



Araştırma

Geliş Tarihi: 08.04.2025
Kabul Tarihi: 25.04.2025

DOI: 10.5137/1019-5157.TND.3553

Kişiyeye Özel Üç Boyutlu Titanyum Kraniyoplasti Uygulamalarında Postoperatif Sonuçların Değerlendirilmesi: Retrospektif Analiz

Evaluation of Postoperative Outcomes in Patient-specific Three Dimensional Titanium Cranioplasty: A Retrospective Analysis

Sait KAYHAN¹, Ecma YILMAZ²¹Sağlık Bilimleri Üniversitesi, Gülhane Eğitim ve Araştırma Hastanesi, Beyin ve Sinir Cerrahisi Anabilim Dalı, Ankara, Türkiye²Sağlık Bilimleri Üniversitesi, Gülhane Tıp Fakültesi, Ankara, Türkiye

Yazışma adresi: Sait KAYHAN ✉ dr.saitkayhan@icloud.com

ÖZ

AMAÇ: Bu çalışmada, kişiyeye özgü titanyum implantlar kullanılarak gerçekleştirilen kraniyoplasti cerrahisinin yönetimi ele alınmakta ve bu yönetimin, ameliyat sürecinde ortaya çıkabilecek komplikasyonlarla ilişkisi değerlendirilmektedir.

GEREÇ ve YÖNTEMLER: 1 Ocak 2019 ve 1 Ocak 2024 yılları arasında kınığimizde yapılan 42 titanyum kraniyoplasti olgusu retrospektif olarak değerlendirilmiştir. Hastaların demografik verileri, ameliyat öncesi ve sonrası parametreleri ile komplikasyonları analiz edilmiştir. Kraniyoplasti amacıyla kullanılacak titanyum implant, seçici lazer eritme teknolojisini kullanan üç boyutlu (3B) yazıcı ile üretilmiştir. Verilerin analizi için IBM SPSS v.25 kullanılmıştır.

BULGULAR: Komplikasyon gelişen hasta grubunda, komplikasyon gelişmeyen gruba kıyasla operasyon süresi ($103,8 \pm 22,2$ ve $81 \pm 18,9$; $p=0,002$), kan kaybı miktarı ($210,6 \pm 25,1$ ve $169,4 \pm 73,1$; $p=0,041$) ve kraniyal defekt alanı ($57,4 \pm 13,4$ ve $41,2 \pm 12,3$; $p=0,001$) istatistiksel olarak anlamlı düzeyde daha yüksek bulunmuştur. Komplikasyon görülen hastalarda primer patoloji olarak travmatik beyin hasarı (TBH) da daha sık görülmüştür ($p=0,004$).

SONUÇ: Bu çalışma, 3B yazıcı ile üretilen kişiyeye özel titanyum plakaların kullanıldığı kraniyoplasti cerrahisinde komplikasyonları, bunlarla ilişkili faktörleri ve cerrahi etkinliği değerlendirmektedir. Bulgular; ameliyat süresi, kan kaybı ve defekt boyutunun komplikasyon gelişiminde belirleyici olduğunu göstermiştir. TBH olan hastalarda komplikasyon oranları daha yüksektir. Titanyum implantlar biyoy uyumlu ve dayanıklı olsa da, çeşitli komplikasyonlara neden olmaktadır. Modern 3B yazıcı teknolojileri cerrahi başarıyı artırmaktadır. Titanyum plaka ile yapılan kraniyoplastilerin etkinliklerini uzun vadede değerlendirecek daha ileri çalışmalar gerekmele beraber, bu titanyum implantlar umut vadetmektedir; ancak hasta seçimi, cerrahi tekniklerin iyileştirilmesi ve titiz bir postoperatif takip gereklidir.

ANAHTAR SÖZCÜKLER: 3B yazıcı, Komplikasyon, Kraniyoplasti, Titanyum implant

ABSTRACT

AIM: This study focuses on the management of cranioplasty using patient-specific titanium implants and evaluates the association between this management and complications that may occur during surgery.

MATERIAL and METHODS: 42 titanium cranioplasty cases performed in our clinic between January 1, 2019 and January 1, 2024 were retrospectively evaluated. Demographic data, intraoperative and postoperative parameters, and complications were analyzed. The titanium implant for cranioplasty was fabricated with a three-dimensional (3D) printer using selective laser melting technology. IBM SPSS v.25 was used for data analysis.

RESULTS: The operation time (103.8 ± 22.2 vs. 81 ± 18.9 , $p=0.002$), amount of blood loss (210.6 ± 25.1 vs. 169.4 ± 73.1 , $p=0.041$) and cranial defect area (57.4 ± 13.4 vs. 41.2 ± 12.3 , $p=0.001$) were found to be significantly higher in the patient group with complications compared to the group without complications. Traumatic brain injury (TBI) as the primary pathology was also more common in patients with complications ($p=0.004$).

CONCLUSION: This study evaluates complications, associated factors, and surgical efficacy in cranioplasty surgery using 3D-printed titanium plates. The findings indicate that operation time, blood loss, and defect size are significant contributors to the development of complications. The study found that patients with TBI were more prone to complications. While titanium implants are biocompatible and durable, they are associated with various complications. Advanced 3D printing technologies enhance surgical outcomes. Although further studies are necessary to assess the long-term efficacy of cranioplasty surgeries with titanium plates, these titanium implants are promising but require patient selection, improved surgical techniques, and critical postoperative follow-up.

KEYWORDS: 3D printer, Complication, Cranioplasty, Titanium implant

■ GİRİŞ

Kraniyoplasti, kökenleri MÖ 3000 yıllarına dayanan ve modern nöroşirürjide yaygın olarak uygulanan bir cerrahi prosedürdür (5). Herhangi bir etiyolojiye bağlı olarak gelişen kraniyal defektlerin, kraniyoplasti yöntemiyle rekonstrüksiyonu, beynin dışsal etmenlere karşı korunmasını sağlamanın yanı sıra, hastanın estetik memnuniyetini yeniden kazandırarak; beyin omurilik sıvısının (BOS) dolaşımını ve serebral kan akımını iyileştirmeye yardımcı olur. Ayrıca, nörolojik fonksiyonların geri kazanım sürecini hızlandıran bu prosedür, yönetimi açısından büyük bir öneme sahiptir (6,19). Kraniyoplasti, sağladığı faydalarla birlikte, çeşitli komplikasyon risklerini de beraberinde getirmektedir. Bu komplikasyonlar cerrahi prosedürün kendisi dışında; hastanın klinik durumuna ve komorbiditelerine, kraniyal defektin özelliklerine, kullanılan kraniyoplasti materyaline ve kraniyoplastinin endikasyonuna bağlıdır (7).

Kişiyi özel implant teknolojilerindeki gelişmeler, komplikasyon oranlarını azaltmanın yanı sıra daha başarılı postoperatif sonuçlar elde edilmesini sağlamaktadır. Bu üretim süreci, tam kapsamlı bir kraniyal rekonstrüksiyon sunarak intraoperatif verimliliği artırmaktadır. İmplant üretiminde kullanılabilecek çeşitli materyaller bulunmakta olup, her birinin kendine özgü avantajları ve dezavantajları mevcuttur. Hidroksiapatit (HA) osteokondüktif bir materyal olmasına karşın, travma ve mekanik strese karşı direnç seviyesi düşüktür. (1). Polieter eter keton (PEEK), etkili bir rekonstrüksiyon imkânı sunsa da yüksek maliyeti nedeniyle kullanım alanı sınırlı olabilmektedir (12). Polimetil metakrilat (PMMA) ise maliyet açısından avantajlı olup radyolüsent özellik göstermesine karşın, özellikle geniş kraniyal defektlerin onarımında yeterli stabiliteyi sağlayamayabilir (11). Titanyum, inert yapısı, düşük enfeksiyon oranları ve rijitliği sayesinde travmaya karşı dayanıklılığı ile öne çıkmakta-

dır. Ayrıca, geliştirilen yeni teknikler sayesinde uzun vadede, otolog kemik greftine kıyasla bile daha düşük reoperasyon oranları ile maliyet açısından avantaj sağlamaktadır. Bununla birlikte, en önemli dezavantajı radyoopak olması ve radyolojik görüntülemelerde artefakt oluşumuna neden olabilmesidir (2,3,4,9,10,19,20,22,23).

Bu çalışmada, kişiyi özel üretilen titanyum implantlarla gerçekleştirilen kraniyoplasti operasyonları sonrasında gelişen komplikasyonların ve bu komplikasyonlarla ilişkili olabilecek parametrelerin retrospektif veriler doğrultusunda değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

■ GEREÇ ve YÖNTEMLER

Bu çalışmada, 1 Ocak 2019 ile 1 Ocak 2024 tarihleri arasında kliniğimizde gerçekleştirilen titanyum kraniyoplasti olguları retrospektif olarak incelenmiştir. Revizyon kraniyoplastileri, tek aşamalı kraniyoplasti olguları ve takip dosyasında eksiklik bulunan hastalar çalışma dışı bırakılarak, toplam 42 hasta değerlendirilmeye alınmıştır. Her hastadan veya hastanın bilinci kapalı olduğu durumlarda birinci derece yakınlarından, uygulanacak cerrahi girişimi onayladıklarını ve klinik verilerinin ile fotoğraflarının bilimsel çalışmalarda kullanılmasına izin verdiklerini belirten aydınlatılmış onam formu, ıslak imza ile alınmıştır.

Hastalar; demografik veriler (yaş, cinsiyet), komorbiditeler (diyabetes mellitus, hipertansiyon), intraoperatif parametreler (kan kaybı, operasyon süresi), kraniyoplasti endikasyonları, kraniyal defektin tarafı ve boyutu, hastanede yatış süresi, postoperatif komplikasyonlar, komplikasyon gelişme zamanı, mortalite oranı, primer cerrahi ve kraniyoplasti arasındaki süre ve takip süresi açısından analiz edilmiştir. Çalışmaya ait veriler, hastane bilgi yönetim sistemi (FONET) ve ameliyat dosyalarının incelenmesi yoluyla elde edilmiştir.

Her hastada, bilgisayar destekli cerrahi planlamayı kolaylaştırmak ve kişiyi özel titanyum implantların üretimini sağlamak amacıyla, preoperatif olarak 0.5 mm dilim kalınlığında beyin bilgisayarlı tomografi (BT) görüntülemesi, helikal tarayıcı kullanılarak elde edilmiştir. Defekt onarımının doğrulanması amacıyla postoperatif dönemde de BT taraması gerçekleştirilmiştir.

Ameliyat öncesinde, hastaların defekt alanları, skalp deformiteleri ve kişiyi özel olarak üç boyutlu yazıcılarla üretilen örnek kitleler fotoğraflanarak kayıt altına alınmıştır.

Bu çalışma, hastanemiz etik kurulu tarafından onaylanmıştır (Tarih: 24.01.2024, No: 2024/23).

Cerrahi Prosedür

Hasta supin pozisyonunda yatırılarak defekt alanına uygun şekilde pozisyonlandırıldı. Gerekli cilt antisepsisi sağlandıktan sonra hasta steril olarak örtüldü. Cerrahi girişim için, defekt bölgesine uygun olarak önceki insizyon hattı kullanılarak cilt ve cilt altı dokular açıldı. Skalp, bistüri, disektör ve makas yardımıyla dikkatli bir şekilde dura materden diseke edilerek kraniyal defektin sınırları ve sağlam kemik yapıları net bir şekilde ortaya kondu. Hemostaz sağlandıktan sonra titanyum kraniyoplasti kitinin defekte uygunluğu kontrol edildi.

Dura mater, belirli noktalardan ipek askı sütür materyali ile kraniyoplasti kitine asıldı. Defektin başarılı bir şekilde kapatıldığı teyit edildikten sonra titanyum implant, ameliyat öncesinde 3-Matic yazılımı (Materialise) kullanılarak planlanan boyutta ve sayıda mini vida ile sağlam kemik dokusuna fiks edildi. Cerrahi saha drenajının sağlanması amacıyla mesafeye bir adet hemovak dren yerleştirildi. Kanama kontrolü tamamlandıktan sonra, anatomik katmanlara uygun şekilde yara kapatıldı ve operasyon sorunsuz bir şekilde tamamlandı. Operasyon süresi ve toplam kan kaybı kayıt altına alındı. Hiçbir hastada kan kaybına bağlı olarak transfüzyon ihtiyacı izlenmedi.

Postoperatif Komplikasyonların Değerlendirilmesi ve Yönetim Stratejileri

Kraniyoplasti cerrahisi sonrası gelişen komplikasyonların yönetimi multidisipliner bir yaklaşımı gerektirmektedir. Çalışmamızda, postoperatif dönemde karşılaşılan komplikasyonlar ve bu komplikasyonlara yönelik uygulanan müdahaleler aşağıda sunulmuştur.

Postoperatif hidrosefali gelişen bir hastaya ventriküloperitoneal (VP) şant implantasyonu uygulanmış olup, hastanın hidrosefali kliniğinde belirgin düzelme sağlanmıştır. Postoperatif nöbet geçiren iki hasta, Nöroloji Kliniği'ne konsülte edilerek antiepileptik tedaviye başlanmış ve nöbetler kontrol altına alınmıştır.

Postoperatif dönemde üç hastada subdural hematoma gelişmiştir. Bu hastalardan ikisi cerrahi müdahale gerektirmiş ve opere edilmiştir. Diğer hastada ise hematomun gerilediği beyin BT incelemeleri ile takip edilmiş ve ek cerrahi girişime ihtiyaç duyulmamıştır.

Ayrıca, 11 hastada postoperatif dönemde titanyum kraniyoplasti kiti ile ilişkili ayrılma komplikasyonu saptanmıştır. Ayrılma komplikasyonu, implantın açığa çıktığı veya implantın açığa çıkmadan sadece cilt defektiyle sınırlı kaldığı komplikasyon-

ları kapsamaktadır. Bu hastalarda, yara yeri enfeksiyonunu değerlendirmek için alınan yara yeri kültürlerinde herhangi bir üreme saptanmamıştır. Bu hastalar tekrar operasyona alınarak titanyum kraniyoplasti kiti çıkarılmış, subdural mesafe vankomisin ile yıkanmış ve oluşan skalp deformiteleri onararak cerrahi işlem sonlandırılmıştır. Postoperatif dönemde enfeksiyon açısından profilaktik antibiyotik tedavisi başlanmıştır. Bu 11 hastanın takip sürecinde, hastalar taburculuk sonrası 6. ayda kontrol muayenesine çağırılmış ve kontrastlı kraniyal manyetik rezonans görüntüleme (MRG) ile değerlendirilmiştir. Görüntüleme sonuçları temiz olarak değerlendirilen hastalar için kişiyi özel olarak tasarlanmış üç boyutlu titanyum kraniyoplasti kiti yeniden hazırlanarak cerrahi girişim uygulanmıştır. Revizyon uygulanan bu hastaların sonuçları çalışmaya dahil edilmemiştir.

Postoperatif bir yıllık sürede, ek komorbiditelere bağlı olarak dört hastada mortalite gelişmiş; bu hastaların üçünde kardiyak, birinde ise solunumsal nedenler ön planda olmuştur.

Kişiyi Özel Implantların Üretimi

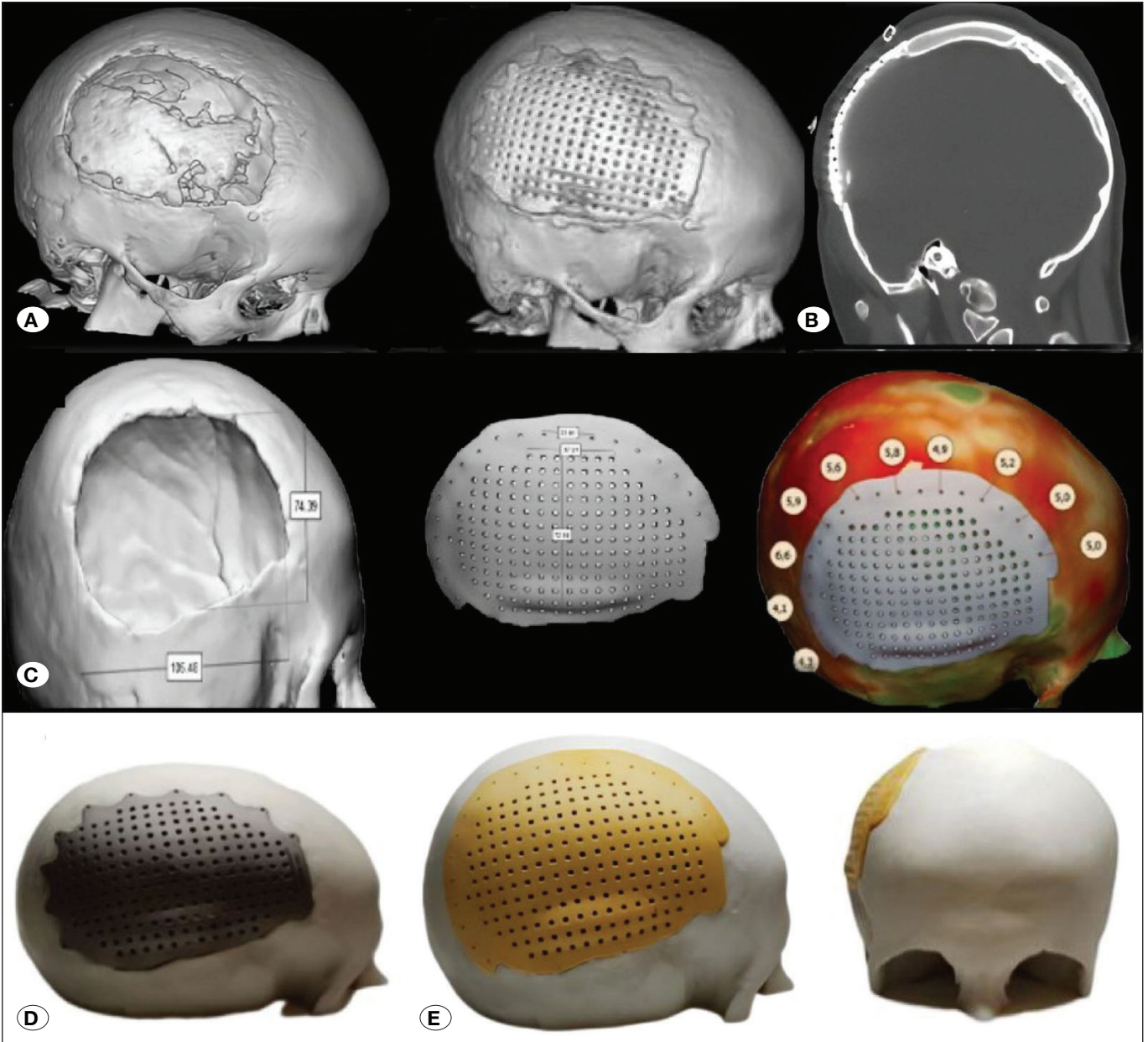
Cerrahi planlama ve titanyum implantların üretimi, kurumumuzun Medikal Tasarım ve Üretim Merkezi'nde gerçekleştirildi. BT tarama verileri, Tıpta Dijital Görüntüleme ve İletişim (DICOM) arayüzü aracılığıyla tarayıcı konsolundan planlama çalışma istasyonuna dijital olarak aktarıldı. Kraniyal defekt alanlarının ölçümleri ve bölgeleri kayıt altına alındı.

Görüntüleme verileri, Mimics Innovation Suite yazılımı (Materialise, Leuven, Belçika) kullanılarak işlendi. Cerrahi planlama, ileri düzey planlama ve görüntü işleme yazılımı yardımıyla cerrah ile medikal tasarım mühendisi arasındaki iş birliğiyle gerçekleştirildi. Bu yazılım titanyum implantın üç boyutlu (3B) BT veri seti içinde hassas bir şekilde konumlandırılmasına olanak sağladı.

Planlama aşamasının tamamlanmasının ardından, seçici lazer eritme teknolojisi (selective laser melting technology) (M2 Wallet, Concept Laser gmbH, Hofmann Innovation Group, Lichtenfels, Almanya) ve tıbbi Ti-alloy Rematitan (Ti6Al4V, sınıf 23 [ELI]) kullanan bir metal 3B yazıcı kullanılarak titanyum kraniyoplasti kiti üretildi. Ayrıca, Z-Corp 650 (3D Systems, Rock Hill, Güney Karolina) kullanılarak BT tarama verilerinden bir kafatası modeli oluşturuldu. Öncelikle bu model üzerinde bilgisayar destekli titanyum implant, hastanın kemik defektine sanal olarak yerleştirildi. Daha sonra, titanyum implant sterilize edilerek ameliyat sırasında kullanılmak üzere hazır hale getirildi. Cerrahi planlama ve implant üretim süreci, her hasta için yaklaşık dört hafta sürdü (Şekil 1).

İstatistiksel Analiz

Veriler IBM SPSS v.25 kullanılarak analiz edilmiştir. Sürekli verilerin dağılımını değerlendirmek için Shapiro-wilk testi kullanılmıştır. Sayısal veriler ortalama ve standart sapma veya ortanca ve minimum-maksimum değerler olarak uygun şekilde ifade edilmiştir. Kategorik veriler için frekans ve yüzde kullanılmıştır. Kategorik değişkenleri karşılaştırmak için Ki-kare (χ^2) testi ve Fisher'in kesin testi kullanılırken, sürekli değişkenleri karşılaştırmak için bağımsız örneklem t-testi ve Mann-Whitney U testi kullanılmıştır. İstatistiksel anlamlılık düzeyi olarak p değeri 0.05 kabul edilmiştir.



Şekil 1: **A)** Kraniyal defekt onarımının preoperatif ve postoperatif olarak üç boyutlu (3B) ortamda gösterilmesi. **B)** Ameliyat sonrası bilgisayarlı tomografi (BT), sagittal kesit. **C)** Yazılım ortamında defekte uygun implant boyutlarının ve kemik derinliğine göre uygun vida boyutlarının hesaplanması. **D)** 3B yazıcı ile üretilmiş titanyum plaka. **E)** İmplantın üretiminden önce oluşturulan örnek kit.

BULGULAR

Çalışmaya, titanyum kraniyoplasti uygulanan ve yaş ortalaması 40,6 yıl (SD=13,8; min-maks: 19-72 yıl) olan toplam 42 hasta (21 hasta sağ yarım küre, 21 hasta sol yarım küre) dâhil edilmiştir. Hastaların ortalama operasyon süresi 90,2 dk (SD=23, min-maks: 60-145 dk) olarak hesaplanırken, operasyon sırasında meydana gelen ortalama kan kaybı 186,1 ml (SD=61,6; min-maks: 80-290 ml) olarak belirlenmiştir. Ortalama kraniyal defekt alanı 47,7 cm² (SD=15, min-maks: 28-70 cm²) olup, ortalama hastanede yatış süresi 8 gün (SD=2,2; min-maks: 4-12 gün) olarak saptanmıştır. Primer cerrahi ile kraniyoplas-

ti arasındaki süre ortalama 151,7 gün (SD = 18,6; min-maks: 117-184 gün) ve hastaların ortalama takip süresi ise 36,8 ay (SD=14,4; min-maks: 12-60 ay) olarak hesaplanmıştır.

Cinsiyet dağılımı incelendiğinde, hastaların %47,6'sı erkek (n=20) ve %52,4'ü kadın (n=22) olarak belirlenmiştir. Hipertansiyon ve diabetes mellitus görülme sıklığı benzer olup, her iki hastalık da %16,7 (n=7) oranında tespit edilmiştir (Tablo I).

Hastaların primer patolojileri kayıt altına alınmıştır. Hastaların yaklaşık üçte birine (n=14, %33,3), travmatik beyin hasarı (TBH) nedeniyle dekompresif kraniyektomi (DK) yapılmıştır. Diğer dekompresif kraniyektomi nedenleri arasında en sık görü-

Tablo I: Hasta grubunda Analiz Edilen Parametreler

Parametre	Değer
Yaş, yıl, ortalama $\pm$ SD	40,6 $\pm$ 13,8
Cinsiyet, kadın, n (%)	22 (52,4)
Hipertansiyon, n (%)	7 (16,7)
Diabetes mellitus, n (%)	7 (16,7)
Kraniotomi defekt alanı, cm ² , ortalama $\pm$ SD	47,7 $\pm$ 15
Kraniyal defektin tarafı, sağ, n (%)	21 (50)
Operasyon süresi, dakika, ortalama $\pm$ SD	90,2 $\pm$ 23
Kan kaybı, ml, ortalama $\pm$ SD	186,1 $\pm$ 61,6
Yatış süresi, gün, ortalama $\pm$ SD	7,7 $\pm$ 2,2
Primer cerrahi ve kraniyoplasti arasındaki süre, gün, ortalama $\pm$ SD	151,7 $\pm$ 18,6
Takip süresi, ay, ortalama $\pm$ SD	36,9 $\pm$ 14,4
Komplikasyon gelişme süresi, gün, ortalama $\pm$ SD	23 $\pm$ 16,5
Komplikasyon, n (%)	17 (40,5)
Mortalite, 1 yıllık, n (%)	4 (9,5)

Not: SD: Standart deviasyon.

Tablo II: Primer Patolojiler

Primer Patoloji	n (%)
Travmaya bağlı dekompresif kraniektomi	14 (33,3)
Diğer dekompresif kraniektomi	12 (28,6)
Malign orta serebral arter (MCA) infarktı	4 (9,5)
Spontan intraserebral kanama	4 (9,5)
Anevrizma kaynaklı kanamalar	3 (7,2)
Arteriyovenöz malformasyon	1 (2,4)
Tümör cerrahisi	7 (16,7)
İntrakranial enfeksiyon	6 (14,3)
Enfekte kemik çıkartımı	3 (7,1)

Tablo III: Travma Varlığına Göre Komplikasyon Görülme Sıklığı

Komplikasyon	Primer patoloji-Travma öyküsü		p-değeri
	Var	Yok	
Var	10 (%71,4)	7 (%25)	0,004
Yok	4 (%28,6)	21 (%75)	

len primer patolojiler; malign orta serebral arter infarktı (n=4, %9,5), spontan intraserebral kanama (n=4, %9,5), anevrizma kaynaklı kanamalar (n=3, %7,2) ve arteriyovenöz malformasyon (n=1, %2,4) idi (Tablo II). Yapılan dört gözlü analizde, trav-

maya bağlı DK uygulanan hastalarda diğer nedenlere kıyasla komplikasyon gelişme oranının istatistiksel olarak anlamlı düzeyde daha yüksek olduğu saptanmıştır (p=0,004; Tablo III).

Çalışmaya dâhil edilen hastaların %40,5'inde (n=17) komplikasyon gelişmiş olup, en sık gözlenen komplikasyon ayrılmadır (n=11, %26,2) (Şekil 2). Diğer komplikasyonlar sırasıyla hematom (n=3, %7,1), nöbet (n=2, %4,8) ve postoperatif hidrosefali (n=1, %2,4) olarak belirlenmiştir. Hastalarda kraniyoplasti materyaline ilişkin herhangi bir enfeksiyon gelişmemiştir. Komplikasyon gelişen hastaların %35,3'ü kadın (n=6) olup, cinsiyet ile komplikasyon gelişimi arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki saptanmamıştır (p=0,07). Ortalama komplikasyon gelişim süresi 23 gün (SD=16,5; min-maks: 2-55 gün) olarak hesaplanmıştır.



Şekil 2: Titanyum kraniyoplastinin bir komplikasyonu olarak “ayrılma”. **A)** İmplantın açığa çıktığı ayrılma. **B)** İmplant açığa çıkmaksızın kemik sınırları üzerinden ayrılma.

Tablo IV: Komplikasyon Varlığına Göre Hastaların Karşılaştırılması

Parametre	Komplikasyon varlığı		p-değeri
	Yok (n=25)	Var (n=17)	
Yaş, yıl, ortalama $\pm$ SD	40,2 $\pm$ 14,1	41,1 $\pm$ 13,7	0,888
Cinsiyet, kadın, n (%)	16 (64)	6 (35,3)	0,067
Kraniyal defekt alanı, cm ²	41,2 $\pm$ 12,3	57,4 $\pm$ 13,4	0,001
Operasyon süresi, dakika, ortalama $\pm$ SD	81 $\pm$ 18,9	103,8 $\pm$ 22,2	0,002
Kan kaybı, ml, ortalama $\pm$ SD	169,4 $\pm$ 73,1	210,6 $\pm$ 25,1	0,041
Yatış süresi, gün, ortalama $\pm$ SD	7,8 $\pm$ 2,2	7,5 $\pm$ 2,3	0,776
Takip süresi, ay, ortalama $\pm$ SD	35,6 $\pm$ 14,8	38,8 $\pm$ 14,1	0,465
Mortalite, 1 yıllık, n (%)	2 (8)	2 (11,8)	0,683

SD: Standart deviasyon.

Hastalar, komplikasyon gelişimine göre iki gruba ayrılmıştır. Gruplar arası karşılaştırmada yaş ($p=0,89$) ve hastanede yatış süresi ($p=0,77$) açısından anlamlı bir fark saptanmazken, kan kaybı ($p=0,04$), operasyon süresi ($p=0,002$) ve kraniyal defekt alanı ($p=0,001$) açısından istatistiksel olarak anlamlı fark tespit edilmiştir. Komplikasyon gelişen hasta grubunda, komplikasyon gelişmeyen gruba kıyasla; operasyon süresi daha uzun, kan kaybı miktarı daha fazla ve kraniyal defekt alanı daha büyük bulunmuştur. Çalışmada bir yıllık mortalite oranı %9,5 ($n=4$) olarak hesaplanmıştır. Hayatını kaybeden hastaların yarısında komplikasyon gelişmiş olmakla birlikte, komplikasyon varlığı ile mortalite arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki saptanmamıştır ($p=0,68$) (Tablo IV).

TARTIŞMA

Kraniyoplasti, genellikle primer patolojinin tedavisine yönelik gerçekleştirilen dekompresif kraniyektomi veya tümör rezek-

siyonu gibi primer cerrahilerden sonra sekonder bir girişim olarak uygulanmaktadır (3,9,10,20,23). Nöroşirürji pratiğinde yaygın olarak kullanılmasına rağmen, ortalama %15’lik bir komplikasyon oranına sahiptir. Bu prosedürde kullanılan materyaller, hastanın kendi kemik grefti ya da titanyum gibi alloplastik implantlardan oluşmaktadır. Eğer primer patoloji defekt alanını intraosseöz düzeyde etkilememişse, otolog kemik grefti kraniyoplasti için tercih edilen bir seçenek olmaktadır. Ancak yaş, kraniyoplastinin zamanlaması ve primer patolojinin yol açtığı anatomik elverişsizlikler gibi faktörler, otolog kemik grefti ile gerçekleştirilen kraniyoplasti prosedürlerinde kemik rezorpsiyonu oranının tüm yaş gruplarında %50’lere kadar çıkmasına neden olabilmektedir (10,17,20,22).

Postoperatif Komplikasyonlar ve Yönetim

Mukherjee ve ark.nın 174 olguluk çalışmalarında, titanyum kraniyoplasti sonrası toplam komplikasyon oranı %26 olarak belirlenmiştir. Komplikasyon gelişen hastaların %53,3’ünde, TBH

nedeniyle DK uygulandığı saptanmıştır (19). Çalışmamızda ise toplam komplikasyon oranı %40,5 olup; komplikasyon gelişen hastaların %58,8'inde TBH kaynaklı DK yapılmıştır. İki çalışma karşılaştırıldığında, toplam komplikasyon oranları ve komplikasyon gelişen hastalardaki TBH etiolojisinin oranı açısından istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamıştır ($p=0,091$ ve $p=0,78$). Bununla birlikte, TBH öyküsü olan hastalarda kraniyoplasti sonrası komplikasyon oranı, non-travmatik etiyojije sahip hastalara kıyasla her iki çalışma için de istatistiksel olarak anlamlı düzeyde yüksek bulunmuştur ($p=0,043$ ve $p=0,04$).

Titanyum kraniyoplasti sonrası en sık karşılaşılan komplikasyonlardan biri, implantın bulunduğu bölgedeki sütur hatlarının veya implant sınırlarındaki dokunun ayrılmasıdır (15). Titanyum implantlar özelinde, bu durumun insizyon hattından bağımsız olarak implantın metal vidalarla sabitlenmesi sonucu da meydana gelebileceği bildirilmiştir (23). Ayrılma sonucunda yerleştirilen titanyum implantın çıplak gözle görülebilir hale gelmesi de mümkündür. Yapılan bir sistematik derlemede, TBH nedeniyle DK uygulanan hastaların %51,3'üne titanyum kraniyoplasti yapıldığı ve bu hastaların %11'inde implantın açığa çıktığı tespit edilmiştir. Bu oran, aynı çalışmada bildirilen enfeksiyon oranından (%8) daha yüksektir (8). Zhu ve ark.nın sistematik derlemesinde ise titanyum kraniyoplasti yapılan hastalarda postoperatif hematoma, nöbet ve implant açığa çıkma oranları sırasıyla %2,4; %6,7 ve %8,9 olarak belirlenmiştir (25). Kim ve ark.nın yaptığı çalışmada ise 20 hastaya titanyum ağ (mesh) yerleştirilmiş ve hastaların %9'unda implant ayrılması, toplamda %55'inde ise kozmetik sorunlar (implant ekstrüzyonu, açığa çıkma veya insizyon hattı ayrılması) gözlenmiştir (14). Çalışmamızda da en sık gözlenen komplikasyon ayrılma olup, bu oran %26,2 olarak bulunmuştur. Bu orana, defekt alanında implant açığa çıkmaksızın oluşan yara defektleri de dahil edilmiştir. Postoperatif hematoma ve nöbet oranları ise literatürde bildirilen verilerle benzerlik göstermektedir (6,25).

Postoperatif komplikasyonlar, revizyon kraniyoplasti gerekliliğini doğurabilir ve bu durum hastanede yatış süresinin uzamasına, toplam maliyetin artmasına ve ek komplikasyon riskine neden olabilir. Bu bağlamda, uygun kraniyoplasti materyalinin seçimi büyük önem taşımaktadır. Literatürde, titanyum ile gerçekleştirilen kraniyoplasti prosedürlerinde reoperasyon riskinin daha düşük olduğu bildirilmiştir (8,25). Aynı zamanda, revizyon cerrahileri açısından değerlendirildiğinde, titanyum diğer alloplastik materyallere kıyasla daha avantajlı bir seçenek olarak öne çıkmaktadır (3). PMMA ve otolog kemik greftleri ile yapılan kraniyoplasti sonrası titanyum plaka (plate) kullanılarak gerçekleştirilen 43 revizyon kraniyoplasti olgusunda, komplikasyon oranı %11,6 olarak bildirilmiştir (13).

Revizyon cerrahisi genellikle, rekonstrüksiyon yapılan bölgedeki skalp dokusunun optimal iyileşme sürecinin tamamlanması ve mevcut bir enfeksiyon süreci varsa bunun tedavi edilmesi göz önünde bulundurularak, implantın çıkarılmasından belirli bir süre sonra uygulanmaktadır. Moneim ve ark.nın titanyum plaka kullanarak gerçekleştirdikleri dört revizyon kraniyoplasti olgusunda, implantın açığa çıkması nedeniyle revizyon cerrahisi gerekmiş, ancak bu prosedür iki aşamalı (implant çıkarılması ve re-implantasyon) bir işlem yerine tek bir cerrahi müdahale ile tamamlanmıştır. Çıkarılan titanyum plaka intrao-

peratif olarak otoklavda 45-50 dakika sterilize edildikten sonra tekrar implante edilmiştir. Maksimum 52 ay süren takip sürecinde, iki hastada herhangi bir komplikasyon gelişmezken, diğer iki hastada rekürrens gözlenmiştir (18).

Komplikasyon Gelişen ve Gelişmeyen Hastaların Karşılaştırılması

Çalışmamızda, postoperatif komplikasyon gelişen ve gelişmeyen hastalar karşılaştırıldığında, komplikasyon gözlenen hastalarda operasyon süresinin daha uzun olduğu, kan kaybının belirgin şekilde arttığı ve kraniyal defekt alanının istatistiksel olarak anlamlı düzeyde daha büyük olduğu görülmüştür. Bu bulgular, bu değişkenlerin komplikasyon gelişimiyle ilişkili olabileceğini düşündürmektedir.

Kraniyal defekt alanının boyutunun postoperatif komplikasyon riskini artırıp artırmadığı literatürde tartışmalı bir konu olmaya devam etmektedir. Hill ve ark., titanyum kraniyoplasti uyguladıkları 92 hastalık serilerinde, kraniyal defekt alanının boyutunun yalnızca hastanede yatış süresi ile ilişkili olduğunu ve postoperatif komplikasyon oranları üzerinde anlamlı bir etkisinin bulunmadığını rapor etmiştir (9). Buna karşın, başka bir çalışmada, postoperatif komplikasyon gelişen hastaların kraniyal defekt alanlarının daha büyük olduğu gösterilmiş olup, defekt boyutunun $98,3 \text{ cm}^2$ 'ye karşı $76,2 \text{ cm}^2$ olduğu saptanmıştır ($p=0,017$) (3). Bu iki çalışma her ne kadar farklı sonuçlara ulaşmış olsa da, büyük kraniyal defektlerin çevre dokularda daha fazla travmaya neden olarak, enfeksiyon gelişimi için elverişli bir ortam yaratabileceği, belirgin orta hat kaymalarına yol açarak serebrospinal sıvı kaçağı riskini artırabileceği ve dolayısıyla komplikasyon oranlarını yükseltebileceği yönünde ortak bir görüş bildirmektedir.

Ayrıca, komplikasyon gelişen hasta grubunda operasyon süresi ve intraoperatif kan kaybının anlamlı düzeyde daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Travmatik etiyojije sahip hastalarda, vaskülarizasyonu bozulmuş ve trofik özellikleri zayıflamış bir skalp dokusu üzerinde cerrahi işlemin gerçekleştirilmesi, postoperatif komplikasyon riskini artırabileceği gibi intraoperatif parametreleri de olumsuz yönde etkileyebilir. Travmatik beyin hasarı (TBH), kraniyal defekt alanındaki vasküler bütünlüğü bozarak enfeksiyona yatkınlığı artırabilir ve doku iyileşmesini geciktirebilir (21,24).

Yeap ve ark., titanyum ağ kullanılan 88 hastalık serilerinde toplam komplikasyon oranını %55,6 gibi oldukça yüksek bir düzeyde bildirmiştir. Çalışmada, titanyum ağ kullanılan hastaların %64,8'inde travmatik etiyojije tespit edilmiştir (23). Her ne kadar titanyum ağ maliyet etkin bir materyal olarak değerlendirilse de, hafif yapısı nedeniyle zamanla deformasyona uğrayarak kozmetik problemlere yol açabilmektedir (4). Buna karşın, titanyum plaka sahip olduğu optimal poröz yapı sayesinde vaskülarizasyonu ve doku onarımına olanak tanımakta ve madde alışverişini kolaylaştırarak defekt alanının daha iyi iyileşmesini sağlamaktadır (16).

Policicchio ve ark.nın titanyum ağ ve titanyum plakayı karşılaştırdığı çalışmalarında, titanyum ağ kullanılan 13 hastanın hiçbirinde tam defekt onarımına ulaşılamazken, kişiyi özel titanyum plaka uygulanan 10 hastanın tamamında tam kalvaryal rekonstrüksiyon sağlandığı bildirilmiştir (20). Titanyum ağ,

intraoperatif olarak defektin boyutuna ve şekline göre manuel olarak şekillendirilmesi gereken bir materyaldir ve bu durum operasyon süresinin uzamasına yol açabilmektedir. Nitekim, aynı çalışmada, titanyum ağ ile gerçekleştirilen kraniyoplastilerde ortalama operasyon süresi 186 dakika iken, titanyum plaka kullanılan hastalarda bu süre 141 dakika olarak tespit edilmiştir ($p=0,04$). Titanyum ağ ile yapılan kraniyoplastilerde implantın uzun süreli manipülasyonu ve uzamış operasyon süresi, postoperatif komplikasyon riskini artıran faktörler olarak değerlendirilmektedir.

Sınırlamalar

Bu çalışmanın bazı sınırlamaları bulunmaktadır:

1. Çalışmada, titanyum kraniyoplasti materyali ile başka bir alternatif materyal karşılaştırılmamıştır. Bu durum, titanyumun avantaj ve dezavantajlarının kapsamlı bir şekilde değerlendirilmesini sınırlandırabilir.
2. Çalışmada sadece, travmatik etiolojinin komplikasyon oranına etkisine değinilmişken diğer primer patolojiler doğrultusunda bir alt grup analizi yapılmamıştır. Farklı primer patolojilerin kraniyoplasti sonrası komplikasyon oranına etkileri, bu çalışmada ele alınmamıştır.
3. Çalışmaya dahil edilen hasta sayısı sınırlı olup, küçük bir örneklem grubunu temsil etmektedir. Bu nedenle, elde edilen sonuçların genellenebilirliği kısıtlı olabilir.
4. Hastalar retrospektif olarak değerlendirilmiştir. Bu durum, hasta seçiminde yanlılık riskini barındırabilir ve çalışmanın iç geçerliliğini etkileyebilir.

■ SONUÇ

Titanyum implantlar, biyo-uyumlulukları ve mekanik dayanıklılıkları sayesinde kranial defektlerin rekonstrüksiyonunda yaygın olarak tercih edilmekle birlikte, implant ayrılması ve enfeksiyon gibi spesifik komplikasyonların ortaya çıkma riski taşımaktadır. Bununla birlikte, modern 3B baskı teknolojilerinin sunduğu hassasiyet ve uyum, cerrahi süreçlerin daha başarılı geçmesini sağlamaktadır. Titanyum plaka ile yapılmış kraniyoplasti çalışmaları literatürde sınırlı olduğundan gelecekte yapılacak daha geniş kapsamlı ve uzun dönemli takip içeren çalışmalar, bu implantların uzun vadeli etkinliğini ve komplikasyon oranlarını daha ayrıntılı bir şekilde ortaya koyacaktır.

Sonuç olarak, kişiyi özel titanyum implantların kullanımı, kraniyoplasti cerrahisinde umut vadeden bir yöntem olmakla birlikte, optimal hasta seçimi, cerrahi tekniklerin daha da geliştirilmesi ve postoperatif izlemin titizlikle yürütülmesi gerekmektedir. Komplikasyon risklerini azaltmaya yönelik ileri teknoloji destekli çözümler ve yenilikçi cerrahi yaklaşımların entegrasyonu, kraniyoplasti uygulamalarının başarı oranlarını daha da yüksek seviyelere taşıyabilecektir.

■ TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın istatistiksel analizlerine önemli katkılarda bulunan Sağlık Bilimleri Üniversitesi Tepecik Eğitim ve Araştırma

Hastanesi'nden Doç. Dr. Fatma Özge Kayhan Koçak'a en içten teşekkürlerimizi sunarız. Akademik titizliği ve özverili desteği, çalışmamızın bilimsel niteliğini anlamlı ölçüde artırmıştır.

Araştırma Desteği: Bu araştırma için herhangi bir maddi destek alınmamıştır.

Veri Güvenliği ve Verilerin Sorgulanması: Veri güvenliği ihlali yaşanmamıştır. Mevcut çalışma sırasında oluşturulan ve/veya analiz edilen veri setleri, makul talep üzerine sorumlu yazardan temin edilebilir.

Çıkar Çatışması: Yazarların çıkar çatışması yoktur.

YAZAR KATKILARI

Çalışmanın fikri veya tasarımı: SK, EY

Veri toplama: SK

Veri analizi ve yorumlama: SK

Makale taslağının hazırlanması: SK, EY

Makalenin kritik revizyonu: SK

Tüm yazarlar (SK, EY) sonuçları gözden geçirmiş ve makalenin son hâlini onaylamıştır.

■ KAYNAKLAR

1. Aydın S, Kucukyuruk B, Abuzayed B, Aydın S, Sanus GZ: Cranioplasty: Review of materials and techniques. J Neurosci Rural Pract 2:162-167, 2011. <https://doi.org/10.4103/0976-3147.83584>
2. Bonda DJ, Manjila S, Selman WR, Dean D: The recent revolution in the design and manufacture of cranial implants: Modern advancements and future directions. Neurosurgery 77:814-824, 2015. <https://doi.org/10.1227/NEU.0000000000000899>
3. Cabraja M, Klein M, Lehmann T-N: Long-term results following titanium cranioplasty of large skull defects. Neurosurg Focus 26:E10, 2009. <https://doi.org/10.3171/2009.3.FOCUS091>
4. Dash C, Dasukil S, Boyina KK, Panda R, Ahmad SR: A novel prefabricated patient-specific titanium cranioplasty: Reconsideration from a traditional approach. Oral Maxillofac Surg 26:223-228, 2022. <https://doi.org/10.1007/s10006-021-00977-5>
5. Feroze AH, Walmsley GG, Choudhri O, Lorenz HP, Grant GA, Edwards MSB: Evolution of cranioplasty techniques in neurosurgery: historical review, pediatric considerations, and current trends. J Neurosurg 123:1098-1107, 2015. <https://doi.org/10.3171/2014.11.JNS14622>
6. Gerstl JVE, Rendon LF, Burke SM, Doucette J, Mekary RA, Smith TR: Complications and cosmetic outcomes of materials used in cranioplasty following decompressive craniectomy-a systematic review, pairwise meta-analysis, and network meta-analysis. Acta Neurochir (Wien) 164:3075-3079, 2022. <https://doi.org/10.1007/s00701-022-05251-5>
7. Gooch MR, Gin GE, Kenning TJ, German JW: Complications of cranioplasty following decompressive craniectomy: Analysis of 62 cases. Neurosurg Focus 26:E9, 2009. <https://doi.org/10.3171/2009.3.FOCUS0962>
8. Henry J, Amoo M, Taylor J, O'Brien DP: Complications of cranioplasty in relation to material: systematic review, network meta-analysis and meta-regression. Neurosurgery 89:383, 2021. <https://doi.org/10.1093/neuros/nyab180>

9. Hill CS, Luoma AMV, Wilson SR, Kitchen N: Titanium cranioplasty and the prediction of complications. *Br J Neurosurg* 26:832-837, 2012. <https://doi.org/10.3109/02688697.2012.692839>
10. Honeybul S, Morrison DA, Ho KM, Lind CRP, Geelhoed E: A randomised controlled trial comparing autologous cranioplasty with custom-made titanium cranioplasty: Long-term follow-up. *Acta Neurochir (Wien)* 160:885-891, 2018. <https://doi.org/10.1007/s00701-018-3514-z>
11. Jaber J, Gambrell K, Tiwana P, Madden C, Finn R: Long-term clinical outcome analysis of poly-methyl-methacrylate cranioplasty for large skull defects. *J Oral Maxillofac Surg Off J Am Assoc Oral Maxillofac Surg* 71:e81-88, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.joms.2012.09.023>
12. Jonkergouw J, van de Vijfeijken SECM, Nout E, Theys T, Van de Castele E, Folkersma H, Depauw PR a. M, Becking AG: Outcome in patient-specific PEEK cranioplasty: A two-center cohort study of 40 implants. *J Cranio-Maxillo-Fac Surg Off Publ Eur Assoc Cranio-Maxillo-Fac Surg* 44:1266-1272, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.jcms.2016.07.005>
13. Kayhan S, Kirmızıgöz Ş, Kırık A, Tehli Ö, İzci Y: Revision cranioplasty with three-dimensional custom-made titanium implants in patients with failed cranioplasty. *World Neurosurg* 191:e465-472, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2024.08.154>
14. Kim J, Kim JH, Kim JH, Kwon TH, Roh H: Outcomes of cranioplasty using autologous bone or 3D-customized titanium mesh following decompressive craniectomy for traumatic brain injury: Differences in complications. *J Trauma Inj* 32:202-209, 2019. <https://doi.org/10.20408/jti.2019.033>
15. Kim JK, Lee SB, Yang SY: Cranioplasty using autologous bone versus porous polyethylene versus custom-made titanium mesh: A retrospective review of 108 patients. *J Korean Neurosurg Soc* 61:737-746, 2018. <https://doi.org/10.3340/jkns.2018.0047>
16. Li S, Li X, Hou W, Nune KC, Misra RDK, Correa-Rodriguez VL, Guo Z, Hao Y, Yang R, Murr LE: Fabrication of open-cellular (porous) titanium alloy implants: osseointegration, vascularization and preliminary human trials. *Sci China Mater* 61:525-536, 2018. <https://doi.org/10.1007/s40843-017-9063-6>
17. Matsuno A, Tanaka H, Iwamuro H, Takanashi S, Miyawaki S, Nakashima M, Nakaguchi H, Nagashima T: Analyses of the factors influencing bone graft infection after delayed cranioplasty. *Acta Neurochir (Wien)* 148:535-540, 2006. <https://doi.org/10.1007/s00701-006-0740-6>
18. Moneim J, Wenlock RD, Wells AJ, Price RD, Timofeev I, Helmy A, Hutchinson PJ: Single procedure revision cranioplasty with intra-operative autoclave following titanium plate exposure. *Br J Neurosurg* 34:329-332, 2020. <https://doi.org/10.1080/02688697.2019.1690129>
19. Mukherjee S, Thakur B, Haq I, Hettige S, Martin AJ: Complications of titanium cranioplasty--a retrospective analysis of 174 patients. *Acta Neurochir (Wien)* 156:989-998, 2014. <https://doi.org/10.1007/s00701-014-2024-x>
20. Policicchio D, Casu G, Dipellegrini G, Doda A, Muggianu G, Boccaletti R: Comparison of two different titanium cranioplasty methods: Custom-made titanium prostheses versus pre-curved titanium mesh. *Surg Neurol Int* 11:148, 2020. https://doi.org/10.25259/SNI_35_2020
21. Schuss P, Vatter H, Marquardt G, Imöhl L, Ulrich CT, Seifert V, Güresir E: Cranioplasty after decompressive craniectomy: the effect of timing on postoperative complications. *J Neurotrauma*, 29:1090-1095, 2012. <https://doi.org/10.1089/neu.2011.2176>
22. van de Vijfeijken SECM, Münker TJAG, Spijker R, Karssemakers LHE, Vandertop WP, Becking AG, Ubbink DT, CranioSafe Group: Autologous bone is inferior to alloplastic cranioplasties: safety of autograft and allograft materials for cranioplasties, a systematic review. *World Neurosurg* 117:443-452.e8, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2018.05.193>
23. Yeap MC, Tu PH, Liu ZH, Hsieh PC, Liu YT, Lee CY, Lai HY, Chen CT, Huang YC, Wei KC, Wu CT, Chen CC: Long-term complications of cranioplasty using stored autologous bone graft, three-dimensional polymethyl methacrylate, or titanium mesh after decompressive craniectomy: A single-center experience after 596 procedures. *World Neurosurg* 128:e841-850, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2019.05.005>
24. Yeo RA, Gasparovic C, Merideth F, Ruhl D, Doezeema D, Mayer AR: A Longitudinal proton magnetic resonance spectroscopy study of mild traumatic brain injury. *J Neurotrauma* 28:1-11, 2011. <https://doi.org/10.1089/neu.2010.1578>
25. Zhu S, Chen Y, Lin F, Chen Z, Jiang X, Zhang J, Wang J: Complications following titanium cranioplasty compared with nontitanium implants cranioplasty: A systematic review and meta-analysis. *J Clin Neurosci* 84:66-74, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jocn.2020.12.009>