



# Nöroşirürjide 3 Boyutlu Modelleme ve Basım

## 3D Modeling and Printing in Neurosurgery

Mehmet Ziya ÇETİNER<sup>1</sup>, Adem KURTULUŞ<sup>2</sup>, Samet DİNÇ<sup>2</sup>, Eren ORTAKAYA<sup>1</sup>, Hüseyin UZABACI<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Sağlık Bilimleri Üniversitesi Bursa Tıp Fakültesi, Bursa Şehir Hastanesi Sağlık Uygulama ve Araştırma Merkezi , Nöroşirürji Kliniği, Bursa, Türkiye

<sup>2</sup>Afyonkarahisar Devlet Hastanesi, Nöroşirürji Kliniği, Afyonkarahisar, Türkiye

<sup>3</sup>Bursa Uludağ Üniversitesi Tıp Fakültesi, Anatomi Anabilim Dalı, Bursa, Türkiye

**Yazışma adresi:** Mehmet Ziya ÇETİNER ✉ m.ziya.cetiner@gmail.com

### ÖZ

Üç boyutlu basım teknolojileri günümüzde pek çok alanda önemli katkılar sağladığı gibi nöroşirürji eğitim ve pratiğinde de önemli katkılar yapmaktadır. Cerrahi planlamada ve eğitimde bu teknoloji ile elde edilen modeller eğitimde hasta öncesi eğitim basamağını oluşturmada ve operasyon süresini kısaltıp komplikasyon riskini azaltmaktadır. Üç boyutlu yazıcılar birbirinden farklı malzemeleri birbirinden farklı teknolojilerle işleyerek amaçlanan işe uygun ürünler ortaya koyabilmektedir. Üç boyutlu yazıcılar; uygun malzeme ile ürünün dokusunun, simüle edilmek istenen organ ya da dokuya uygun yapılmasına olanak sağlamaktadır. Bu yöntem ile üretilen modeller hem eğitimde hem preoperatif değerlendirmede kullanılmaktadır. Serebrovasküler, nöroonkoloji, kafa tabanı cerrahisi, pediatrik nöroşirürji ve spinal cerrahide kullanımı giderek artmaktadır. Sonuç olarak nöroşirürji eğitiminde hasta üzerinde eğitim basamağına geçilmeden gerekli rutinlerin öğrenilmesinde ve cerrahi planlama sürecinde kullanılarak operasyon süresi kısaltılmasında ve komplikasyon riskinin azaltılmasında faydalı bir teknoloji olduğu düşünülmektedir.

**ANAHTAR SÖZCÜKLER:** Üç boyutlu basım, Nöroşirürji, Eğitim, Cerrahi planlama

### ABSTRACT

Three dimensional printing technologies are making important contributions to neurosurgery education and practice as well as making important contributions in many fields today. The models obtained with this technology in surgical planning and education constitute the pre-patient education step in education, shorten the operation time and reduce the risk of complications. Three dimensional printers can produce products suitable for the intended job by processing different materials with different technologies. 3D printers, with the appropriate material, allow the texture of the product to be made suitable for the organ or tissue to be simulated. Models produced with this method are used both in education and in preoperative evaluation. Their use is increasing in cerebrovascular cases, neurooncology, skull base surgery, pediatric neurosurgery, and spinal surgery. As a result, it is considered to be a useful technology in neurosurgery education, in learning the necessary routines before the training step on the patient, and in shortening the operation time and reducing the risk of complications by using it in the surgical planning process.

**KEYWORDS:** Three dimensional printing, Neurosurgery, Education, Surgical planning

## ■ GİRİŞ

Üç boyutlu (3B) yazıcıların fikri ilk olarak şirketlerin prototip geliştirmesinde bir üretim yöntemi fikri olarak ortaya atılmıştı. Eklemeli işlem yoluyla 3B baskının bilinen ilk örneği 1981'de Japon mucit Hideo Kodama tarafından yapılmıştır. Polimerleri ultraviyole ışın kullanarak sertleştiren ve katmanlı eklemeli basım yapan bir cihaz geliştirmişti. Daha sonrasında stereolitografi (SLA), seçici lazer sintleme (SLS), Fused Deposition Modeling (FDM) geliştirilmiştir.

3B basım beraberinde büyük avantajlar getirmiş, ameliyat öncesi planlama, cerrahi simülasyon ile tıp ve cerrahi eğitiminde kullanılmaya başlanmıştır. 3B simülasyonlar ile kadavra ve hayvan modelleri kullanım ihtiyacının azalması sağlanmaktadır. Nöroşirürji eğitiminde ve pratiğinde düşük ve orta gelirli ülkelerdeki eksikliklerin kapatılmasında bir eğitim aracı olarak kullanılabilirliği gösterilmiştir (4). Klasik usta çırak eğitimindeki hasta üzerindeki eğitim öncesinde rutin cerrahi prosedürlerin 3B basım ile üretilen modellerde temel eğitimin verilmesi, hem eğitim sırasında hem de gelişim sürecinde hasta üzerinde riski en aza indirebilecektir (21).

## ■ GEREÇ ve YÖNTEMLER

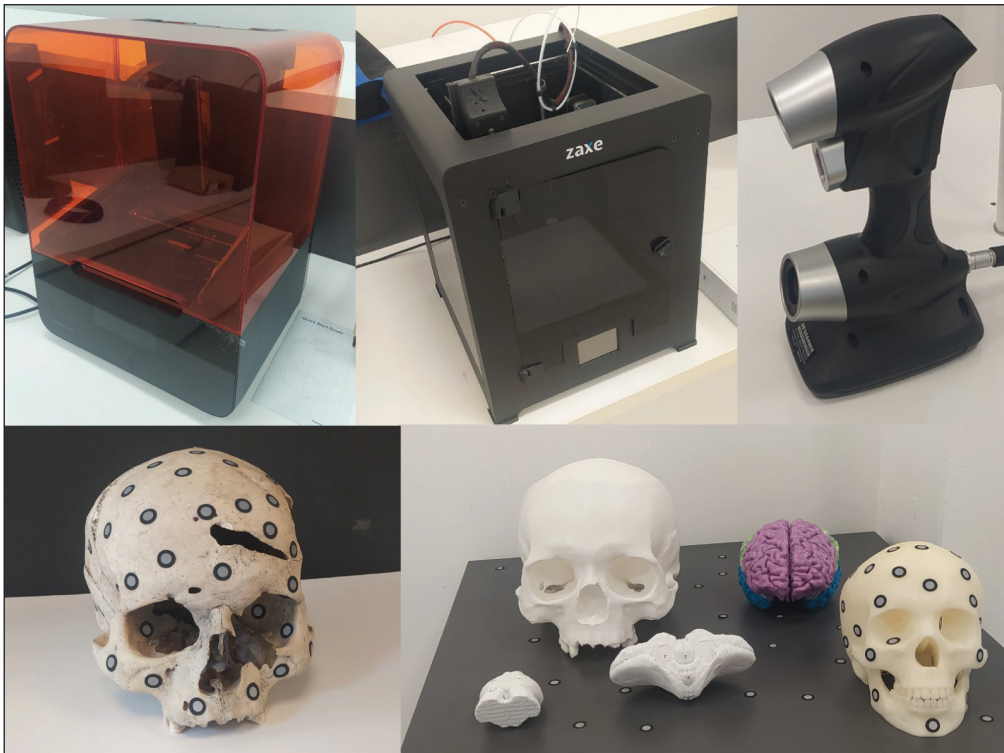
Nöroşirürjide 3 boyutlu basım ile ilgili Google Scholar ve PubMed veri tabanlarındaki daha önce yapılan çalışmalar incelenmiş, Uludağ Üniversitesi İleri Simülasyon Merkezi'nden alınan izin dahilinde tıp eğitiminde kullanılan 3B basım ile elde edilen modellerin görüntüleri alınmıştır. Çıkar çatışması yoktur. Çalışmamıza 3B basım sistemlerinin tedavi ve rekonstrüksiyon amaçlı kullanımı dahil edilmemiş; sadece cerrahi planlama ve eğitimdeki yeri incelenmiştir.

## ■ BULGULAR

### Eğitim ve Cerrahide Kullanılan 3B Basım Sistemleri

3B basımda en sık kullanılan görüntü formatı STL (Standard Triangulation Language) formatıdır. 1987'de 3D Systems, Inc. tarafından geliştirilen yazılım formatı; üç boyutlu hacmin yüzeyinin üçgen yüzeyciklerle oluşturulmasını hedeflemektedir. Cerrahi planlamada ve eğitim amaçlı üretimi hedeflenen modellerin basım işlemi için STL formatında tarama yapan üç boyutlu tarayıcılar ya da ince kesitli radyolojik görüntülemelemin Digital Imaging and Communication in Medicine (DICOM) formatından STL formatına çevrilmesi gerekmektedir. STL formatındaki dosyalar dilimleyici bilgisayar destekli üretim yazılımları yardımıyla optimum yazım katmanları oluşturulur. Böylece baskının özellikleri tanımlanmış ve optimize edilmiş olur. Yazıcı, optimize edilmiş katmanları G-CODE adı verilen özel bir kod sayesinde alır ve basıma hazır hâle gelir. 3B basım süreci tamamlandıktan sonra baskıdan çıkartılacak parçalar çıkartılır ve zımparalama işlemi yapılır. Bu şekilde baskı tamamlanmış olur (5,9,19). Şekil 1'de Uludağ Üniversitesi Simülasyon Merkezi'nde kullanılan yazıcı ve tarayıcılar ile model örnekleri görülmektedir.

Basım yöntemleri başlıca tekne fotopolimerizasyonu, malzeme ekstrüzyonu, malzeme püskürtme, bağlayıcı püskürtme, toz yatağı füzyonu, yönlendirilmiş enerji biriktirme, tabaka laminasyonudur. Kullanılan malzemeler ise polilaktik asit (PLA), akrilonitril-bütadien-stiren (ABS), termoplastik poliüretan (TPU), poliamid (PA), glükol ile modifiye polietilen tereftalat (PETG), polikarbonat (PC), polipropilen (PP)'dir.



**Şekil 1:** Uludağ Üniversitesi Simülasyon Merkezi'nde bulunan 3B yazıcılar ve 3B tarayıcılar (üstte). Kranyum ve nöroanatomi eğitiminde kullanılmak üzere üretilen 3B modeller (altta).

### Cerrahi Modelleme ve Eğitimde Kullanım Alanları

Nöroşirürji pratiğinde aktif olarak bilgisayarlı tomografi (BT), manyetik rezonans görüntüleme (MRG) 2 boyutlu (2B) olarak kullanılmaktadır. Bu görüntülemeler, yeterince hassas kalınlıkta yapıldıysa; 2B görüntülerden 3B yapay görüntüler elde edilebilmektedir. Fakat nöroşirürjide anatomik yapıların küçük, ayrıntılı ve karmaşık olmasından dolayı diğer alanlara göre modellemesi daha zordur. Nöroşirürjikal kullanımda önemli amaçlardan biri, lezyona ya da ulaşılmak istenen anatomik yapıya en güvenli yaklaşımı bulmaktır. 2B yaklaşımlarda zor olan derinlik algısını; cerrah 3B yaklaşımlar ile rahatlıkla yakalayabilir (7).

### Nöroonkoloji, Nörovasküler ve Kafa Tabanı Cerrahisinde Kullanımı

Serebrovasküler cerrahi planlamada anevrizmanın yerleşimi, boyutu, şekli, dolum paterni ve cerrahi açıdan ulaşım yollarının planlaması oldukça önemlidir. Bu amaçla hastaların serebral dijital substraksiyon anjiyografi (DSA), Beyin BT anjiyografi, Beyin MR anjiyografi görüntüleri çekilmekte ve bunların 2B ekranlarda 3B rekonstrüksiyonları yapılmaktadır. Bu görüntüler ile yapılan inceleme neticesinde cerrahi yaklaşım ve planlama belirlenir. Literatürde 3B yazıcılar ile 3B modeller basılarak cerrahi planlamanın daha güvenilir ve sağlıklı yapılabileceğini gösteren pek çok makale bulunmaktadır (6,18,20). Bu çalışmalarda 3B model kullanılarak ameliyat sürelerinin kıaldığı gösterilmiştir. Mashiko ve ark. kompleks bir anevrizma olgusu için fleksibl model geliştirerek anevrizmanın kliplenme şeklini önceden değerlendirmişler ve anevrizmanın 3B yapısının anlaşılmasında faydalı olduğunu göstermiştir (15). Ayrıca bu teknoloji ile elde edilen modellerin; ucuz ve kısa sürede üretilebilme olanağı olmasından dolayı nöroşirürji eğitiminde kullanılmasının faydalı olacağı düşünülmektedir (1).

Beyin neoplazmları ve yer kaplayan lezyonlar için; cerrahi planlamanın yanı sıra normal beyin dokusu ile patolojik dokunun birbirinden ayrımının yapılması gibi durumlar için de kullanılır. Bu patolojilerde, beyin dokusunu ve patolojik dokuyu daha iyi gösterdiği için genellikle MRG kullanılır. MRG'den alınıp işlenen veriler; ulaşılmak istenen doku ile etraf normal dokunun ayrımı, vasküler yapıların patolojik dokuya göre konumu, patolojik dokuya en güvenli ulaşım yolu, kranyumdaki giriş yerinin belirlenmesi gibi durumlara katkı sağlar. Örneğin kavernöz sinüs; internal karotid arter, venöz pleksus ve bazı kranyal sinirlerden oluşur. Bu sebepten dolayı bu bölgenin lezyonları nöroşirürji pratiğinde önemli yer tutar. Buna benzer diğer bir anatomik yapı ise temporal kemiktir. Bu yapıda karotid arter, iç kulak yapıları ve kranyal sinirler vardır. Bu bölge lezyonları toplumda sık görülmediği için; cerrahi tedavisinin zor ve komplikasyon oranı yüksek olduğundan 3B modellerin eğitim amacı ile kullanılması son derece önemlidir (7). Literatürdeki öncü örneklerine baktığımız zaman Waran ve ark.nın derin ve küçük yerleşimli talamik lezyonlar için oluşturdukları 3B modellemeyi görebiliriz. Ayrıca yaptıkları başka bir çalışmada kranyotomi ile tümör eksizyonu için navigasyon ve cilt flebi planlamasında, eğitim amaçlı 3B planlama yapmışlardır (22).

Muller ve ark. kafa tabanı cerrahilerinin planlamasına yardımcı olmak için SLA ve SLS modellerini üretmişlerdir (17). Al-Mefty ve Fisch gibi kafa tabanı cerrahilerinde yetkin isimler bu bölge lezyonlarına standart yaklaşımları tanımlamışlardır (2). Ancak bu tarz vakalarda standart yaklaşımların yanında hastanın anatomik varyasyonları da önemli bir konu başlığıdır. BT ve MRG ile bu konuda ciddi ilerleme sağlansa da hâlen kafa tabanı ve çevresindeki lezyonların cerrahisinde yeterli değildir. Preoperatif dönemde oluşturulan 3B modeller; cerrahin 3B perspektif kazanmasını, çevre anatomik yapıları tanımasını, kemik rezeksiyonları planlamasını, varyasyonları hasta bazlı değerlendirebilmesini sağlayarak güvenli bir cerrahi için tamamlayıcı olmuştur.

### Pediyatrik Nöroşirürjide Kullanımı

Pediyatrik yaş grubunda, fizyolojik ve anatomik farklılıkların yanı sıra cerrahi prosedürlerin farklılığı bu olgulardaki nöroşirürjikal işlemleri özel kılmaktadır. Bu nedenle pediyatrik olguların preoperatif detaylı değerlendirilmesi ve cerrahi girişimin buna göre planlanması; olası komplikasyonları önleme konusunda oldukça önemlidir. Tıp alanındaki teknolojik gelişmeler ile özellikle son yıllarda ilerleme kaydeden 3B modelleme ve basım teknikleri sayesinde cerrahi planlama ve uygulama aşamalarında pediyatrik hastalarda olguya özel hazırlanan modeller kullanılabilmektedir (11).

Kraniosinüzoz; bir veya daha fazla kranyal sütürün erken kapanması ile oluşan bir kalvaryal deformitedir (10,16). Bu deformite; pediyatri hekimleri ve pediyatrik nöroşirürjiyenler başta olmak üzere multidisipliner bir yaklaşım ile yönetilmektedir. Nöroşirürji pratiğinde görece az görülen olgular olmalarından dolayı; özellikle genç nöroşirürjiyenlerin bu konudaki tecrübeleri sınırlı kalabilmektedir. 3B basım ve modelleme teknikleri; preoperatif dönemde özellikle genç nöroşirürjiyenlere kalvaryal yeniden şekillendirmede kılavuz olarak kullanılabileceği gibi rutinin dışındaki daha karışık planlama isteyen olgularda planlama kolaylığı sağlayacak modellerin üretimine ve kullanımına da imkân sunmaktadır.

Başlangıçta karmaşık maksillofasial çoklu kırıkların cerrahisinde kullanılan plakların planlanması ve uygulanması için kullanılan 3B modeller; sonrasında kraniosinüzozlu olguların görüntülemelerinden elde edilip cerrahi işlemde gerekli kesimlerin planlanmasında kullanılmaya başlanmıştır.

Coelho ve ark.nın Brezilya kökenli Pro Delphus şirketi ile birlikte geliştirmiş olduğu Anatomical Simulator for Paediatric Neurosurgery (ASPEN); skafosefali düzeltilmesi için eğitimlerde kullanılan bir model olup, model üzerinde işlem yapmanın gerçek olgular ile benzer olduğu vurgulanmaktadır (3).

### Spinal Cerrahide Kullanımı

Spinal cerrahide de 3B basım teknolojileri giderek artan önem kazanmaktadır. Bu teknolojinin kullanımı ile anatomik modeller hastaya spesifik implantlar üretimi konusunda büyük imkânlar sağlamaktadır. Kompleks medikal durumlar ya da anormal anatomik yapıların preoperatif değerlendirilmesinde üretilen spesifik modeller giderek artan önem arz etmektedir. Lador ve ark. 7 hastalık serilerinde 3B basım ile 5 hastaya spesifik model, 2 hastaya da spesifik implant geliştirmiş ve tedavinin optimize edilmesinde katkılarını göstermişlerdir (13).

3B baskılı modellerin başka bir önemli yararı da cerrahların çeşitli prosedürleri yerine getirmeleri konusunda eğitilmesidir. Nöroşirürji pratiğindeki çoğu prosedür; navigasyon sistemleri, endoskoplar, mikroskoplar ve matkaplar gibi çeşitli enstrümanların kullanımını içerir. 3B baskılı modeller, bu araçların kullanımını konusunda cerrahların yetkinliğe daha hızlı ulaşmalarına ve güvenlerini artırmalarına yardımcı olmak için eğitim kurslarında kullanılmaktadır (8,14).

Radyolojik görüntülemeler ile elde edilen 3B modellerin; cerrahi planlama, cerrahi simülasyon ve intraoperatif kılavuz olarak kullanımının rutine dönüşebileceği öngörülmektedir (12). Çalışmalar incelendiğinde 2014 ve 2019 yılları arasında yapılan yayınlarda daha çok kafa tabanı cerrahisi, nörovas-küler cerrahi ve anatomik modeller ile ilgili eğitim yayınları görülmektedir. Yapılan modellerin; epilepsi cerrahisi ve beyin tümörü mikrodiseksiyon tekniklerinin çalışılması hususunda yetersiz olduğu bulunmuştur (21).

## ■ SONUÇ

Günümüzde pek çok merkezde 3B basım teknolojilerinin kullanım alanı artmaktadır. Hem anatomi eğitiminde hem de cerrahi planlama ve eğitimlerde bu yolla üretilen modeller kullanılabilir. 3B basım teknolojileri günümüzde pek çok alanda olduğu gibi nöroşirürji eğitim ve pratiğinde de önemli gelişmelere yol açmıştır. Hem eğitimin optimize edilmesi hem de cerrahi planlamanın en doğru ve güvenli yapılması konusunda faydaları aşikârdır. Nöroşirürji ilgi alanında; özellikle bazı patolojilerin nadir ve ulaşılması zor anatomik yerleşime sahip olmalarından dolayı hem eğitim hem de cerrahi planlama açısından nöroşirürjinin geleceğinde de önemli bir yer teşkil edeceği düşünülmektedir. Her ne kadar her doku ve yapının özelliklerinin simülasyona birebir aktarımı henüz yeterli derecede olmasa da yaklaşık 40 yıllık gelişim sürecinin hızlanarak arttığı görülmektedir. Nöroşirürji eğitiminin verildiği her eğitim kliniğinde bu teknolojilerin kullanımı temel ve ileri nöroşirürji becerilerinin homojen olmasını sağlayacağı düşünülmektedir. Bu sebeple bu teknolojinin kullanımı yaygınlaştırılmalı ve üzerinde daha ileri çalışmalar yapılmasına olanak sunulmalıdır.

## ■ KAYNAKLAR

1. Abla AA, Lawton MT: Three-dimensional hollow intracranial aneurysm models and their potential role for teaching, simulation, and training. *World Neurosurg* 83:35-36, 2015
2. Al-Mefty O: Supraorbital-pterional approach to skull base lesions. *Neurosurgery* 21:474-477, 1987
3. Coelho G, Warf B, Lyra M, Zanon N: Anatomical pediatric model for craniosynostosis surgical training. *Childs Nerv Syst* 30:2009-2014, 2014
4. Dewan MC, Rattani A, Fieggen G, Arraez MA, Servadei F, Boop FA, Johnson WD, Warf BC, Park KB: Global neurosurgery: The current capacity and deficit in the provision of essential neurosurgical care. Executive Summary of the Global Neurosurgery Initiative at the Program in Global Surgery and Social Change. *J Neurosurg*, 2018 (Online ahead of print)
5. Frakes DH, Smith MJ, Parks J, Sharma S, Fogel SM, Yoganathan AP: New techniques for the reconstruction of complex vascular anatomies from MRI images. *J Cardiovasc Magn Reson* 7:425-432, 2005
6. Futami K, Nakada M, Iwato M, Kita D, Miyamori T, Yamashita J: Simulation of clipping position for cerebral aneurysms using three-dimensional computed tomography angiography. *Neurol Med Chir (Tokyo)* 44:6-12; discussion 13, 2004
7. Ganguli A, Pagan-Diaz GJ, Grant L, Cvetkovic C, Bramlet M, Vozenilek J, Kesavadas T, Bashir R: 3D printing for preoperative planning and surgical training: A review. *Biomed Microdevices* 20:65, 2018
8. Grosch AS, Schroder T, Schroder T, Onken J, Picht T: Development and initial evaluation of a novel simulation model for comprehensive brain tumor surgery training. *Acta Neurochir (Wien)* 162:1957-1965, 2020
9. Hahn HK, Millar WS, Klinghammer O, Durkin MS, Tulipano PK, Peitgen HO: A reliable and efficient method for cerebral ventricular volumetry in pediatric neuroimaging. *Methods Inf Med* 43:376-382, 2004
10. Johnson D, Wilkie AO: Craniosynostosis. *Eur J Hum Genet* 19:369-376, 2011
11. Karuppiyah R, Munusamy T, Bahuri NFA, Waran V: The utilisation of 3D printing in paediatric neurosurgery. *Childs Nerv Syst* 37:1479-1484, 2021
12. Kaya İ, Aydın HE, Cingöz İD: Nöroşirürji'de 3 boyutlu baskılar ve baskılama yöntemleri. *Türk Nöroşir Derg* 28:289-293, 2018
13. Lador R, Regev G, Salame K, Khashan M, Lidar Z: Use of 3-Dimensional printing technology in complex spine surgeries. *World Neurosurg* 133:e327-e341, 2020
14. Licci M, Thieringer FM, Guzman R, Soleman J: Development and validation of a synthetic 3D-printed simulator for training in neuroendoscopic ventricular lesion removal. *Neurosurg Focus* 48:E18, 2020
15. Mashiko T, Otani K, Kawano R, Konno T, Kaneko N, Ito Y, Watanabe E: Development of three-dimensional hollow elastic model for cerebral aneurysm clipping simulation enabling rapid and low cost prototyping. *World Neurosurg* 83:351-361, 2015
16. Morris LM: Nonsyndromic craniosynostosis and deformational head shape disorders. *Facial Plast Surg Clin North Am* 24:517-530, 2016
17. Muller A, Krishnan KG, Uhl E, Mast G: The application of rapid prototyping techniques in cranial reconstruction and preoperative planning in neurosurgery. *J Craniofac Surg* 14:899-914, 2003
18. Satava RM: Accomplishments and challenges of surgical simulation. *Surg Endosc* 15:232-241, 2001
19. Sodian R, Weber S, Markert M, Rassoulia D, Kaczmarek I, Lueth TC, Reichart B, Daebritz S: Stereolithographic models for surgical planning in congenital heart surgery. *Ann Thorac Surg* 83:1854-1857, 2007
20. Stadie AT, Kockro RA, Reisch R, Tropine A, Boor S, Stoeter P, Perneczky A: Virtual reality system for planning minimally invasive neurosurgery. Technical note. *J Neurosurg* 108:382-394, 2008
21. Thiong'o GM, Bernstein M, Drake JM: 3D printing in neurosurgery education: a review. *3D Print Med* 7:9, 2021
22. Waran V, Narayanan V, Karuppiyah R, Pancharatnam D, Chandran H, Raman R, Rahman ZA, Owen SL, Aziz TZ: Injecting realism in surgical training-initial simulation experience with custom 3D models. *J Surg Educ* 71:193-197, 2014