

# Robotik cerrahiden cerrah robotlara

## Prof. Dr. Akif Tan



1961 yılında Ankara'da doğdu. 1985 yılında Gülhane Askeri Tıp Fakültesini bitirdi. 1990'da GATA Genel Cerrahi Ana Bilim Dalında uzmanlık eğitimi tamamladı. 1996 yılında GATA Genel Cerrahi Ana Bilim Dalında yardımcı doçent olarak göreve başladı. 2002 yılında doçent oldu. 2004 yılında kıdemli albay olarak emekliye ayrıldı. Uzun yıllar Özel İstanbul Medipol Hastanesi Genel Cerrahi Kliniğinde çalışan Tan, 2012 yılında atandığı İstanbul Medipol Üniversitesi Tıp Fakültesi Genel Cerrahi Ana Bilim Dalındaki görevini sürdürmektedir.

*"Gelecek hakkında hiç düşünmüyorum; nasılsa hemen geliyor."*  
Einstein

Teletiptan (*telemedicine*) veya uygulamalarından bahsettiğimizde, konsültasyon ve teşhise yönelik çalışmalar kadar tedavi bölümünü de içine alan telecerrahi (*telesurgery*) için içine girmeye başlıyor. Telecerrahi alanında elbette teleradyoloji ve telepatolojide günümüzdeki bilimsel yayınlarda yer alsın bile daha çok öne çıkan cerrahide robotların kullanılması "tele" kavramıyla daha uyumlu gibi görünen uzaktan kumandalı (*remote control*) cerrahinin (veya *master-slave technology*) gündeme gelmesidir. Gerçekten de günümüzde 20. yüzyıl başlarında fizikte başlayan kuantum devrimi ve cerrahide başlayan genel anestezi hatta endotrakeal entübasyonlu cerrahinin kazandığı ivme ile konvansiyonel cerrahinin önce minimal invaziv cerrahi (MIS) kavramıyla tanışması önemliydi. Şimdilerde uzayın keşfinde cerrahinin önemini gösterecek kadar robot ve iletişim teknolojisiyle donanmış, şehirler arası veya kıtalararası telecerrahinin hızlı gelişmesi yaşanmaktadır.

Cerrahi denilince aslında binlerce yılın içinden süzülerek gelen cerrahi ancak Viktorya Dönemi'nde, Amerika kıtasında başlamış olsa da henüz tanınmamış olan, hastanın anestezi maddeler (eter) ile uyutularak opere edilmesi gibi bir kavramla, ancak Kraliçe Viktorya'nın 12 doğum yapsa da doğumdan korkmasıyla tanışmıştı. 9'uncu hamileliğinde Kraliçe doğum korkusunu, kendisine bahsedilen eter anestesisiyle yenmiş ve uzun yıllar boyunca da bu kadar kolay doğum yapmasını anlatmış, bütün dünyada anesteziye böylece yaygınlaşmaya başlamıştı.

Bu kolay cerrahi, cerrahların o yıllara kadar giydikleri siyah önlüklerin (kan lekeleri görünmesin diye) rengini de beyaza döndürmüş, artık cerrahlar daha az kana bulanıp daha sakin, çırpınmayan hastalar ameliyat ettikleri için kontrollü bir cerrahiye beyaz önlükleriyle yönelmişlerdi. Bu güzel gelişmeye endotrakeal entübasyonda ilave edilince, kontrollü kas gevşemesi ve uzun süreli güvenli ameliyatlara, detaylı karmaşık operasyonların yapılmasıyla ciddi bir çığır açılmıştı.

Açık cerrahi ya da konvansiyonel cerrahi dediğimiz bu dönem, 1960'ta Alman cerrah Karl Stephan'ın jinekolojik operasyonlarda laparoskopik yöntemleri teşhis ve tedavide kullanmaya başlaması ile yerini endoskopik veya laparoskopik cerrahi dönemine bıraktı. 1981'de ilk laparoskopik apendektomiye 1985'te yine bir Alman cerrah Erich Mühle tarafından gerçekleştirilen ilk laparoskopik kolesistektomi takip etti. Dr. Mühle bu operasyonu ertesi yıl kongrede sunduğunda meslektaşları bu cerrahiye birazda mizahi yaklaşım "Mickey Mouse cerrahisi" adını vermişlerdi. 80'li yıllarda bu tür batın içi karbondioksit insüflasyonu ve trokar girişimleriyle yapılan cerrahinin "keyhole surgery" diye isimlendirilmesi boşuna değildir. Birkaç milimetrelik port giriş kesisi dışında kesi yapılmaması hatta tek portlu girişimlerin gelişmesi (*single port-SP*) bu tür operasyonların taraftar bulmasına sebep olurken daha fazlada gelişip gelişmeyeceği tartışma konusuydu.

Laparoskopik operasyonlar (*keyhole surgery*) sadece batın duvarında yapılan insizyonların azlığı ile değil cerrahi

travmayla oluşan metabolik ve endokrin cevabın, ne kadar küçük olduğunun gösterildiği, çok sayıda bilimsel yayınlara donatılınca, artık "minimal invaziv cerrahi" kavramıyla da tanışmış olduk. Hastalar kesi yarası dışında travmatik olmayan bir dönemden çok hızlı iyileşmeyle çıkıyor, çabuk iyileşiyor ve modern dünyanın asıl istediği, çabuk çalışma hayatına dönüyorlardı. Böylece iki boyutlu ama HD görüntülü 20 büyütme görüntüleme yöntemleriyle ve gelişen teknolojilerle daha zor, karmaşık operasyonlar detaylı diseksiyonlarla daha başarılı yapılabiliyordu. İşte bu yeni gelen noktada diğer bir yoldan gelişerek gelen fizik, mekatronik, biyomühendislikteki gelişmelerle robotlar, uzaktan kumandaları mükemmelleştiren iletişim teknolojileri ve network çalışmalara imkân veren internet teknolojileri hatta (*internet things*) nesnelere interneti hayata girmeye başlamıştı.

20. yüzyıl başlarında belli belirsiz kuantum fiziği ile başlayıp, 1920'lerde Heisenberg ile kuantum mekaniğinin eklendiği, belirsizlik ilkesiyle sağlam bir temele oturduğu ve fiziğin altın çağına dönüşüp, değeri 1960'larda anlaşılıp 20 ve 21. yüzyılın teknolojik devrimlerine yol açan kuantum çağı bilim dünyasını kaplamıştı. Kuantum fiziği aslında 20. yüzyılın hemen başında, kendisinden, Alman Standartlar Enstitüsü'nün "ampullerden asgari elektrikle nasıl azami ışığın elde edileceğine" dair danışmanlık yapmasının istenmesine bir konferansla cevap veren, Max Planck ile başladı. Bu konferansta ısınan nesnelere renk değiştirmesinden bahsedip, Maxwell'in ışığın elektromanyetik dalgalarından oluştuğu ve her rengin farklı dal-

ga boyuna karşılık geldiğini anlatmasını yineledi. Artık ışığın enerji paketlerinden bahsedilmeye (fotonlar) başlanmıştı ve Rutherford atom modeliyle güneş sistemini çekirdeğe taşımıştı. Einstein ve Danimarkalı Bohr ışığın kuantum doğasını ortaya koyuyordu. Bohr, Kopenhag Kuramsal Fizik Bölümü'nü kurarak ünlü "Kopenhag yorumunu" fizik dünyasına getirirken 1935 yılında Podolski ve Rosen ile Einstein ünlü paradokslarını tartışmaya açmışlardı. Bütün bunlara Curie'nin radyoaktivite ve ışınımı, Heisenberg'in kuantum mekaniği ile "belirsizlik" ilkesi, Schrödinger'in bütün bunları toparlayan ünlü "dalga denklemi", kibar ve naif fizikçi Paul Dirac'ın, Einstein'ın "görelilik prensibini" "kuantum dünyasıyla birleştiren muhteşem denklemi eklendi (bu denklemle PET- scan geliştirilebildi). Fizik konferanslarında örneğin Solvey'de esprili tartışmalara sebep olsa da kuantumun fiziğinin zaferden zafere koştuğu çağ başlamış oldu. Güneş enerjisinin kaynağı, nükleer enerji anlaşıldı, parçacık fiziği her yeri doldurdu. Transistörler, bütünleşmiş devreler, lazer ve LED'ler dijital kameralarla, modern dijital çağ başlamış oldu.

Lorentz dönüşümleriyle zaman genişlemesi, Einstein'ın uzay-zaman kavramıyla yeni bir evren yeni bir yüzyıl başlamıştı. Artık kütle çekimi, uzay zamanın bükülmesine dönmüştü. Batlamyus evreni nasıl Copernik evrenine evrildiyse durağan Newton evreni Einstein evrenine geçmiş, "kozmetik mikrodalga arka plan ışınimleri" (CMBR) tanımlanıp, genişleyen evrende küresel ağlar kuran iletişim uyduları yörüngede yerlerini almışlardı. CERN'de büyük Hadron çarpıştırıcısında Higgs bozonu kanıtlandı. Curie'nin X-ray ışımından radyoloji doğdu ve tomografler sonra Gamma knife radyoterapi ve Dirac formülüne dayanan PET-scan'ler (pozitron emisyon tomografisi) ile MRI'lar (manyetik rezonans) tıp dünyasında kullanıma girdiler; tanı ve tedavi protokollerindeki yerlerini aldılar. Bu yüzyılın başında mikroskoplarmızla atomu görebilirken, teleskoplarımızla galaksimizi öğrenirken, yüzyılın sonunda çekirdeğin on binde birini galaksimizin yüz bin kat ilerisini görebilir hale geldik. Uydu teleskoplarla o kadar uzakları görebildik ki, evrenin ilk doğumuna ait milyonlarca milyarlarca yıl öncesini görmek mümkün oldu.

Fiziğin, elektroniğin, mekatroniğin, iletişim teknolojilerinin hızla gelişmesinin yanında, tıbbın uzayın keşfinde de bir rolü olması kaçınılmazdı. 70'li yıllarda NASA (Natio-

nal Aeronautics and Space Administration) uzaktan kumandalı robot çalışmalarına başlamış, böylece yörüngedeki veya Ay'daki hatta araştırma görevindeki uzay gemilerinde astronotların başına gelebilecek sağlık sorunlarında yardımcı olacak, ilk yardım yapabilecek veya küçük müdahaleleri gerçekleştirecek cerrahi robotlar geliştirmeye başlamıştı. Minimal invaziv cerrahi uygulamaları yıllar içinde bu konuda gelişerek umut verici çalışmalarla devam etti. Bu tür sağlık sorunu yaşayan uzay istasyonundaki astronotlar için uçuş doktorlarının veya özel eğitimli cerrahların neler yapabileceği, böyle acil bir durumda uzaktan kumandalı robotik işlemlerin mi yoksa astronotun çabucak yere indirilmesinin mi daha başarılı olacağı araştırıldı. 1981-1998 yılları arasında sadece birkaç sağlık problemi oluşsa da sadece bir astronot böbrek taşı (*nephrolithiasis*) nedeniyle dünyaya geri dönmek zorunda kalmıştı.

Aynı yıllarda ABD ordusu da savaş alanındaki yaralıya müdahale için telecerrahi ile ilgilenmeye başlamıştı. TATRC (*Telemedicine and Advanced Technology Research Center*) "Telepresence" sistemlerle uzaktan hastaya erişim üzerine 1991'e kadar araştırmalar yaptılar. 2004-2005 yıllarında telerobotik cerrahi ile modifiye da Vinci robot kullanılarak internet üzerinden iki farklı şehirde dört telecerrahi operasyon (nefrektomi) 450 ms altında gecikmeyle gerçekleştirildi. Günümüzde ise 2025'e kadar savaş alanındaki yaralının hayat kurtarıcı acil prosedürlerle, telecerrahi yöntemi ve sistemlerle tedavi edebilecek donanımı geliştirme çalışmaları devam etmektedir.

Uzak hedef uzay çalışmalarında astronotlar üzerinde cerrahi uygulayabilmek olsa da ticari robotlar birer prototip olarak geliştirilmeye 1988'de başladı. Bu amaçla geliştirilen ilk cerrahi uzaktan kumandalı robot PUMA 560 modeliydi. Bu model ile aynı yıl telecerrahi ile CT *gaided stereotactic intracranial* biyopsi gerçekleştirildi. 1991'de "probot" ve 1992'de "Robodoc" modellerin geliştirilmesi ile gelişmeler devam etti. Bu çalışmaları ilk defa 1993 yılında FDA (*Food and Drug Administration*) tarafından onaylanan aktif robotik sistem olan AESOP (*Automated Endoscopic System for Optimal Positioning*) ve sesli cerrahi komut sistemli (HERMES) uzaktan komuta edilebilen robotun kullanıma girmesi izledi. "Robotik" ana kelimesinden türetilen, *robotic-operation*, *robotic-surgery* terimlerinin yerine "*telesurgery*" teriminin kul-

lanılması, daha amaca uygun bulunup, robot yerine uzaktan kontrolün vurgulanması nedeniyle bu terimin kullanılması, bu yıllardan itibaren gündeme gelmişti. Geçen yıllarda ise bütün bu tanımların kullanılmaya devam ettiğini görmekteyiz.

1993'ten itibaren geliştirilmeye başlanan "Zeus" ve daha sonra geliştirilen "da Vinci" robotik sistemleri bundan sonraki yıllarda daha popüler olup dünyada daha yaygın kullanılan sistemler olacak ve 2003 yılında her iki robot sistemi birleşecekti. 1997'de da Vinci kullanılarak Belçika'da telecerrahide büyük bir adım atılarak, Dr. Himpsen ve ekibi tarafından ilk kolesistektomi operasyonu gerçekleştirildi ve yine aynı ekip tarafından 1998'de ilk telecerrahi Nissen Fundoplikasyon operasyonu mayıs ayında uygulandı. Aynı yıllarda ABD'de 3D görüşlü, HD kalite, titreme filtreli sistemlerle 1995'te geliştirilmeye başlanan, NASA ve IBM ile birçok üniversitenin ortak çalışmalarıyla 1997'de "Lenny" prototipi, hayvan deneylerinde kullanılmak üzere üretildi. İlk insan çalışmaları için (Jinekoloji ve vasküler cerrahide) "Mona" modeli üretildi, bu model kardiyovasküler cerrahide Paris - Leipzig arasındaki operasyonda kullanıldı. Daha sonra 1999'da yaygın kullanılan "da Vinci" ismi verildi. 2000 yılında bu modeli FDA onayı aldı, ikinci jenerasyonu olan da Vinci S geliştirildi ve üçüncü jenerasyonu HD kamera, ileri ergonomik ve çift konsollu modelleri 2009'da devreye girdi. Bu en çok kullanılan modeli oldu. 2014 yılında Raven modeli de da Vinci'ye eklendi. Günümüzde da Vinci Si/x1, flex robotic ve SP modelleri kullanılmaktadır.

Zeus model ile uzaktan kontrollü cerrahinin Eylül 2001 yılında sınırları zorlanmak istendi ve transatlantik bir operasyon gerçekleştirildi. New York'tan Dr. Jacques Marescaux, konsoldan yürüttüğü, Fransa Strazburg'daki hastaya kolesistektomi operasyonunu başarıyla gerçekleştirildi. Bu ilk transatlantik teleoperasyona Atlantığı ilk defa uçakla geçen Lindenberg'in anısına "Lindenberg operasyonu" adı verildi. 3D görüşlü, HD kamera sistemi, tremor filtrasyonu donanımları mevcuttu ama en önemlisi fiberoptik kablo ve AAM teknolojisi (Asenkron Aktarım Modu) kullanılarak, iletimdeki gecikme minimum indirilerek, saniyede 10 GB veri aktarımı sağlanmıştı. Robot teknolojileri geliştirilmeye devam etti. Açık cerrahinin en önemli avantajı olan cerrahin parmak uçlarıyla

dokunma hissinin eksik kaldığı düşün- cesi ile bu veride, yani dokunma hissi (*haptic sensation*) geliştirilmeye devam etti. Her operasyondaki geribildirimler (*feedback*) değerlendirilmeye alınarak, 2015'ten itibaren cerrahi robotlara bu özellikte ilave edildi. Dokunma hissi teknolojisi ilk defa Milano'da geliştirilen telelap Alf-x cerrahi robotta kullanıldı. Artırılmış gerçeklikle de donatılan cerrahi robotlar artık dünyada hızla ticari amaçla yaygınlaşmaya başlamıştı.

Günümüzde yaklaşık 24 bin bilimsel makale ile da Vinci cerrahi uygulamalarından bahsedebilir olduk. Sadece 2020 yılında 3 binden fazla bilimsel yayın bu çalışmalara eklendi. Yapılan meta-analizlerde 2013'ten 2015'e kadar robotik cerrahinin kullanımı dünyada %6'dan %26'ya kadar artış göstermiş, açık cerrahi ise %60'lardan %50'lere kadar gerilemiş görünmektedir. Örneğin özofagus cerrahisinde; RAMIE (*Robotic Assisted Minimal Invasiv Eusophagectomy*) 2010 yıllarında %10,2 iken 2016 da %27,2 ye çıkmıştır. Artık minimal invaziv cerrahi hem laparoskopik hem robotik cerrahi ile gittikçe artan bir oranda ilerlemektedir. 2016 yılındaki yayınlarda, robotik Roux-en-Y gastrik bypass operasyonlarının karşılaştırmasında, robotik cerrahi morbiditede anlamlı olarak güvenli bulunmuştur. Özellikle bariatrik cerrahi, BMI yüksek hastalarda laparoskopik cerrahiye EAES (*European Association of Endoscopic Surgeon*) konsensüs panelinde diğer endoskopik cerrahilere göre daha güvenilir olarak değerlendirilmiştir.

Telecerrahi, günümüzde cerrahin konsolda oturarak ve hastaya yerleştirilen robotik kolları buradan yöneten, yani "konsol" ve "slave robottan" oluşan, iki ünitenin de aynı operasyon odasında olabileceği gibi yakın fakat ayrı odalarda olabilen bir uygulama olarak gerçekleştirilir. Maliyeti daha da yaygınlaşmasına en büyük engel olduğu halde tüm dünyadaki örneklerinde olduğu gibi 2012 yılında ülkemizde SGK uygulama tebliğine girdikten sonra daha da yaygınlaşmaya başlamıştır. 2009'da ülkemizde 5 robot bulunurken, 2017'de (bu tarihten itibaren firma sayıları gizleme kararı almıştır) bu sayı 31'e çıkmıştır. Dünyada olduğu gibi ülkemizde de da Vinci daha çok üroloji, jinekoloji, kardiyovasküler cerrahi ve genel cerrahi alanında kullanılmaktadır ve 2020'ye kadar bu branşların payı araştırıldığında son birkaç yılda diğer branşlara göre, genel cerrahide kullanımının önemli oranda

arttığı izlenmektedir. Genel cerrahi içerisinde, kolorektal, gastrointestinal ve bariatrik cerrahi en sık kullanım alanlarıdır.

Günümüzde dünyada 67 ülkede da Vinci sistemi kullanılmakta olup, bütün bu ülkelerde şimdiye kadar yaklaşık 8,5 milyon vaka opere edilmiş bulunmaktadır. Bu vakaların sadece 1,2 milyonu 2019'dan sonra gerçekleştirilmişken her 25 dakikada eğitimini tamamlayan bir cerrahi uzmanın sistemi kullanmaya başladığı bildirilmiştir. ABD'de 33 binden fazla, ABD dışında 22 binden fazla cerrah eğitimini tamamlamıştır. Sadece 2020'de 6.500'den fazla "training system" hizmete girmiş bulunmaktadır. Türkiye'de da Vinci ile operasyon yapabilen 37 robotik merkez bulunmakta bu merkezlerin (hem özel sektörde hem devlette) 20'si İstanbul'da, 9'u Ankara'da yer almakta; İzmir 4 merkezle, Erzurum, Adana, Antalya, Kocaeli'nde birer merkezle bu metropollerini izlemektedir.

Peki 2021 yılında yani COVID-19 pandemisiyle geçen son 1,5 yıl telecerrahi için nasıl bir yıldır diye tabloya bakarsak; bu yılın telecerrahi için olumlu geçtiğini söyleyebiliriz. 2021 yılı yayınlarında dikkat çeken, COVID-19 pandemi döneminde dünyada telecerrahide robotların güvenli kullanımı, hasta ve doktor bulaşmasını önlemesi açısından tercih nedeni olduğu göstermektedir. İstatistiksel verilerde robotik cerrahi sayısında belirgin bir artış izlenmektedir. Bu tür operasyonlarda anestezi ekibinin robotik endotrakeal entübasyonu tercih ettiği ve başka bir odada bulunan cerrahin konsoldan operasyonu yönettiği, hastaların EBOLA krizinde olduğu gibi izole odalarda kaldığı özellikle anlatılmaktadır.

Önümüzdeki yıllarda, 3D, 16 kat büyütme, 540 derece 7 açıdan hareketli, sesli komut sistemleri de eklenebilen, tremor filtre eden ve yorulmayı önleyen, dokunmatik duyarlılık eklenmiş SP modelleri kullanılan robotların 2025'te "cloud centric-bulut merkezli", 2030'da "otomatik" uygulamalı robotlar ve 2040'tan sonra da "bilgisayar yardımcı" robotlarla cerrahiye geçişi planlanmaktadır. Yani geçmişin cerrahideki "önce kes, sonra gör" anlayışı dün, "önce gör sonra bilecek kes" anlayışına bugün, "detaylı gör ve minimal kes (*keyhole surgery*)" anlayışına dönmüş yarın ise "yapay zekâ ile planla, artırılmış gerçeklikle görüntüle ve tek girişle kes" anlayışına geçecek gibi görünmektedir.

Sağlık sektöründeki mükemmeliyet beklentisi ve hızla ilerleyen teknoloji ile makine öğrenmesi (*machine learning*), derin öğrenme (*deep learning algorithms*), istatistik hafıza (*statistic learning*), yapay zekâ (*artificial intelligence*), artırılmış gerçeklik (*augmented reality*) uygulamalarının hızla sisteme adapte edilmesi ve tüm uzaktan kumandalı robotik cerrahi sistemlerin birçok aygıt (Gsm, PC...) network bağlanması, verilerin işlenmesi ve geri dönüşüyle gelişmenin devam etmesi; önümüzdeki yıllarda bizleri belki de İtalya'da Verona Üniversitesine bağlı SSSA Biyo-Robot Enstitüsünde geliştirilen otonom, küçük robotlarla veya gene İtalya'daki Podova Üniversitesinde geliştirilen ve detaylı olarak cerrah tarafından yapılan operasyonları öğrenip taklit etmeye programlanan robot cerrahlarla tanışabiliriz. Bu mini robot teknolojisiyle yakın zamanda kolon poliplerinde rezeksiyon başarıyla deneysel amaçlı gerçekleştirilmiştir.

Artık konuyu yavaş yavaş uzayda, ağırlıksız ortamda uzaktan kontrollü cerrahi hedefine getirmişken, şimdi biraz telecerrahinin uzay çalışmalarına ve çalışmaların başına yani NASA'nın sualtı akvaryum laboratuvarı çalışmalarının, ya da parabolik uçuş yaparak yerçekimsiz ortam sağlayan, Airbus ya da DC-9 uçaklarıyla gerçekleştirilen çalışmaların başına, 2001 yılına dönelim. Uzay görevindeki astronotların, uzaktan kumandalı robotlarla tıbbi yardım almasını sağlamanın önünde birkaç sorun bulunmaktaydı. Bunlar; robotların teknolojik gelişiminin yanı sıra yerçekiminin olmamasından doğan, cerrahiye bağlı, kan ve vücut sıvılarının ortamda dağılması ve kontrol edilememesi, uzaklığa bağlı ileti gecikmesine bağlı gerçek zamanlı operasyon yapabilmenin zorluğuuydu.

İnsan üzerinde ilk basit bir kist çıkartılması operasyonu 1998'de Rus kozmonotlar tarafından gerçekleştirildi. Yine aynı yıl ABD'de geliştirilmeye başlanan M7 robotları, iki kollu Raven gibi varyasyonları NASA'nın denizaltı laboratuvarında test edilmeye 2001 yılında başlandı. Uzaktan komuta edilen robotik cerrahi, uzay ve benzeri zorlu çevre koşullarının simüle edildiği NEEMO (*NASA Extreme Environment Mission Operations*) adı verilen seri görevlerde denendi. Bu görevlerin yedisinde 2004 yılında Zeus robotu 2.500 km. uzaktan kontrol edilerek, tanısal ultrasonografi yapmak veya apse drene etmek, sistoskopi, laparoskopik kolesis-

tektomi gibi operasyonlar uygulandı ve 100 milisaniye ile 2 saniye arasında bir gecikme ile işlemlerin yapılabilirdiği gözlemlendi. Dokuzuncu görevde bir M7 robotu denendi, ay ve dünya bağlantısı simüle edildi, mikrodalga uydu bağlantısı yapıldı. 3 saniyelik bir gecikme ile abdominal basit laparoskopik cerrahi uygulandı, hem operasyona bağlı yorgunluk hem bağlantıya bağlı gecikmenin operasyona etkisi incelendi. 2006 yılında on ikinci görevde hem M7 hem Raven robotları kullanıldı ve robotlarla dikiş atma incelendi hatta dikiş malzemelerinin otomatik kollara yerleştirilmesi otonom olarak gerçekleştirildi ve bu konuda bir ilk oldular. Florida'daki laboratuvarındaki çalışma Seattle'den 70 milisaniyelik gecikme ile ve internet üzerinden gerçekleştirildi.

Bu çalışmalara ESA'da (*European Space Agency*) katıldı ve yerçekimsiz ortam sağlamak üzere parabolik uçuş yapan bir Airbus A-300 Zero-G uçağında 25 dalış sırasında lipom çıkartılması işlemi, uçuş ve yerçekimsiz ortama uyum eğitimi alan cerrahlar ve miktatsız aletler kullanılarak gerçekleştirildi. Böylece telecerrahi ile robot kullanılarak yerçekimsiz ortamda cerrahi yapılabilirdiği anlaşıldı. Şimdi sıra uzaklığa göre, görevde olan astronotlara müdahale edilip edilme-yeceğinin test edilmesine gelmişti. Çalışmalar 6 astronotlu 30 aylık bir Mars görevinde apandisit, travma, intrakranial hematoma vs. gibi ciddi bir tıbbi sorunun %90 olasılık taşıdığını gösteriyordu. Böyle bir durumda dünyaya getirilemeyecek astronotlara nasıl müdahale edilebilirdi?

Dünya yörüngesinin dışında radyo dalgaları ve mikrodalgalar ışık hızında hareket ettikleri için, teorik olarak yaklaşık 380 bin kilometre uzaklıktaki Ay'da yapılacak telecerrahide beklenen gecikme, 1,5 saniye olacak ve neredeyse gerçek zamanlı bir operasyon yapmak mümkün olabilecekti. Buna karşılık Mars yörüngesinde 15-20 dakikalık bir gecikmeden dolayı bu tür bir cerrahi henüz mümkün görünmemekteydi. Yapılan çalışmalarla 10 milyon kilometrede 50-70 saniyelik bir gecikmenin olduğu hesaplanarak dünyanın yakın yörüngesinde yaklaşık 500 km'lik mesafede "telecerrahi" 0,5 saniye gecikmeyle rahatlıkla uygulanabilirken, 380 bin kilometre uzaklıktaki ay yörüngesinde 380 bin kilometrede 1,5 saniyelik gecikmeyle çok sorun yaratmadan uygulanabilir gibi duruyordu. Yani Dünya ve Ay arasındaki mesafede veri aktarımı sorunsuz yapılabilir ve telecerrahi uy-

gulanabilirdi. Orta uzaklık kabul edilen 10 milyon km uzakta yani şimdiki uzay istasyonunun bulunduğu yörüngede ise 50-70 saniyelik bir gecikmeden dolayı telecerrahi yerine "telementoring" yapılmasının, uzak mesafe kabul edilen 400 milyon km mesafedeki Mars yörüngesinde ise 15-25 dakikalık gecikme nedeniyle ancak "Telekonsültasyon (*consultancy telemedicine*)" yapılabileceği öngörülmektedir. Bu nedenle şimdiki uzay derinliklerine yapılacak uzay görevleri için karşılaşılabilecek cerrahi çözümlü problemlerde, minimal invaziv tekniklerin uzaktan kumandalı robotlar yerine mini otomatik robotlar ile uzay aracında gerçekleştirilmesi çözüm olacaktır gibi duruyor.

Uzun yıllar içerisinde gelişen telecerrahi, gittikçe cerrahide hatta tıptaki yerini artırmakta. Gelecekte kendinden daha çok söz ettireceği hem tıp hem medikal mühendisliğin, robotik endüstrinin önemli bir alanı olacak gibi duruyor. Bu teknolojik gelişmeler aynı zamanda cevaplanması gereken etik sorunları da beraberinde getiriyor. Hasta verilerinin güvenliği, sınır ötesi operasyonlarda nasıl bir koruma olabileceği, gerçekten bir sorun ve hangi ülkenin sorunu olacağı da ayrı bir sorun. Gerçekleştirilen operasyon nedeniyle doktorun bulunduğu ülke mi yoksa hastanın bulunduğu ülke mi sorumlu olacak veya hangi ülke kendi kanunlarına göre nasıl bir sorumluluk taşıyacak? Tartışmalı bir konu. Yine internet ortamında gerçekleşen bu tür veri alışverişinde korsanlıklarda olabileceği düşünüldürse bilgilerin ele geçirilmesi kadar operasyona müdahale edilmesi de söz konusu olabilir ve böyle saniyelik bir kaçığın bile hayati bir sorun ortaya çıkarması söz konusu olabilir. Bir başka sorunda hekim hasta ilişkileri konusunda yaşanabilir, çünkü hasta operasyon sonrasında operasyonu gerçekleştiren, kendi doktorunun bakımında olmayacak, yani bir ilgi azalması söz konusu olabilecektir.

Yeni bir dünya, yeni etik sorunlar ve elbette yeni kavramlar getirecektir. Bilgiye erişim bu kadar kolaylaşınca artık istediğimizden ve işleyebileceğimizden fazla bir bilginin yükünü taşımaya başladık. Buna bir de radyo dalgaları ve elektrik sinyallerinin taşıdığı iletişim hızını ve değerli ile değerli olmayı ayırmayan bir dijital bilgiyi de eklersek, bizim için hayatı kolaylaştırılabilir, yaşanabilir yapmasını istediğimiz teknolojik gelişmelerin, bizi gerçek dünyadan dijital dünyaya taşıdığını görebiliriz. Cerrahide de gelecek "dijital cerrahi" gibi görünüyor ve

bu "dijital cerrahi çağı" başlangıcı robotik uzaktan kumandalı cerrahi olacak. Geçmişin açık (konvansiyonel) cerrahisi yakın zamanda yerini laparoskopik cerrahiye bıraktı ve şimdi dijital cerrahi çağı başlıyor artık. Kapıyı açan ve ilk basamak olan da robotik cerrahi...

## Kaynaklar

2021 Mohan et al. *Cureus* 13(3): e14124. DOI 10.7759/cureus.14124.

Alexander AD (1973) *Impacts of Telemation on Modern Society. Proc. of Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting* 17(2):299-304.

An MRI-guided telesurgery System Using A Fabry-Perot Interferometry Force Sensor and a Pneumatic Haptic Device. Su H, Shang W, Li G, Patel N, Fischer GS. *Ann Biomed Eng.* 2017;45:1917-1928.

COVID-19: Protecting Health-care Workers. *Lancet* 395, 922 (2020)

Determining the Threshold of Time-delay for Teleoperation Accuracy and Efficiency in Relation to Telesurgery. Korte C, Nair SS, Nistor V, Low TP, Doarn CR, Schaffner G. *Telemed J E Health.* 2014;20:1078-1086.

King H, Hannaford B, Kwok K, Yang G, Griffiths P, Okamura A, et al (2010) *Plugfest 2009: Interoperability in Telerobotics and Telemedicine. IEEE International Conference on Robotics and Automation, Anchorage, AK, pp 1733-1738.*

Kwoh YS, Hou J, Jonckheere EA, Hayati S. A Robot with Improved Absolute Positioning Accuracy for CT Guided Stereotactic Brain Surgery. *IEEE Trans Biomed Eng.* 1988;35:153-60.

Marescaux, J. et al. *Transatlantic Robot-assisted Telesurgery. Nature* 413, 379-380 (2001).

Mendez I, Hill R, Clarke D, Kolyvas G, Walling S (2005) *Robotic Long-distance Telementoring in Neurosurgery. Neurosurgery* 56(3):434-440. doi:10.1227/01.NEU.0000153928.51881.27.

Nguyen C, Miller B, Patel R, Luke PP, Schlachta CM (2008) *Preclinical Remote Telesurgery Trial of a da Vinci Telesurgery Prototype. Int J Med Robotics Comput Assist Surg* 4:304-309. doi: 10.1002/rcs.210.

Rayman R (2009) *Is Surgery A Remote Possibility? Robotic Surgical System Under Development Has Telesurgery Capabilities. Health Technol Trends* 21(7):5-7.

Rayman R, Croome K, Galbraith N, McClure R, Morady R, Peterson S, Smith S, Subotic V, Van Wynsberghe A, Patel R, Primak S (2007) *Robotic telesurgery: a real-world comparison of ground- and satellite-based Internet performance. Int J Med Robotics Comput Assist Surg* 3:111-116. doi:10.1002/rcs.133.

Rayman R, Croome K, Galbraith N, McClure R, Morady R, Peterson S, Smith S, Subotic V, Van Wynsberghe A, Primak S (2006) *Long-distance Robotic Telesurgery: A Feasibility Study for Care in Remote Environments. Int J Med Robotics Comput Assist Surg* 2:216-224. doi:10.1002/rcs.99.

Rosen J, Hannaford B (2006) *Doc at A Distance. IEEE Spectrum* 8(10):34-39.

Satava RM (1995) *Virtual Reality, Telesurgery, and the New World Order of Medicine. J Image Guided Surg* 1:12-16.

Schollmeyer T, Soyinka AS, Schollmeyer M, Meinhold-Heerlein I, Georg Kelling (1866-1945): *The Root of Modern Day Minimal Invasive Surgery. A Forgotten Legend? Arch Gynecol Obstet.* 2007;276:505-9.

*Telemedicine and Telesurgery in Cancer Care: Inaugural Conference at MD Anderson Cancer Center. Satcher RL, Bogler O, Hyle L, et al. J Surg Oncol.* 2014;110:353-359.

*Telemedicine in Surgery: What are the Opportunities and Hurdles to Realising The Potential? Raison N, Khan MS, Challacombe B. Curr Urol Rep.* 2015;16:43.

Thompson JM, Ottensmeyer MP, Sheridan TB (1999) *Human Factors in Telesurgery: Effects of Time Delay and Asynchrony in Video and Control Feedback with Local Manipulative Assistance. Telemed J* 5(2):129-137. doi:10.1089/107830299312096.