



Ortopedi ve travmatoloji ameliyat salonunun yapay zekâ ile optimizasyonu

Optimization of orthopedics and traumatology operating room by artificial intelligence

Erden Kılıç^{1,2}, Özgür Selim Uysal²

¹Atılım Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi, Fizyoterapi ve Rehabilitasyon Ana Bilim Dalı, Ankara

²Özel 100. Yıl Hastanesi, Ortopedi ve Travmatoloji Kliniği, Ankara

Tıbbın her alanında bilgi büyük bir hızla artmaktadır. Tıbbi karar verme sürecinin de giderek daha çok nicel verilere dayanılarak yapılması önerilmektedir. Bu durumda klinisyenlerin oluşan bu büyük veriyi geleneksel yöntemlerle işlemesi gittikçe güçleşmektedir. Bu noktada bu büyük veri setinden klinik olarak anlamlı bilgileri elde edebilmek için yapay zekâ gibi bir teknolojiye ihtiyaç vardır. Yapay zekâ uygulamalarının tıp dâhil birçok alanda yaygın olarak kullanılmasına karşın cerrahi alanda kullanımı kısıtlıdır. Her ne kadar deneysel çalışmalar yayınlanmış olsa da cerrahide kullanımı onaylanmış bir yapay zekâ henüz yoktur. Teknolojik gelişmelerin cerrahide kullanıma girmesi daha zaman almakla birlikte önümüzdeki yıllarda cerrahiyle ilgili yapay zekâ çalışmaları artacak ve ameliyathanede kullanılmaya başlanacaktır. Yapay zekâ ile ameliyathanenin optimizasyonu daha kolay ve ölçülebilir hâle gelecektir.

Anahtar sözcükler: yapay zekâ; ameliyathane; ortopedi; makine öğrenmesi

Information in medicine is rapidly growing. Decision making in medicine should rely on quantitative data. Clinicians will experience difficulty in processing such an enormous data. Retrieving clinically important information from this big data requires a technology like artificial intelligence (AI). Although AI is widely used in many areas including medicine its use in surgical field is limited. There are experimental studies but none of them approved for clinical use. Although penetration of new technology in the surgical field takes long time studies on the use of AI in surgery will increase and will be used for the operating rooms (OR). Optimization of OR by AI would be better and quantifiable.

Key words: artificial intelligence, operating room, orthopedics, machine learning

Ameliyathane ve ameliyat salonunun organizasyonu karmaşık bir süreçtir. Bu konuda tek bir doğru- rudan bahsetmek mümkün değildir, her koşula uygun mükemmel bir ameliyathane tarifi de yoktur. Ameliyathane organizasyonu birbirinden bağımsız birçok farklı koşula bağlıdır. İlgili cerrah ameliyathane organizasyonunda belirli bir ağırlığa sahip olsa da tek başına karar verici değildir. Ameliyathanede istenilen koşullar cerrahi branşlar arasında, hatta yaptıkları cerrahi tipine göre aynı branşta iki cerrah arasında bile değişiklik gösterebilir. Bunun dışında anestezi uzmanı, ameliyathane sorumlusu, cerrahi hemşiresi, cerrahi teknisyeni ve hasta tarafından değerlendirildiğinde farklı farklı ihtiyaçlar ve tasarımlar ortaya çıkabilir.

Ameliyathanede kullanılacak malzeme ve cihaz seçiminde, ilgili ürün veya cihazın pazarlama ekibinin de etkisi olduğu gerçeği yadsınamaz.

Ameliyathane, hastane gelirleri içinde yüksek paya sahip özel bir bölümdür. Bu nedenle hastane içinde yüksek teknolojinin en çok tercih edildiği ve kullanıldığı bölümlerinden biridir. Ameliyathane aynı zamanda en yüksek maliyete de sahip bölümdür. Bu nedenle teknolojiye ait tercihler yapılırken dikkatli olunmalıdır. Ameliyathane dizaynında teknolojik gelişmelerin öteden beri ciddi etkisi vardır. Ortaçağda tıp eğitiminde ortada sahnede yapılan cerrahi tiyatro gibi (*operating theatre*) etrafında yer alan öğrencilerin izlediği ameliyathaneden, 1884'te Gustav Neuber tarafından diğer

İletişim / Contact: Prof. Dr. Erden Kılıç • **E-posta / E-mail:** erdenkilig@yahoo.com

ORCID iD: Erden Kılıç, 0000-0001-6098-9576 • Özgür Selim Uysal, 0000-0002-6433-7548

Geliş / Received: 2 Ekim 2023 • **Revizyon / Revised:** 13 Kasım 2023, 29 Kasım 2023 • **Kabul / Accepted:** 1 Aralık 2023

hastane kısımlarından ayrı aseptik bir ameliyathanenin kurulmasına kadar kayda değer bir gelişme yaşandığı söylenemez. Yirminci yüzyılın sonlarına kadar ameliyathane ve açık cerrahide kullanılan el aletlerinin tasarımında da ciddi bir teknoloji kullanımı olmamıştır. Bu sürede daha çok el aletinin daha kolay kullanımı, daha kolay temizlenmesi ve dayanıklılığı üzerine geliştirmeler yapılmıştır. Teknolojinin ameliyathaneye girişiyle ilgili sayılabilecek en önemli gelişme, 1980'li yıllarda artroskopik cerrahinin kullanılmaya başlanmasıdır. Artroskopinin hasta ve cerrahi üzerinde yarattığı olumlu etkiler kısa sürede ortaya konmuştur. Beraberinde teknolojiye yaşanan baş döndürücü hızdaki gelişmelerin sonucunda bilgisayarlar her alanda olduğu gibi sağlık sistemine de giriş yapmış, hastanede geleneksel dosyalama ve görüntüleme sistemlerinin yerini elektronik kayıt ve görüntüleri de içeren ağ sistemleri almaya başlamıştır. Bu süreç Lam ve ark. tarafından dijital cerrahi olarak adlandırılmış ve cerrahi öncesi planlama, cerrahi başarı, tedavi desteği ve eğitim ile sonuçların iyileştirilmesi ve muhtemel zararların azaltılması için teknolojinin kullanılması olarak tanımlanmıştır.^[1]

Bilgisayar destekli bu yapılanma, ameliyathanede robot ve yapay zekâyâ geçişin kapısını aralamıştır. İlk olarak otomotiv endüstrisinde 1950'lerden bu yana seri üretim amaçlı kullanılan robotların tıpta kullanımı için çalışmalar başlatılmıştır. Üretimde yüksek doğrulukları ve uygulamalarının tutarlı şekilde tekrarlanabilir olmaları sebebiyle cerrahide kullanım olasılıkları incelenmeye başlanılmıştır. Başlangıçta cerrahide robotlar otomotivde olduğu gibi otonom çalışacak şekilde tasarlanmış, ancak bu durumda cerrahin süreçte etkisiz kalması nedeniyle kullanımı kısıtlı kalmıştır. Sonrasında tıbbi robotların gelişimi insanların yerini almak üzere değil daha çok insanların yeteneklerini geliştirmek yönünde olmuştur.^[2] Yapay zekânın da belli bir birikime ulaşması bu teknolojinin de benzer şekilde hekimin tanı koyma ve tedaviye karar verme süreçlerinde yardımcı olacak şekilde cerrahide de kullanılması düşüncesini ortaya çıkarmıştır. Robotik cerrahi teknolojilerinin yapay zekâyla ortak kullanımı ve ileri görüntüleme sistemleriyle birleştirilmesinin cerrahin tanı koyması, işlem sırasında karar vermesi ve cerrahi planlandığı şekilde tamamlanmasına büyük katkı vermesi beklenmektedir.

Cerrahide kullanılmak üzere tasarlanan tüm teknolojik gelişmelerin temel motivasyonu hasta güvenliğinin yanında cerrahin yetenek, görüş ve becerilerini arttırmaktır. Gelecekte ameliyathane organizasyonunun nereye evrilebileceğini öngörmek de çok kolay değildir. Şu anda kullanılan cihazların gelişimine bakıldığında küçülüp, daha kablosuz hâle geleceği öngörülebilmektedir. Tüm cihazların modüler şekilde hastane bilişim sistemine kab-

losuz olarak entegre edildiği, cerrahi sahadan dokunarak ya da el hareketleri veya sesle ya da uzaktan ağ içinde herhangi bir yerden kumanda edilmesi en yakın ihtimal gibi görünmektedir. Burada yapay zekâyâ ayrı bir parantez açılmalıdır, çünkü yapay zekânın yapabileceklerinin sınırını çizmek pek mümkün değildir. Bu anlamda yapay zekânın alt tiplerinin tıbbi süreçlerinin hangisinde daha faydalı olduğunu belirleyecek çalışmalara ihtiyaç vardır. Yapay zekâ, çok yeni bir kavram olduğu için bu konudaki çalışmalar çoğunlukla yakın tarihli ve sınırlı sayıdadır. Çalışmalar genellikle deneysel olup cerrahide kullanımı onaylanmış bir yapay zekâ henüz yoktur. Bu yazıda, yapay zekânın kısa tanımı yapılacak ve literatürde ortopedik cerrahi temel olmak üzere cerrahide kullanımına ilişkin çalışmalar ve ameliyathane optimizasyonuna katkıları ele alınacaktır.

YAPAY ZEKÂ

Yapay zekâ, makinelerin mevcut verileri, belli hesaplamaları kullanarak öğrenme, problem çözme ve karar verme gibi insanlara benzer şekilde düşünme yeteneği kazanmasını sağlayan matematik temelli uygulamalardır.^[3] Zayıf yapay zekâyâ sahip makineler, yalnızca verilen komutlar çerçevesinde işlem yaparken, kuvvetli yapay zekâyâ sahip makineler ise algoritmaları kullanarak kendini geliştiren, hatalardan öğrenme yeteneği olan sistemlerdir. Bunun üzerine geliştirilen sistem ise makine öğrenmesidir. Makine öğrenmesinde sistemler kendisine sunulan veriler ve parametrelerle benzetimler yaparak, daha iyi tespitlerde bulunan, programlanmamış olsa da bazı durumları ortaya koyabilen, kendi kendini eğitebilen sistemlerdir. Makine öğrenmesinin üç tipi vardır. Ayrıca bu öğrenmeler kullandıkları algoritmalara göre alt gruplara ayrılır:

1. Gözetimli öğrenme (alt gruplar; regresyon ve sınıflandırma)
2. Gözetimsiz öğrenme (alt grup bölükleştirme ve ilişkilendirme)
3. Pekiştirmeli öğrenme.

Derin öğrenme ise yakın zamanda ortaya konan, büyük veri denizinde tek bir katmanda değil, birden fazla katmanda çalışan, makine öğrenmesinde kullanılan tüm hesaplamaları bir arada yapan, makine öğrenmesinde tanımlanması gereken parametreleri bile kendisi bulan hatta daha iyi parametreler ile değerlendirme yapabilen bir sistemdir. Bu öğrenmede canlıların sinir sistemlerine benzeyen çok katmanlı değerlendirme algoritmaları kullanılır.^[4]

Tıbbın her alanında bilgi büyük bir hızla artmaktadır. Tıbbi karar verme sürecinin de giderek daha çok nicel verilere dayanarak yapılması önerilmektedir. Bu durum-

da klinisyenlerin oluşan bu büyük veriyi geleneksel yöntemlerle işlemesi gittikçe daha da güçleşmektedir. Bu noktada bu büyük veri setinden klinik olarak anlamlı bilgileri elde edebilmek için yapay zekâ gibi bir teknolojiye ihtiyaç vardır. Yapay zekâ uygulamalarının tıp dâhil birçok alanda (ekonomi, mühendislik, telekomünikasyon vb.) yaygın olarak kullanılmasına karşın cerrahi alanda kullanımı kısıtlıdır. Her ne kadar deneysel çalışmalar yayınlanmış olsa da henüz cerrahide kullanımı onaylanmamıştır. Yayınlar incelendiğinde literatürde cerrahiyle ilgili yapay zekâ yayınlarının büyük çoğunluğunun son on yılda yapıldığı görülmektedir.

Dâhili branşlarda ise yapay zekânın kullanımıyla geniş çalışmalar mevcuttur. *International business machines*, (IBM)'in geliştirdiği Watson Health adını verdiği yapay zekânın 2014 yılında büyük veri setleri ve yayımlanmış tüm kanser makalelerini, tanı koymayı kolaylaştırmak ve tedavide maliyeti azaltmak amacıyla incelemesiyle başlayan projeye 14 farklı onkoloji merkezinin katılmasıyla elde edilen bu büyük veri setinden her tip kanser hastasına en uygun tedavi yöntemini önerebilen bir algoritma elde edildiği bildirilmiştir.^[5] Benzer şekilde Amerikan Cerrahi Derneği'nin yaptığı çalışmada 2005 ile 2009 arasında tanı ve yapılan cerrahinin işlem koduna göre mortalite, morbidite ve komplikasyonların ilişkisi değerlendirilmiş ve makine öğrenmesi sonucunda her işleme göre bir risk skoru oluşturulmuştur. Bu algoritma 2010 yılından sonraki veri setine uygulandığında komplikasyon oluşma riskini diğer tüm tahmin yöntemlerine göre daha yüksek doğrulukla belirlemiştir.^[6] Yapay zekâ kullanılarak retinal görüntülerden kardiyovasküler riskin belirlenmesi, cilt lezyonlarının uzman düzeyinde sınıflandırılması ve mamogramdan meme kanseri tanısı konulması gibi işlevler de elde edilmiştir.^[7-9] Yapay zekâ ile yalnızca tanı ve tedavi bilgilerini kullanarak yapılan akciğer kanseri evrelemesi yalnızca klinik kılavuzla yapılan değerlendirmeye göre daha yüksek doğruluk oranı sağlamıştır (doğruluk %72'den %93'e).^[10]

Ameliyathane optimizasyonunda yapay zekânın kullanıldığı çalışmalarda hedeflerden biri de ameliyat süresi ve derlenme odasında kalış süresini tahmin ederek ameliyat sayısı ve ameliyathane verimliliğini arttırmaktır. Ameliyat süresinin doğru tahmini yanında ameliyathane salon seçimi ve derlenme odası gibi ek koşulları da değerlendirerek daha verimli bir planlama yaparak kaynak israfını önler, akılcı kullanımını sağlayarak maliyetleri azaltır. Optimizasyonun amacı sadece ekonomik kazanım değil aynı zamanda yapılan işlemin kalitesini ve güvenliğini de arttırmaktır. Geleneksel yöntemde yakın bir zaman dilimi içinde yapılan belirli sayıda olgular değerlendirmeye alınırken, makine öğrenme modelinde ortalama cerrahi süresi, cerrahi sürede değişiklik, cerrahi tipleri

ve sıklığı ve dağılımı gibi birçok değişkene ait tüm veriler değerlendirmeye alınır. Bu değişkenlerin çoğu cerraha bağımlı olduğu için modellerin cerraha-özel çalışması daha doğru olacaktır. Bunların yanına anestezi, geçirilmiş cerrahiler, olgunun zorluğu konusunda cerrahin değerlendirmesi, anestezi tipi, Amerikan Anesteziyoloji Derneği (ASA) sınıflandırması ve diğer hasta faktörlerinin de makine öğrenmesi modeline eklenmesiyle, cerrahi süresinde tahmin doğruluğu daha da yükselmesi beklenir. Örneğin Fairley ve ark. hastanelerinde ameliyathanede yaşanan sıkışmanın derlenme odasında kalma süresinin uzamasına bağlı olduğu tespit etmişler ve bunu çözmek için yaptıkları çalışmada ameliyat süresini ve derlenme odasında kalışı takip eden yapay zekâ ile 2014-2016 yılında yapılan 18.000 vakayı taramışlar ve yapay zekâ ile ameliyathane programı belirlendiğinde derlenme odasında yığılmayı %76 oranında azaltabileceklerini bildirmişlerdir.^[11] Ürolojik olgularda uygulanan robotik cerrahide yapay zekâ 28 farklı değişkeni inceleyerek cerrahi süresini tahmin etme doğruluğunda %16,8 artış sağlamıştır.^[12] Benzer şekilde Tuwatananurak ve ark. yaptıkları çalışmada cerrahi süresini hesaplamada yapay zekâ modeliyle anlamlı iyileşme sağlamıştır. (%31,2'den *Leap Rail*® ile %41,1'e; $p < 0,0001$).^[13] Bu sonuçlar yapay zekânın ameliyathane planlamasında yardımcı olabileceğini ve optimizasyonu olumlu yönde etkileyebileceğini göstermektedir. Ameliyathanede planlamayı olumsuz etkileyen gelir, zaman ve iş gücü kaybına neden olan bir diğer neden ameliyatın iptal edilmesidir. Bunun önüne geçmek ve gerekli tedbirleri almak için Luo ve ark.'nın yaptıkları çalışmada ameliyat iptallerini daha doğru saptayabilmek için üç farklı yapay zekâ kullanmışlar, bunların arasında *random forest* yönteminin iptal riskini belirlemede en doğru sonucu verdiğini belirlemişlerdir.^[14] COVID süresince elektif ameliyatların sonrasında ciddi bir yoğunlukla karşı karşıya kalan bir hastanede yapılan çalışmada yapay zekâyla yapılan ameliyathane programının yaklaşık %21 düzelme sağladığı ve kayıtların incelendiği üç yıl içinde 469.000 \$ tasarruf sağlama potansiyeli olduğu belirlenmiştir.^[15] Bartek ve ark. yaptıkları çalışmada cerrahi süresini belirlemek için yapay zekâ yöntemlerini kullanmışlardır. Makine öğrenmesi algoritmasıyla en yüksek öngörüyle sağlamıştır. Cerraha özel model, hizmete özel modele göre daha yüksek doğruluk, daha düşük oranda uzama/erken bitiş ve daha çok sayıda olgunun %10'luk eşik değeri içinde kalmasını sağlamıştır. Geleneksel yöntemle %32 olan %10 içinde kalan olguların sayısı makine öğrenmesiyle %39'a çıkmıştır.^[16] Yeo ve ark. tarafından yakın zamanda yapılan çalışmada üç farklı makine öğrenme yöntemi kullanılmış, bunların içinden yapay nöronal ağ (*artificial neuronal network*, ANN) primer diz artroplastisi süresinin tahmin edilmesinde en iyi sonucu

vermiştir.^[17] Herhangi bir cerrahide maliyeti oluşturan unsurları belirlemek ve mümkün olanlarda maliyeti azaltacak tedbirler almak ameliyathanenin girdisini arttıracaktır. Bu amaçla Salmons ve ark.'nın geliştirdikleri yapay zekâ modeliyle günübürlük unikonidiler diz artroplastisi (UKA) maliyetini oluşturan etkenleri incelemişler ve ameliyathane süresi, yatış süresi, bilgisayar destekli cerrahi uygulanması, rejyonel anestezi, ek periartiküler analjezi ve rutin patoloji gönderilmesini başlıca maliyet nedenleri olarak belirlemişlerdir.^[18] Diğer cerrahi tedavilerde de benzer şekilde maliyet analizi ve mümkün olan basamaklarda iyileştirme yapılması ameliyathane girdilerinde artış sağlayabilir.

Ameliyathanenin optimizasyonu sağlamak için gerekli koşullardan biri de cihazların performanslarının takip edilebilmesidir. Çevrim içi analizinin yapılabilmesi için tüm cihazların birbirine bağlı ve ulaşılabilir olması gerekir, bu da cihaz üreticilerinin ortak bir karar alarak hareket etmesiyle sağlanabilir. Bu soruna çözüm olarak ameliyathanedeki süreçleri tanımlamak ve cihazları takip etmek üzere yapay zekâyla bağlantılı geliştirilmiş sensörler üretilmiş ve yapılan çalışmalarda ameliyathane ve cihazların durumunun takibinde başarılı olduğu görülmüştür.^[19,20] Padoy ve ark. tarafından da cerrahi kontrol kulesi adı verilen benzer bir sistem geliştirilmiştir. Bu kulenin işlevi cerrahi akışı takip edebilen ve ameliyathanenin durumunu tespit edebilen bir yapay zekâ tarafından sağlanmaktadır. Bu kule yapay zekâyla cerrahinin hangi fazda olduğunu, cerrahi aletleri ve bulunduğu yerleri, insanları ve pozisyonlarını belirleyebilmekte, endoskopik sistemi asiste ederek cerraha daha iyi görüntü sağlayabilmektedir.^[21] Bu şekilde ameliyathane salonları çevrim içi takip edilerek cerrahi arasında geçen süre an aza indirilebilmektedir.

Ameliyathanede kullanılan insan gücünü azaltmak amacıyla cerrahide kullanılacak cihazların tekniker tarafından değil robot tarafından ayarlanabilmesi için deneysel bir çalışma yapılmıştır. Yapay zekâyla yönetilen robot koluna kullanacağı cihazın (bu çalışmada insüflatör) nasıl ayarlandığını önceden hazırlanmış video ile öğretilmiş ve kol istendiğinde cihazın ayarını hatasız yapmayı başarmıştır.^[22] Benzer deneysel çalışma cerrahi hemşire yerine robot kullanımı için yapılmış, bu amaçla yapay zekânın görüntüyle öğretilmiş olan diş çekim aletlerini sınıflandırması istenmiştir. Bu çalışmada robotik kolun el aletlerini doğru sınıflandırma oranı %70 civarında bulunmuştur, bu sonuç cerrahi hemşirenin işini robotik kolun yapacağı bir ameliyathaneden henüz uzakta olduğumuzu göstermektedir.^[23]

Literatürde yapay zekânın ameliyat öncesinde kullanılarak bazı süreçlerin kılmasını sağladığını gösteren

çalışmalar da mevcuttur. Cha ve ark. tarafından yapılan çalışmada yapay zekâ kullanılarak yapılan kalça kırığı sınıflandırmasında yüksek doğruluk oranıyla tanı konulması hazırlık sürecinin kılması sağlanmıştır.^[24] Benzer şekilde kalça radyografisinden kullanılan implantın tahmin edilmesini sağlayan toplamda 20 çalışmada, kullanılan tüm yapay zekâ algoritmalarının iyi çalıştığı ve her birinde medyan AUC değerinin 0,90 ve doğruluk oranının %90'ın üzerinde olduğu bulunmuştur.^[25]

Yapay zekâ yüksek maliyetle temin edilen robotların performansını arttırmak amacıyla da kullanılabilir ancak bunun için yüksek miktarda veriye ihtiyaç vardır. Bhandari ve ark. yapay zekânın cerrahi robotların kullanımındaki yerini inceledikleri yazısında gelişmenin ancak robotlarda elde edilen verinin paylaşılması ile yeterli veri havuzu oluşturulup yapay zekâ ile incelenmesi ile mümkün olabileceğini belirtmişlerdir.^[26] Diğer bir çalışmada Liu ve ark. bilgisayar destekli ortopedik cerrahide optik işaretleyiciler olmadan kemik haritalandırması yapmak için yapay zekâyı bağlı kameraları kullanmış ve yapılan ölçümlerde ortalama 2,74 mm translasyon ve 6,66° rotasyonel hata saptamışlardır.^[27] Bu hata payı optik işaretçilerin kullanıldığı mevcut ameliyat içi yöntemlere göre daha yüksek olduğu için bu konuda iyileştirmeye ihtiyaç vardır.

Ortopedik cerrahi yanında yumuşak doku cerrahilerinde robot kullanımı sırasında yapay zekâ yol gösterici olarak kullanılabilir. Yumuşak dokuları ilgilendiren cerrahide organların şekli hareket ve pozisyon değişikliğinden etkilenmekte ve cerrahi sırasında görüntü görüntüleme ile elde edilenden farklı olabilmektedir. Bilgisayarlı görüş algoritması içeren yapay zekâ şekil değiştirebilen organların şekil veya sınırlarının saptanması veya diseksiyon düzleminin belirlenmesinde yararlı olabilir. Ayrıca uygun doku işaretleme yöntemleriyle dokuların daha görünür ve ayırt edilebilir hâle gelmesi de sağlanabilir.^[28]

Yapay zekânın gelecekte cerrah adaylarının ve genç cerrahların eğitiminde de yer edinmesi olasıdır. Deneyimli ve genç cerrahların ameliyat sırasında hareketlerinin incelendiği iki çalışmada yapay zekâ deneyimli ve genç cerrah ayrımını %90 oranında yapabilmıştır. Buradan yola çıkarak deneyimli cerrahların hareket hızı, becerileri, sakın ve verimli hareket etmeleri gibi davranış modelleri incelenerek yapay zekâyla modelleme yapılması, bu modeller ile cerrah adaylarına hem eğitim verilmesi hem de eğitim sonrasında becerilerinin değerlendirilmesi mümkündür.^[29,30]

GELECEK

Yapay zekâ destekli cerrahi objektif, veriye dayalı karar verme süreciyle gelecekte cerrahinin uygulan-

ma şekline ciddi etkileri olacaktır. Klinikte etkisi asiste etmektir, cerrahi deneyimin yerini alması beklenmez. Karar verme desteği sunan sistemler öneride bulunur ancak karar vermezler. Bilişsel işleme sahip robotlar otonom işlemleri cerrahlar tarafından belirlendiği şekilde yapacaklardır. Deneyimi az olan cerrahlar deneyimli cerrahlara göre bu yardıma daha çok ihtiyaç duyacaklardır. Neticede yapay zekâ uygulamasından beklenen hastanın sonuçlarında iyileşme sağlamasıdır.^[19]

Yakın gelecekte cerrahiyle birlikte ameliyathane de büyük veri yığınınından elde edilen çıkarımlarla yönlendirilecektir. Hasta ve cerrahiyle ilgili bilgiler aynı uçak kokpitinde olduğu gibi cerrahın önünde yer alacaktır. Cerrah hem hasta bilgilerini hem görüntüleme sonuçlarını gerçek zamanlı şekilde hatta artırılmış gerçeklik eşliğinde görecektir ve önceden hazırlanmış ameliyat planına göre işlemi yapabilecektir. Cerrahın önünde yer alan sahanın görüntüsü veya minimal invaziv cerrahi yapılıyorsa optik sistemlerden gelen görüntüler bilgisayarlı görü (*computer vision*) ile taranacak, önemli ve risk teşkil eden anatomik yapılar saptanarak önünde yer alan gerçek ekran veya uçaklarda kask üzerinde ve araçlarda kullanılan hayalet gösterge teknolojisine benzer bir sistemle cerrahı uyaracaktır.^[31] Arka planda çalışan sistem ise sürekli veri toplayarak sahayı kontrol edecek cerrahın plana sadık kalmasını sağlayacak ve hata yapma riskini azaltacaktır. Hassasiyet gereken zamanlarda da görüntü temelli robotik sistemler işlemin yüksek doğrulukla yapılmasını sağlayacaktır. Robotik kol çalışırken güvenli alanlar önceden tanımlanmış olacak ve cihazın ucu güvenli alanın dışına çıktığında haptik geri bildirim verilerek ve cihazın çalışması durdurularak çevre dokuya zarar verilmesi önlenecektir. Cerrahideki bu dönüşüm süreci, havacılık sektöründe yaşanan kazalar sonrasında öğrenilenlerden geliştirilen, her aşamada uygulanacak standartları belirleyen güvenliğe yüksek önem veren ve kaza riskini ve hasarı en aza indirmek için oluşturulan uçuş güvenliğiyle çok benzemektedir. Gelecekte de yapay zekâ, gerçek zamanlı görüntüleme sistemleri ve robot destekli teknolojilerle komplikasyon riskini azaltacaktır. Muhtemelen bu iyileştirme süreci düzenleme kurumları tarafından zorunlu tutulacak, aynı zamanda de geri ödeme sistemleri tarafından desteklenecektir.

Makine öğrenmesinin eleştirilen özelliklerinden biri kara kutu gibi algoritmaların verdikleri sonuçlarla ilgili bir gerekçe veya açıklama sunmamalarıdır. Eğitimde aynı veri seti sunulmasına karşın makinelerin benzer öğrenme davranışları göstermedikleri belirlenmiştir. Gelecekte bu algoritmaların verecekleri sonuç veya varacakları karar için bir açıklama veya gerekçe sunmaları daha faydalı olacaktır.

KAYNAKLAR

1. Lam K, Abràmoff MD, Balibrea JM, Bishop SM, Brady RR, Callcut RA, et al. A Delphi consensus statement for digital surgery. *NPJ Digit Med* 2022;5:100. [Crossref](#)
2. Howe RD, Matsuoka Y. Robotics for surgery. *Annu Rev Biomed Eng* 1999;1:211-40. [Crossref](#)
3. Britannica. Erişim adresi: <https://www.britannica.com/technology/artificial-intelligence>
4. Sathya R, Abraham A. Comparison of supervised and unsupervised learning algorithms for pattern classification. *IJ-AI* 2013;2(2):34-8.
5. Malin JL. Envisioning Watson as a rapid-learning system for oncology. *J Oncol Pract* 2013;9:155-7. [Crossref](#)
6. Van Esbroeck A, Rubinfeld I, Hall B, Syed Z. Quantifying surgical complexity with machine learning: Looking beyond patient factors to improve surgical models. *Surgery* 2014;156:1097-105. [Crossref](#)
7. Poplin R, Varadarajan AV, Blumer K, Liu Y, McConnell MV, Corrado GS, et al. Prediction of cardiovascular risk factors from retinal fundus photographs via deep learning. *Nat Biomed Eng* 2018; 2(3):158-64. [Crossref](#)
8. Esteva A, Kuprel B, Novoa RA, Ko J, Swetter SM, Blau HM, et al. Dermatologist-level classification of skin cancer with deep neural networks. *Nature* 2017; 542(7639):115-8. [Crossref](#)
9. McKinney SM, Sieniek M, Godbole V, Godwin J, Antropova N, Ashrafian H, et al. International evaluation of an AI system for breast cancer screening. *Nature* 2020;577(7788):89-94. [Crossref](#)
10. Bergquist SL, Brooks GA, Keating NL, Landrum MB, Rose S. Classifying lung cancer severity with ensemble machine learning in health care claims data. *Proc Mach Learn Res* 2017;68:25-38.
11. Fairley M, Scheinker D, Brandeau ML. Improving the efficiency of the operating room environment with an optimization and machine learning model. *Health Care Manag Sci* 2019;22(4):756-67. [Crossref](#)
12. Zhao B, Waterman RS, Urman RD, Gabriel RA. A machine learning approach to predicting case duration for robot-assisted surgery. *J Med Syst* 2019;43(2):32. [Crossref](#)
13. Tuwatananurak JP, Zadeh S, Xu X, Vacanti JA, Fulton WR, Ehrenfeld JM, et al. Machine learning can improve estimation of surgical case duration: A pilot study. *J Med Syst* 2019;43(3):44. [Crossref](#)
14. Luo L, Zhang F, Yao Y, Gong R, Fu M, Xiao J. Machine learning for identification of surgeries with high risks of cancellation. *Health Informatics J* 2020;26(1):141-55. [Crossref](#)
15. Rozario N, Rozario D. Can machine learning optimize the efficiency of the operating room in the era of COVID-19? *Can J Surg* 2020;63(6):527-9. [Crossref](#)
16. Bartek MA, Saxena RC, Solomon S, Fong CT, Behara LD, Venigandla R, et al. Improving operating room efficiency: Machine learning approach to predict case-time duration. *J Am Coll Surg* 2019;229(4):346-54. [Crossref](#)

17. Yeo I, Klemm C, Melnic CM, Pattavina MH, De Oliveira BMC, Kwon YM. Predicting surgical operative time in primary total knee arthroplasty utilizing machine learning models. *Arch Orthop Trauma Surg* 2023;143(6):3299-307. [Crossref](#)
18. Salmons HI, Lu Y, Labott JR, Wyles CC, Camp CL, Taunton MJ. Identifying modifiable cost drivers of outpatient unicompartmental knee arthroplasty with machine learning. *J Arthroplasty* 2023;38(10):2051-9. [Crossref](#)
19. Bodenstedt S, Wagner M, Müller-Stich BP, Weitz J, Speidel S. Artificial intelligence-assisted surgery: Potential and challenges. *Visc Med* 2020;36(6):450-5. [Crossref](#)
20. Huang AY, Joerger G, Fikfak V, Salmon R, Dunkin BJ, Bass BL, et al. The SmartOR: A distributed sensor network to improve operating room efficiency. *Surg Endosc* 2017;31(9):3590-5. [Crossref](#)
21. Padoy N. Machine and deep learning for workflow recognition during surgery. *Minim Invasive Ther Allied Technol* 2019;28(2):82-90. [Crossref](#)
22. Baumann O, Lenz A, Hartl J, Bernhard L, Knoll AC. Intuitive teaching of medical device operation to clinical assistance robots. *Int J Comput Assist Radiol Surg* 2023;18(5):865-70. [Crossref](#)
23. Badilla-Solórzano J, Spindeldreier S, Ihler S, Gellrich NC, Spalthoff S. Deep-learning-based instrument detection for intra-operative robotic assistance. *Int J Comput Assist Radiol Surg*. 2022 Sep;17(9):1685-1695. [Crossref](#)
24. Cha Y, Kim JT, Park CH, Kim JW, Lee SY, Yoo JI. Artificial intelligence and machine learning on diagnosis and classification of hip fracture: systematic review. *J Orthop Surg Res* 2022;17(1):520. [Crossref](#)
25. Shah AK, Lavu MS, Hecht CJ 2nd, Burkhart RJ, Kamath AF. Understanding the use of artificial intelligence for implant analysis in total joint arthroplasty: A systematic review. *Arthroplasty* 2023;5(1):54. [Crossref](#)
26. Bhandari M, Zeffiro T, Reddiboina M. Artificial intelligence and robotic surgery: Current perspective and future directions. *Curr Opin Urol* 2020;30(1):48-54. [Crossref](#)
27. Liu H, Baena FRY. Automatic markerless registration and tracking of the bone for computer-assisted Orthopaedic surgery. *IEEE Access* 2020;8:42010-20. [Crossref](#)
28. Chen CH, Sühn T, Illanes A, Zambrano IM, Ahmad H, Wex C, et al. Proximally placed signal acquisition sensoric for robotic tissue tool interactions. *Curr Dir Biomed Eng* 2018;4(1):67-70. [Crossref](#)
29. Fard MJ, Ameri S, Darin Ellis R, Chinnam RB, Pandya AK, Klein MD. Automated robot-assisted surgical skill evaluation: Predictive analytics approach. *Int J Med Robot* 2018;14(1). [Crossref](#)
30. Wang Z, Majewicz Fey A. Deep learning with convolutional neural network for objective skill evaluation in robot-assisted surgery. *Int J Comput Assist Radiol Surg* 2018;13(12):1959-70. [Crossref](#)
31. Kitaguchi D, Takeshita N, Hasegawa H, Ito M. Artificial intelligence-based computer vision in surgery: Recent advances and future perspectives. *Ann Gastroenterol Surg* 2021;6(1):29-36. [Crossref](#)