



Ortopedi ve travmatoloji asistan eğitiminde yapay zekâ: Deneyim aktarımından geleceğe yolculuk

Artificial intelligence in orthopedic and traumatology resident training: A journey to the future from experience transfer

Salih Beyaz, Alaaddin Levent Özgözen, Necmettin Turgut

Başkent Üniversitesi, Adana Dr. Turgut Noyan Uygulama ve Araştırma Merkezi, Ortopedi ve Travmatoloji Ana Bilim Dalı, Adana

Usta-çırak ilişkisi uzun yıllardır cerrahi eğitiminde, tecrübenin bir sonraki nesle aktarılması için kullanılan temel eğitim metodudur. Ancak son yıllarda, her alanda olduğu gibi, veri hızındaki artışa eşlik eden eğitim maliyetleri, teknolojik uygulamaların bu alana da girmesine neden olmuştur. Yapay zekâ uygulamalarının bir uzman doktor kadar başarılı olduğunu gösteren çalışmalara, maliyet/etkinlik çalışmaları da destek vermektedir. Bu uygulamaların başarılı sonuçları tanıdan tedavi planlamasına, komplikasyonların önceden öngörülebilmesine ve simülasyon uygulamalarına kadar geniş bir yelpazede kendine yer bulmaktadır. Miller'in öğrenme piramidinin en tepesinde yer alan klinik uygulamalara geçmeden önce asistanların sınırsız bir şekilde kendilerini test edebilecekleri simülasyon uygulamaları, özellikle motor becerinin ön planda olduğu artroskopi ve artroplasti alanında daha etkin biçimde kullanılmaktadır. Çalışmalar simülasyon uygulamalarıyla el-göz koordinasyonu sağlama eğitimlerinde başarılı sonuçlar elde edildiğini göstermektedir. Her yeni teknolojide olduğu gibi; güvenlik, maliyet ve etkinlik üzerine sorunların aşılmasıyla, eğitimde, ortopedi ve travmatoloji uzmanlık eğitiminde de kalitenin artırılması hedeflenmektedir. Yeni nesil cerrahların teknolojilere uyumu ve teknolojileri aktif kullanabilmeleri için, bu uygulamaların eğitimlerinin bir parçası hâline getirilmesi gerekir. Yeni nesil cerrahların bu teknolojilerin başarılı sonuçlarını bilmeleri, gerektiği zamanlarda müdahale edebilecek kapasitede olmaları, muhtemel hataların önüne geçecektir. Her yeni teknolojiye yine de temkinli yaklaşmak gerekmektedir. Eğitim açısından kaynaklanacak hataların gelecek nesillere aktarılacağı unutulmamalıdır. Bu konudaki stratejilerin geliştirilmesi ve denetlenmesinde en büyük sorumluluk meslek örgütlerine ve eğitim sorumlularına düşmektedir.

Anahtar sözcükler: yapay zekâ; asistan eğitimi; simülasyon; sanal gerçeklik; artırılmış gerçeklik; tecrübe

The master-apprentice relationship has been a fundamental educational method in surgical training for many years, enabling the transfer of experience to the next generation. However, in recent years, the increase in data speed, as seen in various fields, has led to incorporation of technological applications in education due to rising educational costs. Studies demonstrating the comparable success of artificial intelligence applications to that of expert doctors are supported by cost-effectiveness analyses. These applications find various uses, from aiding in diagnostic treatment planning to predicting complications and conducting simulations. Before transitioning to the pinnacle of clinical applications in Miller's learning pyramid, simulation applications, particularly emphasizing motor skills, such as in arthroscopy and arthroplasty, allow residents to test themselves extensively. As with any new technology, enhancing the quality of orthopedic specialization education aims to overcome security, cost, and efficiency challenges. Integrating these applications into the education of emerging surgeons is necessary for their adept and active use of technologies. Familiarity with the functioning of these technologies, the ability to intervene when necessary, and the prevention of potential errors are imperative. Every new technology should still be approached with caution. It should not be forgotten that errors arising from educational shortcomings will be passed on to future generations. The primary responsibility for the development and oversight of strategies in this regard falls on professional organizations and education authorities.

Key words: artificial intelligence; resident education; simulation; virtual reality; augmented reality; experiences

İletişim / Contact: Doç. Dr. Salih Beyaz • E-posta / E-mail: sbeyaz@baskent.edu.tr

ORCID ID: Salih Beyaz, 0000-0002-5788-5116 • Alaaddin Levent Özgözen, 0000-0002-0479-3074 • Necmettin Turgut, 0000-0003-4994-5059

Geliş / Received: 8 Ekim 2023 • **Revizyon / Revised:** 7 Kasım 2023, 21 Kasım 2023 • **Kabul / Accepted:** 22 Kasım 2023

Eğitim; bireylerin bilgi, beceri ve değerlerini geliştirerek onların kişisel, sosyal ve mesleki potansiyellerini gerçekleştirmelerine yardımcı olan yapılandırılmış bir öğrenme sürecidir. En eski ve yaygın eğitim metodu usta-çırak ilişkisidir. Bu ilişki yetenekli ve deneyimli bir kişinin (usta) daha az deneyimli bir kişiye (çırak) bilgi, rehberlik ve uzmanlık kazandırdığı geleneksel bir öğrenme ve beceri geliştirme yöntemini ifade eder. Bu tanım her hekimi hem usta hem de çırak yapar. Bu bakış açısıyla yeni başlayan ortopedi ve travmatoloji asistanı da meslekte 30 yılını doldurmuş cerrah da hem usta hem de çırak vasfına sahip olabilir.

EĞİTİM ve TECRÜBENİN AKTARILMASI

Usta-çırak ilişkisinin temeli kazanılmış deneyimlerin aktarılmasına dayanır. Bu deneyimler, bireyin veya organizasyonun gelecekteki kararlarını ve eylemlerini etkileyen önemli bir kaynaktır. Tecrübe, bir doktorun birçok farklı hasta durumuyla karşılaşarak daha iyi bir klinik deneyim kazanmasına ve sorunları daha iyi tanımlayabilmesine yardımcı olur. Her hastanın durumu hastanın sahip olduğu hem fiziksel özellikler hem de ek hastalıkları nedeniyle benzersizdir. Bu sebeple hastaya yönelik tedavi planı gerekir. Bu durum tıp bilimini, her seferinde aynı işlemi yaparak aynı sonucu elde eden matematik biliminden ayırır, onun bir sanat olarak yorumlanmasını sağlar. Bu nedenle; hastanın bireysel durumunu anlamak ve tedavi planının buna göre yönetilmesi oldukça önemlidir. Ustanın doğru bilgiyi anlatma becerisi, çırağın anlama kabiliyeti, değişen ve gelişen dünyaya uyum kapasitesi gibi birçok değişken deneyimlerin doğru aktarılmasındaki en büyük engellerdir.

Tıp eğitiminde ve edinilen deneyimlerin gelecek nesile aktarılmasındaki bir diğer metod ise literatürdür. 'www.pubmed.gov' sitesindeki arama motoruna 'fracture' anahtar kelimesi yazıldığında; 2000 yılında 4.909 çalışma karşımıza çıkarken, 2010 yılında 10.582, 2022 yılında ise 20.819 çalışma olduğu görülmektedir. 'Arthroplasty' anahtar kelimesi ile arama yapıldığında; 2000 yılında 1.392, 2010 yılında 3.883, 2022 yılında ise 9.746 makale yayımlandığı görülmektedir.^[1] Sürekli artan veri miktarı güvenilirlik sorununu da beraberinde getirmektedir. Hangi makaleye güvenerek günlük pratik uygulamanın değiştirilmesi gerektiği anlaşılamamaktadır. Büyük veri olarak adlandırılan büyük veri setlerinin doğru ve düzenli analiz edilerek yorumlanması günden güne daha önemli hâle gelmektedir.

Ortopedi ve travmatoloji asistanlarının, uzmanlarının bilgi ve becerilerini geliştirmeleri için, en bilinen ve uygulanan yöntemler kongre, seminer ve kurslardır. Özellikle el becerisini arttırmaya yönelik yapılan pratik kurslar teknik becerinin asistanlara öğretilmesi adına oldukça

önemlidir. Temel artroplasti, artroskopi motor beceri kursları ve AO travma kursları, standart bir asistan eğitim uygulaması olmayan ülkemizde büyük önem taşımaktadır. Ancak bu kursların sınırlı sayı ve katılımıyla yapılması, kadvraya ulaşımın oldukça zor ve maliyetli olması gibi sorunlar nedeniyle bu eğitim faaliyetlerinden faydalanabilen cerrah sayısı istenilen seviyede değildir. Türk Ortopedi ve Travmatoloji Birliği Derneği (TOTBİD)'nin eğitim kliniklerinin sertifikasyonu ve asistan karnesi gibi girişimleri bulunmasına karşın eğitimde standardizasyondan oldukça uzaktayız.

Kaliteli ve nitelikli insan gücü ciddi eğitim ve eğitim maliyeti gerektirir. Bunun en belirgin örneği doktor ve cerrah yetiştirmektir. Dünyada tıp fakültesi eğitimi 5-7 yıl arasında değişmektedir. Sonrasındaki asistanlık eğitimi ise bölüme göre 3-6 yıl arasında farklılıklar göstermesine karşın, ortopedi ve travmatoloji için bu süre ortalama beş yıldır. Amerika Birleşik Devletleri'nde 2018 yılında tıp fakültesini bitiren bir doktorun ortalama maliyeti 196.520 USD olarak bildirilmiştir. Bu maliyet bir önceki yıl ile kıyaslandığında %2,5 daha fazladır. Ükelere göre farklılıklar göstermesine karşın tıp fakültesini bitiren bir doktorun ortalama eğitim maliyeti diğer bölümler (mühendis, eczacı vb.) ile kıyaslandığında oldukça yüksektir.^[2]

Sonuç olarak ortopedi ve travmatoloji cerrahi eğitiminde tecrübenin yeterince aktarılamaması, büyüyen veri miktarına bağlı olarak güncel ve doğru veriye erişimdeki zorluklar ve artan maliyetler, teknolojik uygulamalarının eğitimde kullanılmasını kaçınılmaz hâle getirmektedir.

YAPAY ZEKÂ UYGULAMALARININ ORTOPEĞİ ve TRAVMATOLOJİDE KULLANIM ALANLARI

Yeni teknolojilerin temel amacı; hayatı kolaylaştırmak, tecrübe farkını ortadan kaldırarak daha standart sonuçlara ulaşmak, sürdürülebilirliği sağlamaktır. Ayrıca insan üretimiyle kıyaslandığında daha verimli bir işleyiş elde etmektir. Yapay zekâ (YZ) kavramı, bilgisayar sistemlerinin insana benzer zekâ ve bilişsel yetenekleri simüle veya taklit etme çabalarını ifade eder. Bu alan, makine öğrenimi, derin öğrenme, doğal dil işleme, problem çözme, algılama, karar verme ve otomatik öğrenme gibi çeşitli disiplinlerin birleşimini içerir. Yapay zekâ uygulamalarının ortopedi ve travmatoloji alanında en sık kullanım alanları şunlardır:

1- Teşhis ve Tanı: Yapay zekâ görüntüleme teknikleriyle elde edilen röntgen, manyetik rezonans (MR), bilgisayarlı tomografi (BT) gibi görüntülerin analizinde kullanılabilir. Derin öğrenme algoritmalarıyla eğitilen YZ sistemleri, kemik, tümör karakterizasyonu, kırık tanımlaması ve sınıflandırılması gibi alanlarda doktorlara destek olabilmektedir.^[3,4]

2- Kişiselleştirilmiş Tıp Uygulamaları: Yapay zekâ, bireysel hastaların genetik verileri, tıbbi geçmişleri ve diğer klinik verileri analiz ederek kişiselleştirilmiş tedavi ve sağlık önerileri sunabilir. Bu, hastaların daha iyi sonuçlar elde etmelerine ve hastalıkların erken teşhisine olanak sağlayabilir.^[5,6]

3- Risk Analizi ve Karar Destek: Yapay zekâ, cerrahların ameliyat risklerini analiz etme ve karar süreçlerine yardımcı olabilir. Önceden toplanan verilere dayanan yapay zekâ algoritmaları, cerrahların ameliyat sırasında potansiyel komplikasyonları önceden belirlemelerine ve doğru kararlar vermelerine yardımcı olabilir.^[7,8]

4- Cerrahi Simülasyonlar: Yapay zekâ, cerrahi asistanlar için sanal cerrahi simülasyonlarında kullanılabilir. Bu simülasyonlar, gerçekçi cerrahi senaryolarını taklit ederek öğrencilere pratik yapma ve cerrahi becerilerini geliştirme fırsatı sunar. Yapay zekâ, simülasyonlarda geri bildirim sağlayarak asistanların performansını değerlendirebilir ve iyileştirmeler önerilebilir.^[9,10]

Yapay zekâ uygulamaları ortopedi ve travmatoloji profesyonellerinin iş yükünü hafifletme potansiyeline sahiptir. Bu uygulamaların en büyük avantajı; sınırsız veri depolama kapasitelerine ek olarak dinlenmeye ihtiyaç duymadan çalışabilmeleridir. Bu durum hastaya ait daha çok veriyi yorumlayarak hasta için optimal tanı ve tedavi yöntemlerinin uygulanmasına olanak sağlar. Ancak buradaki en büyük tehlike; yapay zekâ uygulamaları eğitimi ve bu uygulamaların geliştirilmesinde kullanılan verilerin doğruluğudur. Yapay zekâ tarafından verilen kararların nedeninin tam olarak anlaşılabilmesi (kara kutu mekanizması) bu kararın uygulayıcı tarafından bir kere daha gözden geçirilmesi zorunluluğunu doğurur.^[11] Bu çözümlerin rutin tanı ve tedavi yöntemlerinin uygulanmasında insanla yapılan karşılaştırmalı çalışmalarda oldukça başarılı olduğunu gösteren yayınlar olmasına karşın verilen her kararın insan tarafından sorgulanarak uygulanması sorumluluğun üstlenilmesi adına hukuki bir zorunluluktur.

MILLER'İN ÖĞRENME PİRAMİDİ

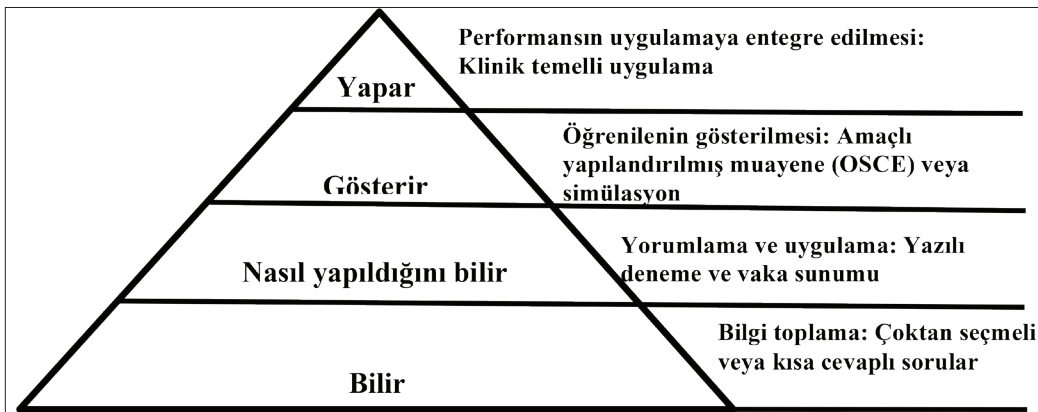
1990 yılında fizyolojist George Miller tarafından ortaya atılan ve tıp öğreniminde bilmenin klinik uygulamaya geçişi tarif ettiği piramit modeli günümüzde oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır (Şekil 1).^[12] Bu modelin tabanında teorik bilginin edinilmesi yer alır. Doğru kaynaktan kişinin öğrenme tarzına bağlı olarak çoğunlukla araştırma, okuma, öğrenme ve analiz yeteneğine dayanır. Teorik bilgiyi ölçmek çoktan seçmeli ve/veya kısa cevaplı sorularla olur. İkinci seviyede kişi nasıl yapıldığını bilir, ancak bilginin uygulanması için durur. Bu seviye, kişinin teorik bilgiden pratik uygulamaya geçişinin ilk basamağıdır. Değerlendirme için ise yazılı denemeler ve vaka takdimleri kullanılır. Üçüncü seviyede öğrenciden bildiğini göstermesi beklenir. Bu klinik uygulama öncesi son basamaktır. Bu seviyedeki bilginin ölçümü için en uygun metot simülasyon testleridir. Son aşamada ise beklenen bir gözetmen denetiminde klinik uygulamadır. Burada ise ölçme ve değerlendirme gözetmenin kanaatine dayanır.

ORTOPEDİ ve TRAVMATOLOJİ CERRAHİ EĞİTİMİNDE YAPAY ZEKÂ: ARTILAR ve EKSİLER

Yapay zekâ uygulamalarının cerrahi asistan eğitiminde kullanılabilecek olanakları^[13]:

1- Kişiselleştirilmiş Teorik Öğrenme: Cerrahi stajyerlerin veya asistanların sürekli olarak test edilerek güçlü ve zayıf yönlerinin ortaya konularak eksiklerini giderilmesine katkı sağlar.

2- Simülasyon Temelli Eğitim: Yapay zekâ uygulamaları gerçek dünya senaryolarının taklit edilerek gerçekçi cerrahi simülasyonlar oluşturulmasında kullanılabilir. Asistanlar hastaları riske atmadan cerrahi senaryolar üzerinde kendilerini eğitime olanağı bulur.



Şekil 1. Miller'in 1990 yılında yayınladığı makalede yer alan öğrenme piramidi.^[12] Simülasyon uygulamaları özellikle piramidin klinik öncesi gösterir kısmında etkin olarak kullanılmaktadır.

3- Tahmine Dayalı Modelleme: Hasta verilerinin işlenerek komplikasyonlar ortaya çıkmadan önce öngörülmesine olanak sağlar.^[19] Bu teknoloji, cerrahi işlem sırasında önleyici tedbirler alınmasına olanak sağlayarak komplikasyonların önüne geçilmesini sağlar.

4- Artırılmış Gerçeklik: Cerraha ameliyat esnasında gerçek zamanlı bilgi sağlanmasında bu yapay zekâ uygulamaları kullanılabilir. Daha fazla veri ile daha doğru kararlar alınmasına ve hasta sonuçlarının iyileştirilmesine katkıda bulunur.

5- Uzaktan Eğitim: Asistan ve stajyerlerin uzaktan eğitilmesinde kullanılabilir. Coğrafi bariyerlerin ortadan kaldırılmasına ve her cerrahi asistanın aynı eğitimi almasına katkı sunar.

Sanal gerçeklik yapay zekâ teknikleri kullanılarak gerçek dünyanın sanal ortama simüle edilerek aktarılmasıdır. Artırılmış gerçeklik ise fiziksel dünyayı dijital içerikle birleştiren bir teknoloji ve deneyim şeklidir. Artırılmış gerçeklik, gerçek dünyayı görsel, işitsel ve dokunsal olarak algılayan kullanıcılara bilgisayar tarafından oluşturulan ek bilgileri, grafikleri, sesleri veya diğer içerikleri gerçek dünya ile birleştirerek sunar. Bu sayede, gerçek dünya ile dijital içerik arasında etkileşim sağlanır ve kullanıcıların çevrelerini artırılmış bir şekilde deneyimlemesine olanak tanır. Bu teknolojiler cerraha ameliyat öncesi planlama, pratik yapma ve deneyimi artırmak için olanak tanır. Ortopedi ve travmatoloji alanında bu teknolojilerin en çok kullanım alanları artroskopik ve artroplastik cerrahisidir.^[14-16]

Olumlu kullanım alanlarına rağmen yapay zekâ uygulamalarının ciddi sorunları da mevcuttur. Bunlardan başlıcası cerrahi prosedürlerin bir standardının olmamasıdır. Cerraha göre bile farklılık gösterebilen prosedürler, erişilebilir implanta göre bile değişiklik gösterebilir. Bu nedenle cerrahi eğitiminde kullanılacak yapay zekâ uygulamalarını eğitecek veri seti sayının çok fazla sayıda ve farklı merkezden olması gerekir. Daha fazla veri daha komplike yöntemler anlamına gelir. Bu sistemlerin kullanılmadan önce aşılması gereken sorunlar mevcuttur.^[13]

1- Verinin Saklanması ve Güvenliği: Hastalardan elde edilen verinin güvenli, anonim olarak saklanması hasta mahremiyeti açısından oldukça önemlidir. Verisi algoritma eğitiminde kullanılacak hastaların onamları alınmalıdır.

2- Ön Yargı ve Ayrımcılık: Algoritma eğitimindeki ayrımcılık yapılması gelecek nesillere bu taraflılığın yansıtılmasına neden olur. Bu nedenle yapay zekâ algoritmalarının tarafsız ve adil olarak geliştirilmesine dikkat edilmelidir.

3- Düzenleyici ve Çerçeve Eksikliği: Yapay zekâ uygulamalarının cerrahi eğitim ve öğretiminde kullanılması,

sınırlarının çizilmesinde ve düzenlenmesinde ciddi bir yasal eksiklik mevcuttur. Bu durum teknolojik araçların etik bir şekilde kullanımını etkileyebilir.

4- Teknolojiye Aşırı Bağımlılık: Teknoloji bağımlılığı cerrahların gerçek hayat ile bağıını azaltarak cerrahi yeteneklerin azalmasına neden olabilir.

5- Maliyet: Her yeni teknoloji gibi yapay zekâ temelli cerrahi eğitim uygulamaları ciddi maliyet içerir. Bu maliyet, uygulamaların geniş bir alanda kullanılmasındaki en büyük engellerden biridir.

6- Sorumluluk: Geliştirilen ve/veya geliştirilecek algoritmaların eğitiminden kimin ne kadar sorumlu olacağı hâlâ net değildir. Ayrıca eğitim eksikliğinden kaynaklanacak sorunlarda nasıl bir yol izleneceği, ölçme ve değerlendirme yapanların sorumluluğu üzerine ciddi soru işaretleri mevcuttur.

Bu sorunlara çözüm bulmadan uygulamaların kullanımını ciddi sonuçlar doğurabilir.

YAYIMLANMIŞ ÇALIŞMALAR

Walbron ve ark. artroskopik simülasyonunun asistanlar üzerindeki etkisini araştırmak amacıyla 107 birinci yıl asistanını üç gruba ayırmıştır.^[17] Birinci gruba herhangi bir eğitim verilmemiştir. İkinci gruba ise spesifik olmayan bir kereye mahsus eğitim verilmiştir. Üçüncü gruba ise altı ay süresince sanal gerçeklik artroskopik simülasyon eğitimi verilmiştir. Test için ise periskop (açılı skopta oryantasyon) ve glenohumeral eklemde yıldızları yakalama (eklem içi bir cismi yakalayıp çıkartma) egzersizleri yaptırılmıştır. Analiz için ise süre, yataya göre kamera hizalaması (%), kamera yolu uzunluğu (cm) ve yakalayıcı yolu uzunluğu (cm) parametrelerine bakılmıştır. Sonuçta altı aylık simülasyon eğitimi verilen grubun üyelerinin tüm parametrelerde istatistiksel olarak daha başarılı sonuçlar ettikleri saptanmıştır. Gösterebildikleri performansın ustalık seviyesine yakın olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Anetzberger ve ark. 10 saatlik bir artroskopik simülasyon eğitiminin cerrahların tanısal artroskopik yetenek skorlarında (DASS) artış sağlayacağı hipotezine dayanarak bir çalışma yayınlamışlardır. Yüz otuz bir ortopedi ve travmatoloji cerrahi ve asistanının yer aldığı çalışmada, 10 saatlik artroskopik simülasyon eğitimi sonrası katılımcılar süre, kamera yolu uzunluğu ve alet yolu uzunluğunda eğitim öncesine kıyasla daha başarılı sonuçlar göstermiştir. Çalışmanın sonucunda eğitim sürenin uzatılmasının başarıyı daha da arttıracığı sonucuna ulaşılmıştır.^[18]

Sun ve ark. sanal ve artırılmış gerçeklik uygulamalarının kalça cerrahisi (toplam kalça artroplastisi, artroskopik, pelvis kırığı, proksimal femur kırık cerrahisi, tümör cerrahisi) eğitiminde kullanılmasına ilişkin 40 yayını inceledikleri

meta-analiz çalışması yayınlamıştır. Çalışmalarında sanal ve artırılmış gerçeklik uygulamalarının cerrahların daha güvenli ameliyat yapmalarını ve ameliyat sonrası dönem rehabilitasyon uygulamalarında maliyet/etkin çözümler sunacağına yönelik umut vadettiğini ortaya koymuştur.^[19]

Rosqvist ve ark. yaptıkları prospektif kohort çalışmasında travma ekibinin yıllık eğitim maliyetlerini incelemiştir. Geleneksel yöntemlerle 1.220 Euro'ya mal olan eğitim maliyetinin simülasyon uygulamaları ile 203 Euro'ya kadar gerilediğini saptamışlardır.^[20]

Kalun ve ark. ortopedik ve travmatolojik cerrahi uzman adaylarının simülasyon eğitiminden kazandıkları becerilerin klinik performanslarını nasıl etkilediğini araştırdıkları bir meta-analiz yayınlamıştır. On beş çalışmanın incelendiği makalede, simülasyonun klinik ortama beceri transferi konusundaki kanıtların zayıf olduğu belirtilmektedir. Simülasyonun etkili bir şekilde ortopedik ve travmatolojik cerrahi eğitimine dâhil edilmesi için daha kapsamlı çalışmalara ihtiyaç duyulduğu vurgulanmıştır.^[21]

Öğrenme eğrisi ise uzmanlık gerektiren bir işin pratik yoluyla mükemmelliğe ulaştırılması olarak adlandırılır. Günlük pratikte bu durum hastalar üzerinde uzman gözetiminde yapılmaktadır. Yayınlar hasta üzerinde işlem yapılmadan önce cerrahi simülasyonlarla eğitim yapılmasının öğrenme eğrisinde geçen süreyi kısalttığını, daha objektif, ölçülebilir olduğunu ve daha az maliyet gerektirdiğini göstermektedir. Bu eğitimlerinin temel amacı; kadavra ve/ya hasta uygulamaları öncesinde cerrahın motor becerilerinin artırılmasına yardımcı olmaktır. Bu şekilde öğrenme eğrisindeki en üst seviyeye ulaşmak için harcanılan süre ve maliyetin azaltılması hedeflenmektedir. Ayrıca tecrübe eksikliğine bağlı yanlış tanı ve bundan dolayı malpraktis davalarında azalma sağlanabileceği öngörülmektedir.

Simülasyon uygulamaları sadece asistanlar için değil, uzmanlık sonrası cerrahların yeteneklerini geliştirmeleri için de kullanılıp teste tabi tutulmaları sağlanabilir. Bu durumun en iyi örneği; havacılık sektöründe pilotların belirli periyodlarla uçuş simülasyon testlerine tabi tutularak yeterlilik sertifikasyonu almalarında görülmektedir.

Sadece 2022 yılında yapay zekâ alanında yapılan çalışmalar, bu alandaki tüm çalışmaların %72'sini oluşturmaktadır.^[1] Teorik olarak insana yakın veya doktordan daha iyi tıbbi görüntü okuyan algoritmalar, verimliliği artırarak daha az maliyet ile daha memnun hasta popülasyonu oluşturan cerrahi karar destek sistemleri, sifira yakın hatayla kesi yapan artroplast robotları, ortopedik ve travmatolojik cerrahinin geleceği hakkında ipuçları vermektedir. Ortopedik ve travmatolojik cerrahide yeniliklerin hızlı bir şekilde günlük pratikte uygulanabilmesinde üç temel sorun vardır:

1- Yeniliklerin cerrahlar tarafından benimsenmesi ve uygulanması,

2- Yeni yöntem, teknik ve/ya implantın kısa ve uzun dönemde yeterli veri ile kendini ispat etmesi,

3- Her yenilikçi teknolojide olduğu gibi maliyet sorunları.

GELECEĞİN ŞEKİLLENDİRİLMESİ

Birçok ortopedi ve travmatoloji cerrahi uzmanlık eğitimi sırasında ve yeni uzmanlık döneminde yeniliklere daha açık hâdedir. Ancak yıllar içerisinde uyguladıkları cerrahilere ve sonuçlarına bağlı olarak edindikleri tecrübeler onların yenilikler karşısında daha katı bir tutum takınmalarına neden olur. Bu durum öğrenme eğrisinde, mükemmelleşme yolculuğunun bir parçası olmasına karşın, yenilikleri benimsemeye direnç göstermelerine neden olabilir. Ayrıca güvenli alanlarından çıkılmalarını zorlaştırabilir. Her yeni teknoloji kabul ya da reddedilmeden önce mutlaka ayrıntılı şekilde sorgulanabilmelidir. Bu durumun en iyi örneği artroplast cerrahisinde robotlaşmaya doğru gidilen yolda görülmektedir. Robotik artroplast cerrahisinin başarılı sonuçlarına karşın her ameliyatta konteyner setler ve hekimler konvansiyonel yöntem için hazır beklemektedir.

Her yeni teknolojide olduğu gibi ortopedik ve travmatolojik cerrahi eğitiminde de yüksek teknolojik uygulamalara şüpheyle yaklaşılması normaldir. Yayınlar göstermektedir ki; sanal ve artırılmış gerçeklik simülasyonları özellikle artroskopi cerrahisinde el-göz koordinasyonun sağlanmasında, yeni başlayan asistanların eğitiminde umut vaat etmektedir. Bu uygulamanın hem eğitim hem de ölçme değerlendirmede kullanımı sorunlara rağmen artacaktır.^[17,18]

Unutulmamalıdır ki; tüm cerrahilerde olduğu gibi ortopedik ve travmatolojik cerrahide de hasta hekim ilişkisi, güven ilişkisi içerisinde devam eder. Tedaviye karar verme sürecinde görüntüleme yöntemleri ve tetkiklerin yorumlanması büyük önem teşkil eder. Ancak mükemmel cerrahiler bile her zaman hasta memnuniyetini sağlayamamaktadır. Şartlar, teknolojik uygulamaların ortopedik ve travmatolojik cerrahi eğitiminde yakın gelecekte daha çok kullanılabilir hâle gelmesine zorsa da hiçbir zaman hasta-hekim ilişkisinin yerini alamayacaktır.

Sonuç olarak; teknolojideki değişimin hızı, insan kapasitesinin buna uyum sağlamasını zorlaştırmaktadır. Hızlı gelişen, kaynakların sınırlı olduğu dünyamızda sürdürülebilirlik ve verimliliğin önemi günden güne artmaktadır.^[22] Sadece en iyiye ulaşmak değil, en iyiye ulaşırken maliyetiniz ve nasıl devam ettirebildiğiniz sorgulanır hâle gelmiştir. Bu gerekçeyle yakın gelecekte

insan tarafından yapılan, eğitim gerektiren, rutin işlerin, uygulamalar ve robotlar tarafından yapılabilir hâle gelmesi kaçınılmazdır. Yeni jenerasyon ortopedi ve travmatoloji cerrahlarının gelişen bu teknolojilere daha iyi uyum sağlayabilmesi için uygulamaların temel çalışma prensiplerini de öğrenmeleri zorunluluktur. Bu teknolojilerin kullanımının çerçevesinin çizilmesi, düzenlenmesi ve sertifikasyonu meslek dernekleri tarafından yapılması düzenin sağlanması için elzemdir. Yeni nesil cerrahlar bu sistemlerin sadece kullanıcısı olmaktan çıkarak, bu teknolojilerin nasıl geliştirildiğini ve çalışma prensiplerini bilmeli, teknolojiler hata yaptığında müdahale edebilecek yeteneğe ve kapasiteye sahip olmalıdır. Onların bu yeterliliğe sahip olabilmeleri için de önce tecrübe sahibi eğitmenlere daha çok iş düşmektedir.

KAYNAKLAR

1. National Library of Medicine/National Center for Biotechnology Information. PubMed. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/>. Accessed August 12, 2023
2. Wolford KA, Wolford RW, Franzen D, Park K, O'Leary M, Cheaito MA, et al. A financial plot to reduce the burden of medical school tuition fees. *J Emerg Med* 2021;60(2):e27-e30. [Crossref](#)
3. Beyaz S, Açıcı K, Sümer E. Femoral neck fracture detection in X-ray images using deep learning and genetic algorithm approaches. *Jt Dis Relat Surg* 2020;31(2):175-83. [Crossref](#)
4. Uysal F, Hardalaç F, Peker O, Tolunay T, Tokgöz N. Classification of shoulder X-ray images with deep learning ensemble models. *Appl Sci* 2021;11(6):2723. [Crossref](#)
5. Klemm C, Yeo I, Cohen-Levy WB, Melnic CM, Habibi Y, Kwon YM. Artificial neural networks can predict early failure of cementless total hip arthroplasty in patients with osteoporosis. *J Am Acad Orthop Surg* 2022;30(10):467-75. [Crossref](#)
6. Par OE, Sezer EA, Sever H. Application of artificial intelligence in early-stage diagnosis of sepsis. In: *Proceedings of the 2022 5th Artificial Intelligence and Cloud Computing Conference*. ACM; 2022. [Crossref](#)
7. Hernigou P, Tannieres P, Barbier O, Chenaie P. Revision hip arthroplasty dislocation risk calculator: when to select dual mobility, large heads, constrained liners, or a standard head size? Testing one hundred thousand hip revisions with artificial intelligence. *Int Orthop* 2023;47(8):2003-11. [Crossref](#)
8. Klemm C, Cohen-Levy WB, Robinson MG, Burns JC, Alpaugh K, Yeo I, et al. Can machine learning models predict failure of revision total hip arthroplasty? *Arch Orthop Trauma Surg* 2023;143(6):2805-12. [Crossref](#)
9. Huri G, Gülşen MR, Karmış EB, Karagüven D. Cadaver versus simulator based arthroscopic training in shoulder surgery. *Turk J Med Sci* 2021;51(3):1179-90. [Crossref](#)
10. Çetinkaya E, Çift H, Aybar A, Erçin E, Güler GB, Poyanlı O. The timing and importance of motor skills course in knee arthroscopy training. *Acta Orthop Traumatol Turc* 2017;51(4):273-7. [Crossref](#)
11. Handelman GS, Kok HK, Chandra RV, Razavi AH, Huang S, Brooks M, et al. Peering into the black box of artificial intelligence: Evaluation metrics of machine learning methods. *AJR Am J Roentgenol* 2019;212(1):38-43. [Crossref](#)
12. Miller GE. The assessment of clinical skills/competence/performance. *Acad Med* 1990;65(9 Suppl):S63-S67. [Crossref](#)
13. Satapathy P, Hermis AH, Rustagi S, Pradhan KB, Padhi BK, Sah R. Artificial intelligence in surgical education and training: Opportunities, challenges, and ethical considerations - correspondence. *Int J Surg* 2023;109(5):1543-4. [Crossref](#)
14. Goh GS, Lohre R, Parvizi J, Goel DP. Virtual and augmented reality for surgical training and simulation in knee arthroplasty. *Arch Orthop Trauma Surg* 2021;141(12):2303-12. [Crossref](#)
15. Verhey JT, Haglin JM, Verhey EM, Hartigan DE. Virtual, augmented, and mixed reality applications in orthopedic surgery. *Int J Med Robot* 2020;16(2):e2067. [Crossref](#)
16. Iqbal MH, Khan O, Aydın A. Editorial commentary: Simulation-based training in orthopaedic surgery: Current evidence and limitations. *Arthroscopy* 2021;37(3):1008-10. [Crossref](#)
17. Walbron P, Common H, Thomazeau H, Hosseini K, Peduzzi L, Bulaid Y, et al. Virtual reality simulator improves the acquisition of basic arthroscopy skills in first-year orthopedic surgery residents. *Orthop Traumatol Surg Res* 2020;106(4):717-24. [Crossref](#)
18. Anetzberger H, Reppenhagen S, Eickhoff H, Seibert FJ, Döring B, Haasters F, et al. Ten hours of simulator training in arthroscopy are insufficient to reach the target level based on the Diagnostic Arthroscopic Skill Score. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2022;30(4):1471-9. [Crossref](#)
19. Sun P, Zhao Y, Men J, Ma ZR, Jiang HZ, Liu CY, et al. Application of virtual and augmented reality technology in hip surgery: Systematic review. *J Med Internet Res* 2023;25:e37599. [Crossref](#)
20. Rosqvist E, Ylönen M, Torkki P, Repo JP, Paloneva J. Costs of hospital trauma team simulation training: A prospective cohort study. *BMJ Open* 2021;11(6):e046845. [Crossref](#)
21. Kalun P, Wagner N, Yan J, Nousiainen MT, Sonnadara RR. Surgical simulation training in orthopedics: Current insights. *Adv Med Educ Pract* 2018;9:125-31. [Crossref](#)
22. McAleese T, Lodise OJ, Roopnarinesingh R, Cleary M, Rowan F. Sustainable orthopaedic surgery: Initiatives to improve our environmental, social and economic impact. *Surgeon* 2023. [Crossref](#)