

Derleme

Nöroşirürji'de 3 Boyutlu Baskılar ve Baskılama Yöntemleri

3-Dimensional Printing and Printing Methods in Neurosurgery

İsmail KAYA¹, Hasan Emre AYDIN¹, İlker Deniz CİNGÖZ²

¹Kütahya Sağlık Bilimleri Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Beyin ve Sinir Cerrahisi Anabilim Dalı, Kütahya, Türkiye

²Alsancak Devlet Hastanesi, Beyin ve Sinir Cerrahisi Kliniği, İzmir, Türkiye

ÖZ

Günümüzün popüler yeniliklerinden olan 3 boyutlu (3B) yazıcılar hayatın her alanında olduğu gibi tıp alanında da her geçen gün daha fazla kullanılmakta ve cerrahi işlemin uygulanmasını kolaylaştırmaktadır. Kişiye uygun hale getirilebilen materyaller teknoloji ile birleştirildiğinde başarılı sonuçlar daha az komplikasyon gelişimi ile karşımıza çıkmaktadır. Derlemede, 3 boyutlu modelleme yönteminin nöroşirürji pratiğinde cerraha ve hastaya 3B sağladığı faydaları göstermek amaçlanmıştır. 3B baskı tekniklerinin cerrahi planlama, simülasyon ve eğitim, doku mühendisliği implantları ve ikincil cihazlar için hastaya özgü modellerin üretilmesi için pratik ve anatomik olarak doğru yöntemler olduğu sonucuna varılmıştır. Bu nedenle, bu teknolojinin gelişmesi, nörocerrahi alanının çeşitli noktalardan ilerlemesine katkıda bulunabileceği düşünülmektedir.

ANAHTAR SÖZCÜKLER: Beyin cerrahi, Cerrahi planlama, Cerrahi simülasyon, Üç boyutlu baskı

ABSTRACT

Three-dimensional printers, which are among the popular innovations of today, are being used increasingly more commonly in the medical area as in every field of life and they make the surgical operation easier. When customizable materials are combined with technology, we are able to achieve successful results with fewer complications. In our study, we aimed to show the benefits of 3D modeling in neurosurgery practice for the surgeon and the patient. We conclude that 3D printing techniques are practical and anatomically accurate methods of producing patient-specific models for surgical planning, simulation and training, in addition to tissue-engineered implants and secondary devices. Expansion of this technology may, therefore, contribute to advancing the neurosurgical field from several standpoints.

KEYWORDS: Neurosurgery, Surgical planning, Surgical simulation, Three-dimensional printing

■ GİRİŞ

Günümüzün popüler yeniliklerinden olan 3 boyutlu (3B) yazıcılar hayatın her alanında olduğu gibi tıp alanında da her geçen gün daha fazla kullanılmaktadır. Bu yazıcılar sayesinde simetrik yapı korunmakta ve kozmetik açıdan daha iyi bir görünüm elde edilmektedir (8). Kullanım açısından aralarında belirgin fark bulunmayan materyaller 3B yazıcılar sayesinde kişiye özel tasarlanabilir hale getirilmiştir. Cerrahi sırasında hangi tür malzemenin kullanılacağı ve hangisinin uygun olacağı konusunda cerrahın kararı önemlidir

(25). Bu yeni nesil yazıcılarla karmaşık bilgisayar programlarını ve üretim tekniklerini kullanarak, çeşitli doku türlerini farklı doku işleme özellikleriyle çoğaltmak mümkün olmaktadır (22).

Nöroşirürji alanı özellikle 3B baskı kullanımının bir sonucu olarak önemli bir gelişme göstermiştir. Bu teknoloji, yapıların hem tanı hem de cerrahi tedavi için noninvaziv olarak görselleştirilmesini sağlamıştır; bununla birlikte, X-ışını, bilgisayarlı tomografi (BT) ve manyetik rezonans görüntüleme (MRG) dahil olmak üzere çoğu görüntüleme yöntemi, iki boyutlu (2B) veya 2B dilimlerde halinde 3B birimde görüntüler elde eder (23). Bu teknoloji



Yazışma adresi: İsmail KAYA

E-posta: dr.ikaya85@gmail.com

ile, anatomik yapılar 3B hacimlerden yeniden oluşturulabilir ve daha sonra fiziksel modeller olarak üretilebilir, bu da daha sonra hem hasta hem de eğitim görenler için cerrahi planlama ve eğitim için kullanılabilir. Benzer şekilde, 3B baskı yetenekleri, cerrahi simülasyonların tasarımına uygulanabilir. Simülasyonlar, bir hastaya olası zarar verme riski olmaksızın cerrahi prosedürün gerçekçi bir temsilini sağlar (18).

■ GEREÇ ve YÖNTEMLER

Nöroşirürji alanında 3B baskının güncel kullanımını değerlendirmek için yayınlanan literatürün sistematik bir incelemesi gerçekleştirilmiştir. İlgili literatür için anahtar kelimeler kullanılarak üç tıbbi veri tabanı (Compendex, Google Scholar, PubMed) araştırılmıştır. Kapsama kriterleri, bu terimlerin ortak varyasyonlarına ek olarak, hem “üç boyutlu baskı” hem de “nöroşirürji” ye atıfta bulunan makaleleri içermektedir. Sonuçlar daha spesifik kriterlere göre filtrelenmiştir; beyin, omurga ve kraniyofasiyal rekonstrüksiyon ile ilgili insan çalışmaları incelenmiştir.

■ BULGULAR

Kraniyal 3B Yazıcı Kullanımı

Serebrovasküler

Serebral anevrizma cerrahisi, ilgili ana damarlar ve etrafındaki anatomik yapılarla ilgili kesin bilgiye ek olarak, tek tek anevrizmaların karmaşık 3B yapısını tam olarak anlamayı gerektirir. 3B baskının ortaya çıkması, bireysel olarak bir hastanın vasküler ağlarının fiziksel 3B sunumlarını mümkün kılmıştır (1). Özellikle bir çalışmada, rüptüre olmayan anevrizma saptanan 22 hastada, ana arterlerin uzunluk, kalınlığını ve anevrizma boyutunu 3B-bilgisayarlı tomografi anjiyografi (BTA) ile basılı model arasında karşılaştırarak daha kapsamlı bir değerlendirme yapılmıştır (9). Bu anatomik olarak doğru modelleri kullanarak, daha iyi hasta sonuçları elde edebilmek için cerrahi planlama potansiyel olarak geliştirilebilir. Pediatrik arteriyovenöz malformasyonu iki olguda, intraoperatif süre, eşleştirilmiş kontrol olgularına göre %12 oranında azaltılarak, basılı modellerin planlamayı kolaylaştırabileceğini düşündürmektedir (20). Bu iddiayı daha fazla doğrulamak için ek çalışmalar ve analizler hâlâ gereklidir. Namba ve ark. tarafından basılmış model ile bir doğrulama gerçekleştirdikten sonra 10 hastada anevrizma için gereken mikrokater şekli başarılı bir şekilde önceden saptayabilmişlerdir (1). Bireyselleştirilmiş 3B basılı modeller, tedaviye fayda sağlayabilecek cerrahi planlama için yeni fırsatlar yaratmıştır.

Cerrahi eğitim, geleneksel deneyime dayalı eğitim programının aksine, simülasyon temelli eğitime doğru yeni bir paradigma kaymasına maruz kalmıştır. Anevrizma kliplenmesi, öğrenmenin genellikle ameliyathaneyle sınırlandırıldığı bir alandır. Anevrizmaların tedavisinde artmış olan Coil embolizasyonu ve gerçekçi kadavra dokusunun olmaması nedeniyle simülasyon temelli eğitim, uygun bir eğitim stratejisi haline gelmiştir. Mashiko ve ark. çeşitli anevrizmaların elastik kopyalarını, basılmış bir model ile vasküler ağları ortaya koyarak, stajyerlere, kliplene yönünü belirleyen, uygun klipi seçen ve anevrizmanın şeklini anlamayı sağlayan deneyim kazanma fırsatı oluşturmuştur

(12). Eğitimden sonraki anketlerden elde edilen sonuçlar, stajyerlerin bu aktiviteyi anlamalarına yardımcı olduğunu göstermiştir.

Nöroonkoloji

Beyin tümörlerinin rezeksiyonu için mevcut cerrahi planlama, tümör ve etrafındaki beyin dokusu arasında farklılaşmalar için manyetik rezonans görüntüleme (MRG) teknolojisini kullanılması içerir. Bununla birlikte, bu ayırım net olduğunda bile, cerrahların cerrahi prosedür sırasında bitişik anatomik alanların arasındaki ilişkileri tespit etmeleri zor olabilir. 3B baskı teknolojisi, MRG verilerinin tümör, kafatası, vasküler yapı ve etrafındaki patolojik olmayan beyin dokusu arasındaki ilişkileri gösteren hastaya özgü modellere dönüştürülmesini sağlamıştır. Bu nedenle, cerrahlar tümörün göreceli giral / sulkal paternleri ve kafatası özelliklerinin yerini ve kapsamını tanıyabilir. Modeller daha sonra mikroskobik gözlem altında gerçekçi cerrahi yaklaşımları simüle etmek için kullanılmıştır. Bu nedenle, cerrahlar tümörün göreceli olarak yerini, giral / sulkal paternleri ve kafatası özelliklerini tanıyabilir. Modeller daha sonra mikroskobik gözlem altında gerçekçi cerrahi yaklaşımları simüle etmek için kullanılmıştır (24). Basılı kafa modelleri, beyin tümörleri için yeni tedavilerin planlanması ve geliştirilmesinde de rol oynamıştır. Beyin tümörlerinin noninvaziv termokoagülasyonunda MRG güdümlü odaklanmış ultrasonografinin potansiyelini değerlendirmek için kafatası ve serebral doku özelliklerini taşıyan kopyaları üretilmiştir (13).

Serebrovasküler cerrahi alanına benzer şekilde, beyin tümörlerinin eksizyonu içinde simülasyon tabanlı cerrahi eğitim yöntemleri tecrübe edilmiştir. Kritik olarak, 3B yazıcıların kullanımı, değişken yoğunluklara sahip çok sayıda malzemeden oluşturulan simülatörlerin geliştirilmesine yol açmıştır (19). Bu özellik, çeşitli doku türlerinin kullanım özelliklerini kopyalayarak simülasyonun gerçekliğine katkıda bulunmuştur. Cerrahi planlama veya simülasyon için anatomik modeller üretmenin yanı sıra, fonksiyonel, hastaya özel cihazların geliştirilmesinde de 3B baskı uygulanmıştır. Beyin tümörü tedavisi için bu tür bir uygulama, hedeflenen tümör dokusuna yakın organları korumak için proton tedavisi sırasında konformal bir doz dağılımı sağlayan bir proton aralığı kompensatörünün oluşturulması olmuştur (5).

Kraniyofasiyal

Kranioplasti, kalvarial şekillendirme, intrakranial yapıları korumak için yapılan rekonstrüksiyon ameliyatıdır ve uygulayan cerrah için ciddi bir mücadeledir. Kranioplasti ameliyatları travma, tümör, dekompresyon ameliyatları veya enfeksiyona bağlı olarak gelişen kemik defektleri kapatmak amacıyla uygulanmaktadır (14). Kranioplasti yapılması gereken hastalarda preoperatif axial 1-mm spiral bilgisayarlı tomografi üzerinden bilgisayar destekli modelleme kullanılarak 3B yazıcı yardımı ile birebir hastanın mevcut defektine uygun model üretilerek cerrahi zorlukların önüne geçilmiş (Şekil 1), ameliyat öncesi simülasyon imkanıyla ameliyat süresi kısaltılmış, dolayısıyla hasta memnuniyeti sağlanması ile cerrahi önemi ve planlamanın etkinliği ortaya konulmuştur (7).

Otolog kemik greftleri ile yapılan çalışmada, metil metakrilat kullanımına göre komplikasyon gelişme ve buna bağlı olarak

reoperasyon ihtimalinin otolog kemik greftlerinde daha fazla olduğu görülmüştür. Karşılaştırmalı bir çalışmada, otolog kemik kullanılan hastaların %40'ında greftin komplikasyonlar nedeniyle yerinden çıkarılması gerektiği görülmüştür (15). Kranioplasti sırasında kullanılan malzemenin türüne bağlı olarak %30'a uzanan enfeksiyon gelişme ihtimali vardır. Titanyum ağ (mesh) ile yapılan rekonstrüksiyon günümüzde kullanılan kozmetik açıdan ve enfeksiyon gelişiminin azaltılması açısından başarılı sonuçları olan bir yöntemdir. En önemli dezavantajı maliyeti yüksek olmasıdır. Malzeme olarak maliyeti daha az olan metil metakrilat kullanımının 3B teknoloji ile birleştirilmesi cerrahi süresini kısaltmış ve düşük maliyetle daha az komplikasyona neden olarak başarılı sonuçlar elde edilmesine neden olmuştur (21).

Diğer bir çalışmada poröz polietilen kullanımı ile yapılan kalvarial rekonstrüksiyonda, operasyon süresinin ortalama 72 dakika olduğu gösterilmiştir (11). 3 boyutlu modelleme ile üretilen kalıp yardımıyla cerrahi uyguladığımız iki hastamızda ortalama 56 dakika (1. Hasta 50 dakika, 2. Hasta 62 dakika) gibi daha kısa bir sürede rekonstrüksiyon yapılmıştır.

Üç boyutlu cerrahi planlama ile elde edilen avantajlar; farklı cerrahi yaklaşımların sonuçlarını görebilme, daha kısa ameliyat süreleri ve başarılı ameliyatlara, kişiye özel tasarlanmış implantı doğrulama olarak sıralanabilir. Ayrıca 3B baskı teknolojisindeki gelişmelerle beraber model üretim hızının artması ve maliyetlerin düşmesi 3B yazdırılmış modellerle cerrahi öncesi planlama, cerrahi simülasyonlar ve cerrahi sırasında kılavuz olarak kullanımının rutin uygulama haline gelebileceğini aklımıza getirmektedir.

Spinal 3B Yazıcı Kullanımı

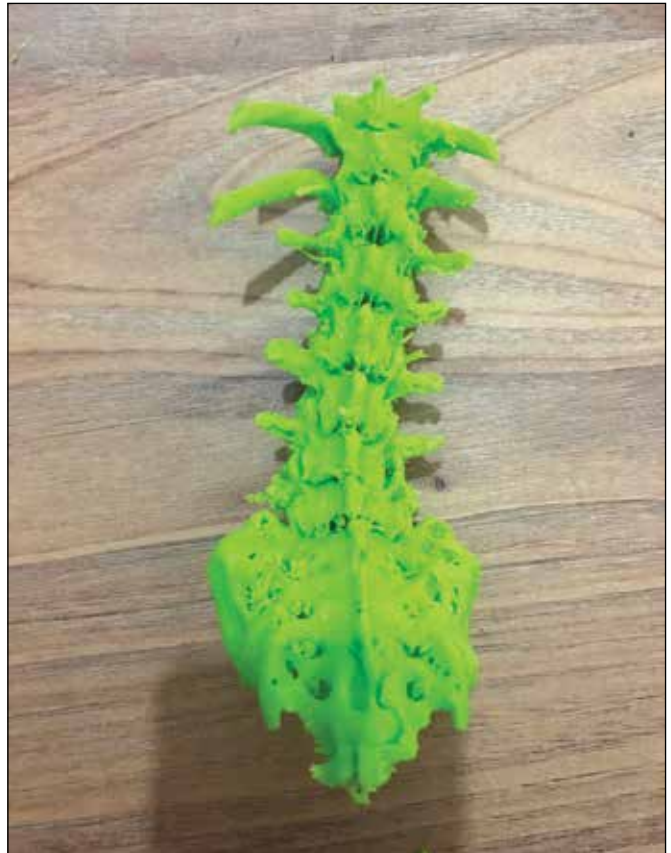
Toplumda ciddi sağlık problemleri arasında bulunan spinal travmalar, geçmiş yıllarda destekleyici yöntemlerle tedavi edilirken günümüzde implant özelliklerinin gelişmesiyle, yerini radyolojik görüntülemelerin de desteğiyle planlamanın daha iyi yapıldığı cerrahi tedaviye bırakmıştır. Günümüzün popüler yeniliklerinden olan 3B yazıcılar hayatın her alanında olduğu gibi tıp alanında da her geçen gün daha fazla kullanılmaktadır. Bilgisayarlı Tomografi (BT) üzerinden bilgisayar destekli modelleme kullanılarak 3B yazıcı yardımı ile birebir hastanın omurga modelleri üretilerek; cerraha ameliyat öncesi simülasyon imkanı sağlamaktır (Şekil 2). Spinal travma öyküsü olan hastaların direkt grafi, bilgisayarlı tomografi ve 3 boyutlu bilgisayarlı tomografi ile bilgisayar destekli omurga modelleri oluşturularak ve 3B yazıcılarda üretilerek farklı cerrahlar tarafından cerrahi plan yapmaları sağlamaktadır (10).

Son yıllarda farklı alanlarda kullanımı ile popüler olan 3B yazıcılar ile ilgili çalışmalar sınırlıdır. Medikal alanda özellikle ortopedi ve beyin cerrahi kliniklerince yapılmış olan çalışmalar irdelenmiş ve radyolojik görüntülerin tabanında somut verilerin elde edildiği görülmüştür. Klein ve ark. 2015 yılında yayınladıkları makalelerinde omurga görüntülemeleriyle ilgili bir yol haritası belirlemişlerdir. Makalede omurga görüntüleme yöntemlerinin sıklıkla kullanıldığı ve bu görüntülerin doğru yorumlanması için sistematik bir yaklaşım gereksiniminden bahsedilmiştir (2). Hong ve ark.nın BT'nin 3B deformitelerin kavranmasındaki etkinliğini inceledikleri çalışmada, hastalara

operasyon öncesi ve sonrası tüm omurga direkt grafileri ve bilgisayarlı tomografilerde vertebral rotasyon, rib hump indeks ve sternal kayma oranlarını ölçmüşler ve BT'nin 3B deformitelerin belirlenmesinde, tedavinin planlanmasında ve cerrahi



Şekil 1: 3 boyutlu yazıcı yardımı ile elde edilen hastanın mevcut defektine birebir uygun model.



Şekil 2: 3 boyutlu yazıcı yardımı ile elde edilen hastanın birebir omurga modeli.

sonuçların değerlendirilmesinde faydalı bir yöntem olduğunu ortaya koymuşlardır (4).

Perez-Mananes ve ark. 3B modellemeyi ortopedi kliniğinde uygulamış ve bu yöntemle cerrahi süresi, skopi kullanım süresi ve deformite düzeltme oranlarını karşılaştırmışlardır ve ameliyat öncesi modellemenin cerrahi süreyi kısaltırken, hata payını azalttığını göstermişlerdir (3). Üç boyutlu yazıcılarla omurga modellerinin basımını araştıran başka bir çalışmada bu baskının güvenilir bir yöntem olarak kullanılabilceği gösterilmiştir. Üretilen 3B omurga modellerinin üretiminin yaygınlaşmasıyla kadavra temini gibi imkanların kısıtlı olduğu konularda araştırmacılar için iyi bir alternatif olduğu belirtilmiştir (17). Karlin ve ark.nın yaptığı 17 çocuk hastayı kapsayan çalışmada, çocuklarda spinal deformiteyi düzeltmek için kişiye özel 3B printer modelleri kullanılmış, preop 3B printer modellerini kullanan grupta, cerrahi süre, skopi kullanımı ve kan kaybı daha az olarak bulunmuştur (6).

Geleceğe yönelik planlamalar düşünüldüğünde; deneysel çalışmalarda kişiye özel füzyon materyalleri üretilmiştir ve gelecekte bu yöntemin günlük pratikte kişiye özel implantların yapımında kullanılacağı belirtilmiştir (16). Üç boyutlu yazıcıların desteğiyle radyolojik görüntülemeler somut objelere dönüştürülmüş ve bu sayede cerrahi öncesi planlamayla birlikte cerrahi süresinin kısaldığı görülmüştür. Cerrahi sırasında skopi kullanım süresinin kısılması, hem hastayı hem de cerrahları koruyan çift taraflı bir kazanımdır. Radyolojik görüntülemelerin desteklediği 3B yazıcılarla üretilen modeller hem doktorların hem de hastaların mevcut patolojiyi anlamalarına ve preoperatif plan yapılmasına olanak vermektedir.

■ SONUÇ

Radyolojik görüntülemelerin desteğiyle birlikte cerrahi öncesi modelleme sayesinde cerrahi planlama yapılmış ve işlemin stimüle edilmesine olanak sağlanmıştır. 3B baskı teknolojisindeki gelişmelerle beraber model üretim hızının artması, maliyetlerin düşmesi, 3B yazdırılmış modellerle preop planlama ile cerrahi simülasyonlar, intraoperatif kılavuz kullanımı rutin uygulamaya haline gelebilir. Son yayınlarda, nöroşirürjinin çeşitli alt uzmanlıklarında 3B baskı için bir dizi uygulama tanımlanmıştır. Bu alanlar serebrovasküler, nöro-onkolojik, spinal, fonksiyonel ve endoskopik nöroşirürjiyi içerir. Gelişen teknoloji ile birlikte güncel tanı yöntemlerine ek olarak 3B yazıcılar sayesinde üretim yapılmasının işlemi uygulayacak cerrahlara yön gösterici olacağı düşünülmektedir.

■ KAYNAKLAR

1. Abl 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. A Practical Approach to Spine Imaging. CONTINUUM: Lifelong Learning in Neurology., Klein, J. P. 36-51, : (1, Spinal Cord Disorders), 2015, Cilt 21.
3. Chana-Rodríguez F, Mañanes RP, Rojo Manaute J, Gil P, Martínez-Gómiz JM, Vaquero-Martín J: 3D surgical printing cutting guides for open-wedge high tibial osteotomy: Do it yourself. *Injury* 47(11):2507-2511, 2016
4. Hong JY, Suh SW, Easwar TR, Modi HN, Yang JH, Park JH: Evaluation of the three dimensional deformities in scoliosis surgery with computed tomography: Efficacy and relationship with clinical outcomes. *Spine* 36(19):1259-1265, 2011
5. Ju SG, Kim MK, Hong CS, Kim JS, Han Y, Choi DH, et al: New technique for developing a proton range compensator with use of a 3-dimensional printer. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 88:453-458, 2014
6. Karlin L, Weinstock P, Hedequist D, Prabhu SP: The surgical treatment of spinal deformity in children with myelomeningocele: The role of personalized three-dimensional printed models. *J Pediatr Orthop B* 26(4):375- 382, 2017
7. Kim BJ, Hong KS, Park KJ, et al: Customized cranioplasty implants using three-dimensional printers and polymethylmethacrylate casting. *J Korean Neurosurg Soc* 52(6):541-546, 2012
8. Kim JC, Hong IP: Split-rib cranioplasty using a patient-specific three-dimensional printing model. *Arch Plast Surg* 43(4):379-381, 2016
9. Kondo K, Nemoto M, Masuda H, Okonogi S, Nomoto J, Harada N, et al: Anatomical reproducibility of a head model molded by a three-dimensional printer. *Neurol Med Chir* 55:592-598, 2015
10. Li Z, Li Z, Xu R, Li M, Li J, Liu Y, et al: Three-dimensional printing models improve understanding of spinal fracture-A randomized controlled study in China. *Sci Rep* 5:11570, 2015
11. Marlier B, Kleiber JC, Bannwarth M, et al: Reconstruction of cranioplasty using medpor porouspolyethylene implant. *Neurochirurgie* 63(6):468-472, 2017
12. Mashiko T, Otani K, Kawano R, Konno T, Kaneko N, Ito Y, et al: Development of three-dimensional hollow elastic model for cerebral aneurysm clipping simulation enabling rapid and low cost prototyping. *World Neurosurg* 83:351-361, 2015
13. Menikou G, Dadakova T, Pavlina M, Bock M, Damianou C: MRI compatible head phantom for ultrasound surgery. *Ultrasonics* 57:144-152, 2015
14. Oishi M, Fukuda M, Yajima N, Yoshida K, Takahashi M, Hiraishi T, et al: Interactive presurgical simulation applying advanced 3D imaging and modeling techniques for skull base and deep tumors. *J Neurosurg* 119:94-105, 2013
15. Piitulainen JM, Kauko T, Aitasalo KM, et al: Outcomes of cranioplasty with synthetic materials and autologous bone grafts. *World Neurosurg* 83(5):708-714, 2015
16. Provaggi E, Leong JJH, Kalaskar DM: Applications of 3D printing in the management of severe spinal conditions. *Proc Inst Mech Eng H* 231(6):471-486, 2017
17. Starosolski ZA, Kan JH, Rosenfeld SD, Krishnamurthy R, Annapragada A: Application of 3-D printing (rapid prototyping) for creating physical models of pediatric orthopedic disorders. *Pediatr Radiol* 44(2):216-221, 2014
18. Tai BL, Rooney D, Stephenson F, Liao P, Sagher O, Shih AJ, et al: Development of a 3D-printed external ventricular drain placement simulator: Technical note. *J Neurosurg* 123:1-7, 2015
19. Waran V, Narayanan V, Karuppiah R, Owen SL, Aziz T: Utility of multimaterial 3D printers in creating models with pathological entities to enhance the training experience of neurosurgeons. *J Neurosurg* 120:489-492, 2014

20. Weinstock P, Prabhu SP, Flynn K, Orbach DB, Smith E: Optimizing cerebrovascular surgical and endovascular procedures in children via personalized 3D printing. *Neurosurgery* 16:1-6, 2015
21. Wind JJ, Ohaegbulam C, Iwamoto FM, et al: Immediate titanium mesh cranioplasty for treatment of postcraniotomy infections. *World Neurosurg* 79(1): 207, 2013
22. Wurm G, Lehner M, Tomancok B, Kleiser R, Nussbaumer K: Cerebrovascular biomodeling for aneurysm surgery: Simulation-based training by means of rapid prototyping technologies. *Surg Innov* 18:294-306, 2011
23. Xu WH, Liu J, Li ML, Sun ZY, Chen J, Wu JH: 3D printing of intracranial artery stenosis based on the source images of magnetic resonance angiograph. *Ann Transl Med* 2:74, 2014
24. Yang NR, Song J, Yoon KW, et al: How early can we perform cranioplasty for traumatic brain injury after decompressive craniectomy? A retrospective multi-center study. *World Neurosurg* 110:e160-e167, 2018
25. Zanotti B, Zingaretti N, Verlicchi A, Robiony M, Alfieri A, Parodi PC: Cranioplasty: Review of materials. *J Craniofac Surg* 27(8):2061-2072, 2016