

Genel cerrahi pratiğinde robot kullanımı

Prof. Dr. Mustafa Öncel



2001 yılında Fatih Üniversitesi Tıp Fakültesinde uzmanlık eğitimi tamamlayarak iç hastalıkları uzmanı oldu. Endokrinoloji yan dal ihtisasını yaptığı Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tıp Fakültesinde uzun yıllar görev yaptı. Genel cerrahi ve onkolojik cerrahi uzmanı olan Dr. Öztürk'ün özel ilgi alanı minimal invaziv cerrahi, kanser cerrahisi ve kolorektal cerrahidir. Kendisi hâlen İstanbul Medipol Üniversitesi Tıp Fakültesi Öğretim Üyesi olarak görev yapmakta ve aynı üniversitede Genel Cerrahi Ana Bilim Dalı Başkanlığı görevini sürdürmektedir.

Son 40 yılda minimal invaziv yaklaşımlar, konvansiyonel açık teknikteki cerrahi kaliteden taviz vermeden hastada daha az travma oluşturan yöntemler olarak sunulmuş ve yaygınlaşmıştır. Robotik sistemler, daha ileri hassasiyet özelliği ile geleneksel laparoskopinin sınırlamalarını aşmayı hedeflemektedir. Robotik cerrahi pazarı, sunduğu yeni özelliklerle birlikte gelecek yıllarda muhtemelen daha çeşitli ve dolayısıyla daha karmaşık hâle gelecektir. Bu çalışmanın amacı uzlaşmış ve tartışmalı bölgelerin altını çizerek robotik cerrahinin güncel durumuna tarafsız ve gerçekçi bir bakış sağlamaktır.

Tanımlar ve Kavramlar

Robotik terimi, Çekçe'de 'hizmetçi' veya 'işçi' anlamına gelen 'robota' kelimesinden türetilmiştir. Bu terimin ilk tanımı 1979 yılında Amerika Robot Enstitüsü tarafından yapılmıştır: "Çeşitli görevlerin yerine getirilmesi için malzemeleri değişik programlanmış hareketlerle taşımak için tasarlanmış çok fonksiyonlu uzuvları olan makinalardır" (1).

Ameliyathanede kullanılan robotlar ihtiyaçlar doğrultusunda çok çeşitlilik kazanmıştır. Mikroskop, robotik kol desteği, robotik ameliyathane hemşiresi, robotik ışıklandırma sistemleri, temizlik robotlarının yanı sıra yeni bir konsept olarak robotik ameliyathane kavramı ile görüntüleme, navigasyon hatta yapay zekâ sistemleriyle bütünleşmiş karar

verme ve ameliyat sonrası riskleri azaltıcı yardımcı robotik sistemler günlük pratiğe yavaş yavaş dâhil olmaya başlamıştır. Ancak bu yazının boyutlarını aştıkları için, burada genel cerrahi pratiğinde kullanılan robotik platformlar tartışılacaktır.

Robotik cerrahiden, özellikle abdominal ve torasik boşluklarda kullanımından bahsedildiğinde pazarda neredeyse tek konumunda olan da Vinci® platformu (Intuitive Surgical) akla gelen ilk isimdir. Oysa bu alanda çok sayıda platform bulunmaktadır. Bir örnek vermek gerekirse 2023 yılında bu alandaki bir toplantıda 46 robotik platform tanıtılmıştır. Bu gerekçeyle robotların genel bir sınıflaması gerekli olabilir (2).

Geleneksel olarak robotlar işletim modellerine göre üç şekilde sınıflandırılır. Güncel kullanımda olan robotların neredeyse tamamında işletim emreden-uygulayan (master-slave olarak adlandırılır) şeklindedir. Burada robot, cerrahin yardımcısıdır ve cerrahin yapılmasını istediği eylemi eş zamanlı olarak gerçekleştirir. Yarı otonom sistemlerde ise cerrah, robotu koordine eder robotsa bu direktifi uygular. Çoğu biyopsi robotunun işletimi bu tanıma uyar. Tamamen otonom robotlar ise günümüzde günlük pratikte yer almamaktadır ancak geliştirilmesi için çaba sarf edilmektedir. Yapay zekâ programları yakın bir gelecekte bu tür robotların yaygınlaşmasına yardımcı olabilir. Bir başka sınıflandırma sistemi ise robotları kullanım alanlarına göre çeşitlere ayırmak için yapısal açıdan

değerlendirmektedir. Bu bağlamda robotlar mimarilerine (rijit veya flexible), port sayısına (tek, çoklu) ve konfigürasyona (tek veya çoklu kol, modüler veya entegre taşıma) göre tasnif edilmiştir. Böylece çok sayıda platformun hangi amaçlara uygun olarak kullanılabileceğinin belirlenmesinde yardımcı olabilir (3).

Tarihçe

İnsanoğlu yüzyıllardır kendi gücünü aşan işleri yapabilmek için makine yardımı alıyor olsa da robot kullanımı insanın bulunmadığı/bulunamayacağı yerlerde işin tamamlanması ve tekrarlayan veya hassas görevlerin yerine getirilmesi amaçlarıyla yarım asrı aşan süredir kullanıma girmiş ve hızla yaygınlık kazanmıştır. Bu teknolojik ilerlemenin tıba yansımaları ise yine aynı hedefleri amaçlayarak son birkaç 10 yılda gerçekleşmiştir.

İnsanda kullanılan ilk robot PUMA 200 ilk olarak hassas girişim gerektiren nörolojik biyopsileri 1985 yılında başarılı bir şekilde aldı, birkaç yıl sonra ise ürolojide, özellikle prostat cerrahisinde kullanılmaya başlandı (4). Bu makine yaygın bir kullanım alanı bulamasa da kalça protezi cerrahisinin hassasiyetini artırmak amacıyla tasarlanan ROBO-DOC Amerika Birleşik Devletleri'nde Gıda ve İlaç İdaresi Bürosunun (Food and Drug Administration, FDA) onayını almayı başaran ilk robot sistemi oldu ve 1992 yılında kullanılmaya başlandı. Hassas işlemlerin yanı sıra insanın olmadığı yerlerde cerrahi prosedürlerin gerçek-



leşmesi robotik teknolojinin gelişmesini sağlayan diğer motivasyon unsuruydu. Bu konseptin NASA ve ABD ordusunun da önemini fark ederek potansiyel gördüğü bir durum olması robotların kamusal ve ticari alanda gelişimini hızlandırdı. ZEUS platformu sesle de aktive edilen AESOP kamera sistemini kullanırken, da Vinci® platformu ise iki görüşlü lensi ile üç boyutlu görüntü almayı sağlayan bir tekniği geliştirdi. Bu platform 1991 yılında ilk kolesistektomiyi Belçika'da gerçekleştirdi. ZEUS platformu ise insanda ilk defa 1998 yılında kullanıldı. 2001 yılında da ZEUS sistemi kullanılarak cerrahın New York'ta, hastanın ise Strasbourg, Fransa'da bulunduğu ilk transatlantik kolesistektomi yapılarak uzaktan uygulama amacına ulaşılmış oldu (5). Uzun yıllar sonrasında bile gereklilikleri konusundaki sorular tamamen yanıtlanmamış olsa da günümüzde birçok cerrahi alanda bazı avantajları nedeniyle yaygın olarak kullanılmaktadır. İlk iki platformun birleştirilmesi sonrasında Intuitive Surgical tarafından DaVinci® platformunun yeni ardışık versiyonları geliştirilmiştir. Bununla birlikte çok sayıda yenilikçi firma eş zamanlı olarak başta maliyet olmak üzere mevcut sorunlara çözüm sunan alternatif platformları tanıtarak rekabet ve çeşitlilik getirmeyi amaçlamaktadır.

Robotik Cerrahi ve Laparoskopik Cerrahi

Robotik ve laparoskopik cerrahi açık konvansiyonel tekniğe göre daha küçük insizyon gerektiren minimal invaziv cerrahi yöntemleridir ve bu açıdan konvansiyonel cerrahiden ayrı bir kategoride yer almaktadır. Minimal invaziv cerrahi açık cerrahi ile kıyaslandığında daha az ağrı, daha az kan kaybı, daha düşük enfeksiyon riski, daha küçük yara izi, daha kısa hastanede kalış süresi ve daha hızlı iyileşme gibi avantajlar sağlar. Ancak robotik ve laparoskopik teknikler uygulama yöntemleri ve kullanılan teknolojiler açısından farklıdır ve birbirlerine karşı bazı avantaj ve dezavantajlar taşırlar. Robotik cerrahinin en başta gelen avantajı cerrahi alanın büyütülmüş, yüksek çözünürlüklü üç boyutlu (3D) görünümünü sağlayarak gelişmiş derinlik algısı sunmasıdır. Oysa laparoskopide tek kamera kullanıldığından görüntü iki boyutludur (2D). Robotik aletler bilekten eklemlidir ve laparoskopik aletlerden daha geniş bir hareket aralığı ile serbestlik ve el becerisi imkânı sunarlar. Bu ulaşılması zor alanlarda bile daha hassas ve karmaşık hareketlere olanak tanır. Buna karşın laparoskopide aletlerin hareket derecesi sınırlıdır. Robot

Geleneksel olarak robotlar işletim modellerine göre üç şekilde sınıflandırılır. Güncel kullanımda olan robotların neredeyse tamamında işletim emreden-uygulayan şeklindedir. Burada robot cerrahın yardımcısıdır ve cerrahın yapılmasını istediği eylemi eş zamanlı olarak gerçekleştirir. Yarı otonom sistemlerde ise cerrah robotu koordine eder, robotsa bu direktifi uygular. Tamamen otonom robotlar ise günümüzde günlük pratikte yer almamaktadır ancak geliştirilmesi için çaba sarf edilmektedir.

insanda var olan fizyolojik tremoru filtreler ve daha pürüzsüz ve dengeli bir hareket sağlar. Ayrıca cerrahin konsoldaki daha büyük el hareketleri, hastanın içindeki robotik aletlerin daha küçük ve hassas hareketlerine ölçeklenebilir. Robotik cerrahinin en önemli dezavantajı dokunsal hissin (tactile sensation) olmamasıdır. Bu hissin eksikliğinde cerrah dokunun kendisine gösterdiği direnci hissedemez. Oysa laparoskopide cerrah dokuları ve aletleri doğrudan hissedebilir, bu da dokunsal bir geri bildirim sağlar. Diğer bir dezavantaj da robotun yerleştirilme (docking) süresidir. Bu durum batin içerisinde birkaç alanda çalışılması gerektiğinde daha da önem kazanmaktadır çünkü ya optimum çalışma açısından vazgeçmeyi ya da birkaç docking ile ameliyat süresini uzatmayı gerektirmektedir. Oysa laparoskopide kurulum açısı değiştirme işlemleri çok hızlı yapılabilir. Robotların birçoğu özellikle en sık kullanılan Da Vinci® platformu hasta masasına sabitlenememektedir. Bu durum ise ameliyat sırasında robot görevdeyken hasta pozisyonunun değiştirilmesine engel olur. Bu kısıtlamalar robotik cerrahi tercihinin hasta içerisinde kısıtlı bir bölgede yapılan ve pozisyon değiştirme gerektirmeyen ameliyatlara (sözgelimi prostat cerrahisi) için daha kolay yaygınlaşmasına yardımcı olmuştur. Laparoskopik cerrahide ise benzer kısıtlamalar bulunmamaktadır.

Abdominal Alanda Robotik Cerrahinin Güncel Kullanımı

Laparoskopik herni ameliyatları pratikte en sık yapılan cerrahi prosedürlerdendir. Laparoskopik ve robotik yöntemlerle yapılan inguinal herni operasyonunu kıyaslayan bir prospektif randomize çalışma robotik cerrahinin ameliyat süresini uzatması ve daha maliyetli olması dışında postoperatif ağrı yaşam kalitesi ve uzun dönem sonuçları da içeren hiçbir değişkende farklılık göstermemiştir (6).

Robotik cerrahinin potansiyel taşıdığı esas problemin kompleks ventral herniler olduğu öngörülmektedir çünkü robotun eklemleme becerisi ile sağladığı intrakorporal dikiş atma yeteneği onarımı kolaylaştırmaktadır. Danimarka Ulusal Database verilerinden hazırlanan geniş hacimli bir çalışma laparoskopik mesh tespiti ile kıyasladığı robotik onarımın 7 cm'den küçük ventral hernilerde hastanede kalış süresini ve yeniden yatırılma olasılığını düşürdüğünü ortaya

koymuştur (7). Ayrıca başka çalışmalarda da robotik onarımın postoperatif ağrı ve yara komplikasyonlarında azalma olduğunu gösteren başka çalışmalar da vardır (8). Bu sonuçlar özellikle ventral herni onarımında robotik cerrahinin potansiyelini ortaya koymaktadır.

En sık uygulanan elektif abdominal cerrahi yöntemlerden birisi de kolesistektomidir. Laparoskopik kolesistektomi benign safra kesesi hastalıkları için altın standart kabul edilmektedir. Randomize ve eğilim skoru eşleşmesi yapılmış randomize olmayan 13 çalışmanın dâhil edildiği ve 30 binden fazla hastayı inceleyen bir meta-analiz robotik cerrahinin ameliyat süresini anlamlı bir derecede artırdığı ancak hastanede kalış ve safra yolu yaralanması da dâhil intraoperatif komplikasyonlar açısından ise laparoskopik cerrahiye eş değer olduğunu ortaya koymuştur (9). Single-port laparoskopik ve robotik kolesistektomi tekniklerinin sonuçlarını kıyaslayan randomize, randomize olmayan ve gözlemsel çalışmaların sonuçları da bir meta-analizde kıyaslanmıştır. Bu çalışma robotik cerrahinin intraoperatif komplikasyon riskini ve ameliyat sonrası ağrıyı azalttığını ama operasyon süresi ve maliyet açısından dezavantajlı olduğunu göstermiştir (10). Robotik yaklaşım ince diseksiyon gerektiren kolesistektomi vakalarında faydalı olabilir. Güncel pratikte rutin uygulanmasını avantajlı kılacak bir neden görülmesi de maliyetlerdeki düşüşle benign safra kesesi hastalıklarının cerrahisinde laparoskopik kolesistektomiye alternatif olabilir veya onun yerine geçebilir.

Özofagus kanseri cerrahisi iki-bölge veya üç-bölge olarak birkaç teknik ve rekonstrüksiyon amaçlı birçok organ kullanılarak yapılabilir. Bu durum bu bölge cerrahisine yönelik yapılan çalışmaları heterojen kılmakta ve yorumunu zorlaştırmaktadır. Daha zorlu bir bölge olan özofagus cerrahisinde ilk robot kullanımı 2002 yılında "Robot Assisted Minimally Invasive Esophagectomy (RAMIE)" olarak gerçekleştirilmiştir. Sonraki yıllarda RAMIE gerek konvansiyonel açık teknikle gerek laparoskopik özofagektomi ile prospektif randomize çalışmalarda kıyaslanmıştır. Açık cerrahi ile kıyaslandığında RAMIE tekniğinde ameliyat süresinin uzadığı ancak buna karşılık kan kaybının azaldığı gösterilmiştir. Ayrıca başka pulmoner komplikasyonlar ve pnömoni olmak üzere komplikasyon

riskini de azaltmaktadır. Erken ve uzun süreli sonuçlar benzer görülse de bir prospektif randomize çalışmada lokal rekürrens olasılığın RAMIE tekniğinde azaldığı ileri sürülmüştür. Laparoskopik ve robotik cerrahi teknikler erken ve geç değişkenler açısından benzer sonuçlar ortaya koysa da R0 rezeksiyonun başarılabilmesi ve çıkarılan lenf nodu sayısı açısından robotik cerrahinin açık ve laparoskopik cerrahiye üstün olduğunu gösteren çalışmalar bulunmaktadır (11). Sonuç olarak RAMIE tekniği özofagus cerrahisinde gelecek vaat etmektedir. Özellikle çıkarılan lenf bezi sayısının artması, sınırlı sayıda hasta içeren çalışmaların sağkalım avantajı gösterememiş olmasına rağmen anlamlı olarak değerlendirilebilir ve daha başka çalışmalar yapılmasını hak etmektedir.

Çin, Japon, Kore, Avrupa Medikal Onkoloji Derneği (ESMO) ve Ulusal Kapsamlı Kanseri Ağı (NCCN) kılavuzlarına göre, rezektable mide kanserinde önerilen standart cerrahi prosedür D2 lenfadenektomiye de içeren tümör lokalizasyonuna bağlı olarak değişebilen total veya subtotal gastrektomidir. Uzak Doğu'dan gelen birkaç prospektif randomize çalışma, laparoskopik yaklaşımın onkolojik etkinlik açısından açık gastrektomi ile kıyaslanabilir kısa dönem onkolojik sonuçlar sağladığını ortaya koymuştur.

Yaklaşık 20 bin hasta içeren 15 çalışmayı içeren bir meta-analiz robotik cerrahi laparoskopik cerrahiye göre gerek genel komplikasyon oranı ve gerekse birçok spesifik komplikasyon şekline göre daha güvenli bulunmuştur. Ayrıca açığa dönme olasılığını da azaltmaktadır. Laparoskopik gastrektomide operasyon, bağırsak hareketlerinin başlama ve hastanede kalış süreleri daha kısadır. Ancak robotik tekniğin laparoskopiyeye hastalıklı sağkalım açısından bir avantajı gösterilememiştir. Çalışmalar; yapılan alt grup analizlerinde, vücut kitle indeksi daha yüksek (>25) ve evre I-II hastalıkta robotun laparoskopiyeye göre teknik avantajlarının daha belirgin olduğunu ve hastalıklı sağkalım açısından avantaj sağladığını ileri sürmektedirler. (12). Bariyatrik cerrahi için yapılan ameliyatlarda farklılıklar içerdiğinden ve bu konudaki çalışmalar kısıtlı olduğundan bir sonuca ulaşmak için yeterli kanıt bulunmamaktadır. Bununla beraber robotik yaklaşım kullanılarak yapılan ameliyat süresinin laparoskopik yaklaşıma göre

daha uzun olduğu gösterilmiştir. Benzer şekilde, revizyonel bariatrik cerrahide robotik yaklaşım için herhangi bir avantaj ortaya konulamamıştır.

Son 10 yılda robot teknolojisiyle birlikte hepatopankreatikobiller cerrahisi gibi daha karmaşık ameliyatlar minimal invaziv olarak gerçekleştirilmektedir. Robotik yaklaşımın teknik faydaları, karaciğer ve özellikle pankreas gibi sabit organlarda gerçekleştirilen cerrahilerde avantajlar sunmaktadır. Birkaç çalışma, minimal invaziv pankreas cerrahisinin onkolojik sonuçlardan taviz vermeden açık cerrahiye kıyasla morbiditeyi azalttığını göstermiştir. Buna karşıt olarak prospektif randomize kontrollü bir çalışmada laparoskopik ankreatikoduodenektomi sonrası artmış mortalite riski tespit edilmiştir. Teorik olarak robotik platformun teknik avantajları sayesinde hepatojejunal ve pankreatikojejunal anastomozlar konvansiyonel laparoskopiyeye kıyasla daha az karmaşık hâle getirilebilir. Buna rağmen cerrahi tekniğin karmaşıklığı ve zorlu öğrenim eğrisi bu prosedürün minimal invaziv olarak yalnızca robotik yaklaşımla veya yüksek hacimli merkezlerde gerçekleştirilmesini gerektiren bir öneriye yol açmıştır. Pankreas gövde veya kuyruğundaki lezyonlar içinse minimal invaziv işlemler optimal yaklaşım olarak kabul edilmektedir. Çalışmalar bu tekniğin açık cerrahiye kıyasla postoperatif iyileşme döneminde avantajlar sağladığını göstermektedir. Bununla birlikte, robotik yaklaşım, konvansiyonel laparoskopiyeye kıyasla intraoperatif kan kaybında azalma, açığa dönüş riskini düşürme ve splenektomi riskinde azalttığına yönelik veriler vardır. Minimal invaziv karaciğer cerrahisinin fizibilite ve güvenliği birden fazla çalışmada savunulmaktadır. Bu çalışmalara göre bu teknikler intraoperatif kan kaybını azaltmakta, morbiditeyi düşürmekte ve postoperatif iyileşmeyi hızlandırmaktadır. Bunun yanı sıra uzun dönem onkolojik sonuçları da açık karaciğer cerrahisiyle benzer seyretmektedir. Özeldense robotik cerrahinin açık karaciğer cerrahisine göre daha düşük mortalite ve daha hızlı iyileşme sağladığı birçok çalışmada belirtilmiştir. Bu ayrıntıyı inceleyen özel bir çalışma olmasada robotun artan manevra kabiliyeti gibi teknik avantajlarının, hilusa yakın posterior rezeksiyonlar gibi daha karmaşık karaciğer cerrahilerini kolaylaştırdığı düşünülmektedir. Diğer birçok organ spesifik cerrahide olduğu gibi robotik

hepatik rezeksiyonun temel dezavantajı hem açık hem de laparoskopik hepatektomiye kıyasla artmış maliyetidir (8).

Kanıt dayalı tıp bilgileri, kolorektal kanser cerrahisinde laparoskopik yaklaşımın, açık cerrahiye kıyasla benzer onkolojik sonuçları koruduğunu ve aynı zamanda minimal invaziv cerrahinin faydalarını sağladığını ortaya koymuştur. Ancak her iki minimal invaziv teknik kıyaslandığında robotik cerrahi yaklaşımın bazı durumlarda avantaj sağlayabileceği gösterilmiştir. Benign kolorektal hastalıklarda iki teknik benzer sonuçlar vermektedir ancak mesh rektopeksi gibi intrakorporal dikiş atılması gereken durumlarda robot avantaj sağlayabilir.

Kolorektal kanser olgularını ise yerleşim yerlerine ve hastaların özelliklerine göre değerlendirmekte fayda vardır. Kolon kanserlerinde her iki yaklaşımın kıyaslandığı çalışmalar yeterli olmamakla beraber, mevcut kanıtlar robotik ve laparoskopik kolon rezeksiyonlarının gerek erken dönem, gerekse onkolojik ve uzun dönem benzer sonuçlarının olduğunu göstermektedir. Teknik yeterlilik açısından da santral mezokolik eksizyon ve santral vasküler ligasyon gibi zorlayıcı aşamaların her iki teknikle aynı başarı oranlarıyla kotarıldığını ortaya koymaktadır. Robotik tekniğin belki de tek üstünlüğü rekonstrüksiyon aşamasında intrakorporal anastomozun daha kolay ve hızlı yapılabilmesine olanak vermesidir.

Rektum kanserinde ise pelvis içinin dar, yaşamsal organlarla çevrili, korunaklı durumu bu kısıtlı alanda robotun manevra ve iyileştirilmiş görüş yeteneklerinin bazı avantajlar sağlama potansiyeli vardır. Prospektif randomize çalışmalarda gösterilememiş olsa da onkolojik diseksiyonu kolaylaştırdığı, açık cerrahiye dönüş olasılığını azalttığı ve sinir hasarı riskini düşürdüğünü gösteren retrospektif ve non-randomize prospektif çalışmalar bulunmaktadır (8). Prospektif randomize bir çalışmada (ROLAR) başta birincil sonlanım noktası olan açık cerrahiye dönüş (robotik kolda %8, laparoskopik kolda %12, $p=0.16$) olmak üzere cerrahi piyesin kalitesi, postoperatif komplikasyonlar, erken ve geç fonksiyonel sonuçların hiç birisinde gruplar arasında farklılık tespit edilmemiştir (13). Daha güncel olan bir Çin çalışması (REAL) ise bias içermesine ve uzun süreli sonuçlarının bilinmemesine rağmen, robotik cerrahinin laparoskopiyeye kıyasla piyes çevresel

sınırı tümör pozitifliği (%4 vs %7, $p=0.02$), postoperatif komplikasyonlar (516 vs %23, $p=0.003$) ve açık cerrahiye dönüş (%2 vs %4, $p=0.02$) parametrelerinde avantajını ortaya koymuştur (14).

Büyüyen Robot Ekonomisi ve Robotun Bireysel Maliyeti

Mevcut verilere göre, dünya genelinde 69 ülkede 9 binden fazla da Vinci® robot platformu kurulu durumdadır. Bu sistemlerle çalışmak üzere yaklaşık 66 bin cerrah eğitim almıştır. Bugüne kadar da Vinci robotu ile 15 milyondan fazla prosedür gerçekleştirilmiştir. Ülkemizde 2024 rakamlarıyla 15'i devlete bağlı eğitim ve araştırma ile devlet üniversite hastanelerinde olmak üzere 38 hastanede toplamda 40 Da Vinci robotu ameliyatlarda kullanılmaktadır. Ayrıca cerrahların eğitimi için de iki Da Vinci robotu eğitim merkezlerinde yer almaktadır. Bu rakamlar, robotik cerrahinin hem ülkemiz ölçeğinde hem de küresel olarak sağlık hizmetlerindeki yaygınlığını ve devlet otoritesi başta olmak üzere genel bir kabul gördüğünü göstermektedir.

Market Research Future isimli analiz şirketinin öngörüsüne göre 2024 yılında 6.5 milyar ABD doları olan cerrahi robotlar pazar büyüklüğü 2035 yılında 16 milyar dolara ulaşacaktır. Bu projeksiyon yıllık yaklaşık yüzde 8,5'luk bir büyüme oranına karşılık gelmektedir. Bu bütçe sadece robot platformunun maliyeti olarak düşünülmemelidir. Sofistike yapıya sahip bu makinaların yıllık bakım ve onarım masrafları ile kullanılan sarf ürünlerin de net kârlılığı artırdığı göz önünde tutulmalıdır. Bu iştah açıcı rakamlar sektörde âdeta bir tekel olan Intuitive'in Da Vinci® robot sistemine alternatif başka platformların piyasaya sürülmesini teşvik etmekte ve hızlandırmaktadır.

Robotik platformlarda maliyet, kullanım ve yaygınlaşma önündeki en ciddi engellerden birisi olarak gözükmemektedir. 2013 yılına ait bir analiz da Vinci® Si sisteminin ikinci konsol, Firefly görüntüleme sistemi ve simülatör olmaksızın liste fiyatının 1,75 milyon dolar olduğunu ortaya koymaktadır. Buna ek olarak sistemin yıllık servis ve bakım ücreti yaklaşık 150 bin dolar civarındadır. Ayrıca her bir prosedür için ek sarf malzeme masrafı açık cerrahiye kıyasla 1.600 dolar daha fazla olduğu tahmin edilmektedir. Klinik uygulama yetkinliğinin de değerlendiril-



Market Research Future isimli analiz şirketinin öngörüsüne göre 2024 yılında 6.5 milyar ABD doları olan cerrahi robotlar pazar büyüklüğü 2035 yılında 16 milyar dolara ulaşacaktır. Bu projeksiyon yıllık yaklaşık yüzde 8,5'luk bir büyüme oranına karşılık gelmektedir. Bu bütçe sadece robot platformunun maliyeti olarak düşünülmemelidir. Sofistike yapıya sahip bu makinaların yıllık bakım ve onarım masrafları ile kullanılan sarf ürünlerin de net kârlılığı artırdığını da göz önünde tutulmalıdır.

diği Society of American Gastrointestinal and Endoscopic Surgeons tarafından hazırlanan bir konsensus metninde Da Vinci® cerrahi platformunun seçilmiş gastrointestinal prosedürlerde kullanım için klinik olarak kabul edilebilir ancak maliyetli bir sistem olduğu sonucuna varılmıştır (15). Ekonomik olarak daha avantajlı ülkelerde bile bu konuda endişeler dile getirilirken, emek yoğun maliyetin gelişmiş ülkelerdeki kadar yüksek olmadığı ülkemizde robot platformunun bu açıdan da değerlendirilmesi makul bir yaklaşım olur. Şu anda devlet hastaneleri ve üniversitelerde çok sayıda robotik cerrahi platformunun bulunması dikkate alındığında, burada uygulanan ameliyatlarda, teknik seçimde robotun gerçekten avantaj sağladığı hasta grubunda tercih ediliyor edilmediği, öğrenim eğrilerini bu hastanelerde tamamlayan hekimlerin sonraki dönemde nerelerde cerrahi uyguladıkları ve en önemlisi robot cerrahisinin bu merkezlerdeki sonuçları açık bir şekilde tartışılmalıdır. Sonrasında da ülkemize ait robot uygulamasının planlamasını ve belirlenmesini içeren bir politika oluşturulmasında bu veriler kullanılmalıdır.

Robot Eğitimi

Robot sistemlerinde açık cerrahiden farklı olarak cerrahin asistandan uzakta bir konsolda bulunması cerrahi eğitimin yüzyıllardır süregelen usta-çırak şeklinde ilerleyen eğitim süresini

radikal olarak değiştirmektedir. Robotik cerrahi için evrensel düzeyde kabul ve test edilmiş eğitim programları bulunmamaktadır. Ayrıca robot platformları farklı cerrahilerde değişiklik gösteren öğrenme eğrileri gerektirmektedir. Robot kullanımına yeni başlayan cerrahların bu öğrenme eğrisi boyunca uygulama olasılıkları olan suboptimal prosedürlerin azaltılmasına yönelik çözümler pek de tartışılmamaktadır. Sanal gerçeklik uygulamaları ve maliyetli bir seçenek olmasına karşın eğitim konsolları yeni alternatifler olabilir. Ama bundan daha önemlisi bu öğrenimin koşul ve sınırlarının netlik göstermemesidir. Ayrıca tüm ameliyathane davranışında farklılıklar gerektireceğinden ameliyathanedeki diğer ekip ve personelin eğitimi de göz önünde tutulmalıdır (16).

Etik

Robotun kullanımı sonrası oluşabilecek sorunlara ait konular etiğin kapsamı alanındadır ve hâlen birçok konu tartışma konusudur. Ülkemizde gerçekleştirilen bir çalışma, cerrahiye yeni teknolojilerin dâhil edilmesinin birçok etik zorluğu beraberinde getirdiğini vurgulamaktadır. Bu zorluklar arasında güvenliğin sağlanması, cerrahlara yeni teknolojiyi kullanma izninin verilmesi, hastaların bilgilendirilme biçimi ve cerrahların, firmaların ile hastanelerin hastalara karşı sorumlulukları yer almaktadır (17). Günümüzde robotlar master-slave düsturuna göre çalıştıkla-

rından basit aletlerle benzer bir şekilde değerlendirilmektedir. Buna göre tüm sorumluluk cerraha aittir. Diğer cerrahi işlemlerde geçerli olan zarar vermeme yükümlülüğü, hastanın yararına hareket etme ilkesi ile hastanın özerkliğine ve tercihlerine saygı gösterilmesi gibi etik kurallar, robot kullanımında da aynen geçerlidir. Ancak çok daha sofistike olan bu makinelerin söz gelimi bir arıza sonrasında meydana gelen hasarlardan üreticinin mi, uygulayıcının mı yoksa servisi sağlayan hastanenin mi sorumlu olacağı gibi konular belirsizliğini sürdürmektedir. Ayrıca olası tam otonom robotların kullanıma girmesi veya derin öğrenme ile karar alma mekanizmasının cerrahın makineye geçmesi durumunda etik sorunu çok daha karmaşık ve birçok tarafı ilgilendiren bir yapıya bürünecektir (17). Gelecekte bu çerçevede yanıtlanması gereken soruların sayısının çoğalacağı, içeriğinin değişeceği ve genişleyeceği açıktır.

Ancak daha güncel ve hâlihazırda karşımızda bulunan en temel etik sorun robotun haksız rekabet amacıyla kullanılmasıdır. Robot kelimesinin özellikle ülkemizde hasta için bir albenisi olması nedeniyle endikasyonsuz ve gereksiz robot kullanımı olup olmadığını denetleyen ve sorgulayan bir mekanizma geliştirilmiş değildir. Bu aşamada hastanın sağlığını ve çıkarını koruyacak politikalara ve denetim mekanizmalarına ivedilikle gereksinim vardır.

Robotik Cerrahinin Geleceği

Günümüzdeki robotların bazı sorunlarına ve kanıtlanmamış sonuçlarına rağmen robot platformları geleceğin cerrahisinde çok daha belirgin olarak yer alacak belki de cerrahın yerine geçecektir. Bunun için hâlihazırda büyük gövdenin hastaya yanaştırılması (docking), cerraha dokunma hissi (tactile sensation) verememesi gibi temel teknik sorunları aşması ve maliyet sorununu çözmesi gereklidir. Özellikle dokunma hissi sorununun çözülmesi için teknolojide ciddi bir çaba vardır.

Robotik cerrahinin geleceğe yönelik gelişme potansiyelini en bariz olarak gösteren belirteçlerden birisi de teknolojinin bu konuya duyduğu ilgidir. Çok fazla sayıda robotik platform gerekli izinleri alarak piyasaya girmiş veya girme aşamasındadır. Ayrıca mevcut platformların yeni versiyonları da cerrahinin uygulama

alanlarını genişletmektedir. Söz gelimi tek portlu cihazlar transoral, transanal ve transvajinal doğal giriş bölgelerini kullanarak cerrahi yapma imkânını vaat etmektedir.

Artırılmış gerçeklikle (augmented reality) birleştirilmiş görüş sistemleri robotik cerrahiye yeni bir ufuk getirme aşamasındadır. Böylece ameliyat öncesinde yapılan endoskopi ve görüntüleme verilerini üç boyutlu ve eş zamanlı görülmesi sağlanabilir. Bu özellik cerrahi sırasına diseksiyon hattı ve organların çevresel ilişkileri hakkında cerrah doğru bilgi sağlayarak güvenli bir navigasyon imkânı sunar ve ameliyatın risklerini azaltır.

Nihayetinde robot platformlarının alacağı şekil yapay zekâ destekli (artificial intelligence) ve makine öğrenimi (machine learning) robotlar olacağına dair gerçekçi öngörüler vardır. Yakın gelecekte bu makineler hastaların ve hastalığın özellikleri, ameliyat videoları, enstrümanların kinematiki ve robot duyargalar aracılığıyla öğrenilecekleri bilgileri ameliyat sırasında cerrahi yönlendirme, operasyon sonrası geri dönüş yapma ve cerrahi yetkinliği değerlendirmede kullanılabilir. Nihayetinde otonom cerrahi robotları cerrahların gözetiminde cerrahlardan daha kusursuz ameliyatlara yapabilecek hâle gelebilir. Yakın geçmişte cerrahın dâhil olmadan robotun gerçekleştirdiği bağırsak anastomozu bunun öncü bir örneği olarak düşünülebilir. Son aşamada ise yapay zekâyâ sahip robotlar cerrahın yerine ameliyat kararlarını da alarak cerrahsız ameliyatlara mümkün kılabilirler (18). Robotların boyutlarındaki küçülme, zaman içerisinde santimetrik boyutlarda filo robot sistemleriyle ameliyatlara tamamlanmasını sağlayabilir.

Robotun geleceğini planlamada Isaac Asimov'un 1942'de yazdığı 'Runaround' isimli kısa hikâyesinde geçen ve sonrasında birçok robot hikâyesinin ve romanının temelini oluşturan üç robot yasası daha ön planda değerlendirilebilecektir:

I) Birinci Yasa: Bir robot, bir insana zarar veremez veya eylemsiz kalarak bir insanın zarar görmesine neden olamaz.

II) İkinci Yasa: Bir robot, Birinci Yasa ile çelişmediği sürece insanlar tarafından verilen emirlere uymak zorundadır.

III) Üçüncü Yasa: Bir robot, Birinci veya İkinci Yasa ile çelişmediği sürece kendi varlığını korumak zorundadır.

Kaynaklar

- 1) Hockstein, N. G., Gourtin, C. G., Faust, R. A. (2007). History of robots: from science fiction to surgical robotics. *J Robot Surg.* 1:113-118.
- 2) Sun, X., Okamoto, J., Masamune, K., et al (2021). Robotic technology in operating rooms: a review. *Cur Robotics Rep;* 2:33-341.
- 3) Cowan, B., Walton, M., Alseidi, A., et al (2024). Robotic technology in surgery: a classification system of soft tissue surgical robotic devices. *Surg Endosc;* 38:3645-3653.
- 4) Ghezzi, T.L., Corleta, O. C. (2016). 30 years of robotic surgery. *World J Surg.* 40:2550-7.
- 5) Lane, T. (2018). A short history of robotic surgery: A concise review of the use of robotic technology to enhance surgery. *Annals of the Royal College of Surgeons of England,* 100 (6_sup), 5-7.
- 6) Prabhu, A. S., Carbonell, A., Hope, W., et al (2020): Robotic inguinal vs transabdominal laparoscopic inguinal hernia repair the RIVAL randomized clinical trial. *JAMA Surg;*155:380-387.
- 7) Jensen, K. K., Helgstrand, F., Henriksen, N.A. (2024): Short-term outcomes after laparoscopic IPOM versus robot-assisted retromuscular repair of small to medium ventral hernias: A nationwide data-base study. *Ann Surg;* 279:154-159.
- 8) Dohm, N., Burgdorf, S. K., Heer, P., Klein, M. F., Jensen, K. K. (2024). The current application and evidence for robotic approach in abdominal surgery: a narrative literature review. *Scand J Surg;* 113(1):21-27.
- 9) Delgado, L. M., Pompeu, B. F., Pasqualotto, E., et al (2024). Robotic-assisted cholecystectomy versus conventional laparoscopic cholecystectomy for benign gallbladder disease: a systemic review and meta-analysis. *J Robot Sugry;*18(1):242.
- 10) Rudiman, R., Hanafi, R.V., Almawijaya, A. (2023). Single-site robotic cholecystectomy versus single-incision laparoscopic cholecystectomy: a systemic review and meta-analysis. *Ann Gastroenterol Surg;*7(5):709-718.
- 11) Watanabe, M., Kuriyama, K., Terayama, M., Okamura, A., Kanamori, J., Imamura, Y. (2023). Robotic-assisted esophagectomy: current situation and future perspectives. *Ann Thorac Cardiovasc Surg,* 29(4):168-176.
- 12) Li, Z., Zhou, W., Yang, W., et al (2024). Efficacy and safety of robotic vs laparoscopic gastrectomy for patients with gastric cancer: systematic review and meta-analysis. *Int J Surg;* 110(12):045-8056.
- 13) Jayne, D., Pigazzi, A., Marshall, H., et al (2017): Effect of robotic-assisted vs conventional laparoscopic surgery on risk of conversion to open laparotomy among patients undergoing resection for rectal cancer. *JAMA;* 318:1569.
- 14) Feng, Q., Tang, W., Zhang, Z., et al (2022): Robotic versus laparoscopic abdominoperineal resections for low rectal cancer: A single-center randomized controlled trial. *J Surg Oncol;* 126(8):1481-1493.
- 15) Tsuda, S., Hutter, M., Oleynikov, D., et al (2015). Consensus statement: SAGES TAVAC safety and effectiveness analysis: da Vinci Surgical System (Intuitive Surgical, Sunnyvale, CA). *Surg Endosc,* 29:2873-2884.
- 16) Vining, C.C., Skowron, K.B., Hogg, M. E. (2021). Robotic gastrointestinal surgery: learning curve, education programs and outcomes. *Updates Surg;* 73(3):799-814.
- 17) Usluoğulları, F. H., Tiplamaz, S., Yayıcı, N. (2017). Robotic surgery and malpractice. *Turk J Urol;* 43(4):425-428.
- 18) Knudsen, J. E., Ghaffar, U., Ma, R., Hung, A. J. (2024). Clinical applications of artificial intelligence in robotic surgery, *J Robotic Surg;* 18:102-111.