

Pınar Kuru Bektaşoğlu , Ali Börekci 

Sağlık Bilimleri Üniversitesi, Fatih Sultan Mehmet Eğitim ve Araştırma Hastanesi,  
Beyin ve Sinir Cerrahisi Kliniği, İstanbul, Türkiye  
✉ drpinarkuru@gmail.com

Derleme / Review

Geliş tarihi: 11.12.2023

Kabul tarihi: 18.01.2024

## Üç Boyutlu Yazıcının Spinal Cerrahideki Yeri, Kişiyeye Özel Rod Üretiminin Kullanımının Etkinliği

### The Place of Three-Dimensional Printing in Spinal Surgery, the Effectiveness of the Use of Personalized Spinal Implants

#### ÖZ

Omurga cerrahisinde üç boyutlu yazıcı kullanmanın birçok yolu vardır. Cerrahların ameliyat öncesi planlamaları, öğrenci ve asistan eğitimi, hastaya özel implantlar üretmek gibi uygulamalar bu alandaki etkilerinden sadece birkaçıdır. Üç boyutlu yazıcı ile kişiyeye özgü üretilecek materyaller cerrahi planlamayı kolaylaştırabileceği gibi, hasta ve hekim ilişkisini geliştirip hastalık ve tedavi süreçlerinin daha net anlaşılmasını sağlayabilir. Ayrıca implante edilebilir kişiselleştirilmiş ürünler cerrahi sonuçları iyileştirip daha az komplikasyon ve uzun dönemde daha etkin tedavi yanıtı ile sonuçlanabilir. Bu nedenle üç boyutlu yazıcının spinal cerrahi için de geliştirilip kullanımının yaygınlaşmasının klinik süreçlerin yöntemine önemli katkılar sunabileceği görüşündeyiz.

**Anahtar Sözcükler:** Ameliyat öncesi planlama, Hızlı prototipleme, Spinal cerrahi, Üç boyutlu yazıcı

#### ABSTRACT

There are many ways to use a 3D printer for spine surgery. Practices such as surgeons' preoperative planning, student and resident training, and production of special implants are just a few of the areas. Personalized materials produced with a 3D printer can facilitate surgical planning, improve the patient-physician relationship and provide a clearer understanding of the disease and treatment processes. Additionally, implantable personalized products may improve surgical outcomes, resulting in fewer complications and more effective treatment response in the long term. For this reason, we believe that the development and widespread use of 3D printing for spinal surgery can make significant contributions to the clinical process.

**Keywords:** 3D printing, Preoperative planning, Rapid prototyping, Spine surgery

#### GİRİŞ

Omurga cerrahisi oldukça kompleks ve kişiler arası farklılıklar gösterebilecek anatomi ve radyoloji bilgisinin cerrahi sonuçları etkilediği, travma, deformite, dejeneratif, enfeksiyon ve tümör patolojilerinin tedavi süreçlerini kapsamaktadır. Üç boyutlu yazdırma olarak da bilinen hızlı prototipleme, bilgisayarlı tomografi üzerinden anatomik görüntülerin özel yazıcılar kullanılarak ürüne dönüştürülmesine olanak tanır (13). 1984 yılında Charles Hull tarafından patentlenen iki boyutlu kesitsel görüntülerden üç boyutlu yazdırmaya olanak tanıyan hızlı prototipleme araçları günümüzde geliştirilmeye devam etmektedir (14). Bu teknoloji omurgaya yönelik yapılacak ameliyatlarda umut verici bir yenilik hâline gelmiştir. Teknolojideki gelişmeler sonucunda üretim hızları artmış, maliyetler de azalmıştır. Bu teknolojik gelişme ameliyat öncesi planlama, cerrahi simülasyonlar, hasta-klinisyen iletişimi, eğitim, intra-

operatif rehberlik ve hatta implante edilebilir materyaller elde etmeye kadar omurga cerrahisinin farklı kısımlarında yaygın olarak kullanılabilir. Bu derlemede üç boyutlu yazıcı teknolojisi kullanılarak omurga cerrahisinin nasıl geliştirilebileceği ve hastaya özgü implantların etkinliği incelenecektir.

#### ÜÇ BOYUTLU YAZICININ SPİNAL CERRAHİDEKİ YERİ

Karmaşık deformitelerin bilgisayarda 2 boyutlu görüntüler yerine haptik değerlendirilmesi ameliyat öncesi ve ameliyat sırasında gerçekçi anatomik değerlendirme fırsatı tanır. Cerrahi ekibin benzer açıdan bakabilmesini kolaylaştırır. Daha net teşhis, daha kısa cerrahi süre, daha az kan kaybı, kısalmış floroskopi süresi ve azalmış maliyetle sonuçlandığı bildirilmiştir (11,17,18).

### Üç Boyutlu Modeller, Eğitim ve Ameliyat Öncesi Planlama

Anatomi eğitimlerinde kadvraya ek olarak üç boyutlu yazıcı ile elde edilen modeller dokunma hissi ile üç boyutlu düşünmeye yardımcı olarak anatomi ve patolojinin daha iyi anlaşılmasına olanak tanır. Kranivertebral bileşke anatomilerinde üç boyutlu yazılmış modellerle sanal gerçeklik ve normal fiziksel modellerin klinik eğitimde etkinliğinin araştırıldığı bir çalışmada, ilk sırada üç boyutlu modellerin etkinliği gösterilmiş, ikinci sırada ise sanal gerçeklik ile elde edilen model yer almıştır (3). Klasik eğitim süreçlerine ek olarak bu yeni teknolojilerin varlığı bu kompleks anatomiye sahip bölgelerin anlaşılabilmesi için oldukça önemli katkılar sağlayacağına vurgu yapılmıştır. Üç boyutlu model ve radyoloji ile spinal ve pelvik kırıkların değerlendirildiği iki tıp öğrenci grubu arasında modelle değerlendiren grubun patolojiyi tanımlama düzeyinin daha yüksek olduğu bulunmuştur (20). Ameliyat öncesi pedikül vidalamanın çalışılması açısından hastaya özgü omurganın bilgisayarlı tomografi üzerinden üç boyutlu maketinin çıkarılmasının da asistan doktor eğitimine önemli bir katkısı olabileceği bildirilmiştir (12). Ancak osseoz his, etraf kas ve kanamanın da modele ekleneceği ileri modellerin geliştirilmesine ihtiyaç vardır.

Hasta-doktor iletişimi açısından da hastaya özgü modelin ameliyat öncesi çıkarılmasının iletişimi güçlendireceği ve hastanın daha iyi anlamasına katkı sağlayacağı bildirilmiştir (4). Ayrıca hastanın tedavi sürecine uyumunu güçlendireceği ve anksiyete düzeyini azaltabileceği belirtilmiştir (5,9). Ameliyatın planlanması ve cerrahi ekibin hazırlanabilmesi için de önemli bir araç olabilecek üç boyutlu modellerin skopi kullanımını azaltıp, anestezi süresini kısalttığı ve kan kaybını azalttığı bildirilmiştir (7). Cerrahi stratejileri de olumlu yönde etkilediği bildirilmiştir (6). Hastaya özgü üç boyutlu modellerin bilgisayarlı tomografi üzerinden modellenerek üretilmesi ameliyat öncesinde cerrahın simülasyon yapmasına ve ameliyat sırasında bu modeli rehber olarak kullanmasına imkân sunar (8) (Şekil 1).

### İntraoperatif Pedikül Vida Şablonları

Pedikül vidası takılması sırasında karşılaşılabilecek bazı olumsuz durumlar vardır. Bunların başında inferior vena kava ya da inen aortun hayatı tehdit eden komplike yaralanmaları, omurilik, akciğer yaralanması gelir. Yine de üç kolunu da içine aldığı için stabiliteyi sağlayan en gelişmiş tekniktir (18). Bu implantların yerleştirilmesi sırasında özellikle karmaşık deformite vakalarının revizyonu sırasında zorluk yaşanabilir. Üç boyutlu yazıcı bu komplikasyonların önlenmesi için değerli bir araç olma yolundadır (16). Pedikül giriş noktalarının belirlenmesinde cerrahlara yardımcı olmak ve pedikül vidasının yerleştirilmesi için doğru açının belirlenmesinde ameliyat öncesi hazırlanacak vida şablonlarının katkısı olmaktadır (13, 21). Ancak şablonun yerleştirilebilmesi için etraf kas dokunun yeterince açılması ve hedeflenen şekilde hastanın anatomisiyle uygun şekilde pozisyon verilmesi gerekmektedir.

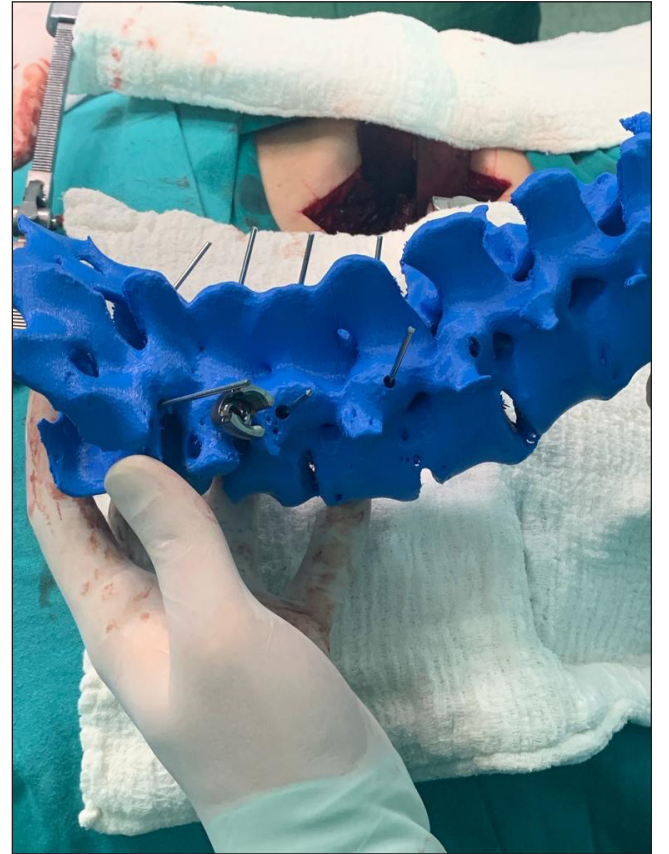
### KİŞİYE ÖZEL ÜRETİLMİŞ SPİNAL İMPLANTLARIN KULLANIMININ ETKİNLİĞİ

Hazır olarak bulunan spinal implantların özellikle tümör, enfeksiyon ve travma olgularında defekte tam olarak oturtulması mümkün olmadığında implant başarısızlığı riski artar (2). Hastaya özgü üretilmiş implantların tercih edilmesi klinik

sonuçların iyileştirilebilmesi için endike olabilir. Burnard ve ark. 2019 yılında yayınladıkları sistematik derlemede, bildirilen herhangi bir cerrahi komplikasyonun olmadığını ancak yayınların henüz yeterli kanıt düzeyine erişmesi için daha kapsamlı çalışmalara ihtiyaç olduğunu bildirmişlerdir (2).

Özellikle servikal cerrahide vertebral arter gibi nörovasküler yapıların varyasyonları olabileceği için hastaya özgü implantların peroperatif hasta güvenliğini artırabileceği belirtilmiştir. Belvedere ve ark., servikal deformite düzeltme ameliyatı yaptıkları bir olguda ameliyat öncesi çıkarılan üç boyutlu modele göre şekil verilen rod steril ederek hastada uyguladıklarını bildirmişlerdir. Bu şekilde planlanan düzeltme işlemini gerçekleştirmede başarılı olduklarını sunmuşlardır. İşlem süresinin kıaldığı, yapılacak cerrahinin kolaylaştığını ve cerrahi sonucun olumlu yönde şekillendiğini bildirmişlerdir. Uzun dönem kontrollerinde de hastanın klinik fayda gördüğünü belirtmişlerdir (1). Willemsen ve ark. iki hastalık olgu serisinde konvansiyonel yöntemlerle şekillendirmenin çok zor olduğu ileri bir torasik kifoz bir de kemik hastalığına bağlı gelişen servikotorasik ayrışma olgusunda üç boyutlu yazıcı yöntemiyle hastaya özgü dizayn edilen implantları başarı ile yerleştirildiğini bildirmişler ve özellikle seçili olgularda bu yöntemin klinik açıdan oldukça gerekli olduğunu belirtmişlerdir (19).

Öztürk ve ark. uzun seviye posterior fiksasyon ihtiyacı olan AO spine tip C kırıklarında hastaya özgü üretilmiş üç boyutlu modellerin rod uzunluğunu belirlemede, pedikül vida açısının



**Şekil 1:** 3 boyutlu yazıcı yardımı ile bilgisayarlı tomografi görüntülerinden elde edilen hastanın birebir omurga modelinin ameliyat sırasında kullanımına örnek (Doç. Dr. İsmail Kaya'nın arşivinden alınmıştır).

ve uzunluğunun belirlenmesinde etkili olduğunu, floroskopi ihtiyacını azalttığını, operasyon süresinin kısaltıp kan kaybını azalttığını belirtmişlerdir (11).

Lomber omurganın revizyon cerrahisinde hastaya özgü modelleme ile üretilen implantların tercih edildiği bir çalışmada hastaya özgü çözümler sunması ve cerrahi tekniği kolaylaştırması nedeniyle üç boyutlu yazıcının tercih edilme nedeni olabileceği belirtilmiştir (15).

Kişiyi özel üretilmiş spinal implantların kullanımının cerrahi etkinliği artırmadaki etkileri şu şekilde sıralanabilir (10):

- Ayrıntılı ameliyat öncesi planlama ve cerrahi müdahale sırasında artmış özgüven,
- Kritik sinirsel ve nörovasküler yapılarla artmış anatomik ilişkiler,
- İmplant ve vida konumlandırma artan doğruluk ve verimlilik,
- Artırılmış osteotomi ve vertebrektomi doğruluğu,
- İntraoperatif olarak diğer görüntüleme kaynaklarına azalan referans ihtiyacı (daha az floroskopi),
- Cerrahi yaklaşımda %5 ila %10 değişiklik (örn. azaltılmış seviye sayısı ve intraoperatif konumlandırma),
- Operasyon süresinin ve kan kaybının azalması,
- Büyük tümör rezeksiyonlarının ve çok seviyeli vertebrektominin mümkün kılınması,
- Özellikle ciddi deformitelerde geliştirilmiş pedikül vida yörünge planlaması,
- Tümör nüksünün veya daha önce ameliyat edilen bir bölgede ikinci veya üçüncü operasyona ihtiyaç duyan hastalarda rekonstrüksiyon başarısızlığının daha iyi anlaşılması,
- Karmaşık anatominin dokusal algısı,
- Bir model mevcut olduğunda geliştirilmiş intraoperatif navigasyon güveni

Üç boyutlu yazıcı teknolojisinin günlük kullanıma girebilmesi için teknolojinin daha ekonomik koşullarda ulaşılabilir olması, üretim süresinin kısalması, uygulayıcıların eğitim ve pratik imkânlarının yaygınlaştırılmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu sınırlılıkların aşılması ile birlikte kişiyi özel üretilen implantların omurga cerrahinin her alanında kullanım alanı bulması ve tedavinin kişiselleştirilmesinde çığır açacağı aşikârdır.

## SONUÇ

Ameliyat öncesi planlama, cerrahi simülasyonlar, intraoperatif rehberlik, hasta-cerrah iletişimi ve hastaya özgü implante edilebilir materyal üretimi gibi omurga cerrahisinin farklı aşamalarında üç boyutlu yazıcılar ümit vadetmektedir. Özellikle komplike vakalarda akılda şekillendirebilmek ve rehberliğinden faydalanabilmek için önemli bir araç olabilir. Üç boyutlu yazıcı teknolojisinin geliştirilebilecek birçok noktası bulunmaktadır ve kişiyi özgü omurga cerrahisinin ilerlemesinde önemli bir yere sahip olacağını düşünmekteyiz.

## KAYNAKLAR

1. Belvedere C, Ortolani M, Leardini A, Cappuccio M, Amendola L, De Iure F: 3D printing in surgical planning and intra-operative assistance: A case report on cervical deformity correction surgery. *App Sci* 12(22):11564, 2022
2. Burnard JL, Parr WCH, Choy WJ, Walsh WR, Mobbs RJ: 3D-printed spine surgery implants: A systematic review of the efficacy and clinical safety profile of patient-specific and off-the-shelf devices. *Eur Spine J* 29(6):1248-1260, 2020
3. Cai S, He Y, Cui H, Zhou Xi, Zhou D, Wang F, Tian Y: Effectiveness of three-dimensional printed and virtual reality models in learning the morphology of craniovertebral junction deformities: A multicentre, randomised controlled study *BMJ Open* 10:e036853, 2020
4. Coote JD, Nguyen T, Tholen K, Stewart C, Verter E, McGee J, Celestre P, Sarkar K: Three-dimensional printed patient models for complex pediatric spinal surgery. *Ochsner J* 19(1):49-53, 2019
5. D'Urso PS, Williamson OD, and Thompson RG: Biomodeling as an aid to spinal instrumentation. *Spine* 30(24):2841-2845, 2005
6. Galvez M, Asahi T, Baar A, Carcuro G, Cuchacovich N, Fuentes JA, Mardones R, Montoya CE, Negrin R, Otayza F, Rojas GM, Chahin A: Use of three-dimensional printing in orthopaedic surgical planning. *Global Res Rev* 2(5):e071, 2018
7. 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
8. Kaya I, Aydın HE, Cingöz İD: Nöroşirürji'de 3 boyutlu baskılar ve baskılama yöntemleri. *Türk Nöroşir Derg* 28(3):289-293, 2018
9. Liew Y, Beveridge E, Demetriades AK, Hughes MA: 3D printing of patient-specific anatomy: A tool to improve patient consent and enhance imaging interpretation by trainees. *Br J Neurosurg* 29(5):712-714, 2015
10. Morris JM, Wentworth A, Houdek MT, Karim SM, Clarke MJ, Daniels DJ, Rose PS: The role of 3D printing in treatment planning of spine and sacral tumors. *Neuroimaging Clin N Am* 33(3):507-529, 2023
11. Öztürk AM, Süer O, Govsa F, Özer MA, Akçalı O: Patient-specific three-dimensional printing spine model for surgical planning in AO spine type-C fracture posterior long-segment fixation. *Acta Orthop Traumatol Turc* 56(2):138-146, 2022
12. Park HJ, Wang C, Choi KH, Kim HN: Use of a life-size three dimensional-printed spine model for pedicle screw instrumentation training. *J Orthop Surg Res* 13(1):86, 2018
13. Senkoylu A, Daldal I, Cetinkaya M: 3D printing and spine surgery. *J Orthop Surg (Hong Kong)* 28(2):2309499020927081, 2020
14. Sheha ED, Gandhi SD, Colman MW: 3D printing in spine surgery. *Ann Transl Med* 7(Suppl 5):S164, 2019
15. Thayaparan GK, Owbridge MG, Thompson RG, D'Urso PS: Designing patient-specific solutions using biomodelling and 3D-printing for revision lumbar spine surgery. *Eur Spine J* 28(Suppl 2):18-24, 2019

16. Tong Y, Kaplan DJ, Spivak JM, Bendo JA: Three-dimensional printing in spine surgery: A review of current applications. *Spine J* 20(6):833-846, 2020
17. Wang YT, Yang XJ, Yan B, Zeng TH, Qiu YY, Chen SJ: Clinical application of three-dimensional printing in the personalized treatment of complex spinal disorders. *Chin J Traumatol* 19: 31-34, 2016
18. Wilcox B, Mobbs RJ, Wu AM, Phan K: Systematic review of 3D printing in spinal surgery: The current state of play. *J Spine Surg* 3(3):433-443, 2017
19. Willemsen K, Nizak R, Noordmans HJ, Castelein RM, Weinans H, Kruyt MC: Challenges in the design and regulatory approval of 3D-printed surgical implants: A two-case series. *Lancet Digit Health* 1(4):e163-e171, 2019
20. Wu AM, Shao ZX, Wang JS, Yang XD, Weng WQ, Wang XY, Xu HZ, Chi YL, Lin ZK: The accuracy of a method for printing three-dimensional spinal models. *Plos One* 10(4): 1-11, 2015