

Endoskopik endonazal cerrahi eğitiminde 3 boyutlu kafa tabanı modelleri üzerine uygulama çalışması

Practical study on three-dimensional skull base models in endoscopic endonasal surgery training

Anıl Ergen¹, Melikşah Çakır², Melih Çaklılı¹, İhsan Anık¹

¹Kocaeli Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Beyin ve Sinir Cerrahisi Kliniği, Kocaeli, Türkiye

²Sağlık Bilimleri Üniversitesi, Kocaeli Şehir Hastanesi, Kulak, Burun, Boğaz ve Baş Boyun Cerrahisi Kliniği, Kocaeli, Türkiye

Öz

Giriş: Bu çalışma, endoskopik endonazal cerrahi (EEC) eğitiminde kullanılmak üzere geliştirilen üç boyutlu (3B) baskılı kafa tabanı modellerinin üretim sürecini, uygulanabilirliğini ve eğitimsel potansiyelini değerlendirmeyi amaçlamaktadır.

Yöntem: Kadavra bilgisayarlı tomografi (BT) verilerinden elde edilen DICOM formatındaki görüntüler, 3D Slicer yazılımında işlenerek nazal pasajın 3B dijital modeli oluşturuldu. Modeller stereolitografi (STL) formatına dönüştürülerek polilaktik asit (PLA) filament kullanımıyla 1:1 ölçekte 3B yazıcıda üretildi. Elde edilen kafatası modelleri, daha önceki çalışmamızda üretilen endoskopik robotik kol ile test edildi. Robotun, önceden belirlenen güzergah boyunca sfenoid ostiuma otonom ilerleme kabiliyeti değerlendirildi.

Bulgular: Robot sistemi, kurulum süreci sonrasında nazal ve sfenoid aşamalarda belirlenen anatomik hedeflere otonom olarak ulaşabildi. PLA modeller, nazal pasajda künt diseksiyona izin veren yeterli esneklik ve dayanıklılık gösterdi. Modellerin kullanımı, kadavra uygulamalarından önce tekrarlı deneme imkânı sağlayarak sistemin geliştirilmesine ve olası teknik aksaklıkların giderilmesine olanak tanıdı. Bu sayede kadavra dokularında olası zararların önüne geçildi.

Sonuçlar: 3B kafa tabanı modelleri, EEC eğitiminde düşük maliyetli, erişilebilir ve tekrarlanabilir bir simülasyon aracı olarak kullanılabilir. Bu yaklaşım, öğrenme eğrisini kısaltma, cerrahi beceri gelişimini hızlandırma ve komplikasyon riskini azaltma potansiyeline sahiptir. Gelecekteki çalışmalar, modellerin anatomik ve haptik gerçekçiliğinin artırılması ve yapay zekâ entegrasyonu ile cerrahi eğitimde etkinliğinin uzun vadeli değerlendirilmesine odaklanmalıdır.

Anahtar kelimeler: endoskopik endonazal cerrahi, üç boyutlu baskı, kafa tabanı cerrahisi, robotik cerrahi, cerrahi eğitim, simülasyon

✉ Anıl Ergen ▪ anilergen@gmail.com

Geliş tarihi / Received: 23.06.2025 **Kabul tarihi / Accepted:** 13.08.2025 **Yayın tarihi / Published:** 31.08.2025

Telif hakkı © 2025 Yazar(lar). Sinir Sistemi Cerrahisi Derneği tarafından yayımlandı. Açık erişimli bu makale, orijinal çalışmaya uygun şekilde atıfta bulunulması koşuluyla, herhangi bir ortamda veya formatta sınırsız kullanım, dağıtım ve çoğaltmaya izin veren [Creative Commons Atıf Lisansı \(CC BY\)](#) ile dağıtılmıştır.

Copyright © 2025 The Author(s). Published by Nervous System Surgery Society. This is an open access article distributed under the [Creative Commons Attribution License \(CC BY\)](#), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium or format, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT

Introduction: This study aims to evaluate the production process, applicability, and educational potential of three-dimensional (3D) printed skull base models developed for use in endoscopic endonasal surgery (EES) training.

Methods: DICOM-format images obtained from cadaveric computed tomography (CT) data were processed using the 3D Slicer software to create a 3D digital model of the nasal passage. The models were converted into stereolithography (STL) format and produced at a 1:1 scale using polylactic acid (PLA) filament with a 3D printer. The printed skull models were tested with the endoscopic robotic arm previously developed in our earlier study. The robot's capability to autonomously navigate to the sphenoid ostium along a predetermined path was evaluated.

Results: Following the setup, the robotic system was able to autonomously reach predetermined anatomical targets during the nasal and sphenoid stages. The PLA models demonstrated sufficient flexibility and durability to allow blunt dissection in the nasal passage. The use of these models enabled repeated trials prior to cadaveric applications, facilitating system optimization and resolution of potential technical issues, thereby preventing possible damage to cadaveric tissues.

Conclusions: 3D-printed skull base models can serve as a low-cost, accessible, and reproducible simulation tool for EES training. This approach has the potential to shorten the learning curve, accelerate surgical skill acquisition, and reduce complication risks. Future studies should focus on enhancing the anatomical and haptic realism of the models and on long-term evaluation of their effectiveness in surgical training with artificial intelligence integration.

Keywords: endoscopic endonasal surgery, three-dimensional printing, skull base surgery, robotic surgery, surgical training, simulation

Giriş

Endoskopik endonazal cerrahi (EEC), başta hipofiz adenomları olmak üzere kafa tabanı lezyonlarının tedavisinde yaygın olarak benimsenen minimal invaziv bir tekniktir. Bu yaklaşımdaki, iki boyutlu (2B) endoskopik görüntü ve 4 el tekniğinin zorunluluğu, bu yöntemin öğrenme süresini uzatmaktadır.^{1,2}

Son yıllarda gelişen 3 boyutlu baskı teknolojisi, düşük maliyetle, gerçeğe yakın ve tekrar kullanılabilir cerrahi modeller üretmeyi mümkün kılmaktadır.^{3,4} BT veya MR görüntülerinden birebir ölçekte yapılan bu modeller, cerrahi planlama, eğitim ve komplikasyon yönetiminde kullanılabilir.^{3,5}

Çalışmamızdaki amaç, hasta odaklı 3B baskı ile oluşturulan cerrahi modellerin, geleneksel kadavra tabanlı eğitim yöntemlerinin sınırlılıklarına bir çözüm olarak nöroşirürji eğitimindeki rolünü

vurgulamaktır. Cerrahi eğitim simülasyonlarının cerrahi becerileri geliştirmede, ameliyat sürelerini azaltmada ve karmaşık vakalar için önceden planlama yapmada uygunluğu ve faydaları bilinmektedir.^{1,6-8}

Bu makalede, kadavra BT verilerinden üretilmiş 3B baskılı kafa tabanı modellerinin tasarım ve üretim süreci ile bu modellerin robot destekli EEC eğitiminde kullanımı paylaşılmakta; sistemin uygulanabilirliği, performansı ve potansiyel avantajlarına ilişkin ön bulgular sunulmaktadır.

Gereç ve Yöntem

Daha önce çalışmamızda ürettiğimiz endoskopik robot prototipinin geliştirme ve doğrulama faaliyetlerinde kullanılan kafatası modellerinin üretim süreci, endoskopik endonazal cerrahide robotik kolun yeteneklerini test etmek ve geliştirmek için kritik bir adım olmuştur. Bu

modeller, hem cerrahi öncesi planlama hem de eğitim amaçlı olarak literatürde yaygın şekilde kullanılan 3B baskı teknolojileriyle hazırlanmıştır

Çalışmanın temelini, paranasal tomografi görüntülemesi yapılan bir kadavra kafasından elde edilen veriler oluşturmıştır. Bu çalışma, yeni insan katılımcı veya kadavra materyali içermemektedir. Kullanılan 3B modeller, önceki çalışmamızda etik kurul onayı alınarak (Tıbbi Etik Kurul, Kocaeli Üniversitesi Tıp Fakültesi, Kocaeli, Türkiye – GOKAEK 2022-354) elde edilen kadavra tomografi verilerinden üretilmiştir. Mevcut makale yalnızca modelin oluşturulma sürecini ve eğitim uygulamasını ortaya koymaktadır.

Yapay Kafa Modeli Üretimi

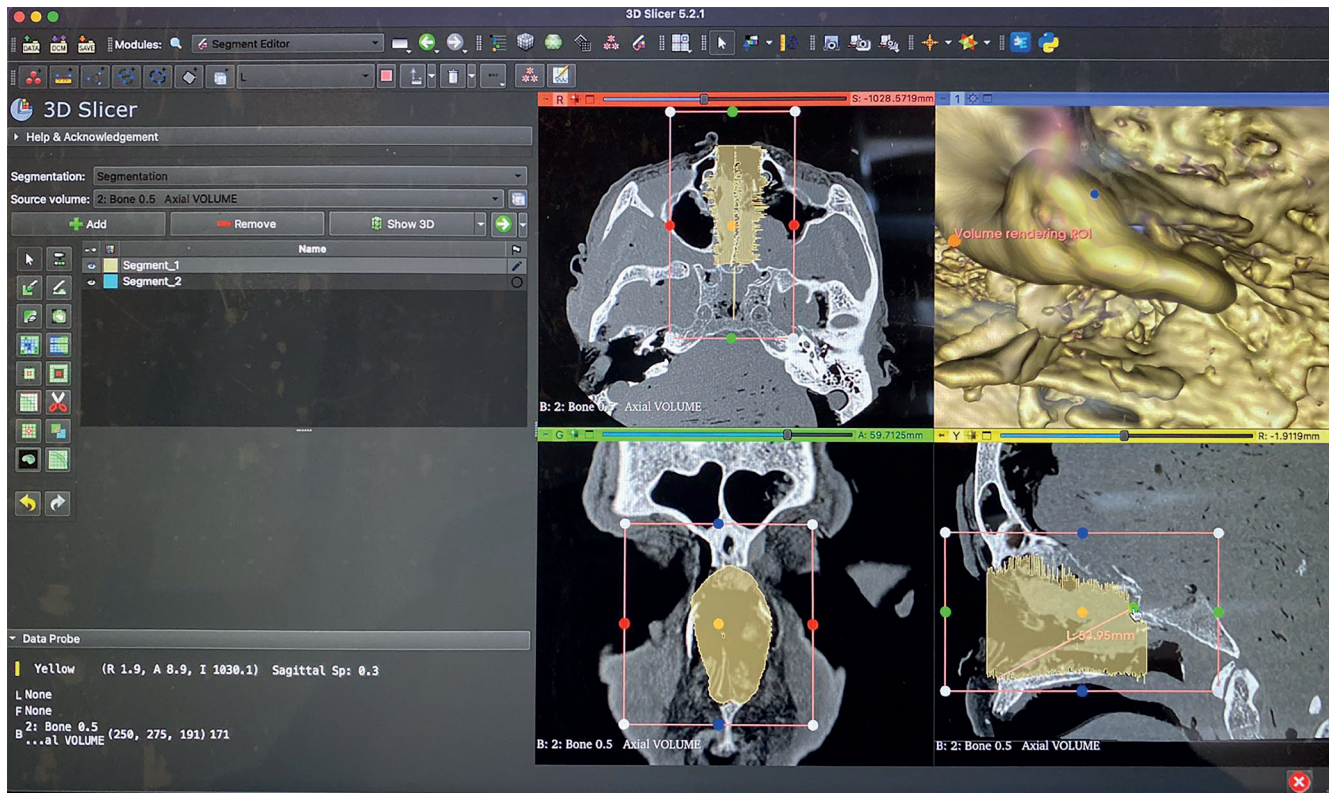
Robot deneyleri için kullanılan kafatası modellerinin üretimi, bilgisayarlı tomografi

(BT) verilerinden elde edilen dijital modellerin fiziksel nesnelere dönüştürülmesi prensibine dayanmaktadır.

Tomografi sonuçları, Dijital Görüntüleme ve Tıpta İletişim (DICOM) uzantılı medya dosyaları olarak elde edilmiştir. DICOM, tıbbi görüntüleme cihazlarından alınan 2B ve 3B bilimsel verilerin depolanması, görüntülenmesi ve analizi için geliştirilmiş bir dijital veri formatı standardıdır.

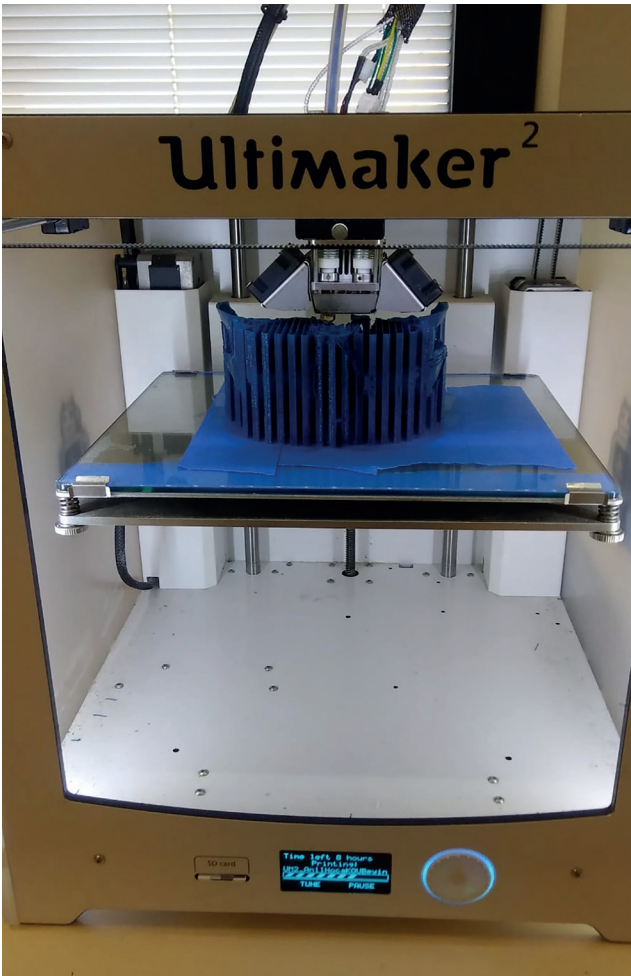
Elde edilen DICOM çıktıları, biyomedikal görüntülerin analizi ve görselleştirilmesi için ücretsiz ve açık kaynak kodlu bir yazılım platformu olan 3D Slicer'a yüklenmiştir. Bu yazılım kullanılarak nazal pasajın üç boyutlu modellenmesi 'Segmentation Tool' ile yapılmıştır (Şekil 1).

Sanal 3B model, baskı için standart bir dosya formatı olan STL (Stereolithography) formatında

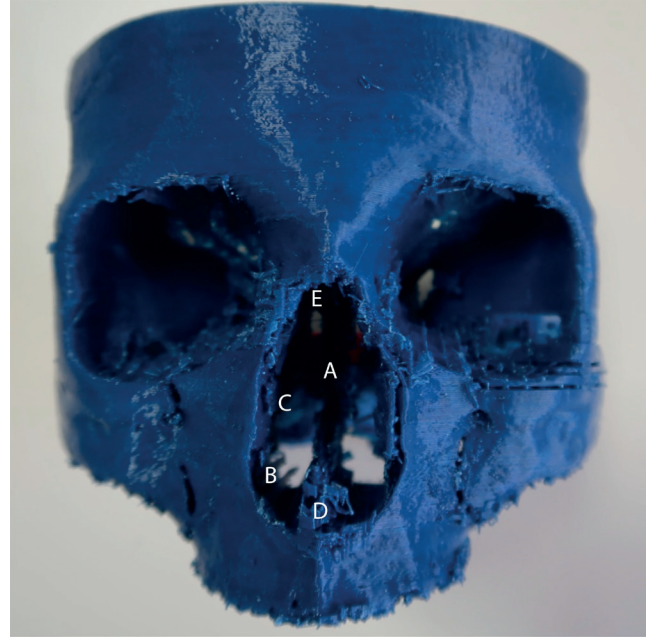


Şekil 1. 3D Slicer programının arayüzü ve kadavranın paranasal tomografisi üzerinden 3 boyutlu olarak nazal pasajın modellenmesi

dışa aktarılmıştır. Ultimaker 2+ extended veya Ultimaker S3 3B yazıcıları ile 1:1 ölçekte kemik maketler oluşturulmuştur (Şekil 2 ve Şekil 3). Bu yazıcılar, bilgisayar ortamında hazırlanmış üç boyutlu bir nesnenin sanal olarak katmanlara bölünmesine ve her bir katmanının eritilen hammaddenin dökülerek üst üste gelecek şekilde basılması prensibine dayanır. Bu modeller, polilaktik asit (PLA) filamenti kullanılarak üretilmiştir. İki kafatası modeli 2.85 mm filament kullanılarak oluşturulmuştur. Baskı işlemi Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mekatronik Laboratuvarı'nda yapılmıştır.



Şekil 2. 3B paranazal tomografi modelinin, Ultimaker2® yazıcı ile PLA tabanlı yazdırma işlemi



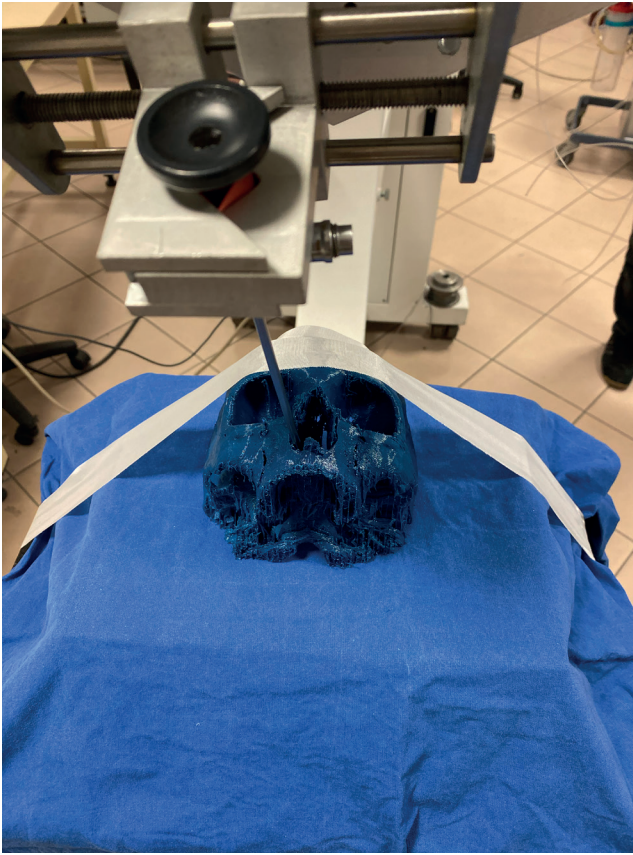
Şekil 3. 3B modelin destekleri temizlenmiş hali, A. Nazal pasaj, B. İnförör konka, C. Orta konka, D. Nazal septum, E. Sfenoid ostium

3B yazıcılar, bilgisayar ortamında hazırlanmış üç boyutlu bir nesnenin sanal olarak katmanlara bölünmesine ve her bir katmanının eritilen hammaddenin dökülerek üst üste gelecek şekilde basılması prensibine dayanır.

Bulgular

Bu çalışmada, tasarlanan robot kolunun endoskopik endonazal cerrahideki temel prosedürleri gerçekleştirme yeteneğini incelemek amacıyla 3B modeller kullanılmıdı. Robot kol prototipinin endoskopu tutma ve otonom şekilde manevra yapmasının gerçekleştirilebilirliğini değerlendirmek için yapay kafatası modelleri ile robot deneyi 2 kez tekrarlandı (Şekil 4).

Bu çalışmada yapılan deneyde, cerrahi motor gibi ısı üreten aletler kullanıldığında, PLA tipi plastik filamentin erime sıcaklığına ulaşarak özelliğini yitirme riski teorik olarak mevcuttu. Ancak, deneydeki temel amacımız ameliyatın nazal pasajı ilgilendiren kısmını robot için simüle etmekte ve



Şekil 4. Robotik cerrahi deney düzeninin hazırlık safhası, modellenin platforma sabitlenmesi ve endoskopik robotun yaklaşım açısının hazırlığı

cerrahi motor kullanılmadı. Nazal konka yapıları künt diseksiyona izin verdi ve ısıya maruz kalma veya kırılma gibi bir problem yaşanmadan eğilerek yapılarını korudular. Robot, endoskopi sfenoid ostiuma kadar başarıyla ilerletti. Bu, simülasyon modelinin nazal pasajdaki künt diseksiyon için yeterli esnekliğe ve dayanıklılığa sahip olduğunu göstermektedir.

Kullanılan duvar kalınlığı, dolgu yoğunluğu ve baskı destekleri ayarları ile tek maket için 280 gr filament harcandı. Her bir modelin basım süresi 9 saat olarak ölçüldü.

Tartışma

Bu çalışmada üretilen yapay kafatası modelleri, robotik sistemin geliştirilme ve doğrulama aşamalarında, özellikle de kadavra üzerinde deneye geçmeden önce birçok deneme yapılmasını ve sistemden kaynaklanan aksaklıkların giderilmesini sağlamak amacıyla kullanıldı. Bu modeller, robotik kol prototipinin endoskopi tutma ve otonom şekilde manevra yapma yeteneğinin fizibilitesini değerlendirmede temel bir rol oynadı. PLA malzemesi, hızlı ve düşük maliyetli üretim imkanı sunarak robotik sistemin tekrarlı olarak denenmesine olanak sağladı.

EEC, kafa tabanında bulunan lezyonların, özellikle hipofiz adenomlarının, cerrahi tedavisinde kullanılmaktadır. Bu minimal invaziv yöntem, cerrahlara daha geniş bir görüş alanı sunarak adenomların daha eksiksiz ve güvenli bir şekilde çıkarılmasını sağlar.^{7,9,10} Ancak EEC, kafa tabanının derin ve karmaşık anatomik yapılarla çevrili olması, sınırlı operasyonel alan, uzun cerrahi aletlerin kullanımı ve kritik nörovasküler yapılar nedeniyle önemli zorluklar içermektedir. İki boyutlu (2D) endoskopik görüş ve cerrahın bir eliyle endoskopi tutarken diğer eliyle cerrahi aletleri kullanma gerekliliği, bu tekniğin öğrenme eğrisini oldukça dik hale getirmiştir.^{1,11}

Cerrahi eğitimde, ameliyat sürelerinin kısalması, karmaşık prosedürlere maruz kalmanın azalması ve artan yan uzmanlaşma gibi faktörler, aday cerrahların yeterli deneyim kazanmasını zorlaştırmaktadır.¹² Bu durum, hastaları cerrahın “öğrenme eğrisine” maruz bırakmadan yeni cerrahi becerilerin kazanılmasını sağlayan simülasyon tabanlı eğitim yöntemlerine olan ihtiyacı ortaya çıkarmıştır.^{4,10,12-14} Geleneksel eğitim metotları olan kadavra modelleri, etik sorunlar,

yüksek maliyetleri, sınırlı bulunabilirlikleri ve özel hazırlık/saklama gereksinimleri nedeniyle yaygın kullanıma uygun değildir.^{10,11,15} Hayvan modelleri de insan anatomisine düşük benzerlikleri ve etik kaygılar nedeniyle sınırlıdır.¹⁰ Sanal gerçeklik (VR) sistemleri umut vadeden bir alternatif olsa da, yüksek maliyetli olabilir ve özellikle dokunsal geri bildirimde (haptik geri bildirim) sınırlamalara sahip olabilir.^{7,10,15}

Son yıllarda 3B baskı teknolojisi, EEC eğitiminde ve cerrahi planlamada maliyet etkin, anatomik olarak doğru ve tekrarlanabilir modeller üretilmesine olanak tanıyarak önemli bir çözüm sunmuştur.^{3,8,10,11,15} Bu modeller, birebir ölçekte veya belirli anatomik detayları vurgulayacak şekilde hastanın BT veya MR görüntüleme verilerinden (DICOM dosyaları) faydalanılarak oluşturulabilir.^{1,5,8-10,15,16} 3D Slicer gibi açık kaynaklı yazılımlar, dijital modellerin oluşturulmasında ve cerrahi güzergahların planlanmasında kullanılır.^{1,11,17} Mimics®, 3DS Max® ve Geomagic® gibi ticari yazılımlar da model segmentasyonu, onarımı ve optimizasyonu için literatürde belirtilmiştir.¹⁵

3B baskılı modellerde yaygın olarak PLA ve akrilonitril bütadien stiren (ABS) gibi sert plastik filamentler kullanılır.^{10,12} Ayrıca akrilat reçinesi, alçı ve bağlayıcı püskürtme yöntemleri de kullanılabilir.¹⁶ Çok malzemeli 3B yazıcılar, kemik ve cilt gibi farklı dokuları tek baskıda üretmek için kullanılabilir, bu da modellere daha gerçekçi haptik geri bildirim sağlar.¹⁰ Özellikle burun kanadı ve septal kıkırdak gibi yapılar için esnek, elastomerik malzemeler kullanılması, endoskop hareketlerine gerçekçi bir kısıtlama sağlayarak haptik geri bildirimi artırır.^{10,13}

Düşük maliyetli 3B yazıcılar bile yüksek doğrulukta modeller üretebilir.¹² Örneğin, bir burun modeli için sadece 6.31 Euro (6.72 \$) maliyet ve 6 saat 16 dakika 20 saniye gibi kısa bir üretim süresi rapor edilmiştir.⁷ Daha karmaşık, çok malzemeli modellerin maliyeti daha yüksek olabilir.^{7,12} Bu

düşük maliyet, özellikle düşük gelirli ülkelerde cerrahi becerilerin geliştirilmesine olanak tanır.¹¹

3D baskılı modeller, EETS'nin farklı aşamalarını simüle etmek için çeşitli uygulamalar sunabilir. Hasta spesifik 3D modeller, cerrahın ameliyat öncesi planlamayı yapmasını sağlayarak perioperatif komplikasyon riskini azaltabilir ve cerrahi süreyi kısaltır.^{1,7-9,12,13,16} Akromegali hastasında 3D yazıcıyla basılmış sfenoid kemiğin kullanılması, komplikasyon riskini azalttığına dair bir örnek sunulmuştur.¹¹

Bu simülatörler, özellikle **delme**, **küretaj** ve **aspirasyon** gibi temel operasyonel becerilerin geliştirilmesini hedefler. Wen ve arkadaşlarının çalışmasında, sfenoid kemiği yumurta kabuğu, dura mater'i yumurta zarı, tümörü yumurta akı ve normal hipofizi yumurta sarısı ile taklit eden modeller kullanılmıştır. Bu eğitimlerde katılımcıların skorları zamanla artmış ve deneyimli cerrahların skorları acemi cerrahlara göre daha yüksek bulunmuştur.¹⁰ UpSurgeOn® TNS Box gibi modeller, nazal kavite, nazal konkalar ve sfenoid ostium gibi anatomik yapıları yüksek doğrulukla simüle eder.^{5,14} Literatürdeki bazı modeller, yapay kan veya floresan boyalı salin ile perfüzyon yaparak bu senaryoları daha gerçekçi hale getirebilir.⁴⁻⁷

3B modellerin başlıca avantajları, kadavra kullanımına göre daha ekonomik ve erişilebilir olmaları, cerrahi manevraların defalarca tekrarlanmasına olanak tanımaları, hastaları riske atmadan pratik imkanı sunmaları ve öğrenme eğrisini hızlandırmalarıdır. Hasta BT verilerine dayalı özel modeller, cerrahi planlama için de büyük fayda sağlayabilir.

Ancak, 3B modellerin bazı sınırlamaları da mevcuttur. Yumuşak dokular, küçük damarlar ve sinirler gibi ince anatomik detayların tam olarak taklit edilmesinde zorluklar yaşanabilir. PLA ve ABS gibi plastik filamentler, cerrahi motorlar gibi ısı üreten aletlerle kullanıldığında

deformasyona uğrama riski taşır. Bu nedenle, PLA modelleri delinebilir özellik göstermez ve kemik yapısını gerçekçi bir şekilde taklit etmezler. Bu modeller, kafatası tabanındaki küçük damarlar ve sinirler gibi hassas yapıları veya kapalı paranazal sinüsleri simüle edemezler ve gerçekçi dokunsal geri bildirim sağlayamazlar. Kadavra modelleri, cerrahi eğitimde anatomik doğruluk ve dokunsal geribildirim açısından “altın standart” olarak kabul edilir. Çok malzemeli veya gelişmiş modellerin üretim maliyeti hala yüksek olabilir. Ayrıca, beyin dokusunun hastanın cerrahi pozisyonuna ve kitle etkisine bağlı yer değiştirmesi, BOS veya dinamik kan akışı gibi dinamik unsurların ve dura mater gibi bazı dokuların doğru şekilde temsil edilmesi her zaman mümkün değildir.

VR ve AR sistemleri, cerrahi eğitimde giderek daha fazla kullanılmaktadır. AR modelleri, fiziksel 3D baskılı modelleri sanal gerçeklik yazılımıyla birleştirerek sanal ortamda eksik kalabilecek ek haptik geri bildirim sağlayabilir.^{4,13,18} Gelecekte, 3D baskılı modellerin mevcut navigasyon sistemleriyle ve AR tabanlı navigasyon sistemleriyle bir köprü görevi görmesi beklenmektedir.⁸ Öğrenciler ve cerrahlar, zihinsel eğitim (uygulama), hibrit eğitim (artırılmış gerçeklik) ve manuel eğitim (fiziksel modeller) gibi aşamalı eğitim yaklaşımlarıyla daha kapsamlı bir öğrenme deneyimi yaşayabilirler.^{13,18,19}

EEC alanındaki 3B modeller ve simülasyon teknolojileri sürekli gelişmektedir. Gelecekteki araştırmalar, modellerin gerçekçiliğini artırmak, dinamik özellikler eklemek ve yapay zeka (AI) ile artırılmış gerçeklik (AR) gibi teknolojilerle entegrasyonu geliştirmek üzerine odaklanmalıdır. Daha geniş kapsamlı, karşılaştırmalı çalışmalar ve uzun vadeli eğitimlerin hasta sonuçları üzerindeki etkisini değerlendiren araştırmalar, bu teknolojilerin klinik alandaki yerini daha da sağlamlaştıracaktır.

Etik kurul onayı

Çalışmaya katılan tüm katılımcılardan yazılı bilgilendirilmiş onam alınmıştır.

Yazarlık katkısı

Çalışma konsepti ve tasarımı: AE; veri toplama: MÇ; sonuçların analizi ve yorumlanması: MÇ, İA; makaleyi hazırlama: AE. Yazar(lar) sonuçları gözden geçirmiş ve makalenin son halini onaylamıştır.

Finansman

Yazar(lar), çalışmanın herhangi bir finansal destek almadığını beyan etmiştir.

Çıkar çatışması

Yazar(lar) herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan etmiştir.

Ethical approval

Written informed consent was obtained from the participants.

Author contribution

Study conception and design: AE; data collection: MÇ; analysis and interpretation of results: MÇ, İA; draft manuscript preparation: AE. The author(s) reviewed the results and approved the final version of the article.

Source of funding

The authors declare the study received no funding.

Conflict of interest

The authors declare that there is no conflict of interest.

Kaynakça

1. Ergen A, Çabuk B, Yıldırım P, et al. Design and use of assistant robotic arm in endoscopic transnasal surgery. *Neurosurg Focus* 2024; 57: E6. [\[Crossref\]](#)
2. Koc K, Anik I, Ozdamar D, Cabuk B, Keskin G, Ceylan S. The learning curve in endoscopic pituitary surgery and our experience. *Neurosurg Rev* 2006; 29: 298-305. [\[Crossref\]](#)
3. Morales-Gómez JA, Garcia-Estrada E, Leos-Bortoni JE, et al. Cranioplasty with a low-cost customized polymethylmethacrylate implant using a desktop 3D printer. *J Neurosurg* 2018; 130: 1721-1727. [\[Crossref\]](#)
4. James J, Irace AL, Gudis DA, Overdevest JB. Simulation training in endoscopic skull base surgery: A scoping review. *World J Otorhinolaryngol Head Neck Surg* 2022; 8: 73-81. [\[Crossref\]](#)
5. Candy NG, Zhang AS, Bouras G, et al. Pilot Validation of a 3-Dimensional Printed Pituitary Adenoma, Vascular Injury, and Cerebrospinal Fluid Leak Surgical Simulator. *Oper Neurosurg* 2024; 27: 632-640. [\[Crossref\]](#)
6. Newall N, Khan DZ, Hanrahan JG, et al. High fidelity simulation of the endoscopic transsphenoidal approach: Validation of the UpSurgeOn TNS Box. *Front Surg* 2022; 9: 1049685. [\[Crossref\]](#)
7. Zheng JP, Li CZ, Chen GQ, Song GD, Zhang YZ. Three-Dimensional Printed Skull Base Simulation for Transnasal Endoscopic Surgical Training. *World Neurosurg* 2018; 111: e773-e782. [\[Crossref\]](#)
8. Park CK. 3D-Printed Disease Models for Neurosurgical Planning, Simulation, and Training. *J Korean Neurosurg Soc* 2022; 65: 489-498. [\[Crossref\]](#)
9. Osman A, Boyutlu Ü, Yardımı Y, et al. 3d-Printer Assisted Transsphenoidal Hypophysectomy. Vol 1. 2019.
10. Wen G, Cong Z, Liu K, et al. A practical 3D printed simulator for endoscopic endonasal transsphenoidal surgery to improve basic operational skills. *Childs Nerv Syst* 2016; 32: 1109-1116. [\[Crossref\]](#)
11. Piazza A, Petrella G, Corvino S, et al. 3-Dimensionally Printed Affordable Nose Model: A Reliable Start in Endoscopic Training for Young Neurosurgeons. *World Neurosurg* 2023; 180: 17-21. [\[Crossref\]](#)
12. Vakharia VN, Vakharia NN, Hill CS. Review of 3-Dimensional Printing on Cranial Neurosurgery Simulation Training. *World Neurosurg* 2016; 88: 188-198. [\[Crossref\]](#)
13. Efe IE, Çinkaya E, Kuhrt LD, Bruesseler MMT, Mührer-Osmanagic A. Neurosurgical Education Using Cadaver-Free Brain Models and Augmented Reality: First Experiences from a Hands-On Simulation Course for Medical Students. *Medicina (Kaunas)* 2023; 59: 1791. [\[Crossref\]](#)
14. Santona G, Madoglio A, Mattavelli D, et al. Training models and simulators for endoscopic transsphenoidal surgery: a systematic review. *Neurosurg Rev* 2023; 46: 248. [\[Crossref\]](#)
15. Shen Z, Xie Y, Shang X, et al. The manufacturing procedure of 3D printed models for endoscopic endonasal transsphenoidal pituitary surgery. *Technol Health Care* 2020; 28: 131-150. [\[Crossref\]](#)
16. Huang X, Liu Z, Wang X, et al. A small 3D-printing model of macroadenomas for endoscopic endonasal surgery. *Pituitary* 2019; 22: 46-53. [\[Crossref\]](#)
17. Kocaeli Üniversitesi Tıp Fakültesi Beyin ve Sinir Cerrahisi Anatomik Kadavra Çalışması Endoskopik Transnazal Cerrahide Otonom Robotik Kol Tasarımı ve Kullanımı.
18. Petrone S, Cofano F, Nicolosi F, et al. Virtual-Augmented Reality and Life-Like Neurosurgical Simulator for Training: First Evaluation of a Hands-On Experience for Residents. *Front Surg* 2022; 9: 862948. [\[Crossref\]](#)
19. Takoutsing BD, Wunde UN, Zolo Y, et al. Assessing the impact of neurosurgery and neuroanatomy simulation using 3D non-cadaveric models amongst selected African medical students. *Front Med Technol* 2023; 5: 1190096. [\[Crossref\]](#)