al., 1996: 53; Jaffray, 2005: 537; Vierra, 1995: 147). Minimal invaziv cerrahi olarak da adlandırılan bu teknik, küçük cilt kesileri açılarak bir kameranın yardımıyla işlemin monitör üzerinden takip edilmesiyle uygulanmaktadır (Cansever & Duman, 2018).

Minimal invaziv cerrahi her ne kadar cazip bir yöntem olsa da bazı sınırlamaları bulunmaktadır. Dokunsal geribildirim eksikliği, el-göz koordinasyonundaki zorluklar, el becerisinin azalması ve titreme gibi sorunlar süreci etkileyebilir. Cerrahi müdahalelerde monitör üzerinden işlem yapmak gerektiği için el-göz konsantrasyonu risk altına girebilir. Ayrıca, mevcut ekipmanlar yalnızca 4 derece hareket kabiliyeti sunarken, insan bileği 7 derece hareket esnekliğine sahiptir. Bu kısıtlamalar makinelerle yapılan müdahaleleri tamamen engellemese de operasyonları daha karmaşık

hale getirebilir (Prasad et al., 2001:726). Cerrahi robotların geliştirilmesindeki amaç, minimal invaziv cerrahinin sınırlamalarını aşarak bu yöntemin avantajlarını daha da artırmak ve cerrahi uygulamalarda daha geniş faydalar sağlamaktır.

Cerrahi robotik alanındaki ilk çalışmalar, 1980'lerin sonlarında NASA'nın Ames Araştırma Merkezi'ndeki bilim insanları ve Stanford Araştırma Enstitüsü (SRI) mühendislerinin sanal gerçekliğe ve robotik teknolojilere yönelik araştırmalarıyla başlamıştır (Hill et al., 1998: 97). Araştırmacılar, mikroskobik el cerrahisinde el becerisini artırmak amacıyla çalışmalar yürütmüştür. Bu çalışmaların sonucunda telepresence cerrahi sistemi geliştirilmiştir. Telepresence cerrahi sistemi, cerrahın uzaktaki bir konsolda oturarak hasta üzerinde işlem yapan robotu kontrol etmesine dayanır. Bu sistemde cerrah (usta), robota (köle) komutlar göndererek operasyonu gerçekleştirir (Çavdar et al., 2016:182; Akbaba et al., 2021:650). Ek olarak bu teknoloji master-slave (usta-köle) sistemi olarak da bilinmektedir.

Kwoh ve ekibi, 1985 yılında NASA ve SRI ile eş zamanlı dönemlerde beyin biyopsisinde tam konumlandırma ve stereotaktik çerçevenin sabitlenmesi için Unimation tarafından üretilen Programmable Universal Machine for Assembly (PUMA) 560 adlı programlanabilir bir endüstriyel robot kullanmıştır (Kwoh vd., 1988). Davies ve arkadaşları 1988'de Londra'da prostatın transüretral rezeksiyonu işlemini Puma 560 robotu ile yapmışlardır (Davies et al., 1991:36). Bu çalışmadan yola çıkarak Londra'da Wickham ve ekibi, Imperial College of London bünyesinde bir robotik cerrahi araştırma programı başlatmıştır (Wickham, 1991). Bu çerçevede Integrated Surgical Supplies şirketi tarafından kalça protezi işlemlerinde femur üzerinde dikkatle çalışılması ROBODOC ve prostatın transüretral rezeksiyonu için PROBOT tasarlanmıştır. Öte yandan ROBODOC, Amerika Birleşik Devletleri Gıda ve İlaç Dairesinin onayladığı ilk robot olarak tarihe geçmiştir (Bann et al., 2003: 784; Kalan et al., 2010:141).

Dünyadaki bu gelişmeler 1990'lı yıllarda Avrupa'da devam etmiştir. 1994 yılında Almanya'da yer alan Karlsruhe Nükleer Araştırma Merkezinden araştırmacı Hermann Rinnsland, Almanya Tübingen Üniversitesi araştırmacısı Gerhard Buess ile ARTEMIS olarak adlandırılan Minimal İnvaziv Cerrahi için Gelişmiş Robot ve Telesmanipülasyon Sistemi geliştirmişlerdir (Schurr et al., 2000:380).

1994'teki bir diğer gelişme ABD ordusunun finansmanı ile Santa Barbara tarafından geliştirilen AESOP olarak bilinen Optimum Konumlandırma için Otomatik Endoskopik Sistemdir (Lanfranco et al., 2004: 16). AESOP'un üretim ve pazarlama sürecinde Fredrick Moll, SRI Green Telepresence Surgery'nin haklarını lisanslayarak Integrated Surgical Systems'ı (günümüzde Intuitive Surgical olarak bilinir) kurmuştur (Ballantyne, 2002:1391; Hockstein et al., 2007:115).

Intuitive Surgical tarafından geliştirilen ilk cerrahi robot da Vinci olmuştur. Bu sistem, hasta üzerinde robotik cerrahinin kullanıldığı ilk uygulama olarak tarihe geçmiştir. İşlem, 1987'de Jacques Himpens tarafından Belçika'da gerçekleştirilmiştir (Himpens et al., 1998:1091). Kısa bir süre sonra (1998) Santa Barbara tarafından geliştirilen ZEUS adlı robot, ticari olarak piyasaya sunulmuştur. ZEUS'u diğer robotlardan ayıran en önemli özellik, robotik cerrahiye telerobotik ya da telepresence fonksiyonunu kazandırmış olmasıdır (Rinnsland, 1993:156).

İki sistem, uzaktan manipülatörlere sahip olmaları bakımından benzerdir. En büyük farklardan biri cerrahi iş istasyonlarındadır. Da Vinci sistemi, cerrahın ellerinin hemen üzerinde stereoskopik bir görüntü gösterir. ZEUS sistemi ergonomik olarak tasarlanmıştır, monitör cerrahın koltuğunun önünde rahat bir şekilde durur ve alet maksimum el becerisi için doğru göz-el ekseninde tutulur. Bu sistem, cerraha hastanın hemen yanında bulunuyormuş hissi vermek yerine, hastaya uzaktaki bir noktadan müdahale ediyormuş izlenimi yaratmaktadır (Satava, 2002:10).

1987 yılında laparoskopik cerrahinin uygulanması, robotik cerrahinin gelişimini tetiklemiştir. Laparoskopik cerrahlar, aynı zamanda robotik cerrahinin ilk uygulayıcıları olmuştur. Bu bağlamda, Almanya'da Binder ve ekibi tarafından ilk radikal prostatektomi gerçekleştirilmiş, Fransa'dan Abbou ve arkadaşları ise bu çalışmayı ilk kez bilimsel literatüre kazandırmıştır (Abbou et al., 2001: 1965). Guillonnet ve arkadaşları ise ilk robotik nefrektomi (Guillonnet et al., 2001: 1078) ve prostat kanseri için ilk lenfadenektomi (Guillonnet et al., 2001a: 200). Bu çalışmalar, cerrahi alandaki yeniliklerin yalnızca birkaç öncü örneğini temsil etmektedir. İlk adımları atan bu öncüler, yeni teknolojilerin gelişmesine ve araştırmacıların yolunun açılmasına katkı sağlamıştır.

Günümüzde yaygın olarak kullanılan cerrahi sistem da Vinci'dir; bu sistem, sürekli gelişmekte ve kullanım alanları giderek genişlemektedir. Yıllar içinde geliştirilen diğer sistemlere rağmen, da Vinci'nin yaygın kullanımını sürdürebilmesi, erken piyasaya sürülmesi, geniş klinik veri desteği, cerrahlar tarafından benimsenmiş bir platform olması ve teknik altyapısının güvenilirliği gibi faktörlere dayanmaktadır.

Tablo 1 Geçmişte ve Yakın Zamanda Geliştirilen Bazı Cerrahi Robotlar

Cerrahi robot	Ülke-Şirket	Onay Durumu/Yıl
ABD		
ROBODOC	ABD-Think Surgical	CE ve FDA onaylı,1992
AESOP	ABD-Computer Motion	FDA onaylı, 1993
ZEUS	ABD-Computer Motion	FDA onaylı, 1995
da Vinci	ABD-Intuitive Surgical	FDA onaylı, 1999
AcuBot	ABD-Ürobotik Lab.	2001
InnoMotion	ABD- Synthesis Inc.	2001
Niobe	ABD	2003
RAVEN	ABD- Washington ve California Üniversiteleri	2005
Sensei	ABD- Auris Health	2005
Telelap	ABD- TransEtrix Surgical Inc.	CE, 2008
Flex	ABD	CE ve FDA onaylı, 2013
da Vinci Xi	ABD-Intuitive Surgical	FDA onaylı, 2014
Tsolution One Surgical System (ROBODOC)	ABD-Think Surgical	FDA onaylı, 2015
da Vinci X	ABD-Intuitive Surgical	FDA onaylı, 2017
Senhance	ABD-Trans Enterix	FDA onaylı, 2017
Ion	ABD-Intuitive Surgical	FDA onaylı, 2017
da Vinci SP	ABD-Intuitive Surgical	FDA onaylı, 2018
Monarch	ABD-Auris Health	FDA onaylı, 2018
Avrupa		
NeuroMate	Birleşik Krallık-Renishaw	FDA Onaylı, 1987
PathFinder	İngiltere	FDA onaylı, 2004
FreeHand	İngiltere	FDA onaylı, 2008
ROSA Beyin	Fransa-Zimmer Biomet	CE ve FDA onaylı, 2008
Rönesans	İrlanda	CE ve FDA onaylı, 2011
ROSA omurga	Fransa-Zimmer Biomet	2012
Roboflex Avicenna	Ankara Türkiye-Elmed Medikal Sistemleri	2014
Preceyes	Hollanda, Preceyes BV.	CE, 2016
Versius	Birleşik Krallık- CMR Surgical	CE işareti, 2019
Mazor	İrlanda-Medtronic	FDA onaylı, 2019
Diğer		
MASTER System	Singapur-Endo Master Pte.	Onaylı Değil
NeuroArm	Kanada- IMRIS Inc.	2006
Sport	Kanada-Titan Medikal	2017
Revo-I	Korea-Meere Company	FDA onaylı ,2017

(Kaynak: Tablo 1 literatürdeki bilgiler ışığında yazar tarafından geliştirilmiştir.)

Tablo 1'de, bugüne kadar geliştirilmiş bazı cerrahi robotları geliştiren ülke, bağlı oldukları şirket, onay durumu ve üretim yıllarına ilişkin bilgiler sunulmaktadır. Daha önce belirtildiği gibi, robotik cerrahi sürekli olarak çeşitlenmekte ve kullanım alanlarını genişletmektedir. Bu nedenle, Tablo 1'de tüm cerrahi robotlar yerine, üretimde öncü olan ve yaygın olarak kullanılan robotlara yer verilmiştir. Cerrahi robotların çeşitliliği oldukça önemli olmakla birlikte, burada vurgulanan bir diğer kritik unsur, dünya genelinde üretim yapan ülkelerin çeşitliliğidir.

Azhar ve arkadaşları çalışmalarında kıtalar ve bu kıtalardaki bazı ülkelerde bulunan cerrahi robot sayılarını gösteren bilgilere Tablo 2'de yer vermişlerdir;

Tablo 2 da Vinci Cerrahi Sistemlerinin Dünya Çapında Dağılımı (Kaynak: Azhar vd., 2019:107)

Kıta	Ülke	Cerrahi Robot Sayısı	Toplam/Yüzde (%)
Kuzey Amerika	ABD	2344 (67,4)	2369 (68,1)
	Kanada	25 (0,7)	
Avrupa	Fransa	90 (2,6)	586 (16,9)
	İtalya	84 (2,4)	
	Almanya	77 (2,2)	
	Birleşik Krallık	55 (1,6)	
	Türkiye	34 (1,0)	
	Belçika	34 (1,0)	
	Diğerleri	212 (6,1)	
Asya*	Japonya	215 (6,2)	398 (11,4)
	Güney Kore	53 (1,5)	
	Çin	46 (1,3)	
	Hindistan	35 (1,0)	
	Diğerleri	49 (1,4)	
Latin Amerika	Brezilya	16 (0,5)	47 (1,4)
	Meksika	7 (0,2)	
	Arjantin	6 (0,2)	
	Diğerleri	18 (0,5)	
Orta Doğu	Suudi Arabistan	14 (0,4)	38 (1,0)
	Katar	6 (0,2)	
	Kuveyt	2 (0,1)	
	Diğerleri	16 (0,5)	

*Asya kıtasına, Asya Orta Doğu ülkeleri ve Yeni Zelanda ülkesinin verileri dahil edilmemiştir.

Tablo 2’de, Kuzey Amerika kıtasındaki ABD’nin en fazla cihaza sahip olduğu ve bu sıralamayı Avrupa, Asya, Latin Amerika ve Orta Doğu’nun izlediği görülmektedir. Ancak, buradaki önemli bir nokta, Tablo 3’te yer alan verilerin 2015 yılına ait olduğudur. Veriler 2015 yılına dayanıyor olsa da günümüzde kıtalar arasındaki ülke sıralamalarında bazı değişiklikler olabilir. Ancak, kıtalar arasındaki sıralamada büyük bir değişiklik olmadığı, araştırma sürecinde incelenen çalışmalar doğrultusunda elde edilen bir çıkarımdır.

Tablodaki veriler aslında bugün dünyada popülerliğini sürdüren da Vinci cerrahi robotu üzerinden verilmektedir. Tek bir robot üzerinden gidilmesinin sebebi Intuitive Surgical adlı şirketin robotik cerrahi için fikri mülkiyet hakkına sahip olmasıdır. Şirket günümüze kadar tıbbi pazar içinde sadece robotik cerrahi üzerinde yoğunlaşarak ciddi başarılar imza atmıştır. Bugün 71 ülkede 8600 adet da Vinci cerrahi robot bulunmaktadır. Şu ana kadar bu robot ile 14 milyonun üzerinde işlem gerçekleştirilmiştir (Intuitive Surgical, 2024).

2019’a gelindiğinde şirketin da Vinci için önemli özelliklerinin patent süresi dolmuştur (Gosrisirikul et al., 2018:292). Bu gelişmeler, pazarda birçok cerrahi robot sisteminin ortaya çıkacağına bir işaret olarak değerlendirilebilir. Örneğin, İtalyan araştırmacılar tarafından geliştirilen ancak ABD merkezli bir sistem olan Senhance, FDA onayı alarak da Vinci’ye rakip olarak pazara giriş yapmıştır (Oude Vrielink et al., 2020: 247). Ayrıca, birçok patentin süresinin dolmasıyla birlikte, Senhance dışında dünyanın farklı ülkelerinde çeşitli robotik cerrahi sistemler geliştirilmiş ve klinik denemeler başlamıştır. Bu durum, cerrahi robotik alanında yoğun bir rekabetin yaşandığı yeni bir dönemin başlangıcına işaret etmektedir (Rassweiler vd., 2017:825).

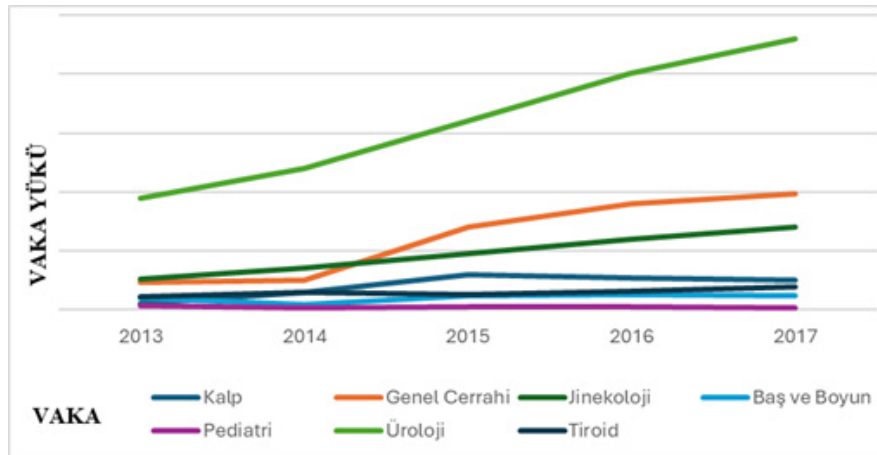
Da Vinci cerrahi sistemine alternatif olarak piyasaya sunulan cerrahi sistemler arasında; Revo-I (Meere Company, Hwasong, Kore), Senhance (Transenterix, Morrisville, NC, ABD), Flex Surgical System (Medrobotics, Raynham, ABD), Hugo RS (Medtronic, Dublin, İrlanda), Versius (CMR Surgical, Cambridge, GB) ve Avatera (Avateramedical, Jena, Almanya) cerrahi sistemi bulunmaktadır (Ginoya vd., 2021: 1-13; Gözen & Rassweiler, 2020: 1044; Kinross vd., 2020:430). Görünen o ki robot çeşitliliği gün geçtikçe artacak listeye yeni robot isimleri ile farklı ülkeler de dahil olacaktır.

Türkiye’de Robotik Cerrahi

Türkiye’de cerrahi robot kullanımıyla ilgili ilk araştırmalar, 2004 yılında Florence Nightingale Şişli Hastanesi Kardiyovasküler Cerrahi ekibi tarafından gerçekleştirilmiştir. 2005 yılında ise yine aynı hastanede Dr. Ali Rıza Kural ve ekibi, üroloji alanında bu teknolojiyle ilk ameliyatı gerçekleştirmiştir. Sonrasında, Ankara Atatürk Eğitim ve Araştırma Hastanesi’nin üroloji ekibi tarafından bir diğer öncü operasyon gerçekleştirilmiştir (Coşgun et al., 2013: 225; Üçer & Gümüş, 2010: 186).

Bir sonraki operasyon, Ümraniye Eğitim ve Araştırma Hastanesi’nde Göçmen ve arkadaşları tarafından da Vinci cerrahi robotu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada, 2008 yılının Ekim ayından itibaren histerektomi, sakrokolpopeksi, miyomektomi, pelvik lenf nodu diseksiyonu, radikal histerektomi ve tubal reversal gibi işlemleri içeren robot yardımlı ilk 25 vaka değerlendirilmiştir. Araştırmanın bulguları, benign uterus hastalıkları bulunan kadınlar için robotik cerrahinin yararlı olduğunu ortaya koymuştur (Göçmen et al., 2010:163-164). 2013 yılı itibarıyla, üniversite hastaneleri arasında cerrahi robot destekli işlemleri gerçekleştiren ilk kurum Gülhane Askeri Tıp Akademisi (GATA) olmuştur. Bu çalışmada, robotik histerektomi operasyonlarının yaygınlaşmasının ameliyat süresini ve hasta morbiditesini azaltacağını, ayrıca asistan eğitimine katkı sağlayacağı sonuçlarına ulaşılmıştır (Dede et al., 2013:143).

Başlarda yalnızca birkaç kurumda işlem gerçekleştirilen cerrahi robotların, işlem sonuçlarının başarısına bağlı olarak farklı kurumlarda da yaygınlaşmaya başladığı ve 2013’ten beri bazı uzmanlık alanlarında operasyon sayılarında önemli artışlar yaşandığı rapor edilmiştir. 2019 yılında Esen ve ekibinin gerçekleştirdiği bir araştırmada, Türkiye’de cerrahi uzmanlıklarda robotik cerrahi operasyonların sayısına vurgu yapılmıştır. Bu çalışma kapsamında, 2013 ile 2017 yılları arasında 32 hastanede toplam 13.760 operasyon incelenmiş, cerrahi uzmanlıklara göre robot kullanım eğilimleri Grafik 1’de, yıllara göre yapılan işlem sayıları ise Tablo 3’te sunulmuştur (Esen et al., 2019:2);



Grafik 1 Yıllara Göre Cerrahi Branşların Vaka Yükündeki Eğilimler (Kaynak: Esen et al., 2019:2).

Tablo 3 Yıllara Göre Cerrahi Branşlarda Yapılan İşlem Sayıları (Kaynak: Esen et al., 2019:3).

Cerrahi Uzmanlık	Yıllar					Toplam
	2013	2014	2015	2016	2017	
Üroloji, n (%)	957 (65)	1115 (61)	1596 (54)	1973 (56)	2356 (59)	7997 (58)
Genel Cerrahi, n (%)	148 (10)	166 (9)	466 (16)	658 (19)	701 (17)	2139 (16)
Jinekoloji, n (%)	191 (13)	292 (16)	410 (14)	435 (12)	475 (12)	1803 (13)
Kalp Cerrahisi, n (%)	53 (4)	101 (6)	226 (8)	199 (6)	216 (5)	795 (6)
Göğüs Cerrahisi, n (%)	62 (4)	111 (6)	127 (4)	114 (3)	155 (4)	569 (4)
Baş Boyun Cerrahisi, n (%)	51 (4)	53 (3)	106 (4)	120 (3)	108 (3)	438 (3)
Çocuk Cerrahisi, n (%)	1 (0,1)	0 (0)	5 (0,2)	6 (0,2)	7 (0,2)	19 (0,1)
Toplam	1463	1838	2936	3505	4018	13 760

Grafik bakıldığında, beş yıllık dönemde üroloji alanında önemli bir artış yaşandığı, bunu genel cerrahi ve jinekolojinin izlediği görülmektedir. Benzer olarak, Tablo 3’te de cerrahi branşlarda yıllara göre yapılan işlem sayılarında ürolojinin ilk sırada yer aldığı, ardından genel cerrahi ve jinekolojinin geldiği dikkat çekmektedir. Bu durum yalnızca

Türkiye'nin özelinde değil aynı zamanda uluslararası düzeyde de benzer bir eğilim göstermektedir (Salkowski et al., 2023:1; Hong & Qin, 2024: 1573). Robotik cerrahinin ilk uygulamalarının üroloji alanında gerçekleştirilmesi ve bu uzmanlık dalının teknik ve teknolojik açıdan diğer branşlara göre daha ileride olması, bu durumu açıklayabilir. Özellikle mevcut çalışmaların eksik kalan noktaları değerlendirildiğinde, Türkiye'de cerrahi robot sayısında daha fazla bir artış beklenebilir.

Türkiye'de operasyon sayısındaki sürekli artışın temel nedenlerinden biri, teknolojiye yeni uyum sağlayan hastanelerin sayısındaki artıştır. Bugün İstanbul'da 20, Ankara'da 11, İzmir'de 6, Antalya'da 3, Kocaeli'nde 1, Adana'da 2, Kayseri'de 1 ve Erzurum'da 1 olmak üzere toplamda 45 hastanede cerrahi robot bulunmakta ve yaklaşık 300 hekim bu operasyonları gerçekleştirmektedir (da Vinci Cerrahisi, 2024). Tüm bu veriler doğrultusunda, Türkiye'de robotik cerrahinin, cerrahi uygulamalar içinde giderek daha merkezi bir rol üstlenmeye başladığı görülmektedir. Ülke genelinde, robotik cerrahi uygulamalarında öne çıkan yüksek donanımlı hastanelerin ortak özelliği, bu alanda uzmanlaşmış jinekolog ve ürologlara sahip olmalarıdır. Gelecek yıllarda, öğrenme sürecindeki ilerlemeyle birlikte, nitelikli cerrahlar yetiştirilmesi ve modern altyapıya sahip hastaneler kurulmasıyla operasyon sonuçlarının daha da iyileştirilmesi amaçlanmaktadır.

Sağlık Hizmetlerinde Robotik Cerrahi

Yaklaşık 40 yıl önce, ameliyathanede robotun ilk kez kullanılması cerrahi alanda önemli bir dönüm noktası olmuştur. Bu ilk robot, bilgisayar teknolojisi kullanarak beyne iğne yerleştirilmesiyle beyin biyopsisi gerçekleştiren PUMA adlı sistemdir (Bini, 2018: 2358; Kwoh et al., 1988:153). Bugün cerrahi robotlar, sağlık sektöründe rutin olarak kullanılmaktadır ve diğer hizmet robotlarına kıyasla daha hızlı bir ilerleme göstermiştir. Bu başarıda, robotik cerrahinin insanda bulunmayan üst düzey hassasiyet sunan cihazlara sahip olması, robot ile insan arasındaki uyumlu etkileşimin sağlanması ve bilgilerin hızlı bir şekilde eyleme geçirilebilmesi gibi faktörler önemli bir rol oynamıştır (Okamura et al., 2010: 26).

Gelişmeler doğrultusunda, robotik cerrahinin başlangıçta üroloji ve jinekoloji alanlarında kullanıldığı, zamanla kalp ve damar cerrahisi, kulak-burun-boğaz (KBB), ortopedi, beyin cerrahisi, obezite ve tiroit hastalıkları gibi farklı tıbbi branşlarda da yaygınlaştığı gözlemlenmektedir. Böylece, her bir uzmanlık alanına özgü cerrahi robotlar ve tekniklerin geliştirilmesine olanak sağlamıştır. Bu bağlamda, minimal invaziv cerrahi prosedürlerin uygulanması, laparoskopik cerrahiye destek sağlanması, spineasist yöntemi ile implant yerleştirilmesi gibi birçok ileri düzey ve gelişmekte olan yöntem ve uygulama dikkat çekmektedir (Fairag et al., 2024:1)

Bazı cihazlar, hastalarla etkileşim sağlamak ve bakım süreçlerinde insanlar ile makineler arasında köprü oluşturmak amacıyla çeşitli şirketler tarafından tasarlanmaktadır. Günümüzde geliştirilen robotların büyük bir kısmı, makine öğrenimi, yapay sinir ağları, dil tanıma ve görüntü işleme gibi alanlarda daha yüksek bir performans sunabilmek için belirli ölçüde Yapay Zekâ (Artificial Intelligence - AI) teknolojisini bünyesinde barındırmaktadır.

Yapay Zekanın Entegrasyonu

Günümüz robotik cerrahisi, cerrahin karmaşık bir konsolun başında oturarak robotu uzaktan kontrol ettiği "usta-köle" prensibi üzerine kurulmuş ileri teknoloji platformlarını kullanmaktadır. İnsan ve makine arasındaki bu sinerji, robotun her hareketini hassas bir şekilde takip etmeyi ve bu verileri yapay zeka (YZ) uygulamalarıyla işleyerek cerraha daha etkin bir geri bildirim sunmayı mümkün kılmaktadır (Andras et al., 2020: 2359). Bu durum, cerrahi robotlarda gerçekleştirilen temel hareketler sırasında bile yapay zekânın etkili bir şekilde kullanıldığını ortaya koymaktadır.

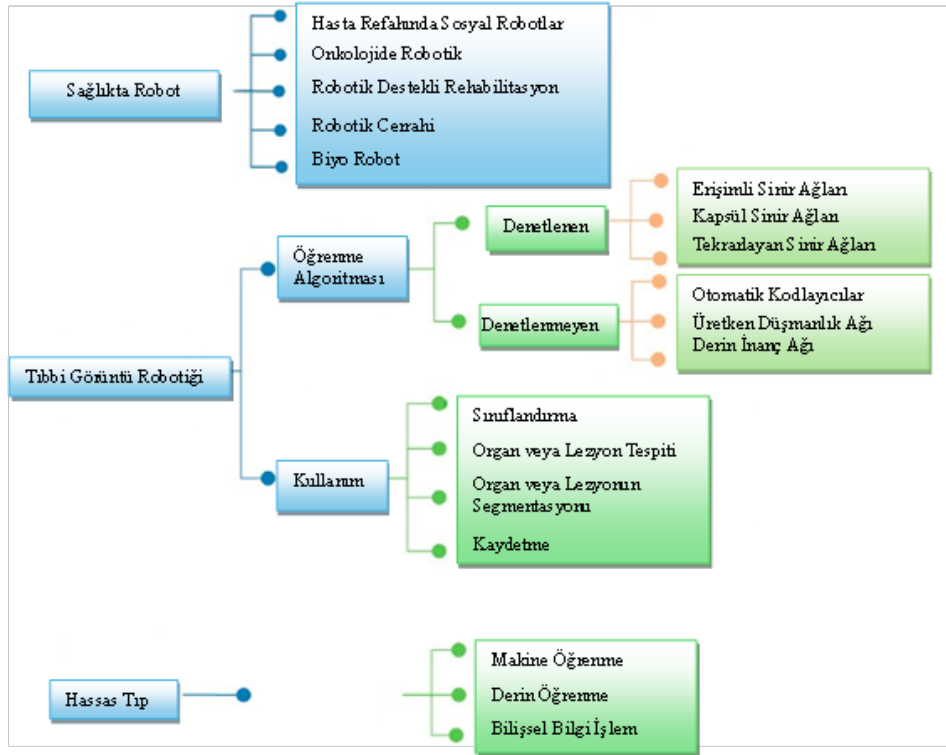
Yapay zekânın bu özellikleri, başlangıçta yalnızca endüstri sektöründeki robotlarda kullanılırken, zamanla sağlık hizmetleri için gelişim gösteren laboratuvarlar da dahil olmak üzere sağlık sektöründe geniş bir uygulama alanı bulmuştur. Tıbbi anlamda cerrahi robotların geliştirilmesi ve yaygınlaşması oldukça yavaş ilerlemiş, bu durum yapay zekânın cerrahi robotlardaki kullanımını da doğrudan etkilemiştir (De Togni et al., 2021:1; Deo & Anjankar, 2023:1).

Yapay zekânın cerrahideki rolü, tıpta kullanılan uygulamaların ardından ortaya çıksa da bu iki alan farklılıklar taşımaktadır. Tıpta yapay zekâ, hasta sonuçlarını iyileştirmek amacıyla hasta çıktılarını daha iyi analiz edebilen algoritmalar geliştirmeye odaklanırken, cerrahi yapay zekâ aynı hedefe hareket kabiliyeti ekleyerek ulaşmayı

amaçlamaktadır. Cerrahi işlemler sırasında endoskopik ve girişimsel teknikler ile prosedürlerden faydalanılmaktadır. Girişimsel disiplinler, aynı ortamda birden fazla işlemin eş zamanlı gerçekleştirilmesine olanak tanımakta; bu durum, mobil tarayıcılar, minimal invaziv cerrahi ekipmanlar ve endoskopların bir arada ve koordineli şekilde kullanılmasını mümkün kılmaktadır (Gumbs et al., 2021).

Hali hazırdaki robotik cerrahi, minimal invaziv teknolojiye bir örnek ya da mekanik, mekatronik ve elektroniğin bir birleşimi gibi değerlendirilebilir. Fakat bu bakış açısı, cerrahi robotların yeteneklerini oldukça yüzeysel bir şekilde tanımlar. Robotik cerrahinin esas gücü, otonom eylemler oluşturma potansiyelinde yatmaktadır. Günümüzde cerrahi robotlar bir cerrahin kontrolü altında çalışsa da bu sistemler aslında kısmen otonom hareket edebilme kapasitesine sahiptir (Gumbs vd., 2007). Otonom hareket yeteneğine sahip bu cihazlara, Yapay Zekâ Cerrahisi demek mümkündür (Gumbs et al., 2021; Oosterhoff & Doornberg, 2020:593).

Yapay zekânın cerrahi ve tıbbi alanlarda işlevlerini yerine getirmesine yardımcı olan çeşitli alt dalları bulunmaktadır. Bunlar arasında Derin Öğrenme, Makine Öğrenimi ve Doğal Dil İşleme öne çıkmaktadır. Bu alt alanlar, cerrahi işlemde cerrahlara karar vermede destek sağlamaktadır. Cerrah ile robotun etkileşim anında geri bildirim iletiminde yapay zekâ algoritmaları, kısmen özerk hareket yeteneği göstermektedir. Ayrıca algoritmaların daha sık uygulanmasıyla bu özerkliğin artması beklenmektedir (Panesar et al., 2019: 224; Kumar et. Al., 2021: 414). Ayrıca, yapay zekânın cerrahlar ve diğer sağlık çalışanları için iş akışını iyileştireceği ve maliyetleri düşüreceği yönünde olumlu etkiler yaratması beklenmektedir. Bunlar Şekil 2'de gösterilmektedir;



Şekil 2 Yapay Zeka Teknolojisini İçeren Temel Sağlık Alanları (Habuza et al., 2021:3).

İlki, Şekil 2'de de gösterildiği gibi çalışmanın temel konusunu oluşturan sağlık hizmetlerinde robotik uygulamalardır. Bu alanda robotlar, yapay zeka teknolojisi ile entegre bir şekilde sağlık çalışanlarına yardımcı olmakta; tekrarlayan görevleri yerine getirme, cerrahi operasyonları gerçekleştirme, fizik tedavi hizmetleri sağlama ve kronik hastalıklara sahip bireyler ile yaşlılara bakım sunma gibi görevlerde destek sağlamaktadır. İkincisi tıbbi görüntü analizinde ise yapay zeka, başta hastaların tıbbi görüntülerini incelemekte ve üçüncüsü olan hassas tıp alanında yapay zeka, hasta odaklı bir yaklaşımı benimsemektedir.

Yapay zekâ entegreli sağlık hizmetlerinde bir sonraki aşama, otonom işlemlerin hayata geçirilmesidir. Otonom robotlar, insan yeteneklerinin eksik kaldığı durumlarda üstün hesaplama hassasiyeti sunan özelliklere sahiptir. Alexa veya Siri gibi akıllı asistanlar sayesinde soruları sözlü olarak yanıtlayabilir, bilgisayarlı görme algoritmalarıyla

ameliyat öncesi görüntüleme yaparak organlardaki tümörleri tespit edebilirler. Ayrıca ameliyathane odasının sıcaklığını, basınç değerlerini ve ışık seviyelerini ayarlayabilir; ameliyat masasının eğimini ve yüksekliğini yapay zekâ desteğiyle kontrol edebilirler (Camarillo vd., 2004; Miehle vd., 2020).

Akıllı Doku Otonom Robotu (STAR) ile bağırsak ameliyatları sonrasında bağırsakların birbirine dikilmesi işlemini uzman cerrahlara kıyasla üstün verimlilik ve hassasiyetle gerçekleştirmiştir. Benzer şekilde AlphaZero robotu derin öğrenme algoritmasından yararlanarak STAR robotunun yaptığı işlemleri yapabilmektedir (Shademan et al., 2016:1; Panesar et al., 2019:223). Yapay zekânın robotik cerrahide kullanımı konusunda bazı araştırmacılar tamamen faydalı, bazıları ise tamamen faydasız olduğu görüşünü savunsa da, bu teknolojinin kullanımının hızla yaygınlaştığı gerçeği göz ardı edilemez.

Sağlık Hizmetlerinde Robotik Cerrahi başlığı altında ele alınanlar, dünya genelinde yaşanan gelişmelerin bir özeti olarak değerlendirilebilir. Türkiye'deki ilerlemelerin de bu küresel gelişmelere paralel olarak hızla artış gösterdiği söylenebilir;

Bu bağlamda, Türkiye'deki güncel Sağlık Bakanlığı Merkez Teşkilat Yapısı içinde Sağlık Bilgi Sistemleri Genel Müdürlüğü bünyesinde Yapay Zeka ve Yenilikçi Teknolojiler Daire Başkanlığı ve Ulusal Projeler Yönetim Koordinatörlüğü altında Yapay Zekâ ve Giyilebilir Teknolojiler Birimlerinin yer alması Türkiye'de kurumsal yapılanmanın oluşturulduğunu göstermektedir (T.C. Sağlık Bakanlığı Sağlık Bilgi Sistemleri Genel Müdürlüğü, 2024). Diğer taraftan Türkiye Cumhuriyeti Cumhurbaşkanlığı Dijital Dönüşüm Ofisi, Ulusal Yapay Zeka Stratejisi 2021-2025 yayınlarak bu kurumlar ve faaliyetlerinden söz etmektedir (T.C. Cumhurbaşkanlığı Dijital Dönüşüm Ofisi & T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, 2021).

Konuyla ilgili bir diğer kuruluş Türkiye Sağlık Enstitüleri Başkanlığı (TÜSEB)'dir. TÜSEB, sağlık bilimleri ve teknolojileri alanında planlı ve sürdürülebilir destekler sağlamak amacıyla oluşturulmuştur. Türkiye, bu başkanlığı Sağlık Bakanlığı teşkilat yapısına dahil ederek, sağlık hizmeti sunan ve bu hizmetlerden yararlanan bireylerin refahını artırmaya yönelik önemli bir adım atmıştır. Başkanlık bugüne kadar 2018-2023 yıllarına ait altı adet faaliyet raporu ile 2019-2023 ve 2024-2028 dönemlerini için stratejik raporlar yayımlamıştır. Stratejik raporlarda cerrahi robotlarla ilgili herhangi bir ifade yer almadığı görülmüştür. Faaliyet raporları incelendiğinde ise 2018, 2019 ve 2020 yıllarında cerrahi robotlarla ilgili bir bilgiye rastlanmamıştır. Ancak, 2021 yılına ait raporda "Bilgi Teknolojilerine Yönelik Faaliyetler" başlığı altında şu ifadeler dikkat çekmektedir (TÜSEB, 2021):

"TÜYZE (Türkiye Sağlık Veri Araştırmaları ve Yapay Zeka Uygulamaları Enstitüsü) bünyesinde yürütülmesi planlanan robotik ve yapay zekâ tabanlı AR-GE projeleri için bir laboratuvar kurulmuştur. Laboratuvar da rehabilitasyon robotları, biyomekanik ve biyolojik ölçüm cihazları, yapay zeka tabanlı sinyal ve görüntü işleme algoritmaları, karar destek sistemleri, insansı robotlar, ortez ve protezler üzerine çalışmalar yapılması planlanmaktadır."

"Robotik ve Yapay Zeka Laboratuvarı'nda kullanılmak üzere gerekli olan ekipmanlar ve cihazların alım süreçleri tamamlanmıştır."

Bu ifadede, gelişmelerin TÜYZE çatısı altında planlandığına değinilmektedir. 2019'da TÜSEB tarafından kurulan TÜYZE, yapay zekâ ve veri araştırmaları için sağlık hizmetlerine yönelik yenilikçi araştırma ve geliştirme faaliyetlerini yürütmeyi amaçlamaktadır. TÜYZE'nin vizyonunda, yapay zekâ teknolojilerinin, giyilebilir ve akıllı tıbbi cihazların ve robotik sistemlerin teşhis ve tedavi süreçlerinde kullanılması yer almakta olup, bu durum sağlık hizmetlerinde yeni bir dijital ekosistem oluşturma hedefini yansıtmaktadır (TÜSEB, 2022). 2022 ve 2023 yılı Faaliyet Raporları incelendiğinde Robotik ve Yapay Zeka Laboratuvarı'nın aktif bir şekilde kullanıldığı yapılan projelerle çalışmaların zenginleştiği görülmektedir. Ayrıca TÜYZE robotik cerrahi ve yapay zeka üzerine çeşitli kongrelere ve etkinliklere katılarak konuya vurgu yapmıştır (TÜSEB, 2022:65-75; TÜSEB, 2023:70). Ayrıca, henüz kurulma aşamasında olan Akıllı Medikal Cihaz Teknolojileri Birimi'nin, gelecekte cerrahi robotlara yönelik çalışmalar yapması öngörülmektedir.

TÜYZE'nin kurulmasıyla birlikte, TÜSEB'in yayınladığı raporlarda robotlar ve cerrahi robotlarla ilgili bilgilere yer vermeye başlanmıştır. Özellikle 2021 yılı faaliyet raporunda cerrahi robotlardan bahsedilmesi, bu alandaki stratejik düzenlemelerin henüz hazırlık aşamasında olduğunu göstermektedir. İlk cerrahi robot operasyonlarının 2004'te gerçekleştirilmiş olması göz önüne alındığında, operasyon sayılarındaki ciddi artış eğilimi, bu alanda gelecekte daha yoğun çalışmalar yapılacağına işaret etmektedir. Bu artışın, Sağlık Bakanlığı'nın bu yöndeki girişimlerini

hızlandırdığı da söylenebilir.

Sonuç

Robotik cerrahinin gelişimi, sağlık alanında önemli bir dönüşümü beraberinde getirmiştir. Özellikle yapay zekâ ile desteklendiğinde, bu teknolojinin yetenekleri daha da artmakta ve cerrahi müdahalelerin hassasiyeti yükselmektedir. Robotik cerrahinin ilk uygulamalarının üroloji alanında gerçekleşmesi, bu uzmanlık dalının teknik ve teknolojik açıdan diğer branşlara kıyasla daha ileride olmasını sağlamıştır. Bu durum, robotik cerrahinin etkin bir şekilde çalışabilmesi için güçlü bir teknolojik altyapıya ihtiyaç duyduğunu da ortaya koymaktadır.

Özellikle Amerika gibi ülkelerde bu teknolojinin daha yaygın olması, gelişmiş sağlık sistemleri ve araştırma yatırımlarıyla doğrudan ilişkilidir. Türkiye’de ise TÜSEB, Cumhurbaşkanlığı Dijital Dönüşüm Ofisi ve Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı gibi kurumlar bu gelişimi desteklemekte ve dünya ile paralel bir ilerleme kaydedilmektedir. Üroloji gibi hassas alanlarda sağladığı kolaylıklar, robotik cerrahinin yaygınlaşmasının temel nedenlerinden biridir. Bunun yanı sıra, yapay zekâ ile desteklenen sistemler sayesinde cerrahi süreçlerin öğrenilebilirliği artmakta, hasta güvenliği ve operasyonel başarı oranları yükselmektedir.

Ancak robotik cerrahinin yaygınlaşması yalnızca teknik gelişmelerle sınırlı değildir. Bu teknolojinin cerrahlar, hastalar, hastaneler ve sağlık sistemleri açısından çok boyutlu bir değerlendirmeye tabi tutulması gerekmektedir. Cerrahlar açısından bakıldığında, robotik cerrahiye uyum sağlayabilmek için ciddi bir eğitim süreci gerekmektedir. Hastalar için ise bu tür ameliyatların sağladığı minimal invazivlik avantajlarına rağmen, maliyet açısından erişilebilirliği önemli bir konu olarak öne çıkmaktadır. Hastaneler ve hastane yönetimleri açısından robotik sistemlerin kurulumu ve işletilmesi büyük finansal yatırımlar gerektirirken, sağlık sistemleri bazında bu teknolojinin etik, hukuki ve sosyolojik boyutları da tartışılmalıdır.

Sonuç olarak, robotik cerrahinin sağlık alanındaki rolü giderek güçlenmektedir. Ancak teknolojinin bu denli hızlı ilerlemesi, sadece cerrahların yetkinliklerini değil, aynı zamanda sağlık sistemlerinin altyapısını, maliyet yönetimini, hasta haklarını ve etik tartışmaları da beraberinde getirmektedir. Dolayısıyla, robotik cerrahinin başarısı yalnızca donanım ve yazılım gelişmeleriyle değil, aynı zamanda bu teknolojinin etkin kullanımını sağlayacak eğitim, sağlık politikaları ve etik çerçevelerle de doğrudan bağlantılıdır.

KAYNAKÇA

- Abbou, C. C., Hoznek, A., Salomon, L., Olsson, L. E., Lobontiu, A., Saint, F., Cicco, A., Antiphon, P., & Chopin, D. (2001). Laparoscopic radical prostatectomy with a remote controlled robot. *Journal of Urology*, 165(6), 1964-1966. <https://doi.org/10.1097/00005392-200106000-00027>
- Akbaba, A. İ., Gündoğdu, Ç., & Geliş, M. (2021). Bir Servis Robotu Olarak Telepresence (Uzabulunum) Robotlar. *Pamukkale Üniversitesi İşletme Araştırmaları Dergisi (PIAR)*, 2(8), 649-667. <https://doi.org/10.47097-piar.1026348-2091638>
- Andras, I., Mazzone, E., van Leeuwen, F. W. B., De Naeyer, G., van Oosterom, M. N., Beato, S., Buckle, T., O’Sullivan, S., van Leeuwen, P. J., Beulens, A., Crisan, N., D’Hondt, F., Schatteman, P., van Der Poel, H., Dell’Oglio, P., & Mottrie, A. (2020). Artificial Intelligence and Robotics: A Combination That is Changing the Operating Room. *World Journal of Urology*, 38(10), 2359-2366. <https://doi.org/10.1007/S00345-019-03037-6/FIGURES/1>
- Ballantyne, G. H. (2002). Robotic Surgery, Telerobotic Surgery, Telepresence, and Telementoring: Review of Early Clinical Results. *Surgical Endoscopy and Other Interventional Techniques*, 16(10), 1389-1402. <https://doi.org/10.1007/s00464-001-8283-7>
- Bann, S., Khan, M., Hernandez, J., Munz, Y., Moorthy, K., Datta, V., Rockall, T., & Darzi, A. (2003). Robotics in surgery. *Journal of the American College of Surgeons*, 196(5), 784-795. [https://doi.org/10.1016/S1072-7515\(02\)01750-7](https://doi.org/10.1016/S1072-7515(02)01750-7)
- Bini, S. A. (2018). Artificial Intelligence, Machine Learning, Deep Learning, and Cognitive Computing: What Do These Terms Mean and How Will They Impact Health Care? *The Journal of Arthroplasty*, 33(8), 2358-2361. <https://doi.org/10.1016/J.ARTH.2018.02.067>
- Camarillo, D. B., Krummel, T. M., & Salisbury, J. K. (2004). Robotic Technology in Surgery: Past, Present, and Future. *The American Journal of Surgery*, 188(4), 2-15. <https://doi.org/10.1016/J.AMJSURG.2004.08.025>
- Cansever, L., & Duman, S. (2018). Derleme|Review Minimal İnvaziv Cerrahi Seçenekleri; VATS ve RATS Minimally Invasive Thoracic Surgery; VATS & RATS. *Güncel Göğüs Hastalıkları Serisi*, 6(3), 45-51. <https://doi.org/10.5152/gghs.2018.040>
- Coşgun, T., Akın, O., Akpınar, H., & Asım Kutlu, C. (2013). The first case of robotic left lower lobectomy in Turkey Süreyyapaşa Göğüs Hastalıkları ve Göğüs Cerrahisi Eğitim ve. *Türk Göğüs Kalp Damar Cerrahisi Dergisi*, 21(1), 225-228. <https://doi.org/10.5606/tgkdc.dergisi.2013.4762>
- Çavdar, T., Aymaz, Ş., & Aymaz, S. (2016). Uzabulunum Robotlarda Konum Tespiti. 181-184. https://www.researchgate.net/publication/311583197_Uzabulunum_Robotlarda_Konum_Tespiti
- da Vinci Cerrahisi. (2024). Robotik Cerrahi yapan hastaneler. da Vinci Cerrahisi. <https://www.davincicerrahisi.com/>

hospitals/ Erişim tarihi: 21.11.2024

Dahl, T. S., & Boulos, M. N. K. (2013). Robots in Health and Social Care: A Complementary Technology to Home Care and Telehealthcare? *Robotics*, 3(1): 1-21. <https://doi.org/10.3390/ROBOTICS3010001>

Davies, B. L., Hibberd, R. D., Ng, W. S., Timoney, A. G., & A Wickham, J. E. (1991). The Development of a Surgeon Robot for Prostatectomies. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers*, 205(1), 35-38. https://doi.org/10.1243/PIME_PROC_1991_205_259_0

De Togni, G., Erikainen, S., Chan, S., & Cunningham-Burley, S. (2021). What makes AI 'Intelligent' and 'Caring'? Exploring Affect and Relationality Across Three Sites of Intelligence and Care. *Social Science and Medicine*, 2021(277), 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.socscimed.2021.113874>

Dede, M., Yenen, C., Keskin, U., Alanbay, İ., Özkan, Ö., & Tıp, G. (2013). Robotik Histerektomi: Türkiye'de Üniversite Hastanelerindeki İlk Deneyim OLGU SUNUMU/CASE REPORT. *Gülhane Tıp Degisi*, 55, 141-154. <https://doi.org/10.5455/gulhane.39839>

Deo, N., & Anjankar, A. (2023). Artificial Intelligence With Robotics in Healthcare: A Narrative Review of Its Viability in India. *Cureus*, 5(15), 1-9. <https://doi.org/10.7759/cureus.39416>

Esen, E., Aytac, E., Ozben, V., Bas, M., Bilgin, I. A., Aghayeva, A., Baca, B., Hamzaoglu, I., & Karahasanoglu, T. (2019). Adoption of robotic technology in Turkey: A nationwide analysis on caseload and platform used. *International Journal of Medical Robotics and Computer Assisted Surgery*, 15(1), 1-7. <https://doi.org/10.1002/RCS.1962>

Fairag, M., Almahdi, R. H., Siddiqi, A. A., Alharthi, F. K., Alqurashi, B. S., Alzahrani, N. G., Alsulami, A., & Alshehri, R. (2024). Robotic Revolution in Surgery: Diverse Applications Across Specialties and Future Prospects Review Article. *Cureus*, 1(16), 1-10. <https://doi.org/10.7759/cureus.52148>

Fiorillo, M. A., Davidson, P. G., Fiorillo, M., Jr, A., Sithian, N., & Silich, R. J. (1996). 149 Ambulatory Laparoscopic Cholecystectomies. *Surgical Endoscopy*, 10, 52-56. <https://link.springer.com/article/10.1007/s004649910013>

Ginoya, T., Maddahi, Y., & Zareinia, K. (2021). A Historical Review of Medical Robotic Platforms. *Journal of Robotics*, 2021, 1-13. <https://doi.org/10.1155/2021/6640031>

Gosrisirikul, C., Don Chang, K., Raheem, A. A., & Rha, K. H. (2018). New Era of Robotic Surgical Systems. *Asian Journal of Endoscopic Surgery*, 11(4), 291-299. <https://doi.org/10.1111/ASES.12660>

Göçmen, A., Şanlıkan, F., & Uçar, M. G. (2010). Turkey's experience of robotic-assisted laparoscopic hysterectomy: A series of 25 consecutive cases. *Archives of Gynecology and Obstetrics*, 282(2), 163-171. <https://doi.org/10.1007/S00404-009-1250-6/TABLES/3>

Gözen, A., & Rassweiler, J. (2020). Robotic Surgery in Urology: New Kids on The Block. *Urologe*, 59(9), 1044-1050. <https://doi.org/10.1007/S00120-020-01293-8/TABLES/1>

Guillonneau, B., Capple, O., Martinez, J. B., Navarra, S., & Vallancien, G. (2001). Robotic Assisted, Laparoscopic Pelvic Lymph Node Dissection in Humans. *The Journal of Urology*, 165, 1078-1081. <https://doi.org/10.1097/00005392-200104000-00004>

Guillonneau, B., Jayet, C., Tewari, A., & Vallancien, G. (2001). Robot Assisted Laparoscopic Nephrectomy. *Journal of Urology*, 166(1), 200-201. [https://doi.org/10.1016/S0022-5347\(05\)66111-3](https://doi.org/10.1016/S0022-5347(05)66111-3)

Gumbs, A. A., Crovari, F., Vidal, C., Henri, P., & Gayet, B. (2007). Modified robotic lightweight endoscope (ViKY) validation in vivo in a porcine model. *Surgical innovation*, 14(4), 261-264. <https://doi.org/10.1177/1553350607310281>

Gumbs, A. A., Frigerio, I., Spolverato, G., Croner, R., Illanes, A., Chouillard, E., & Elyan, E. (2021). Artificial Intelligence Surgery: How Do We Get to Autonomous Actions in Surgery? *Sensors (Basel, Switzerland)*, 21(16), 1-18. <https://doi.org/10.3390/S21165526>

Habuza, T., Navaz, A. N., Hashim, F., Alnajjar, F., Zaki, N., Serhani, M. A., & Statsenko, Y. (2021). AI Applications in Robotics, Diagnostic Image Analysis and Precision Medicine: Current Limitations, Future Trends, Guidelines on CAD Systems for Medicine. *Informatics in Medicine Unlocked*, 24(2021), 1-31. <https://doi.org/10.1016/J.IMU.2021.100596>

Hill, J. W., Holst, P. A., Jensen, J. F., Goldman, J., Gorf, Y., & Ploeger, D. W. (1998). Telepresence Interface with Applications to Microsurgery and Surgical Simulation. *Studies in Health Technology and Informatics*, 50, 96-102. <https://doi.org/10.3233/978-1-60750-894-6-96>

Himpens, J., Leman, G., & Cadiere, G. B. (1998). Telesurgical laparoscopic cholecystectomy. *Surgical endoscopy*, 12(8), 1091. <https://doi.org/10.1007/S004649900788>

Hockstein, N. G., Gourin, C. G., Faust, R. A., & Terris, D. J. (2007). A History of Robots: From Science Fiction to Surgical Robotics. *Journal of Robotic Surgery*, 1(2), 113-118. <https://doi.org/10.1007/s11701-007-0021-2>

Intuitive. (2022). Intuitive | Robotic Assisted Systems | da Vinci Robot. Intuitive Surgical. <https://www.intuitive.com/en-us/products-and-services/da-vinci/systems> Erişim tarihi: 11.10.2024

Intuitive Surgical. (2024). About. Intuitive Surgical.

Jaffray, B. (2005). Minimally Invasive Surgery. *Archives of Disease in Childhood*, 90(5), 537-542. <https://doi.org/10.1136/adc.2004.062760>

Kalan, S., Chauhan, S., Coelho, R. F., Orvieto, M. A., Camacho, I. R., Palmer, K. J., & Patel, V. R. (2010). History of robotic surgery. *Journal of Robotic Surgery*, 4(3), 141-147. <https://doi.org/10.1007/S11701-010-0202-2>

Kinross, J. M., Mason, S. E., Mylonas, G., & Darzi, A. (2020). Next-Generation Robotics in Gastrointestinal Surgery. *Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology* 2020 17:7, 17(7), 430-440. <https://doi.org/10.1038/s41575-020-0290-z>

Kwoh, Y., Hou, J., Jonckheere, E., & Hayati, S. (1988). A Robot with Improved Absolute Positioning Accuracy for CT Guided Stereotactic Brain Surgery. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 35(2), 153-160. <https://doi.org/10.1109/10.1354>

Lanfranco, A. R., Castellanos, A. E., Desai, J. P., & Meyers, W. C. (2004). Robotic Surgery: A Current Perspective. *Annals of*

Surgery, 239(1), 14-21. <https://doi.org/10.1097/01.SLA.0000103020.19595.7D>

Miehle, J., Ostler, D., Gerstenlauer, N., & Minker, W. (2020). The Next Step: Intelligent Digital Assistance for Clinical Operating Rooms. *Innovative Surgical Sciences*, 2(3), 159-161. https://doi.org/10.1515/ISS-2017-0034/DOWNLOADASSET/SUPPL/ISS-2017-0034_SUPPL.PDF

Okamura, A. M., Mataric, M. J., & Christensen, H. I. (2010). Medical and Health-care Robotics. *IEEE Robotics and Automation Magazine*, 17(3), 26-37. <https://doi.org/10.1109/MRA.2010.937861>

Oleynikov, D. (2008). Robotic Surgery. *Surgical Clinics of North America*, 88, 1121-1130. <https://doi.org/10.1016/j.suc.2008.05.012>

Oosterhoff, J. H. F., & Doornberg, J. N. (2020). Artificial intelligence in orthopaedics: false hope or not? A narrative review along the line of Gartner's hype cycle. *EFORT Open Reviews*, 5(10), 593-603. <https://doi.org/10.1302/2058-5241.5.190092>

Oude Vrielink, T. J. C., Vitiello, V., & Mylonas, G. P. (2020). Robotic surgery in cancer. *İçinde Bioengineering Innovative Solutions for Cancer* (ss. 245-269). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813886-1.00012-7>

Panesar, S., Cagle, Y., Chander, D., Morey, J., Fernandez-Miranda, J., & Kliot, M. (2019). Artificial Intelligence and the Future of Surgical Robotics. *Annals of Surgery*, 270(2), 223-226. <https://doi.org/10.1097/SLA.0000000000003262>

Prasad, S. M., Ducko, C. T., Stephenson, E. R., Chambers, C. E., & Damiano, R. J. (2001). Prospective Clinical Trial of Robotically Assisted Endoscopic Coronary Grafting With 1-Year Follow-Up. *Annals of Surgery*, 233(6), 732. <https://doi.org/10.1097/00000658-200106000-00001>

Rassweiler, J. J., Autorino, R., Klein, J., Mottrie, A., Goezen, A. S., Stolzenburg, J. U., Rha, K. H., Schurr, M., Kaouk, J., Patel, V., Dasgupta, P., & Liatsikos, E. (2017). Future of robotic surgery in urology. *BJU International*, 120(6), 822-841. <https://doi.org/10.1111/BJU.13851>

Rininsland, H. H. (1993). Basics of robotics and manipulators in endoscopic surgery. *Endoscopic Surgery and Allied Technologies*, 1(3), 154-159. <https://europepmc.org/article/med/8055316>

Salkowski, M., Checcucci, E., Chow, A. K., Rogers, C. C., Adbollah, F., Liatsikos, E., Dasgupta, P., Guimaraes, G. C., Rassweiler, J., Mottrie, A., Breda, A., Crivellaro, S., Kaouk, J., Porpiglia, F., & Autorino, R. (2023). New Multiport Robotic Surgical Systems: A Comprehensive Literature Review of Clinical Outcomes in Urology. *Therapeutic Advances in Urology*, 15, 1-13. <https://doi.org/10.1177/17562872231177781>

Satava, R. M. (2002). Surgical Robotics: The Early Chronicles. *Surgical Laparoscopy, Endoscopy & Percutaneous Techniques*, 12(1), 6-16. <https://doi.org/10.1097/00129689-200202000-00002>

Schurr, M. O., Buess, G., Neisius, B., & Voges, U. (2000). New technology Robotics and telemanipulation technologies for endoscopic surgery A review of the ARTEMIS project. *Surgical Endoscopy Ultrasound and Interventional Techniques*, 14, 375-381. <https://doi.org/10.1007/s004640020067>

Shademan, A., Decker, R. S., Opfermann, J. D., Leonard, S., Krieger, A., & Kim, P. C. W. (2016). Supervised Autonomous Robotic Soft Tissue Surgery. *Science Translational Medicine*, 8(337), 1-9. https://doi.org/10.1126/SCITRANSLMED.AAD9398/SUPPL_FILE/8-337RA64_SM.PDF

T.C. Cumhurbaşkanlığı Dijital Dönüşüm Ofisi, & T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı. (2021). Ulusal Yapay Zekâ Stratejisi (UYZS) 2021-2025. <https://cbddo.gov.tr/uyzs>

T.C. Sağlık Bakanlığı Sağlık Bilgi Sistemleri Genel Müdürlüğü. (2024). Yapay Zekâ ve Yenilikçi Teknolojiler Daire Başkanlığı. T.C. Sağlık Bakanlığı Sağlık Bilgi Sistemleri Genel Müdürlüğü.

TÜSEB. (2022). 2022 YILI İDARE FAALİYET RAPORU. <https://www.tuseb.gov.tr/kurumsal/faaliyet-raporlari>

TÜSEB. (2023). 2023 YILI İDARE FAALİYET RAPORU. <https://www.tuseb.gov.tr/kurumsal/faaliyet-raporlari>

Üçer, O., & Gümüş, B. (2010). Ürolojik cerrahide teknikler değişiyor mu. *Dicle Tıp Dergisi*, 37(2), 186-192. https://app.trdizin.gov.tr/dokuman-goruntule?ext=pdf&path=CrnWZGRsXTjRlJWxD978OSUAL2jXitizhVYmCxNvH7G_U4kiv2kzJcPI0Uz4L8CJvgiJgnQPAM1ISFeDBvZLWjybDYI9yiuN9SMfIozBdqYBGba8YatuHRIlopxOOPK98Ja8MqfmBLj7-U3kEb4qf9H6VpL7V3gR7KlrKgNNYvjZxNPF7vIJTSPfVODHp3pkFFUEIFK3hJUeYkfranRYDXdtlgOsSelvOek8iT8iqM=&contentType=application/pdf

Vanni, K., & Salin, S. (2017). A need for service robots among health care professionals in hospitals and housing services. *İçinde A. Kheddar, E. Yoshida, S. Sam Ge, K. Suzuki, J.-J. Cabibihan, F. Eysse, & H. He (Ed.), Social Robotics: 9th International Conference* (1. bs, C. 1, ss. 179-187). Springer. <https://books.google.com.tr/books?id=x2A-DwAAQBAJ&pg=PA178&dq=A+need+for+service+robots+among+health+care+professionals+in+hospitals+and+housing+services.+In:+International+Conference+on+Social+Robotics.&hl=tr&sa=X&ved=2ahUKEwip7eHX0t72AhV-wQIHQAQmC0wQ6AF6BAgCEAI#v=onepage&q=A%20need%20for%20service%20robots%20among%20health%20care%20professionals%20in%20hospitals%20and%20housing%20services.%20In%3A%20International%20Conference%20on%20Social%20Robotics.&f=false>

Vierra, M. (1995). Minimally Invasive Surgery. *Annual Review of Medicine*. 46, 147-158. www.annualreviews.org.

Wickham, J. (1991). Minimally Invasive Treatment. *Health Trends*, 23(1), 6-9. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/10170823/>

Zegarra, R. F., Saba, A., & Peschiera, J. L. (1997). Outpatients Laparoscopic Cholecystectomy: Safe and Cost Effective? *Surgical Laparoscopy & Endoscopy*, 7(6), 487-490. https://journals.lww.com/surgical-laparoscopy/abstract/1997/12000/outpatient_laparoscopic_cholecystectomy__safe_and.12.aspx