



Derleme

Geliş Tarihi: 31.03.2022
Kabul Tarihi: 19.04.2022

Kişiyeye Özel Cerrahi ve İmplant Teknolojileri- Klinik Deneyimimiz

Custom Made Implant and Personalized Surgery Technologies - Our Clinical Experiences

Demet EVLEKSİZ, Gardashkhan KARIMZADA, Can KORKMAZ, Mehmet Can EZGÜ, Özkan TEHLİ

Sağlık Bilimleri Üniversitesi Gülhane Eğitim ve Araştırma Hastanesi, Beyin ve Sinir Cerrahisi Kliniği, Ankara, Türkiye

Yazışma adresi: Demet EVLEKSİZ ✉ demetevleksiz@gmail.com

ÖZ

Son yıllarda gelişen teknoloji ile hayatın her alanına dahil olan 3D yazıcıların tıp alanında da her geçen gün daha fazla kullanılması sürpriz olmamıştır. Bu durum kişiyeye özel cerrahi ve implant teknolojilerinde de gelişimi tetiklemiştir. Nöroşirürji pratiğinde sıklıkla kullanılan kişiyeye özel anatomik modeller, kişiyeye özel cerrahi kılavuzlar ve kişiyeye özel implantlardan, bunların avantaj ve dezavantajlarından bahsettiğimiz bir derleme düzenledik. Cerrahi sürenin azalması, tıbbi sonuçların iyileştirilmesi ve radyasyona maruz kalmanın azalması avantajlar olarak görülürken artan maliyetin göz ardı edilemeyecek bir dezavantaj olduğu görülmüştür. Uygun endikasyonla doğru hastada, kişiyeye özel implantların kullanımı hastaya yarar sağlamanın yanında işlemi uygulacak cerrah için yol gösterici olacaktır.

ANAHTAR SÖZCÜKLER: 3D baskı, Bilgisayar tabanlı planlama, Cerrahi, İmplant, Kişiyeye özel

ABSTRACT

It is not surprising that 3D printers, which are included in all areas of life with the developing technology in recent years, are used more and more in the field of medicine. This situation has also triggered the development of personalized surgery and implant technologies. We have organized a compilation where we talked about the custom-made anatomical models, custom-made surgical guides and custom-made implants, which are frequently used in neurosurgery practice, and their advantages and disadvantages. While reduced surgical time, improved medical outcomes, and reduced radiation exposure are seen as advantages, the increased cost is seen as a disadvantage that cannot be ignored. The use of personalized implants in the right patient with the appropriate indication will not only benefit the patient, but will also guide the surgeon who will perform the procedure.

KEYWORDS: 3D printing, Computer-based planning, Custom-made, Implant, Surgery

■ GİRİŞ

Kişiyeye özel cerrahi ve implant teknolojileri son yıllarda 3 boyutlu baskı (3DP) teknolojisi gelişimi ile daha önemli hâle gelmiştir. 3DP kullanımı, çeşitli endüstrilerde üretim sürecinde devrim yarattı ve hassas özelleştirilmiş ürünlerin

oluşturulmasını sağladı (17). Günümüzde beyin ve omurga cerrahisine ek olarak ortopedi, çene cerrahisi ve kalp cerrahisinde uygulamaları vardır. Radyolojik görüntülerinin üç boyutlu görüntüleri, karmaşık patolojilerin görselleştirilmesini iyileştirmiştir, ancak dokusal niteliklerden yoksundur. Kişiyeye özel 3 boyutlu (3D) yazdırılmış anatomik modeller, hastaya özel

Demet EVLEKSİZ  : 0000-0002-7519-8985
Gardashkhan KARIMZADA  : 0000-0002-4897-4758
Can KORKMAZ  : 0000-0002-1489-4354Mehmet Can EZGÜ  : 0000-0001-7537-0055
Özkan TEHLİ  : 0000-0002-0176-2838

kılavuzlar ve 3D yazdırılmış implantlar karmaşık vakaları incelemek, prosedürleri uygulamak ve öğrencilere öğretmek için kullanılabilir. Philip Tack ve ark. 3DP ile ilgili Web of Science, PubMed, Embase sitelerinde yayınlanan yazıları incelemişler ve sonuçların çoğunlukla cerrahi kılavuzlar (%60) ve cerrahi planlama için modeller (%38.70) ile ilgili olduğunu görmüşlerdir. Ek olarak, kişiyi özel implantlar (%12.17), protezler için kalıplar (%3.91), implant şekillendirme modelleri (%1.74) ve hasta seçimi için modeller (%0.87) yapmak için 3D baskı kullanmanın sonuçları hakkında raporlar görülmüştür (27). Biz bu derlemede kendi klinik pratiğimizde de yaygın olarak kullandığımız kişiyi özel anatomik modeller, kişiyi özel cerrahi kılavuzlar ve kişiyi özel implantlardan bahsedeceğiz.

■ KİŞİYİ ÖZEL ANATOMİK MODELLER

3DP teknolojisinin son yıllardaki gelişimi, ameliyat öncesi vakaları incelemek, cerrahi prosedürleri test etmek ve öğretmek için kullanılabilen anatomik modellerin oluşturulmasına izin verdi (11,17). 3D baskılı anatomik modeller, cerrahi alanda geniş kullanım görür. Ortopedide özellikle karmaşık kalça ve pelvis cerrahilerinde kullanılan anatomik modeller, cerraha bireysel hasta anatomisini daha iyi anlama fırsatı sağlamasına ek olarak daha iyi cerrahi yaklaşımlar geliştirmesine olanak sağlar (33). Kalp ve damar cerrahisinde, perkütan kapak implantasyonu, aort anevrizmaların onarımı ve karmaşık konjenital kalp malformasyonlarının cerrahi planlaması gibi vasküler prosedürlerin planlanması için yararlı anatomik modeller mevcuttur (32). Etnik nüfuslar arasındaki yüz antropometrik farklılıkları maksillofasial cerrahide standardizasyonu engellemektedir ve 3D bilgisayarlı tomografi (BT) taramalarına dayalı özel yüz modelleri ile bunları optimize etmek mümkün kılınmıştır (35).

3D yazıcıların ve anatomik modellerin cerrahiye bu kadar entegrasyonu kompleks makroskopik ve mikroşirürji uygulamaları olan nöroşirürji camiasından da uzak kalamazdı. Nöroşirürjide; tümör cerrahisi, vasküler cerrahi ve omurga cerrahisi gibi geniş bir alanda kişiyi özel anatomik model kullanımı izlenmektedir. Beyin tümörü cerrahisinde, fonksiyonel bütünlük korunurken tümörün total rezeksiyonu birinci öncelik olarak düşünülmelidir ve bu amaca ulaşmak için en uygun yaklaşımın seçilmesi temel konudur (8). Beyin cerrahisi planlamasında en iyi uygulama; tekrarlayan uygulama ve yüksek düzeyde deneyim gerektiren, lezyonların 2 boyutlu MR görüntüleri veya nöronavigasyona dahil edilmiş bilgisayar destekli görüntülerin cerrahin kafasındaki rekonstrüksiyonuna bağlıdır (13,31). 3D yazdırılan modeller öğrencilerin ve cerrahi ekibin nöroşirürjikal karmaşık hastalıkları, cerrahi prosedür ve risklerini anlamalarını kolaylaştırmaktadır (4).

Bilgisayar destekli modelleme kullanılarak 3D yazıcı yardımı ile üretilmiş olan intrakranial kitle (Şekil 1A) ve beyin sapı kitlesi (Şekil 1B) modellerimiz; tümörün vasküler yapılar ve diğer hayati bölgeler ile olan komşuluğunu net bir şekilde ortaya koyarak cerraha ameliyat öncesi simülasyon imkanı sağlamaktadır.

Ayrıca beyin arteriyovenöz malformasyonunun (bAVM) tedavisinde, besleyici arterler, nidus, drenaj damarları ve bunlar ile birlikte AVM kompleksinin mekânsal ilişkileri dahil

olmak üzere anatomik durumunun tam olarak anlaşılması çok önemlidir ve cerrahi planlama ve simülasyonu kolaylaştırmak için kişiyi özel üretilen 3D modeller bunun için mükemmeldir (9). Kişiyi özel modellemenin omurga cerrahisinde uygulanması ilk olarak D'Urso ve ark. tarafından 1999 yılında tarif edilmiştir (10). O zamandan beri preoperatif olarak en uygun cerrahi tekniğin seçimi ve hazırlanmasını mümkün kılacak şekilde gelişerek uygulanabilirliği artmıştır (20).

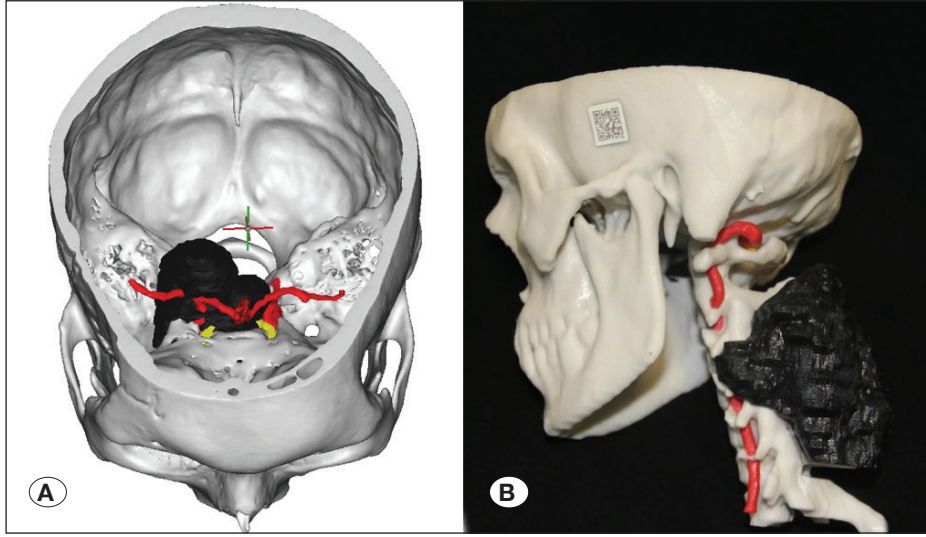
Sonuç olarak kişiyi özel anatomik modellerin avantajları, cerrahi sürenin azalması, tıbbi sonuçların iyileştirilmesi ve radyasyona maruz kalmanın azalmasıdır. Bütün bunlara ek olarak anatomik modellerin tıp öğrencilerine eğitim vermek için kullanılabilirliği görülmüştür. Ancak artan maliyet göz ardı edilemeyecek bir dezavantaj olarak görülmektedir. Bu konuda daha kapsamlı çalışmalar yapılması gerekmektedir.

■ KİŞİYİ ÖZEL CERRAHİ KILAVUZLAR

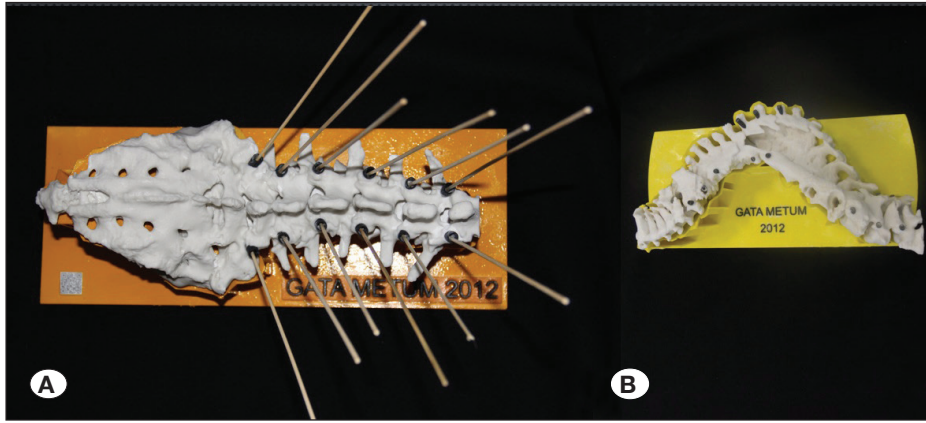
Kişiyi özel cerrahi kılavuzlar çoğunlukla ortopedik cerrahi, omurga cerrahisi, maksillofasial cerrahi ve diş cerrahisine iyi bir şekilde dahil edilmiştir (27).

Omurga cerrahisinde 3D baskının ilk cerrahi uygulamalarından biri hastaya özel matkap kılavuzlarının oluşturulmasıydı (26). Pedikül vida kılavuzlarının kullanımı ilk olarak 2005 yılında Berry ve ark. tarafından yapılan bir kadavra çalışmasında bildirilmiştir ve o zamandan beri, tasarımdaki değişiklikler ve üretim süreçlerindeki iyileştirmelerle birlikte, 3D baskılı pedikül vida kılavuzları daha doğru ve hassas hâle geldi ve omurga cerrahisindeki uygulamalarını genişletti (14). Hastalarda ilk rapor edilen kullanımlarından bu yana, C1-C2 transartiküler vida yerleştirme, C1 lateral mass ve C2 pedikül ve laminar vidalar, orta ve alt servikal pedikül vidaları, torakolomber vidalar gibi farklı tasarımlara sahip 3D baskılı hastaya özel kılavuzlar başarıyla kullanılmıştır. Tipik olarak, 3D kılavuzlar, karmaşık anatomisi olan hastalarda veya vida yanlılığının önemli hasta morbiditesine yol açabileceği bölgelerde vida doğruluğunu iyileştirmenin bir yolu olarak kullanılır. Ayrıca, cerrahi sürenin anlamlı olarak kısaldığı ve floroskopi ihtiyacı azaldığı görülmüştür. Pedikül vidası yerleştirme için 3D basılı kılavuzlarla kaydedilen başarının bir uzantısı olarak, hem yetişkin hem de pediatrik hastalarda osteotomilere yardımcı olmak için yakın zamanda 3D kılavuzlar oluşturulmuştur (26). Kliniğimiz tarafından skolyoz cerrahisi öncesi BT üzerinden bilgisayar destekli modelleme kullanılarak 3D yazıcı yardımı ile birebir hastanın omurga modeli ve vida kılavuzları üretilmiş ve cerrahi öncesi simülasyon ve cerrahi içinde rehber olma imkânı sağlamıştır (Şekil 2). Hastaya özel kılavuzların standart enstrümantasyona göre, işlemin toplam süresini azalttığı ve nörovasküler sorun riskini azaltarak güvenlik sağladığı görülmüştür ancak maliyet etkinliği hâlen tartışmalıdır (21).

Gelişen teknoloji ile kranial cerrahide de kişiyi özel cerrahi kılavuzların kullanımı mümkün olmuştur. Buna örnek olarak kliniğimizde uygulanması rutin hâle gelmiş olan kranial fibröz displazili hastalarda tümör eksizyonu için kullandığımız kılavuzları verebiliriz. Bu kılavuzların ameliyat planlaması ve üretimi kurumumuzun Medikal Tasarım ve Üretim Merkezinde yapılmaktadır.



Şekil 1: İntrakranial kitle (A) ve beyin sapı kitlesi (B) modellerimiz bilgisayar destekli modelleme kullanılarak 3D yazıcı yardımı ile üretilmiştir.



Şekil 2: Omurlara mükemmel uyum sağlayan vida kılavuz modeli (A) ve 3D skolyotik vertebra modeli (B) görülmektedir.

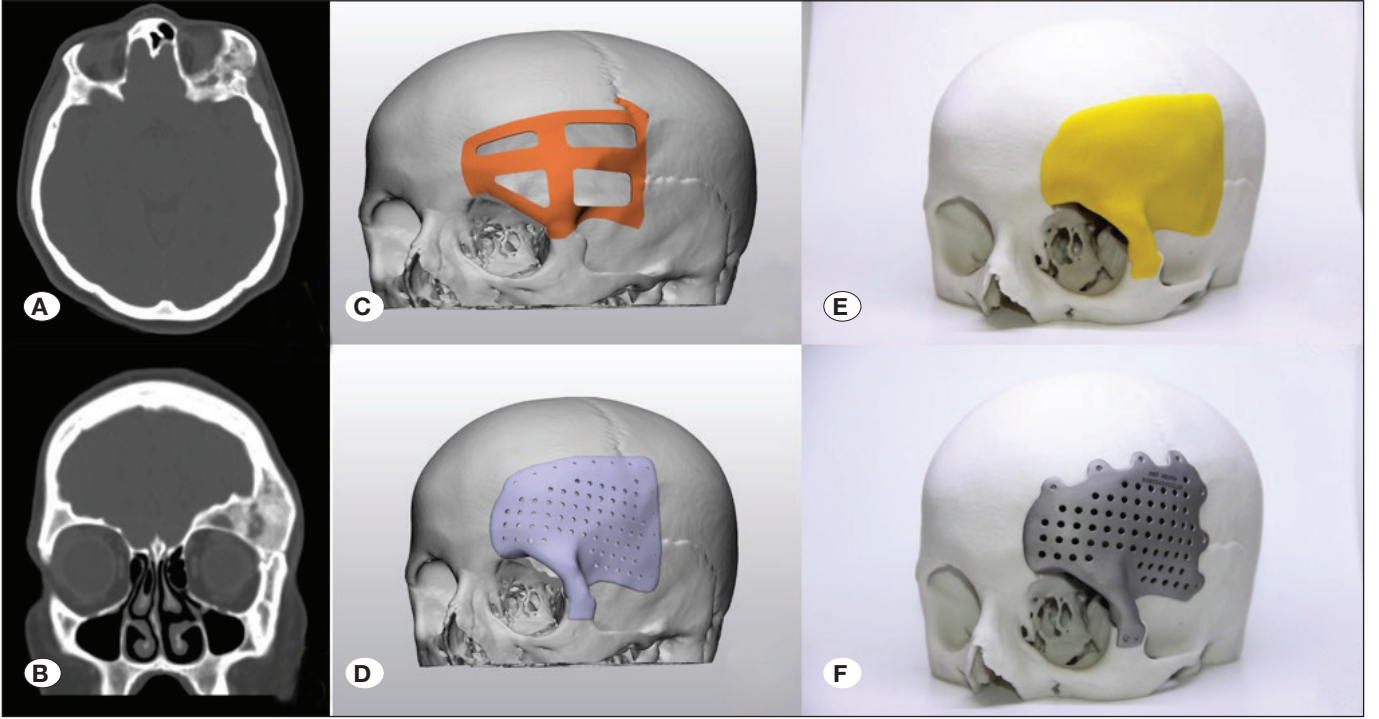
Bu hastalara cerrahi öncesi 0,5 mm'lik dilimler içeren bir ameliyat öncesi BT taraması alınır (Şekil 3A, B). BT verileri, bir DICOM (dijital görüntüleme ve tıpta iletişim) arayüzü kullanılarak tarayıcı konsolundan planlama iş istasyonuna dijital olarak aktarılır ve resimler Mimics Innovation Suite yazılımı (Materialise, Leuven, Belçika) ile açılır. Bu yazılım, cerrahin kemik tümörlerinin sınırlarını çizmesine ve titanyum implantı BT verilerinin 3D alanına doğru konuma getirmesine olanak tanır. Cerrah, mevcut veriler arasından tümör rezeksiyonu sınırlarını ve titanyum implantın boyutunu ve şeklini dinamik olarak değiştirebilir (Şekil 3C, D). Bu planlamanın ardından ameliyat sırasında kemik tümörünün sınırlarını belirlemek için 3 boyutlu yazıcı (Concept Laser, Hofmann Innovation Group, Lichtenfels, Almanya) ile titanyum ağ şablonu üretilir (Şekil 3E, F). Şablonla rezeksiyon sınırları belirlenir ve tümörün tam rezeksiyonu yüksek hızlı bir drill ile yapılır (Şekil 4A). Ameliyat öncesi oluşturulan titanyum implant, oluşan defekte yerleştirilir ve mini vidalarla sabitlenir (Şekil 4B). Bu mini vidaların uzunluğu da 3-matic yazılım (Materialise) kullanılarak ameliyat öncesi bilgisayar tabanlı planlama ile belirlenir (Şekil 5).

Tehli ve ark. 2014 yılında kraniyal fibröz displazinin cerrahi tedavisinde bilgisayar tabanlı tekniklerini, radyolojik ve cerrahi özelliklerini anlattıkları 4 olguluk bir seri sunmuşlardır. Tüm

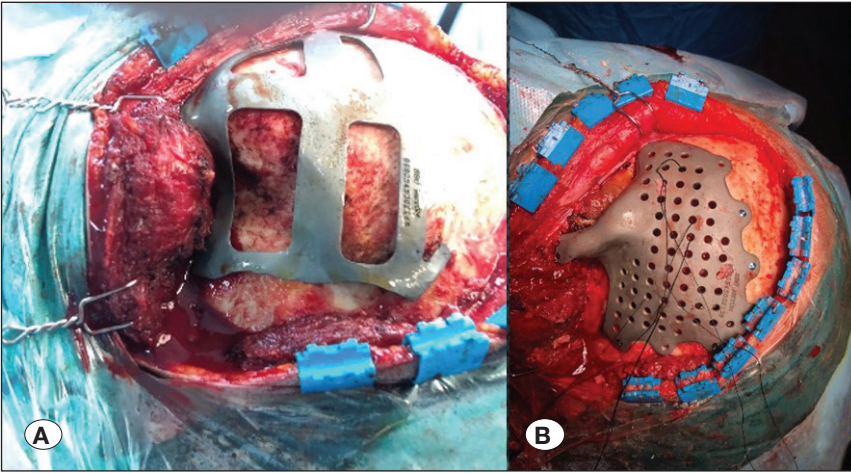
hastalarda iyi bir kozmetik sonuç elde edildiği görülmüş ve ameliyatlardan sonra herhangi bir komplikasyon gözlenmemiştir. Hastaların ameliyat sonrası periyodik BT taramalarında tümörlerin tamamen çıkarıldığı görülmüştür. Bu taramalar ayrıca önceden oluşturulmuş titanyum implantların doğruluğunu göstermiş ve uygun kozmetik rekonstrüksiyonu doğrulamıştır. Tüm hastalarda genel memnuniyet mükemmel (n=3) veya iyi (n=1) olarak görülmüştür. Takip süresi boyunca hiçbir hastada tümör nüksü gözlenmemiştir. Sonuç olarak kişiyi özel cerrahi kılavuz ve implantların kozmetik sonuçları iyileştirdiği ve operasyon süresini kısalttığı görülmüştür. Ancak bu teknikte de uzun üretim süreleri ve yüksek maliyetler gibi kısıtlayıcı faktörler olduğu unutulmamalıdır (29).

■ KİŞİYE ÖZEL İMPLANTLAR

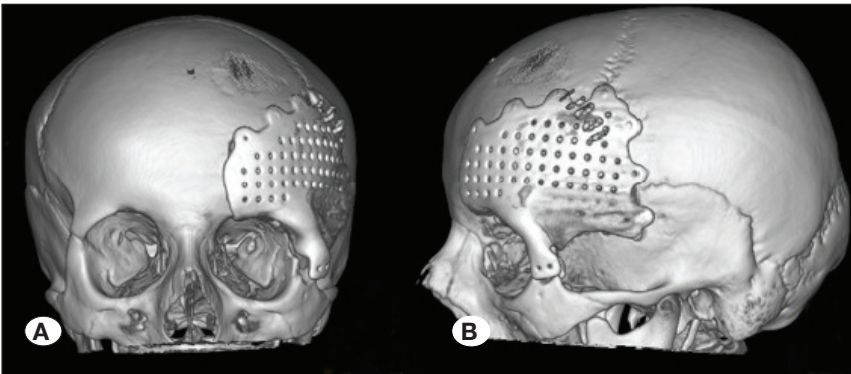
Kişiyi özel implantlar yaygın olarak kraniyal cerrahi, diş hekimliği ve çene cerrahisinde kullanılır. Diş protezi üretiminde 3D baskılı protezler için daha düşük estetikten bahseden bir çalışma olduğu gibi standart protezlere benzer estetikten bahseden başka bir çalışma da mevcuttur. Çene augmentasyon cerrahisinde hastaya özel 3D baskılı protez kalıpları kullanılarak hem cerrahi sürenin kısaltıldığı hem de



Şekil 3: Hastanın aksiyel (A) ve koronal (B) bilgisayarlı tomografi (BT) taramalarında sol orbitayı sıkıştıran sol fronto-orbital kemik tümörü görülmektedir. Sanal ortamda 3D görüntüye göre plastik model ve kesi kılavuzu üretilir (C,D). Kişiyi özel titanyum implant plastik kafatası modelinde deneyimlenir (E,F).



Şekil 4: Kesi kılavuzu ile rezeksiyon sınırları belirlenir (A) Ameliyat öncesi oluşturulan titanyum implant, oluşan defekte yerleştirilir ve mini vidalarla sabitlenir (B).



Şekil 5: Ameliyat sonrası 3D BT taraması tümörün rezeksiyonu, sol yörüngenin dekompresyonu ve özel yapım titanyum implant ile orbitokraniyal rekonstrüksiyonu gösterir.

kişisel profil eşleşmesi nedeniyle daha iyi bir estetik sonuç sağlandığı görülmüştür (27).

3D baskı teknikleri, en yaygın olarak kraniyal cerrahide son implantı doğrudan basmak için başarıyla kullanılabilir. Beyin cerrahisi pratiğinde sık karşılaşılan tümör, travma ve enfeksiyon cerrahisi sonucu kraniyal kemik defekti oluşabilir. Bu defekt estetik ve fonksiyonel yetersizliklerle sonuçlanabilir (6). Kraniyal defektleri onarmak için kullanılan en eski cerrahi prosedürlerden birisi kraniyoplastidir ve sadece beyin yapısını korumak ve/veya kraniyal kemik defektini kozmetik olarak yeniden şekillendirmek için fiziksel bir bariyer olarak değil, aynı zamanda beyin omurilik sıvısındaki (BOS), kan akışındaki ve beyin metabolik taleplerdeki değişiklikleri kontrol etmek için terapötik bir önlem olarak hizmet eder (2,25). Arkeolojik kanıtlar, kraniyoplastinin geçmişinin MÖ 7000'e kadar uzandığını göstermiştir (3). Fallopius (1523-1562), kraniyoplastinin ilk tarihsel tanımı olarak kabul edilen, defektif dura üzerindeki kemiği değiştirmek için altın bir plakanın kullanımını tanımladı (24). Kraniyoplasti, Hollandalı cerrah van Meekeren'in ölü bir köpek kafatasından alınan kemikle yapılan ilk gerçek ve başarılı kemik grefti olan van Meekeren'in Gözlemleri Medico-Chirurgicae adlı kitabında bildirdiği 1668'den bu yana uzun bir yol kat etmiştir (2). Ototogreft, allogreft ve ksenograft kavramları ilk olarak Ollier (1859) adlı bir Fransız cerrah tarafından tanımlanmıştır (30). Teorik olarak, kraniyal rekonstrüksiyon için ideal materyal, biyoyumluluk sorunları olmadığı, şekli normal kozmetiklerin restorasyonu için mükemmel olduğu ve intrakraniyal yapılar için anında ve yeterli koruma sağladığı için otolog kemik flebidir (22). Ototog kemik kullanımının kendi dezavantajları vardır, bunlardan bazıları, hasat prosedürünün ameliyat süresini uzatması ve iyileşmek için zaman gerektirmesi ve daha da önemlisi, otogreftler için sınırlı bir kemik kaynağının bulunmasıdır (15). Bazı çalışmalarda, sıklıkla ikincil müdahaleleri gerektiren %3 ila %12 oranlarında kemik rezorpsiyonu bildirilmiştir (6). Bu durum kafatası rekonstrüksiyonunda kullanılmak için üretimi kolay, dayanıklı, güçlü, hafif, ferromanyetik ve kanserojen olmayan ideal bir materyal arayışına girilmesine sebep olmuştur. Alternatif sentetik malzemeler arasında polimetil metakrilat (PMMA), titanyum ve hidroksiapatit bulunur (5). Bu malzemelerin her birinin sonuçlar ve maliyetler açısından kendi avantajları ve dezavantajları vardır ve hangi malzemenin kullanılacağına seçimi, cerrahın deneyimine ve tercihine ve ayrıca sağlık şirketlerinin finansal kaynaklarına bağlı olacaktır. Literatür analizi, birçok yazarın titanyum kullanımını bu tür bir prosedür için uygun kılan; düşük enfeksiyon oranı, doğrudan travmaya karşı yüksek ve ani biyomekanik direnç (ve dolayısıyla beyin için iyi koruma), ve ameliyat sonrası görüntüleme tekniklerine uygunluğu gibi birçok özelliği olduğundan önermektedir (22). Titanyum prefabrik protezlerin ısı iletimi, ameliyat sırasında değişiklik şansının az olması ve yüksek maliyet gibi bazı dezavantajları da vardır. Kişiy e özel operasyon öncesi tasarlanmış implantlarla yapılan kraniyoplastilerin, diğer rekonstrüktif tekniklere kıyasla birçok avantajı vardır. İntraoperatif olarak modellenmiş implantlara sahip kraniyoplastiler koruyucu ve estetik gereksinimleri tam olarak karşılayamaz. İntraoperatif ortamın kendisi, cerrahın kraniyoplasti implantını manuel olarak oluşturma yeteneğini bozar. Defekt 10 cm'den büyükse, beyin cerrahi implant materyalinin intraoperatif

adaptasyonu sırasında hastanın defekt bölgesindeki bireysel kafatası eğriliğini belirlemede zorlanır. Hastanın başının dış konturu implantın nihai şeklini etkiler. Cerrahi örtülerin aldatici etkisi ve intraoperatif beyin şişmesinin çeşitli aşamaları, cerrahın oryantasyonunu bozar (12). Bilgisayar destekli kişiy e özel tasarım ve implant modellemesi intraoperatif el yapımı modellemeye göre, teknik olarak daha basittir ve cerrahi süreyi, kan kaybını ve enfeksiyon oranını düşürme ve estetik sonuç memnuniyetini artırma gibi ek avantajlara sahiptir (18).

Biz kliniğimizde kraniyal defekti olan uygun vakaları Gülhane Medikal Tasarım ve Üretim Merkezinde kişiy e özel tasarlanan titanyum kranioplasti kitlelerini kullanarak opere ediyoruz. Kafatası kusurunu kapatacak implant beyin bilgisayarlı tomografisinin DICOM verileri ve özel tasarım yazılım programları (Materialise, Leuven, Belçika) kullanılarak tasarlanıp düzenlenmektedir. Tasarım sırasında cilt ve beyin dokusunun uygunluğu gibi özellikler dikkate alınmaktadır. 3D plastik yazıcı (ZCorp, Zprinter 650) tarafından plastik modeller üretilir (Şekil 6A). Kafatası implantı, SLM teknolojisini (M2 Cusing, Concept Laser GmbH Lichtenfels, Almanya) ve tıbbi Ti-alloy Rematitan'ı (Ti6Al4V, Grade 23 (ELI)) kullanan metal 3D yazıcı ile üretilir (Şekil 6B). Hastanın kafatasının 3 boyutlu görüntüsü ve implantın kafatası defektini kapatma planı sanal ortamda oluşturulur. 2,4 mm çapında deliklere sahip titanyum implant 3 boyutlu modele uygun olarak üretilir (Şekil 7). Defekt bölgesine ulaşmak için önceki cilt kesileri kullanılır. Titanyum implant defekt alanına tam olarak yerleştirildiğinde, epidural hematomu önlemek için dura 5.0 ipek sütürlerle askıya alınır. Temporal bölgede defekt olan hastalarda temporal kas 2.0 vicryl sütürlerle implanta asılır. Titanyum implant, titanyum mini vidalarla kafatasına sabitlenir.

Kişiy e özel implantlar, kafatası rekonstrüksiyonu için oldukça makul seçeneklerdir. Yöntemin daha kısa operasyon süresi, azalan teknik talep ve donör greft ihtiyacının olmaması gibi birçok avantajı vardır (6).

Omurga cerrahisinde kişiy e özel implant kullanımına örnek olarak; lomber omurgada tümör nüksü sonrası revizyon cerrahisinde 3D baskılı omurlar, osteoporotik hastalarda, kafesin konturu ile önceki yetmezlik kırığından bir sonucu olarak deforme olabilen uç plaka arasındaki uyumsuzluğu gidermek için oluşturulan 3D özel implantlar, artiküler kondrositlerin ve nükleus pulposus hücrelerinin büyümesi ve yaşayabilirliği için uygun bir yapı sağlayan 3D baskılı matrislerin oluşturulması, sakral kanal kistlerinin tedavisinde, öncelikle dural plikasyonu artırmanın bir aracı olarak yapay 3D baskılı dura mater üretilmesi verilebilir (26). Kişiy e özel implantlar, cerrahın, örneğin kortikal kemiğin ve interbody cihazlar için uç plakaların korunması gibi, hastanın belirli anatomisinin yapısal anatomik özelliklerini dengeleştirmekten kaçınmasını sağlar (19).

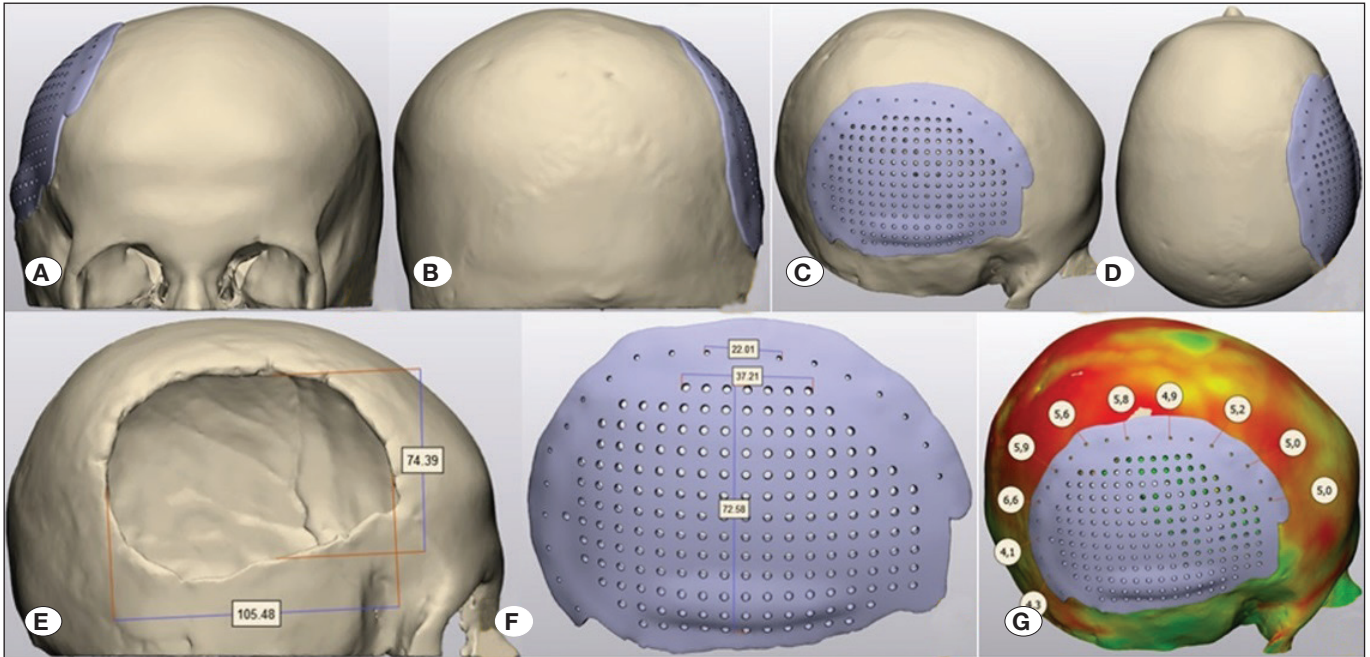
Doğru hastada ve uygun endikasyonla, kişiy e özel spinal implantların 3D baskısı, cerrahi etkinlik, stabilite ve potansiyel osseointegrasyon açısından, standart implantlara kıyasla daha üstün sonuçlar sağlayabilir (7).

■ TARTIŞMA

Günümüzün popüler yeniliklerinden olan 3D yazıcıların hayatın her alanında olduğu gibi tıp alanında da her geçen



Şekil 6: 3D plastik yazıcı (ZCorp, Zprinter 650) tarafından plastik modeller üretilir (A). Kafatası implantı, SLM teknolojisini (M2 Cusing, Concept Laser GmbH Lichtenfels, Almanya) ve tıbbi Ti-alloy Rematitan'ı (Ti6Al4V, Grade 23 (ELI)) kullanan metal 3D yazıcı ile üretilir (B).



Şekil 7: Hastanın kafatasının 3 boyutlu görüntüsü ve implantın kafatası defektini kapatma planı sanal ortamda oluşturulur (A-E). 2,4 mm çapında deliklere sahip titanyum implant 3D modele uygun olarak üretilir (F). Bu mini vidaların uzunluğu da 3-matik yazılım (Materialise) kullanılarak ameliyat öncesi bilgisayar tabanlı planlama ile belirlenir (G).

gün daha fazla kullanılmasıyla kişiyi özel cerrahi ve implant teknolojilerinde hızlı bir gelişim görülmektedir (1). 3DP, tedavi edilmesi zor kabul edilen durumlar için implantların veya önceden planlanmış vida yörüngeleri veya uygunlukları gibi ek özelliklere sahip implantların tasarlanmasına olanak tanır (7). 3DP fikri, Pierre A. L. Ciraud'un toz malzeme uygulama yöntemini ve ardından her katmanın yüksek enerji ışınının etkisiyle katlaşmasını tarif ettiği 1970'lerin başlarından itibaren gelişti (16). Charles Hull stereolitografi üretim sistemi için bir patent başvurusunda bulundu ve sonunda 1988'de ticari kullanım için 3D yazıcıları satmaya başladı (17). 90'larda Emanuel Sachs-MIT bilim adamı, iş arkadaşlarıyla birlikte, üç boyutlu baskı teknikleri patentini aldı (23). Bu teknoloji yıllar içinde büyük ölçüde değişti ve şu anda hemen hemen her büyük imalat sektöründe kullanılmaktadır. 3DP teknolojisi, simülasyon modelleri veya tıbbi implantlar oluşturmak için kullanılabilir, böylece bir cerrahın bir prosedürü planlama ve

yürütme şeklini optimize ederek doktorlara ve tıp şirketlerine önemli ölçüde yardımcı olur. 3D baskı teknolojisinin klinik tıbbı uygulanması, tıbbi alanda en hızlı büyüyen yenilik hâline geldi (33). Nöroşirürji alanı özellikle 3D baskı kullanımının sonucu olarak önemli bir gelişme göstermiştir. Bu teknoloji ile anatomik yapılar 3D hacimlerden yeniden oluşturulabilir ve daha sonra fiziksel modeller olarak üretilebilir, bu da hem hasta hem de eğitim görenler için cerrahi planlama ve eğitim için kullanılabilir. Bunlara ek olarak 3DP, bir hastaya olası zarar verme riski olmaksızın cerrahi prosedürün gerçekçi bir temsiline sağlayan simülasyonların tasarımına uygulanabilir (28,34). Biz bu yazıda nöroşirürji pratiğinde yaygın olarak kullanılmakta olan kişiyi özel anatomik modeller, kişiyi özel cerrahi kılavuzlar ve kişiyi özel implantlardan bahsettik.

3D baskılı anatomik modellerin cerrahi alanda kullanılması, özellikle özelleştirilmiş tasarım ve hastaya özel simülasyon için birçok yeniliğe yol açmıştır (28). Ortopedik cerrahide 3D baskılı

anatomik modeller, ameliyat öncesi planlamayı geliştirmek, implantları ve aletleri özelleştirmek ve cerrah eğitim ve öğretimini geliştirmek için kullanılabilir (17). Ameliyattan önce implantı şekillendirmek için de kullanılabilen kişiyi özel kranial anatomik modeller estetik ve fonksiyonel sonuç açısından daha iyi sonuçlar verir. Daha az komplikasyon oranı ile daha kısa operasyon süresi sağlarlar. Bu nedenle büyük ve karmaşık şekilli kafa defektlerinin onarımı için kesinlikle tavsiye edilirler (15). Ortopedik ve kranial amaçlar için kullanılan anatomik modellere ek olarak, maksillofasiyal modellerin ameliyathane süresindeki önemli azalma edici estetik sonuçlar sağladığı görülmüştür (12). Ayrıca anatomik modeller, spinal cerrahi sırasında floroskopi ihtiyacını azaltarak iyonlaştırıcı radyasyona maruz kalmayı azaltabilir (26). Serebrovasküler hastalıkların cerrahi planlaması için yararlı anatomik modeller de mevcuttur (34). Bütün bunlara ek olarak, kişiyi özel anatomik modeller tıp öğrencilerine eğitim vermek için kullanılabilir ve hasta iletişimini ve patoloji hakkındaki bilgisini geliştirebilir (14).

Yapılan çalışmalar kişiyi özel cerrahi kılavuzların, ameliyathane süresini kısalttığını, spinal ve kranial cerrahi için tıbbi sonuçları iyileştirdiğini, floroskopi ihtiyacının azalması nedeniyle iyonlaştırıcı radyasyona maruz kalmanın azaldığını göstermiştir. Bunun nedeni, modeller üzerinde simülasyon ve kılavuzlar aracılığıyla ön ameliyatın doğru çevirisidir (27). Spinal cerrahide kullanılan kişiyi özel kılavuzlar cerrahi planlamanın doğru bir şekilde yapılmasını sağlamak ve sonuçları cerrahin deneyimine daha az bağımlı hâle getirmektedir (26). Son olarak, derin beyin stimülasyon implantlarının implantasyonuna rehberlik etmek için 3D baskılı stereotaktik fişörler, cerrahi süreyi önemli ölçüde azaltarak kullanılabilir (27).

Kranial cerrahi, diş hekimliği ve çene cerrahisinde sıklıkla kullanımı görülen kişiyi özel implantlar çok daha iyi bir estetik sonuç, defektin mükemmel ve tam kapanması, daha kısa ameliyat süreleri ve cerrah için daha kolay bir operasyon içerdiği görülmüştür (22).

■ SONUÇ

3D baskı teknolojisindeki gelişmelerle beraber nöroşirürjide de yaygın kullanımı alanı olan kişiyi özel anatomik modeller ile preop planlama, intraoperatif kılavuz kullanımı, kişiyi özel implant kullanımı mümkün olmuştur. Bu teknolojinin temel avantajları, cerrahi sürenin azalması, tıbbi sonuçların iyileştirilmesi ve radyasyona maruz kalmanın azalmasıdır. En önemli kısıtlayıcı faktör artan maliyettir. Gelişen teknoloji ile birlikte 3D yazıcılar sayesinde kişiyi özel üretim yapılmasının işlemi uygulayacak cerrahlara yön gösterici olacağı düşünülmektedir.

■ KAYNAKLAR

1. Ablal AA, Lawton MT: Three-dimensional hollow intracranial aneurysm models and their potential role for teaching, simulation, and training. *World Neurosurg* 83(1):35-36, 2015
2. Alkhaibary A, Alharbi A, Alnefaie N, Oqalaa Almubarak A, Aloraidi A, Khairy S: Cranioplasty: A comprehensive review of the history, materials, surgical aspects, and complications. *World Neurosurg* 139:445-452, 2020
3. Aydın S, Kucukyuruk B, Abuzayed B, Aydın S, Sanus GZ: Cranioplasty: Review of materials and techniques. *J Neurosci Rural Pract* 2(2):162-167, 2011
4. Bernhard JC, Isotani S, Matsugasumi T, Duddalwar V, Hung AJ, Suer E, Baco E, Satkunasivam R, Djaladat H, Metcalfe C, Hu B, Wong K, Park D, Nguyen M, Hwang D, Bazargani ST, de Castro Abreu AL, Aron M, Ukimura O, Gill IS: Personalized 3D printed model of kidney and tumor anatomy: A useful tool for patient education. *World J Urol* 34(3):337-345, 2016
5. Cardona MJ, Turner C, Ross C, Baird E, Black RA: An improved process for the fabrication and surface treatment of custom-made titanium cranioplasty implants informed by surface analysis. *J Biomater Appl* 35(6):602-614, 2021
6. Cho HR, Roh TS, Shim KW, Kim YO, Lew DH, Yun IS: Skull reconstruction with custom made three-dimensional titanium implant. *Arch Craniofac Surg* 16(1):11-16, 2015
7. Choy WJ, Mobbs RJ: Current state of 3D-printed custom-made spinal implants. *Lancet Digit Health* 1(4):e149-e150, 2019
8. Dho YS, Lee D, Ha T, Ji SY, Kim KM, Ho Kang H, Kim MS, Kim JW, Cho WS, Kim YH, Kim YG, Park SJ, Park CK: Clinical application of patient-specific 3D printing brain tumor model production system for neurosurgery. *Sci Rep* 11(1):7005, 2021
9. Dong M, Chen G, Li J, Qin K, Ding X, Peng C, Zhou D, Lin X: Three-dimensional brain arteriovenous malformation models for clinical use and resident training. *Medicine (Baltimore)* 97(3):e9516, 2018
10. D'Urso PS, Askin G, Earwaker JS, Merry GS, Thompson RG, Barker TM, Effeney DJ: Spinal biomodeling. *Spine (Phila Pa 1976)* 24(12):1247-1251, 1999
11. Eijnisman L, Gobbato B, de França Camargo AF, Zancul E: Three-dimensional printing in orthopedics: From the basics to surgical applications. *Curr Rev Musculoskelet Med* 14(1):1-8, 2021
12. Eufinger H, Saylor B: Computer-assisted prefabrication of individual craniofacial implants. *AORN J* 74(5):648-654; quiz 655-656, 658-662, 2001
13. Galloway RL, Maciunas RJ, Edwards CA: Interactive image-guided neurosurgery. *IEEE Trans Biomed Eng* 39(12):1226-1231, 1992
14. Garg B, Gupta M, Singh M, Kalyanasundaram D: Outcome and safety analysis of 3D-printed patient-specific pedicle screw jigs for complex spinal deformities: A comparative study. *Spine J* 19(1):56-64, 2019
15. Hosameldin A, Osman A, Hussein M, Gomaa AF, Abdellatif M: Three dimensional custom-made PEEK cranioplasty. *Surg Neurol Int* 12:587, 2021
16. Jamróz W, Szafraniec J, Kurek M, Jachowicz R: 3D printing in pharmaceutical and medical applications - recent achievements and challenges. *Pharm Res* 35(9):176, 2018
17. Kadakia RJ, Wixted CM, Allen NB, Hanselman AE, Adams SB: Clinical applications of custom 3D printed implants in complex lower extremity reconstruction. *3D Print Med* 6(1):29, 2020

18. Maniscalco JE, Garcia-Bengochea F: Cranioplasty: A method of prefabricating alloplastic plates. *Surg Neurol* 2(5):339-341, 1974
19. Mobbs RJ, Parr WCH, Choy WJ, McEvoy A, Walsh WR, Phan K: Anterior lumbar interbody fusion using a personalized approach: Is custom the future of implants for anterior lumbar interbody fusion surgery? *World Neurosurg*, 2019 (Online ahead of print)
20. Parr WCH, Burnard JL, Wilson PJ, Mobbs RJ: 3D printed anatomical (bio)models in spine surgery: Clinical benefits and value to health care providers. *J Spine Surg* 5(4):549-560, 2019
21. Phan K, Sgro A, Maharaj MM, D'Urso P, Mobbs RJ: Application of a 3D custom printed patient specific spinal implant for C1/2 arthrodesis. *J Spine Surg* 2(4):314-318, 2016
22. Policicchio D, Casu G, Dipellegrini G, Doda A, Muggianu G, Boccaletti R: Comparison of two different titanium cranioplasty methods: Custom-made titanium prostheses versus precurved titanium mesh. *Surg Neurol Int* 11:148, 2020
23. Sachs EM, Haggerty JS, Cima MJ, Williams PA: Three-Dimensional Printing Techniques, 1993. <https://patents.google.com/patent/US5340656A/en>
24. Sanan A, Haines SJ: Repairing holes in the head: A history of cranioplasty. *Neurosurgery* 40(3):588-603, 1997
25. Shah AM, Jung H, Skirboll S: Materials used in cranioplasty: A history and analysis. *Neurosurg Focus* 36(4):E19, 2014
26. Sheha ED, Gandhi SD, Colman MW: 3D printing in spine surgery. *Ann Transl Med* 7 Suppl 5:S164, 2019
27. Tack P, Victor J, Gemmel P, Annemans L: 3D-printing techniques in a medical setting: A systematic literature review. *Biomed Eng Online* 15(1):115, 2016
28. Tai BL, Rooney D, Stephenson F, Liao P-S, Sagher O, Shih AJ, Savastano LE: Development of a 3D-printed external ventricular drain placement simulator: Technical note. *J Neurosurg* 123(4):1070-1076, 2015
29. Tehli O, Dursun AM, Temiz C, Solmaz I, Kural C, Kutlay M, Kacar Y, Ezgu MC, Oguz E, Daneyemez MK, Izci Y: Computer-based surgical planning and custom-made titanium implants for cranial fibrous dysplasia. *Neurosurgery* 11 Suppl 2:213-219, 2015
30. Urist MR, O'Connor BT, Burwell RG: Bone Grafts, Derivatives, and Substitutes. Butterworth-Heinemann, Oxford: Boston, 1994
31. Vakharia VN, Vakharia NN, Hill CS: Review of 3-dimensional printing on cranial neurosurgery simulation training. *World Neurosurg* 88:188-198, 2016
32. Wilasrusmee C, Suvikrom J, Suthakorn J, Lertsithichai P, Sittisieriprapip K, Proprom N, Kittur DS: Three-dimensional aortic aneurysm model and endovascular repair: An educational tool for surgical trainees. *Int J Angiol* 17(3):129-133, 2008
33. Woo SH, Sung MJ, Park KS, Yoon TR: Three-dimensional-printing technology in hip and pelvic surgery: Current landscape. *Hip Pelvis* 32(1):1-10, 2020
34. 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(8):74, 2014
35. Yim HW, Nguyen A, Kim YK: Facial contouring surgery with custom silicone implants based on a 3D prototype model and CT-scan: A preliminary study. *Aesthetic Plast Surg* 39(3):418-424, 2015