



Nöroşirürji Pratiğinde Simülasyon Eğitimi

Simulation Training in Neurosurgery Practice

Neslihan ÇAVUŞOĞLU, Yunus Emre DURMUŞ, Abuzer GÜNGÖR

T.C Sağlık Bakanlığı Bakırköy Mazhar Osman Ruh Sağlığı ve Sinir Hastalıkları Eğitim ve Araştırma Hastanesi Nöroşirürji Kliniği, İstanbul, Türkiye

Yazışma adresi: Neslihan ÇAVUŞOĞLU ✉ neslihancavusoglu.md@hotmail.com

ÖZ

Nöroşirürji, teknik olarak zorluk seviyesi yüksek olan branşlardan biridir. Nöroşirürjikal hataların %75'inden fazlası önlenabilir ve teknik nitelikte olduğu kabul edilmektedir. Yüksek düzeyde teknik uzmanlık gerektiren ve hata sonucunda büyük sıkıntılar doğurabilen nöroşirürji ve benzeri branşlarda eğitim alan asistanların komplike vakalarda pratik yapmaları için daha az fırsatları mevcuttur. Kişiler arası mentorluk, koçluk ve ameliyathanedeki gerçek deneyimlerin yerine geçmese de, simülasyon ile asistanlık eğitimi bu gibi komplike vakalara hazırlıkta desteklenebilir. Simülasyon eğitimi, özellikle cerrahi becerilere hâkim olmak söz konusu olduğunda tıpta önemli bir rol oynar. Simülasyon ile öğrenciler teoriyi güvenli bir ortamda uygulamayı öğrenerek sadece güven değil, aynı zamanda beceri de kazanırlar. Teknoloji geliştikçe, sanal gerçeklik (VR) ve fiziksel simülatörler gelişmiş ve şu an nöroşirürji eğitim programının önemli bir parçası hâline gelmiştir. Kontrollü bir alanda tasarlanmış pratiğe dayanan simülasyonlar hastaları ve öğrencileri riske atmaksızın psikomotor becerilerin artmasına izin verir. Usta-çırak öğretim modeliyle karşılaştırıldığında, simülasyon eğitimi zaman açısından verimli olması, öğrenme eğrisinin kısalığı ve nihayetinde uzun vadede azalan maliyetler açısından daha avantajlıdır. Bu yazıda, mevcut simülasyon modellerini inceleyerek nöroşirürji eğitimdeki yerini tartışıyoruz.

ANAHTAR SÖZCÜKLER: Eğitim, Nöroşirürji, Simülasyon, Sanal gerçeklik

ABSTRACT

Neurosurgery is one of the most technically demanding among all medical specialties. More than 75% of neurosurgical errors are deemed as preventable and technical in nature. Although there is no replacement for actual experiences in the operating room, interpersonal mentorship, coaching, and training, there is room to supplement residency education through simulation. Simulation training plays a paramount role in medicine, especially when it comes to mastering surgical skills. By simulating, students gain not only confidence, but expertise, learning to apply theory in a safe environment. As the technological arsenal has improved, virtual reality and physical simulators have developed and are now an important part of the neurosurgery training curriculum. Based on deliberate practice in a controlled space, simulation allows development of psychomotor skills without putting patients or students at risk. When compared to the master-apprentice ongoing model of teaching, simulation becomes even more appealing as it is time-efficient, shortening the learning curve and ultimately leading to error reduction, which is reflected by diminished health care costs in the long run. In this article, we present a review of the current models of simulation and discuss the state-of-the-art and future directions for simulation in neurosurgery.

KEYWORDS: Neurosurgery, Simulation, Training, Virtual reality

■ GİRİŞ

Nöroşirürji'de hatalar diğer tıp branşlarına göre daha maliyetlidir. Beyin cerrahlarının %19,1'i her yıl ortalama bir dava ile karşı karşıya kalmaktadır (21). 1108 elektif nöroşirürji vakası incelenerek yapılan prospektif bir çalışmada, hataların %78.5'inin önlenemez olduğu ve en sık görülen hataların teknik nitelikte olduğu gösterilmiştir (35). Bu bağlamda tıbbi simülasyon eğitimi kolay uygulanabilir ve gelecek vaat eden bir alternatif olarak ortaya çıkmaktadır (3,27,40).

Simülasyon eğitimi, yeni ve giderek gelişen bir alandır (23,38). Etkili bir öğrenme yöntemi olarak simülasyon kavramı, havayolu endüstrilerinde popüler hâle gelmiştir (3,40). Simülasyon, hem hastaları hem de öğrencileri riske atmadan güvenli bir ortamda teoriyi uygulayabildikleri için öğrencilerin hem güven hem de beceri kazanmalarına yardımcı olmaktadır (36). Bir diğer önemli fayda ise, simülasyon ile öğrencilerin çalışma saatleriyle sınırlı kalmaması ve hastaya gerek olmadığı için öğrenme eğrisinin kılınmasıdır (2,33). Yukarıda belirtilen özellikler, simülasyonun zaman verimliliğine ek olarak, hataların azaltılmasına ve genel sağ kalımın iyileştirilmesine yol açmakta ve bu da uzun vadede azalan sağlık maliyetlerinin azalmasını sağlamaktadır (3,8,27). Bu nedenle, simülasyonun, usta-çırak öğretim modeline kıyasla, muhtemelen düşük maliyetli olduğunu söyleyebiliriz.

■ NÖROŞİRÜRJİ'DE NÖROSİMÜLASYON

Eksternal Ventriküler Drenaj, Endoskopik Üçüncü Ventrikülostomi, Endoskopik Transsfenoidal Transnazal yaklaşım ve Serebral Anjiyogram gibi bugüne kadar geliştirilen çeşitli nöroşirürji simülatörleri bulunmaktadır (6).

Ventrikülostomi kateterinin yerleştirilmesi, genç nöroşirürji asistanları tarafından sıklıkla uygulanan bir prosedürdür. Bu prosedürde beceri kazanmak için simülatörler nöroşirürji eğitimine dahil edilmiştir.

Simülasyon, preoperatif 3 boyutlu görüntüleri kullanarak hastaların bireysel normal ve patolojik anatomisini yeniden oluşturma potansiyeline sahiptir. Bu teknoloji, deneyimli beyin cerrahlarının komplike vakaları klinik ortamda gerçekleştirmeden önce planlamalarına ve uygulamalarına olanak tanır.

Vasküler Nöroşirürji'de çeşitli simülasyon modülleri kullanılmıştır. Haptik geri bildirim özelliğine ve görsel arayüzlere sahip yüksek kaliteli endovasküler simülatörler artık ticari olarak mevcuttur. Ekstrakraniyal ve intrakraniyal serebrovasküler stent yerleştirme, anevrizma koilleme, sıvı embolizasyon ve inme tromboliz prosedürlerinin gerçekçi simülasyonunu sağlarlar. Çeşitli çalışmalar simülasyon temelli eğitimden sonra nörovasküler becerilerin geliştiğini bildirmektedir. Simülasyon temelli eğitim yoluyla edinilen endovasküler beceriler de klinik ortama aktarılabilir. Örneğin, simülatör ile eğitim almış asistanlar, doğrulanmış, 18 aşamalı bir derecelendirme ölçeğinde değerlendirildiğinde, tıkaçıcı vasküler hastalık için gerçek endovasküler girişim gerçekleştirmede simülatör eğitimi almış asistanlardan önemli ölçüde daha yüksek puan almıştır.

Simülatörler artık beyin cerrahisinin diğer alt uzmanlık alanlarında da kullanılabilir hâle gelmiştir. Birçok kafa tabanı

lezyonu, kraniyal sinirlere ve vasküler yapılara yakın drilleme ve disseksiyon içeren cerrahi yaklaşımlar gerektirir. Posterior sirkülasyon vasküler anormalliklerine yaklaşımlar dahil olmak üzere hem öğretim hem de cerrahi planlama için bu yaklaşımları simüle etmek üzere üç boyutlu modeller geliştirilmiştir.

Spinal cerrahide nöroşirürjiyenler, pedikül vidaları gibi spinal enstrümantasyonun yerleştirilmesi için kemik anatomisinin model tabanlı simülasyonunu kullanmaktadır. Ek olarak, pedikül vida giriş noktalarının ve gidiş açısının planlanması için aksiyal omurga görüntülerinin 3 boyutlu rekonstrüksiyonlarını kullanan sanal gerçeklik simülatörlerini kullanılmaktadır.

Nöroşirürjinin her bir alt uzmanlık alanında, model tabanlı ve dijital simülatörlerin kullanımı için geçerlik ve güvenilirlik çalışmalarında önemli bir eksiklik vardır. Bu eksiklik, genel olarak cerrahi eğitimdeki objektif beceri değerlendirmesinin zorluğunu göstermektedir.

Uzmanlık eğitiminde simülasyon kullanımının mesleki faydaları olabilir. Örneğin, tıp fakültesi müfredatında endovasküler simülatörlerin kullanılması, öğrencilerin hem genel hem de vasküler cerrahiye yönelik tutumlarını ve ilgilerini geliştirmiştir (38).

■ TERMİNOLOJİ ve SINIFLAMA

Simülasyon bir modellemedir ve sürecin gerçekçi bir şekilde yeniden üretilmesidir. Nöroşirürjikal girişimler için beceri simülatör modellerinin sınıflandırması:

1. Fiziksel (Materyal)
 - 1.1. Doku
 - 1.1.1. Canlı model (Laboratuvar hayvanları)
 - 1.1.2. Doku (Kadavra disseksiyonu, tavuk kanadı, plasenta)
 - 1.2. Yapay (Sentetik protez, Fantomlar, Simülasyon mankeni)
2. Sanal (Sanal Simülatörler, VR)
 - 2.1. Artırılmış Gerçeklik (AR) Modelleri
 - 2.2. Sanal Modeller

Fiziksel simülasyon modelleri, tıbbi girişimin tüm aşamaları için sınırlıdır, ancak farklı girişim aşamalarının simülasyonu için faydalı olabilmektedir (37).

Canlı simülasyon modelleri çok çeşitli materyaller kullanılmaktadır. Örneğin, laboratuvar fareleri, mikronöroşirürji becerilerinin uygulanması için uzun süredir kullanılmaktadır (18). Kadavra disseksiyonu, Rönesans'tan beri nöroşirürji eğitiminde aktif olarak kullanılan bir simülasyon yöntemidir (26).

Sanal simülasyonları; morfoloji, hastalık, fizyolojik durum, tanı prosedürleri veya cerrahi girişimi simüle eden üç boyutlu (3D) veya iki boyutlu (2D) sanal modellerin oluşturulması yöntemine dayanmaktadır. Sanal simülasyonun özelliklerinden biri de haptik geri bildirim özelliğidir.

Artırılmış gerçeklik, bilgisayar simülasyonlu görüntülerin ekranda veya VR gözlükler aracılığıyla yansıtılarak oluşturulur (24,25).

Simülasyon modeli tasarlandıktan sonra eğitim uygulamalarının güvenilir ve geçerli olabilmesi için psikometrik testlere göre değerlendirilmesi gerekmektedir (13,29). Teknik becerilerin değerlendirmeleri iki kritere göre değerlendirilir: geçerlilik ve güvenilirlik.

Geçerlilik; doğru ve gerçeğe uygun olma özelliğini tanımlar.

Güvenilirlik değerlendirmesi, aynı sonucun tekrarlanan deneyimlerde mi yoksa sabit koşullar altında mı elde edildiğini ölçer (23).

■ KADAVRA MODELLERİ

Domuz, koyun ve inek omurgası ve insan vücudunun kadavra olarak eğitimde kullanılması literatürde tanımlanmıştır. Dünya çapında asistan eğitim programlarının ihtiyaçlarını karşılamak için yeteri kadar kadavra mevcut değildir ve bu kadvraların bakımıyla ilgili maliyetler yüksektir (11,15).

Çalışmalar, kafa tabanı tümörünün çıkarılması, anevrizma kliplleme ve internal karotid arter yaralanması için kadavra modelleri eğitiminin etkinliğini zaten göstermiştir (15).

■ IN VIVO MODELLER

Sistematik inceleme ile in vivo kemirgen ve domuz modelleri tespit edilmiştir. In Vivo kemirgen modeli, mikrovasküler cerrahi için bir eğitim aracı olarak değerlendirilmiştir. Kemirgen modeli özellikle doğruluk ve kullanılabilirlik açısından silikon kateter ve tavuk kanadı eğitim modellerine tercih edilmiştir (1,20). Ancak, tavuk kanadı modeli kadar pratik olmamaktadır (20).

■ SENTETİK MODELLER

Sentetik simülasyon giderek daha popüler hâle gelmektedir ve kadavra modellerinin yerini alabileceği öngörülmektedir.

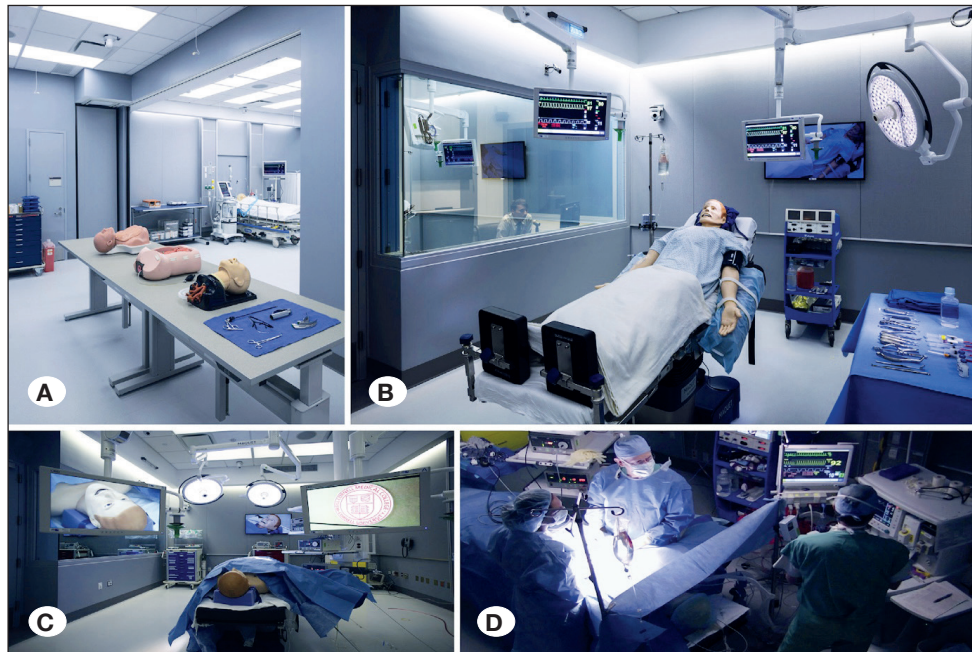
Sentetik simülasyon, bilgisayar tabanlı bir simülasyonun sanal alanından ziyade, modellediği şeyin aslına uygunluğunu temsil eden fiziksel malzemeler kullanılarak oluşturulur. Birçok model, canlı doku yapısını kopyalamada son derece hassas olan gerçekçi yapay deri ve kaslarla yapılmaktadır (5,19) (Şekil 1).

Tanımlanan sentetik modeller arasında Sinus Model Oto-Rhino Neuro Trainer ((SIMONT; Neoderma [Pro Delphus Co.] olarak adlandırılan sentetik ısıyla geri çekilebilir ve ısıya duyarlı kauçuk kullanılarak üretilmiştir), OMeR (ONO & Co. Ltd.) modeli ve Greyfurt Bypass modeli bulunmaktadır. SIMONT kullanılan deneyimli ve deneyimsiz beyin cerrahları tarafından simüle edilen intraventriküler tümör rezeksiyonu ve üçüncü ventrikülostomi becerisi 6 girişim gerçekleştirdikten sonra iyileşmiştir.

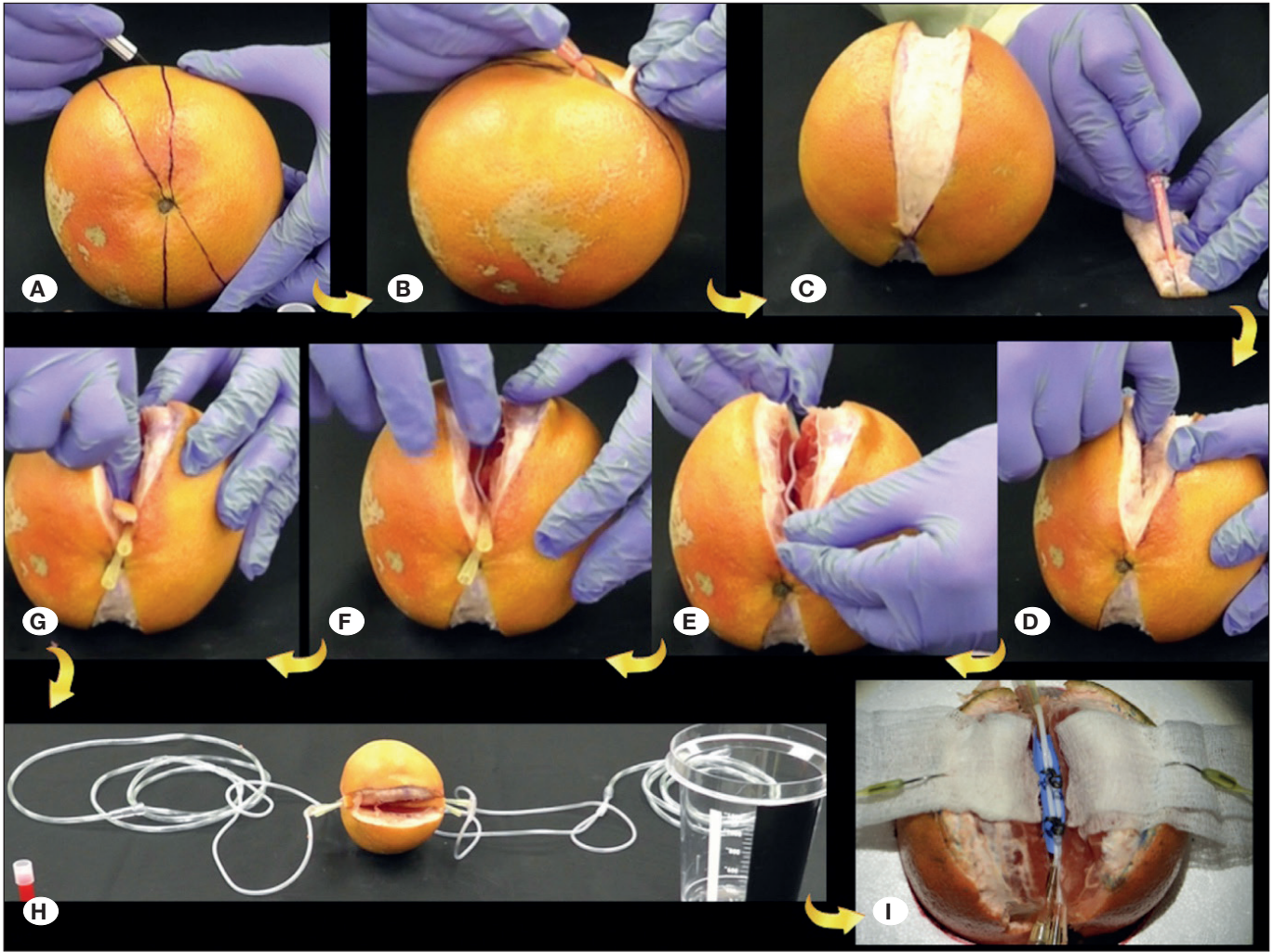
Bununla birlikte, modelin tutarlılığı ve dokusundaki zayıflıklar vurgulanmıştır (12).

Sentetik bir kafa modeli olan OMeR modeli, tıp öğrencileri ve asistanların nöroanatomi hakkında bilgi edinmelerine yardımcı olmuştur ve tıp öğrencilerinin nöroşirürjiye olan ilgisini artırmıştır (17).

Greyfurt, insan beyninin anatomik yapılarını taklit edecek çeşitli özelliklere sahiptir. Greyfurt bypass modeli ile interhemisferik yaklaşımla distal Anterior Serebral Arter (ACA) 'side to side' bypass pratiği için önerilmiştir. Greyfurtun bölümleri arasındaki boşluk interhemisferik fissürü, iç kısmı ise serebral korteksi temsil eder. Bypass modelinde perikallosal arterler silikon kateter ya da tavuk kanadı damarları kullanılarak oluşturulur. Dolaşımı taklit etmek için mini resirkülasyon pompası 1 litre ya da daha büyük kaptaki 250 cc su içine yerleştirilir. Pompa, sağ ve sol ACA'yı temsil eden 2 giriş kateterine, ardından da nazal kanüle bağlanır. Greyfurtun arka kısmında benzer şekilde 2 çıkış kateteri başka bir nazal kanüle bağlanır ve sıvıyı pompanın bulunduğu hazneye geri taşır (Şekil 2) (4).



Şekil 1: Tam imersiyon eğitimi sağlamak için gerçekçi fiziksel ortamlarda en gelişmiş simülasyon ekipmanlarını kullanır.



Şekil 2: Greifurt modelinin hazırlanma aşamaları.

■ ARTIRILMIŞ/SANAL GERÇEKLIK SİMÜLASYONU

VR simülasyonu, görsel uzamsal girdiden ve vestibüler sistemin hızlanma ve açılma ile uyarılmasından kaynaklanan hareket yanılsamasına dayanır. Üç temel bileşene sahiptir – grafik oluşturma, doku deformasyonu ve haptik geri bildirim (7,9).

Birçok bilgisayar/sanal gerçeklik simülatörü tanımlanmıştır: NeuroTouch, ImmersiveTouch, ROBO-SIM (ROBOSCOPE EU-Telematik programının bir parçası olarak geliştirildi), VIST, HoloSurgical (Chicago, Illinois, USA), UpSurgeon.

2008 yılında Kanada Ulusal Araştırma Konseyi, nöroşirürji için simülasyon tabanlı eğitimi sağlamak için NeuroTouch (şimdiki adıyla NeuroVR) araştırma projesini başlatmıştır. O zamandan beri, nöroşirürji asistanlarının risksiz bir ortamda pratik yapmalarını sağlayan yeni eğitim modülleri geliştirip onaylamışlardır. Haptik geri bildirimde sahip bu VR simülatörü, kranial mikronöroşirürjideki teknik becerileri hem geliştirmek hem de değerlendirmek için kullanılmaktadır. NeuroTouch, sanal yumuşak dokunun her iki eldeki cerrahi aletle haptik etkileşimine izin veren 2 haptik cihaz barındırır (Şekil 3). Nöroşirürji aletleri, her

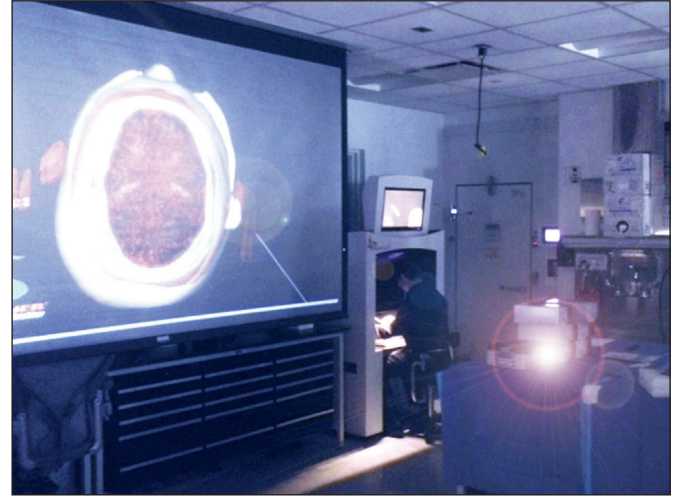
bir haptik sistemdeki alete ayarlanır ve sabitlenir. Ayak pedalları, alet kolu sensörleri, kadrın düğmeleri, alet kontrolü ve diğer hızlı ayarlar için kullanılabilir ve bir mikro denetleyici aracılığıyla ana bilgisayara bağlanır. Yazılım, doku özelliklerinin ve davranışının fizik tabanlı simülasyonuna, cerrahi aletlerin beyin dokusu ile etkileşimine ve üst düzey bir bilgisayar kullanarak kanama dinamiklerine izin verir. Vaskülarize dokunun diseksiyonu kanamayı tetikler. Kanama hızı, damar büyüklüğüne, yüzeyle kesişen dokuların damarlanma düzeyine ve zamana bağlıdır. Kanama, koterizasyon ile lokal olarak kontrol edilebilir. Gerçekçiliği sağlamak için mesh üzerine yüksek çözünürlüklü dokular yerleştirilir. Elde edilen görüntü, lens distorsiyonu ve alan derinliğinin etkilerini simüle etmek için deforme olur ve bulanıklaşır. NeuroTouch, cerrahi aspiratör, ultrasonik aspiratör, bipolar elektrokoteri ve mikromakasları kullanarak beyin tümörünün çıkarılmasını simüle etmeyi sağlar. Doku sertliği, kadrın düğmeleri kullanılarak simülasyon sırasında herhangi bir zamanda bağımsız olarak ayarlanabilir. Doku çıkarıldıktan sonra ortaya çıkan yeni yüzeyler de dahil olmak üzere tüm görünür yüzeylerde gerçekçi doku yapıları görüntülenir. Kan, dokuyu besleyen damarların büyüklüğü ile orantılı bir oranda yeni yüzeylere sızır (32).



Şekil 3: NeuroTouch (NeuroVR), sanal yumuşak dokunun her iki eldeki bir cerrahi aletle haptik etkileşimine izin veren 2 haptik cihazı barındırır.

2005 yılında kurulan ImmersiveTouch, nöroşirürji eğitimi için simülatörler sunmaktadır. Bu simülatörler, cerrahi senaryoları yeniden oluşturmak için sanal gerçeklik ve haptik geri bildirim kullanan imersiyon kapsülleridir. Her simülatörde yüksek çözünürlüklü bir ekran, baş takıplı 3-boyutlu gözlükler, haptik cihazlar ve özel bir ayak pedali bulunur. Simülatör, gerçekçi kuvvet geri bildirim ve kafa/el takibi ile bir cerrahi işlemin görsel, taktik ve ses duyularını yeniden üretir. Kullanıcı, hastanın özel 3-boyutlu görüntüleme verilerinin yanı sıra çeşitli araçları içeren etkileşimli bir stereoskopik imersiv ortama girmek için yarı gümüş bir aynanın arkasına iki eliyle ulaşır. Yüksek çözünürlüklü görselleştirme ve baş ve el takibi sağlar. Baş takip cihazının takılması, operatörün operasyonun makroskopik kısımlarında tamamen imersiv bir deneyime sahip olmasını sağlar. Haptik geribildirim, kullanıcının eylemlerine yanıt olarak taktik duyu sağlar. Ekrandaki el veya alet içeri girdiğinde hasta veya doku ile temas hâlinde, kullanıcıda canlı bir dokunsal uyarı oluşur. Dokunun cerrahi aletlerle manipülasyonu da çeşitli dokunsal duyular üretir. Cihazın tabanında 2 ayak pedali vardır ve her iki uçta da simülatörün kullanımışlığını artıran düğmeler bulunur. Bu pedalların işlevi prosedüre bağlı olarak değişebilir ve aspirasyon, koter, drill vb. olarak kullanılabilir. Pedalların varlığı, bu VR'nin imersiv doğasına katkıda bulunan başka bir özelliktir (14).

ImmersiveTouch cihazı, hasta anatomisi ve patolojinin CT ve MR görüntülemesi kullanılarak geliştirilmiş çoklu eğitim mo-

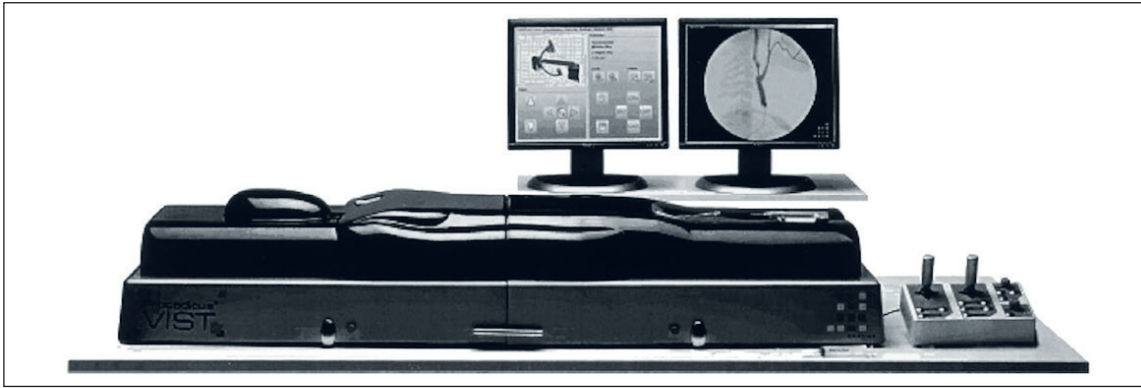


Şekil 4: ImmersiveTouch, cerrahi prosedürleri simüle etmek için yüksek performanslı bir haptik ve artırılmış gerçeklik sistemi sağlar. Simülasyon platformu, hastanın anatomisinin üç boyutlu hologram benzeri sanal bir modelini oluşturabilir.

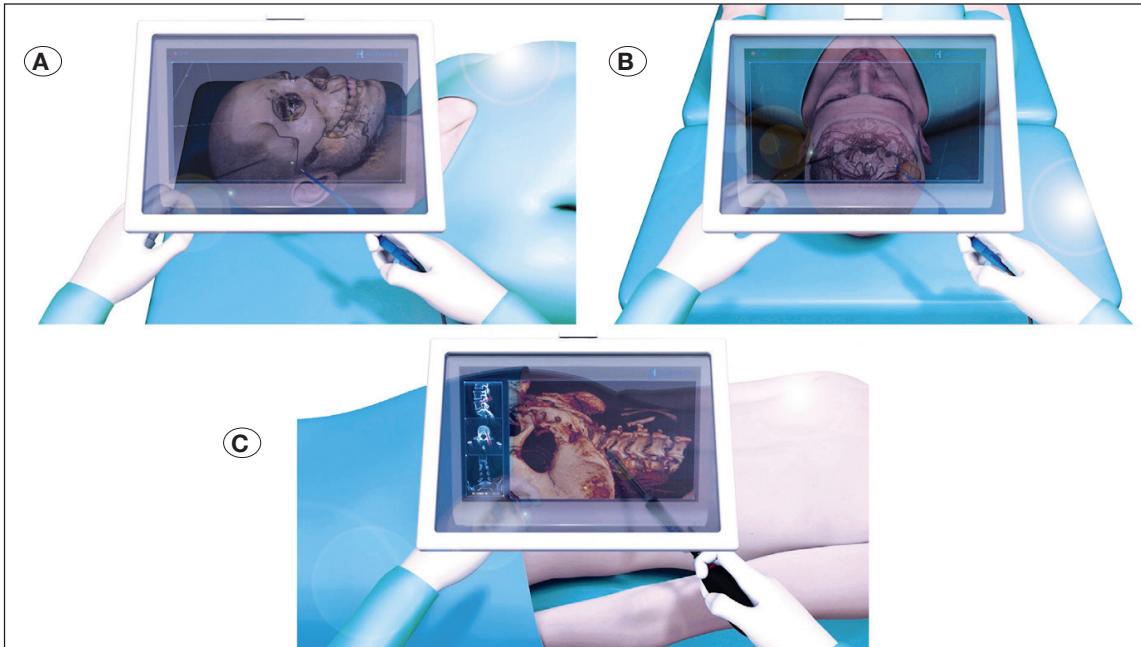
dülleri sunar (Şekil 4). Çoğu cerrahi simülasyon şekli anatomi öğretmeye odaklansa da, ImmersiveTouch, hem anatomiye hem de hastalığa aynı anda odaklanarak farklı bir bakış açısı sunar. Bu perspektifi, her vakada sunulan lezyonların görsel tasviri ve 3-boyutlu görüntülerin detaylı manipülasyonuna izin vererek elde eder. ImmersiveTouch ayrıca operatörün bir eğitmenin prosedürü adım adım bir biçimde nasıl gerçekleştireceğini gözlemlemesine olanak tanır. Bu özellik, bir eğitmen yoksa faydalıdır. Serebral anevrizma kipleme, omurga cerrahisi, hemostaz, perkütan spinal fiksasyon ve ventrikülostomi dahil olmak üzere çeşitli cerrahi modüller geliştirilmiştir (39).

VIST (Vascular Intervention Simulation Trainer), İsveç'te geliştirilmiş bir simülatördür ve bir insan modeli içinde mekanik bir ünite, bir masaüstü bilgisayar ve 2 ekrandan oluşur (Şekil 5). Simüle edilmiş bir floroskopik ekran kullanarak, cerrah bir erişim portu aracılığıyla haptik arayüz cihazı kullanarak modifiye edilmiş aletleri yerleştirir. VIST, kardiyovasküler hastalıklar, nöroradyolojik girişimler ve kaval filtreler için simülasyon modülleri içerir. Her işlemden sonra, performans sonuçlarını içeren bir rapor otomatik olarak oluşturulur. Sistem cerrahın performansını şu parametreleri kullanarak ölçer: kullanılan kontrast madde, toplam süre, floroskopi süresi, kullanılan endovasküler aletler, stent yerleştirme doğruluğu ve hataları (5).

HoloSurgical (Chicago, Illinois, ABD), cerrahi navigasyon ve robotik sistemlerle ilgili kritik sınırlamaları çözmeye potansiyeline sahip bir AR ve yapay zekâ (ARAI) cerrahi navigasyon sistemi geliştirmiştir (Şekil 6). ARAI sistemi, hastanın internal anatomisinin 3-boyutlu hologram benzeri sanal görüntüsünü doğrudan cerrahi alana yerleştirmek için en son AR teknolojisini kullanır. Sistem, cerrahların perkütan prosedürlerde hastanın cildinden karmaşık 3-boyutlu anatomik yapıyı cerrahi alana bakarak görselleştirmelerini sağlar. ARAI aynı zamanda hasta anatomisini, cerrahi implantları ve aletleri optik takip sistemi takip eder. Bununla birlikte, geleneksel cerrahi navigasyon



Şekil 5: VIST, sanal gerçeklik simülatörü.



Şekil 6: Holo Surgical kullanarak internal anatomik yapıların canlı cerrahi alana gerçek zamanlı 3D projeksiyonu.

sistemlerinden farklı olarak, inovatif ARAI sistemi, cerrahın bakış açısına dayalı olarak hastanın anatomisinin doğru 3-boyutlu perspektifini görüntülemek için cerrahın kafasını izleyerek süreci geliştirir. HoloSurgical ARAI cerrahi navigasyon sistemi ayrıca hastanın ameliyat öncesi taramalarını yapay zekâ ve makine öğrenimi algoritmalarıyla işleyerek önemli anatomik noktaları (örneğin; ideal pedikül vida yerleşimlerini) belirler, cerraha otomatik olarak bir cerrahi plan önerir, cerrahi implantların yerleştirilmesi sırasında cerraha gerçek zamanlı olarak intraoperatif uyarılar/öneriler sağlar (22).

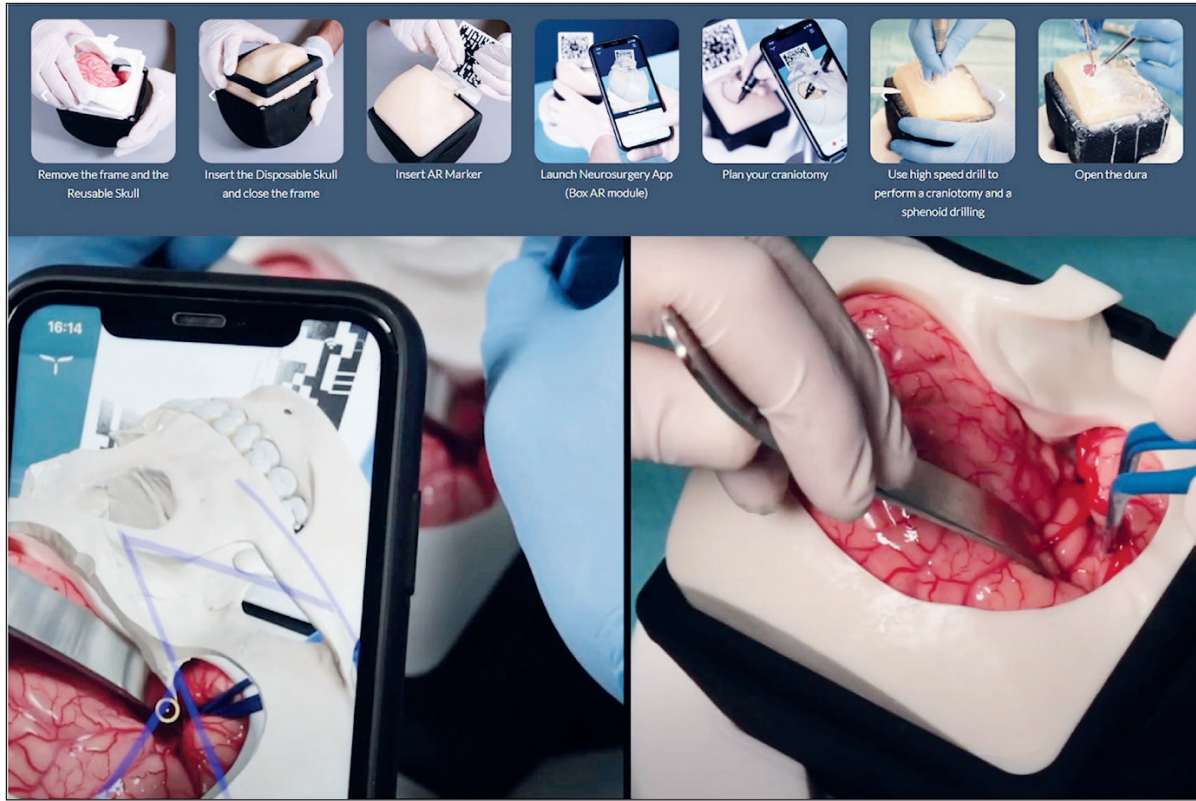
İtalyan şirketi UpSurgeon beyin ve kranyumun yüksek doğrulukta fiziksel modellerini akıllı telefon tabanlı Artırılmış Gerçeklik (AR) ile birleştirerek mikrocerrahi eğitiminde rol oynamaktadır (Şekil 7) (31).

Cerraha gerçek girişimden önce klinik karar vermede yardımcı olmak ve intraventriküler cerrahiye önceden planlamak için birkaç 3-boyutlu görselleştirme sistemi geliştirilmiştir (30) (Şekil 8). ROBO-SIM, minimal invaziv beyin cerrahisinde manipülatör destekli sanal prosedürler için tasarlanmıştır. Sistem, beyin cerrahlarının sanal bir senaryoya bakarken ameliyat prosedür-

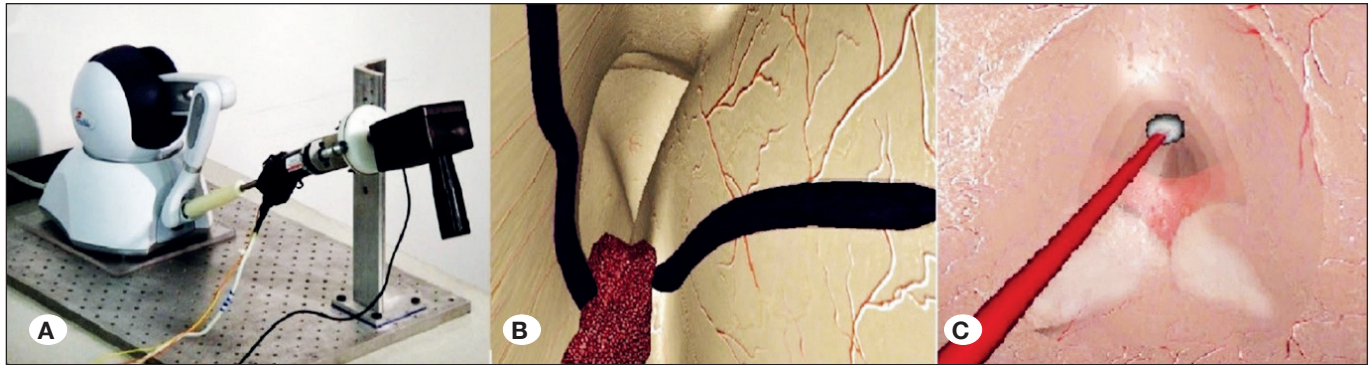
lerini doğrudan hastanın anatomisi üzerinde simüle etmesini sağlar (28).

Kadaverik spesmenlerin 2D fotoğrafları birleştirilerek 3-boyutlu modellerini oluşturan Qlone (2017-2020, EyeCue Vision Technologies Ltd, Yokneam, Israel), görüntüleri 3-boyutlu modele dönüştürmek için 3-boyutlu tarama ve artırılmış gerçeklik teknolojisi kullanan bir fotogrametri programıdır. Bu modeller farklı düzlemlerde serbestçe hareket ettirilmektedir. Gelişmiş düzenleme seçenekleri ve sanal veya artırılmış gerçeklik simülasyonuna dış aktarma imkânı daha iyi görselleştirme sağlamaktadır (16).

Koç Üniversitesi Hastanesi tarafından düzenlenen 'Spinal Kadavra ve Sanal Gerçeklik (VR) Kursu ile kadavra disseksiyonu öncesi VR ortamda kadvralar üzerinde yapılmış servikal disseksiyon aşamaları 3-boyutlu modeller üzerinde gösterilmiştir. Ardından katılımcılar segmental enstrümantasyon uygulamasını VR ortamda gerçekleştirmişlerdir. Katılımcılar daha sonra servikal enstrümantasyon uygulamalarını kadavra üzerinde uygulamışlardır (Şekil 9).



Şekil 7: Up Surgeon Brain Box, artırılmış gerçeklik ve yüksek doğrulukta taktik fiziksel modelin tekrarlayan uygulamalarına izin veren bir cerrahi simütördür.

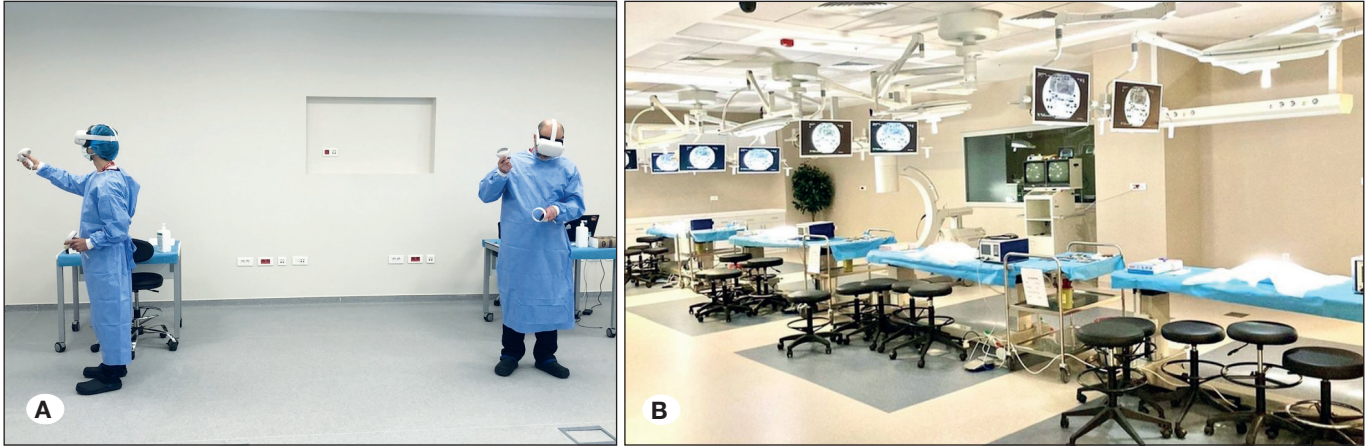


Şekil 8: VR nöroendoskopi simütörü A) VR simütörü ve haptik test. B) VR görüntüsü, sağ lateral ventrikül, anterior septal ven, Foramen Monro, koroid pleksus ve talamostrat veni gösteriyor. C) Üçüncü ventrikülün tabanının VR görüntüsü, bir Fogarty kateteri kullanarak tuber cinereum fenestrasyonunu gösteriyor.

■ TARTIŞMA

Nöroşirürji, en küçük hataların bile korkunç sonuçları olabileceğinden, ileri düzeyde uzmanlık gerektiren zorlu tıbbi alanlardan biridir. Günümüzde, etik ve mediko-legal kısıtlamalar sebebiyle alternatif öğretim yöntemleri bulmak hayati önem taşımaktadır. Gerçek bir hastayla cerrahi pratiğinin yerine geçemese de, simülasyon eğitimi ile, öğrenciler teoriyi güvenli bir ortamda uygulamayı öğrenerek hem güven hem de beceri kazanırlar. Ayrıca, uzmanların hastaların güvenliğini artırmak ve sonuçları iyileştirmek için yeni yaklaşımlar uygulamalarına olanak tanır.

Şimdiye kadar, simülasyonun en eski biçimi olan kadavra eğitimi ile temsil edilen fiziksel modeller, birçok sınırlamaya rağmen dünya çapında “altın standart” olmaya devam etmektedir. Bununla birlikte, mevcut durum değişimin eşiğindedir. Son araştırmalar ve teknolojik gelişmeler VR simütörlerinin eğitimde yer alacağını göstermektedir. Maliyet, VR simütörlerinin ticari olarak piyasaya sürülmesinin ve bu cihazların faydalı etkilerinin daha büyük bir değerlendirmesinin yapılmasının önündeki en önemli engel olmaya devam etmektedir (11).



Şekil 9: A) Spinal Kadavra ve Sanal Gerçeklik (VR) Kursu. 1. Katılımcıların VR simülasyonu esnasında çekilmiş fotoğrafı. Dr. Serdar Onur Aydın ve Dr. Oğuz Baran'ın fotoğraf arşivinden. **B)** Kadavra laboratuvarı.

■ SONUÇ

Şimdiye kadar, simülasyonun en eski biçimi olan kadavra eğitimi ile temsil edilen fiziksel modeller, birçok sınırlamaya rağmen dünya çapında “altın standart” olmaya devam etmektedir. Bununla birlikte, araştırmalar ve teknolojik gelişmeler VR simülasyonlarının eğitimde yer alacağını göstermektedir. Ülkemizde de düzenlenen simülasyon kursları, cerrahi tekniğin geliştirilmesi açısından önemlidir. Ancak maliyet, VR simülasyonlarının ticari olarak piyasaya sürülmesinin ve bu cihazların faydalı etkilerinin daha büyük bir değerlendirmesinin yapılmasının önündeki en önemli engel olmaya devam etmektedir (11).

■ KAYNAKLAR

1. Abla AA, Uschold T, Preul MC, Zabramski JM: Comparative use of turkey and chicken wing brachial artery models for microvascular anastomosis training. Laboratory investigation. *J Neurosurg* 115:1231-1235, 2011
2. Ahlberg G, Enochsson L, Gallagher AG, Hedman L, Hogman C, McClusky DA 3rd, Ramel S, Smith CD, Arvidsson D: Proficiency-based virtual reality training significantly reduces the error rate for residents during their first 10 laparoscopic cholecystectomies. *Am J Surg* 193:797-804, 2007
3. Akhtar KS, Chen A, Standfield NJ, Gupte CM: The role of simulation in developing surgical skills. *Curr Rev Musculoskelet Med* 7:155-60, 2014
4. Baskaya MK, Cıkla U, Rowley P, Ozaydin B, Grapefruit training model for distal anterior cerebral artery side-to-side bypass. *World Neurosurg* 138:39-51, 2020
5. Breimer GE, Bodani V, Looi T, Drake JM: Design and evaluation of a new synthetic brain simülator for endoscopic third ventriculostomy. *J Neurosurg* 15:82-88, 2015
6. Chan S, Conti F, Salisbury K, Blevins NH: Virtual reality simulation in neurosurgery: Technologies and evolution. *Neurosurgery* 72 Suppl 1:154-164, 2013
7. Cobb MI, Taekman JM, Zomorodi AR, Gonzalez LF, Turner DA: Simulation in neurosurgery – A brief review and commentary. *World Neurosurg* 89:583-586, 2016
8. Coelho G, Zanon N, Warf B: The role of simulation in neurosurgery. *Childs Nerv Syst* 30:1997-2000, 2014
9. Cohen AR, Lohani S, Manjila S, Natsupakpong S, Brown N, Cavusoglu MC: Virtual reality simulation: Basic concepts and use in endoscopic neurosurgery training. *Childs Nerv Syst* 29:1235-1244, 2013
10. Das P, Goyal T, Xue A, Kalatoor S, Guillaume D: Simulation Training in Neurological Surgery. *Austin J Neurosurg* 1(1):6, 2014
11. Duguid A, Arundell M, Bainbridge L: How to set up and run a cadaveric surgical simulation programme. *Bulletin* 98:358-361, 2016
12. Filho FV, Coelho G, Cavalheiro S, Lyra M, Zymborg ST: Quality assessment of a new surgical simulator for neuroendoscopic training. *Neurosurg Focus* 30(4):E17, 2011
13. JabirMM, Doglioni N, Fadhil T, Zanardo V, Trevisanuto D: Knowledge and practical performance gained by Iraqi residents after participation to a neonatal resuscitation program course. *Acta Paediatr* 98:1265-1268, 2009
14. Geomagic. Industrial virtual reality Immersive touch. Available at: <http://www.geomagic.com/en/products/haptic-applications/haptic-applicationgallery/industrial-vr-immersive/>. Accessed December 1, 2016
15. Gomoll AH, O'Toole RV, Czarnecki J, Warner JJ: Surgical experience correlates with performance on a virtual reality simulator for shoulder arthroscopy. *Am J Sports Med* 35:883-888, 2007
16. Gurses ME, Gungor A, Hanalioglu S, Yaltirik CK, Postuk HC, Berker M, Türe U: Qlone®: A simple method to create 360-degree photogrammetry-based 3-dimensional model of cadaveric specimens. *Oper Neurosurg* 21(6):E488-E493, 2021
17. Harada N, Kondo K, Miyazaki C, Nomoto J, Kitajima S, Nemoto M, Uekusa H, Harada M, Sugo N: Modified three-dimensional brain model for study of the trans-sylvian approach. *Neurol Med Chir (Tokyo)* 51:567-571, 2011
18. Heiner H, Karl P, Tilgner-Peter A: The technic of microvascular anastomoses: The rat as a model. *Z Exp Chir* 10 (6):331-337, 1977

19. HoloSurgical. Who We Are. Available at: [http:// holosurgical.com](http://holosurgical.com). Accessed December 20, 2016
20. Hwang G, Oh CW, Park SQ, Sheen SH, Bang JS, Kang HS: Comparison of different microanastomosis training models: Model accuracy and practicality. *J Korean Neurosurg Soc* 47: 287-290, 2010
21. Jena AB, Seabury S, Lakdawalla D, Chandra A: Malpractice risk according to physician specialty. *N Engl J Med* 365:629-636, 2011
22. Kin T, Shin M, Oyama H, Kamada K, Kunimatsu A, Momose T, Saito N: Impact of multiorgan fusion imaging and interactive 3-dimensional visualization for intraventricular neuroendoscopic surgery. *Neurosurgery* 69:ons40-48, discussion ons48, 2011
23. Kirkman MA, Ahmed M, Albert AF, Wilson MH, Nandi D, Sevdalis N: The use of simulation in neurosurgical education and training. *J Neurosurg* 121(2):228-246, 2014
24. Kockro RA, Hwang PY: Virtual temporal bone: An interactive 3-dimensional learning aid for cranial base surgery. *Neurosurgery* 64(5 Suppl 2):216-229, 2009
25. Kockro RA, Tsai YT, Ng I, Hwang P, Zhu C, Agusanto K, Hong LX, Serra L: Dex-ray: Augmented reality neurosurgical navigation with a handheld video probe. *Neurosurgery* 65 (4):795-807, 2009
26. McLachlan JC, Patten D: Anatomy teaching: Ghosts of the past, present and future. *Med Educ* 40(3):243-253, 2006
27. Mirza S, Athreya S: Review of simulation training in interventional radiology. *Acad Radiol* 25:529-539, 2018
28. Oliviera LM, Figueiredo EG: Simulation training methods in neurological surgery. *Asian J Neurosurg* 14(2): 364-370, 2019
29. Perry M, Banks P, Richards R, Friedman EP, Shaw P: The use of computer-generated three-dimensional models in orbital reconstruction. *Br J Oral Maxillofac Surg* 36:275-284, 1998
30. Radetzky AR M, Starkie S, Davies B, Auer LM: ROBOSIM: A simulator for minimally invasive neurosurgery using an active manipulator. *Stud Health Technol Inform* 77:5, 2000
31. Raman AH, Almeida ND, Greenleaf W, Williams D, Karshenas A, Sherman H: Next-generation simulation-integrating extended reality technology into medical education. *Front Virtual Real* 2:693399, 2021
32. Raspelli S, Pallavicini F, Carelli L, Morganti F, Pedroli E, Cipresso P, Poletti B, Corra B, Sangalli D, Silani V, Riva G: Validating the neuro VR-based virtual version of the multiple errands test: Preliminary results. *Presence Teleoperators and Virtual Environments* 21:31-42, 2012
33. Seymour NE, Gallagher AG, Roman SA, O'Brien MK, Bansal VK, Andersen DK, Satava RM: Virtual reality training improves operating room performance: Results of a randomized, double-blinded study. *Ann Surg* 236:458-463, 2002
34. Sonnadara RR, Van Vliet A, Safir O, Alman B, Ferguson P, Kraemer W, Reznick R: Orthopedic boot camp: Examining the effectiveness of an intensive surgical skills course. *Surgery* 149:745-749, 2011
35. Stone S, Bernstein M: Prospective error recording in surgery: An analysis of 1108 elective neurosurgical cases. *Neurosurgery* 60:1075-1080, 2007
36. Strong M, Nathan RS: Simulation in neurosurgical education: Present and future considerations. *Contemporary Neurosurgery* 34(18):1-5, 2012
37. Sturm LP, Windsor JA, Cosman PH, Cregan P, Hewett PJ, Maddern GJ: A systematic review of skills transfer after surgical simulation training. *Ann Surg* 248 (2):166-179, 2008
38. Svistunov A: *Simulation Training in Medicine*. Moscow: I.M. Sechenov First MSMU Press, 2013:288 (In Russ)
39. UIC BVIS Students. *Surgical Simulation and Augmented Reality*. Available at: [https:// uicbvisstudents.wordpress.com/tag/immersivetouch/](https://uicbvisstudents.wordpress.com/tag/immersivetouch/). Accessed December 1, 2016
40. Zanello M, Zerah M, Sainte-Rose C, Di Rocco F: Virtual simulation in neurosurgery: A comparison between pediatric and general neurosurgeons. *Acta Neurochir (Wien)* 156:2215-2216, 2014