

BÖLÜM 8

PROTETİK RESTORASYONLARDA İLAVELİ ÜRETİM İLE KULLANILAN MATERYALLER VE UYGULAMA ALANLARI

Işıl KARAOKUTAN¹

GİRİŞ

Bilgisayar destekli tasarım (CAD) ve bilgisayar destekli üretim (CAM) teknolojileri diş hekimliğinde büyük gelişmelere yol açmıştır (1). CAD-CAM eksiltmeli üretim yöntemleri, diğer üretim tekniklerine kıyasla üretim süresini ve işçiliği azaltarak, doğru boyutlara sahip güvenilir restorasyonlar üretir (2-4). Bununla birlikte, eksiltmeli üretimde, materyal kaybı fazladır, ilave özel frez gereksinimi vardır ve yapısal gerilim yoğunlaşmasına sebep olan yüzey ve yüzey altı işleme kusurları mevcuttur (5). Bilgisayar destekli tasarım teknolojisindeki gelişmelerle birlikte, eklemeli üretim (AM), hızlı prototipleme veya basitçe 3B baskı, restoratif ve diğer apareyleri üretmek için umut verici bir teknik olarak diş hekimliğinde ortaya çıkmıştır (6). Süreçte materyal kaybı yaratmayan, donanım yatırımı ve toplam üretim maliyetleri açısından eksiltici üretim tekniklerinden daha ekonomik olan 3B baskı ile karmaşık yapılar üretilebilir (1,7).

Dental uygulamalar için çok çeşitli 3D baskı teknolojileri mevcuttur. Bu teknolojiler arasındaki en büyük farklar, kullanılan malzemelerin durumu (örneğin sıvı, toz veya katı bazlı) ve nesneyi oluşturmak için katmanların nasıl biriktirildiğidir. Her yöntemin doğruluğuna, işleme hızına ve ekipman maliyetine, ayrıca kullanılan malzemelerin seçimine ve maliyetine bağlı olarak avantaj ve dezavantajları vardır.

1 Dr. Öğr. Üyesi, Pamukkale Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Protetik Diş Tedavisi AD.,
ikaraokutan@pau.edu.tr

BOYUTLU BASKI TEKNOLOJİLERİ

Stereolitografi (SLA)

SLA tekniği, ultraviyole (UV) lazer kaynağı kullanılarak sıvı fotopolimerin katılaştırılmasına izin verir. 3B dijital modeli 2B kesitlere dönüştürdükten sonra, ışığa duyarlı reçine içeren bir platformda bulunan belirli noktalar tarafından belirli bir şekilde uyumlu bir ışık kaynağı yayılır, böylece seçici foto-polimerizasyonu indükler ve ilk katmanı oluşturur. Platform daha sonra, sıvının birinci katmanı kaplamasına izin vererek, tek katmanlı bir kalınlıkla tekneye indirilir. Aynı işlem, amaçlanan 3B model fiziksel olarak üretilene kadar tekrarlanır (8-11). Lazer tarama hızı, gücü ve pozlama süresi, çözünürlük ve sertleşme süresi üzerinde etkilidir (8). Elde edilen model daha sonra kütleme işlemini tamamlamak ve böylece gerekli fiziksel özellikleri sağlamak için platformdan çıkarılarak UV fırınına yerleştirilir (12). Bu teknik ile akrilat fotopolimerler, plastikler ve seramikler kullanılabilir (13). SLA'nın ana avantajları, karmaşık geometrileri yüksek doğruluk ve netlikte üretebilmesi, pürüzsüz yüzeyler elde edilmesi ve hızlı üretim yapabilmesidir (14,15). Ana sınırlamalar ise, bir kerede sadece tek bir materyal basılabilmesi, ek ekipman gerektirmesi ve residüel fotoaktivatör ve rezin varlığına bağlı olabilecek sitotoksitedir (13).

Formlabs (Somerville, MA; <https://formlabs.com>), 3D Systems (Rock Hill, SC; <https://3dsystems.com>), UnionTech (Darmstadt, Almanya; <http://uniontech3d.cn>), PrismaLab (Shanghai, Çin; <http://prismalab.com>) ve DWS Systems (Thiene, İtalya; www.dwssystem.com) gibi birçok üretici SLA teknolojisi sunmaktadır.

Dijital Işık İşleme (DLP)

DLP tekniğinin de fotopolimerizasyon tabanlı, SLA'ya benzer bir üretim süreci vardır ve SLA ile aynı materyaller kullanılır. Ancak SLA ile kullanılan ışık kaynakları ve tabakalama yönleri açısından farklılaşır. SLA'da lazer ışını kullanılırken, DLP teknolojisine sahip yazıcılarda görünür ışık kullanılır (14). DLP teknolojisinde yapı platformu sıvı reçine tekneden bir kat kalınlığına eşit olacak şekilde yükseltilecek nesne baş aşağı inşa edilir (11). Bu inşa süreci, nesne tamamlanana kadar sonraki katmanlar için tekrarlanır. DLP'nin SLA'ya göre bir avantajı, daha az miktarda fotopolimer reçineye ihtiyaç duyması ve bunun sonucunda daha az atık ve daha düşük işleme maliyeti sağlamasıdır. Ayrıca DLP, SLA'dan daha hızlıdır çünkü fotopolimer reçinenin ışıkla sertleşmesi tek-

nenin tüm yüzeyine tek geçişte uygulanır (14). Dijital ışık işleme tekniği de SLA ile benzer dezavantajlara sahiptir (11).

BEGO (Bremen, Germany; <https://bego.com>), RapidShape (Heimsheim, Germany; <https://rapidshape.de>), Envisiontec (Dearborn, MI; <https://envisiontec.com>) ve Asiga (Alexandria, Australia; <https://asiga.com>) gibi birçok firma DLP teknolojisini kullanmaktadır.

Bağlayıcı ile Katmanlı İmalat

Bu teknikte toz ve tozu birleştirmek için bir bağlayıcı kullanılır (16). Bağlayıcıya çeşitli renk ilaveleri yapılabilir (16). Bu teknikte mürekkepli yazıcı benzeri hareketli bir başlık ile bağlayıcı silindir yardımıyla serilen toz materyal üzerine uygulanır (17). Platform katman oluştuğca aşağı iner ve obje oluşana kadar bu tekrarlanır.

Materyal Püskürtme

PolyJet (PJP) veya multi-jet (MJP), nesneyi çok katmanlı olarak oluşturan, bir sıvı fotopolimer reçinesinin CAD verileri tarafından tanımlanan belirlen alanlara püskürtüldüğü ve daha sonra UV ışığı ile kürlendiği malzeme püskürtme tabanlı bir 3D baskı teknolojisidir (11,14). Bir kat baskı tamamladıktan sonra, yapı tablası bir katın kalınlığına eşit olarak alçalırken, baskı nozülü bir sonraki katman için fotopolimer malzemeyi yüzeyden çıkarmaya devam eder. Bu işlem nesne tam olarak tamamlanıncaya kadar tekrarlanır (15). PolyJet'in SLA ve DLP teknolojilerine kıyasla başlıca avantajı, birden fazla rengin ve materyalin aynı anda kullanılabilmesidir (14,15). Bu teknolojinin bir başka avantajı, destek yapısının nihai nesneden çıkarılmasını kolaylaştıran, mum veya yumuşak reçineler gibi destekleyici yapılar için farklı malzemeler kullanmasıdır (14). Ayrıca baskı tabakasının kalınlığı 16 mikrona kadar inebildiğinden işleme hassasiyeti ve yüzey kalitesi yüksektir (15,18). Ancak PolyJet teknolojisinin ana dezavantajı, teknolojisinin ve malzemelerinin SLA ve DLP teknolojilerine kıyasla yüksek maliyetidir.

Stratasys (<https://stratasys.com.cn>), 3D Systems (Rock Hill, SC; <https://3dsystems.com>) ve RapidShare (Heimsheim, Germany; <https://rapidshape.de>) gibi üreticiler Polyjet teknolojisini sağlamaktadırlar.

Eriyik Yığma Modelleme (FDM)

Eriyik yığma modelleme veya kaynaşmış biriktirme, termoplastik filamentleri ısıtılmış bir başlık aracılığıyla bir yapı platformuna bırakarak katman

katman bir nesne oluşturan malzeme ekstrüzyon tabanlı bir 3D baskı teknolojisidir (11). CAM yazılımı tarafından yönlendirilen uç, işlem sırasında yatay olarak hareket ederken, üretim platformu her yeni katman uygulandıktan sonra dikey olarak hareket eder (11,14). Yığılan termoplastik malzeme hızla katılaşır ve önceki katmanın üzerine yeni katman çökeltilir. Bu yığma işlemi, son 3B nesne oluşturulana kadar sonraki katmanlar için devam eder. Eriyik yığın modelleme, düşük ekipman, malzeme ve bakım maliyeti gibi diğer 3D baskı tekniklerine göre bazı avantajlara sahiptir (14). Ayrıca FDM işlemi daha basittir, diğer 3D baskı teknolojilerine göre daha az malzeme atığı üretir ve nesneyi yazdırdıktan sonra son işlem gerektirmez (11). Bununla birlikte, FDM'nin düşük doğruluk (ortalama FDM doğruluğu 6127 mm), düşük hız, düşük yüzey kalitesi ve bir termoplastik malzemenin sınırlı filaman seçimi gibi bazı dezavantajları vardır (14).

Seçici Lazer Sinterleme (SLS)

SLS tekniği, ardışık toz materyal katmanlarını birleştirerek 3B modellerin oluşturulmasına izin verir. Bu yöntemde, kontrollü bir yola sahip bir lazer ışını (genellikle karbon dioksit lazer veya neodimiyum içerikli itriyum alüminyum granat lazer) tozu ısıtarak sinterlemek (kısmen eritmek) için tarar (8-10,12). Yüksek lazer gücü, tozun moleküler difüzyon yoluyla füzyonunu sağlar (8). Taramadan sonra, toz platformu, cihazın tipine bağlı olarak tipik olarak 20-100 µm arasında tek katmanlı bir kalınlık kadar alçaltılır ve öncekinin üzerine yeni bir toz katmanı püskürtülür. İşlem, 3B model tamamlanıncaya kadar tekrarlanır. Bu teknikte mumlar, polimerler, kompozitler, metaller ve seramikler kullanılabilir (13). Bu tekniğin avantajları arasında destek yapıya ihtiyaç duymaması, üretilen parçaların dayanıklı ve sert olması, ince detaylara sahip karmaşık şekilli nesnelere üretilmesi sayılabilir. Ancak ekipmanın pahalı olması, nihai ürünün poröz yapıda olması, üretilen nesne üzerindeki tozu uzaklaştırma zorluğu ve üretim sonrasında ilave işleme ihtiyacı duyulması dezavantajları arasındadır (13).

Seçici Lazer Eritme (SLM)

SLM tekniği, her iki teknikte de aynı adımlar uygulandığından, SLS'den türetilen bir varyasyon olarak düşünülebilir, temel fark, SLM'nin tamamen yoğun metalik modeller oluşturmak için toz parçacıklarını güçlü lazer ışını ile tamamen eritmesidir (9,12,19). Bu teknikte paslanmaz çelik ve kobalt-krom, nikel-krom, titanyum alaşımları kullanılabilir (13). Bu teknik ile de SLS'e benzer

şekilde ince detaylara sahip karmaşık şekilli nesnelere üretilebilir ancak üretilen nesnelere SLS'e göre daha yüksek yoğunluğa ve mekanik özelliklere sahiptir (13). Ancak maliyeti yüksek bir teknolojidir ve kullanılan materyale bağlı olarak pörözlü olabilir, iç gerilimlere bağlı olarak üretilen parçalarda deformasyon gözlemlenebilir (13).

Elektron Işınlı Eritme (EBM)

Elektron ışınlı eritme (EBM), metalden parçaların üretiminde kullanılan ilave üretim teknolojilerindendir. Bu teknolojiye elektron demeti; yüksek vakum altında metal tozunu tabaka tabaka eritir ve yoğun bir bileşik oluşturur. Elektron akımı, volfram filamentinin ısınmasıyla sağlanır ve daha sonra elektron demeti manyetik bir alan kullanılarak yönlendirilir. Eritilecek olan her tabaka CAD modeliyle belirlenen geometriye göre eritilir. Diğer metal sinterleme tekniklerinden farklı olarak parçalar boşluksuz, tam yoğun ve son derece güçlüdürler (9,19).

ÜRETİM SÜRECİ

Dental protezler için 3B baskı teknolojilerinin süreci dört ana adımı içerir: (a) veri toplama, (b) veri işleme, (c) veri üretimi ve (d) üretim sonrası işlemler (1,11,14).

- (a) Veri toplama, ağız içi ve ağız dışı tarayıcılar 3B taramalar dahil olmak üzere farklı tarama tekniklerinin yanı sıra bilgisayarlı tomografi (CT), manyetik rezonans görüntüleme (MR) ve konik ışınli bilgisayarlı tomografi (CBCT) ile elde edilebilir.
- (b) Veri işleme, bir 3B nesnenin dijital verilerini oluşturmak ve işlemek için CAD yazılımı kullanılarak yapılabilir. Veriler bir STL dosyası olarak oluşturulabilir. Ardından, tasarım dosyası, destek yapıları eklemek ve 3B nesneyi dilimlemek ve 3B yazıcıyı çalıştırmak için gereken bilgi ve parametreleri oluşturmak için başka bir yazılıma (genellikle yazıcı yazılımı) gönderilir.
- (c) Veri üretimi, tasarlanan CAD nesnesini (STL dosyası) seçilen malzemelerle işleyen 3B baskı teknolojisi kullanılarak yapılabilir. İşlem mekanizması, her bir 3B baskı teknolojisi için önceden açıklandığı şekildedir. Her sistem kendi malzemelerine göre kalibre edildiğinden, üreticinin talimatlarına göre her sistem için işleme parametrelerinin ve malzemelerinin kullanılması önerilir.

(d)Nihai 3B basılı nesnenin işlem sonrası uygulamaları, nesnenin yüzeyinin kalan malzemelerden temizlenmesini, destek yapısının çıkarılmasını ve ısı/ışık/lazer (son sertleştirme) işleminin uygulanmasını içerir ve imalatçılar tarafından tavsiye edildiği şekilde uygulanır. Üreticiler tarafından önerildiği üzere, çoğu 3B baskı sisteminde sertleştirme sonrası adımlar gereklidir. Son olarak, nihai nesnelerin yüzeylerine kliniğe gönderilmeden önce farklı bitirme ve polisaj adımları uygulanır.

ÜÇ BOYUTLU BASKI TEKNOLOJİLERİNİN ÇÖZÜNÜRLÜĞÜ, HASSASİYETİ VE DOĞRULUĞU

Dental protezler için 3B yazıcı seçiminde çözünürlük, hassasiyet ve doğruluk temel özelliklerdir. Çözünürlük, belirli bir 3B yazıcı teknolojisi tarafından yazdırılabilen bir nesnenin en küçük özelliğidir ve her üç ekseninde (x, y ve z eksenleri), nokta/inç (DPI) veya µm olarak tanımlanır (11). Kesinlik ve tekrarlanabilirlik, iki veya daha fazla basılı nesne arasındaki ölçümlerin yakınlığını ifade ederken, doğruluk, tasarlanan 3B nesne ile yazdırılan nesne arasındaki ölçümlerin yakınlığını ifade eder (18).

3B baskı teknolojisinin türü ve kullanılan materyaller, basılan nesnenin doğruluğunu ve kesinliğini belirleyebilir. Ek olarak, basım sonrası işlemler, yazdırılan nesnenin kesinliğini ve doğruluğunu etkiler (18). Üretim parametreleri (ör. katman kalınlığı, katman sayısı, yönlendirme açısı, lazer/ışık hızı, dalga boyu, güç/yoğunluk ve maruz kalma süresi) ve materyal seçimi ve spesifikasyonları (bileşim, partikül boyutu/şekli ve saflık/gözeneklilik vb.) doğrulukta önemli bir rol oynar (11).

Eriyik yığılma modelleme teknolojisinin 127 µm hassasiyete sahip olduğu gösterilmiştir (14,20). Seçici lazer eritme teknolojisi ise ± 20 µm doğruluk göstermektedir (14,21). SLA ve DLP teknolojilerinin 25 µm katman kalınlığına sahip 3B nesnelere işleyebildiği, PolyJet teknolojisinin ise 16 µm'ye kadar düşük olabileceği gösterilmiştir (15,20). Katman kalınlığı 3B baskının doğruluğunu belirleyebilir çünkü küçük özellikler kalın katmanlarla doğru şekilde yazdırılmaz. Ancak katman kalınlığının azaltılması, yapım süresini ve baskı maliyetini artırır (22).

Baskı yönü, destek yapısı, katman sayısı ve yapım süresi oryantasyon açısına bağlı olduğundan, oryantasyon açısı da baskı doğruluğunda önemli bir rol oynar (22). Bar şekilli örnekler için en yüksek doğruluk 45° oryantasyon

açısı ile yazdırılırken, dental kronlar için en yüksek doğruluk 120 ve 135° oryantasyon açısıyla basılmıştır (6). Ek olarak, sertleştirme derinliği 3B baskının doğruluğunu (z eksenli çözünürlüğü) belirler ve sertleştirme derinliği, UV ışığının veya lazerin türü, güç yoğunluğu, dalga boyu ve maruz kalma süresi gibi sertleştirme kaynağının çeşitli parametrelerine bağlıdır (11).

DENTAL PROTEZLER İÇİN 3B BASKI MATERYALLERİ

Polimerler, metaller, seramikler ve kompozitler de dahil olmak üzere 3B baskı teknolojileri tarafından farklı materyal türleri kullanılabilir. Polimerler, diş hekimliğinde 3B baskı teknolojilerinde en sık kullanılan materyal türü iken, bazı teknikler metallerin baskı malzemesi olarak kullanılmasına izin vermektedir (20). 3B baskı teknolojileri kullanılarak işlenen dental seramikler ve kompozit malzemeler diş hekimliğinde hala sınırlı kullanıma sahiptir; ancak 3B baskı teknolojileri ile etkin bir şekilde işlenebilirler (14,18).

Polimerler

3B baskı teknolojileri, nesne işleme için çoğunlukla polimerleri hammadde olarak kullanır. 3B baskı için kullanılan polimerler, termoplastik veya ışık ile indüklenen reçineler olabilir. Termoplastik reçineler, FDM teknolojisi için filamentler olarak mevcuttur. Buna karşılık, ışıkla indüklenen reçineler, SLA, DLP ve PolyJet teknolojileri için sıvı formda mevcuttur. Genel olarak, ışıkla indüklenen polimerler, termoplastiklerden daha esnektir ve daha fazla renk seçeneğine sahiptir (20). Çeşitli dental uygulamalar için 3B baskı teknolojilerinde stiren, akrilatlar, esterler ve amidler gibi farklı monomer gruplarına dayanan polimerler mevcuttur.

3B baskı teknolojilerindeki stiren polimerleri, genel olarak polistiren (PS) ve akrilonitril-bütadiyenstiren (ABS) olarak temsil edilir. PS, yüksek sertlik, sertlik, boyutsal stabilite, iyi işlenebilirlik ve düşük su emme özelliklerine sahip kristal olmayan bir polimerdir. Ancak PS, organik maddelere karşı düşük kimyasal dirence sahiptir (18). ABS, iyi mekanik özelliklere (Young modülü 1.8 GPa ve 224MPa nihai mukavemet), boyutsal stabiliteye, kimyasal dirence ve düşük su emilimine sahip yağ bazlı bir polimerdir (15,18). PS ve ABS, dental modeller, kişisel kaşıklar ve maksillofasiyal protezler dahil olmak üzere çeşitli dental uygulamalarda kullanılır (18). FDM teknolojisi için filamentler ve SLA, DLP ve PolyJet teknolojileri için fotopolimer sıvılar olarak mevcuttur (18).

Akrilatlar, metakrilik veya akrilik asitlerin ve bunların esterlerinin poli-

merleridir. Poli(metil metakrilat) (PMMA), sertlik, dayanıklılık ve boyutsal stabilite gibi iyi fiziksel ve mekanik özellikleri nedeniyle diş hekimliğinde en yaygın kullanılan polimerlerden biridir (18). Ayrıca yüksek kimyasal direnç, iyi biyouyumluluğa ve düşük su emilimine sahiptir (18). PMMA, hareketli protezler ve cerrahi rehberler gibi birçok dental uygulamada kullanılmasına rağmen, son zamanlarda 3B baskı teknolojileri ile benimsenmiştir (23,24). SLA ve DLP yazıcılarda geçici kronlar için piyasada bulunan birçok dental reçine metakrilat bazlıdır.

Polikarbonat (PC), aromatik dihidroksi veya alifatik bileşikler içeren karbonik asitlerin termoplastik bir polyesteridir (18). PC, yüksek dayanıklılık, sertlik, tokluk, boyutsal stabilite, mükemmel biyouyumluluk ve düşük su emilimi sergiler (18). PC'nin ana uygulamaları dental modeller ve maksillofasiyal protezlerdir. PC, FDM yazıcılar için bir filament ve SLA teknolojisi için bir fotopolimer olarak mevcuttur.

Poliamid (PA) veya naylon, bir asidin bir amid ile polimerizasyonu ile elde edilen uzun zincirli bir polimerdir. PA, yüksek mukavemet, sertlik, boyutsal kararlılık, aşınma direncinin yanı sıra yüksek kimyasal direnç ve biyouyumluluk sergiler (18). PA 11 ve PA 12, PA'nın mekanik özelliklerini iyileştirmek için modifiye edilmiş PA'dır; PA 11 daha düşük sertlik ve sertlik gösterirken, PA 12 yüksek esneklik, düşük sıcaklık etkisi, yüksek kimyasal direnç ve termal iletkenlik gösterir (18). PA'nın ana uygulamaları dental modeller ve maksillofasiyal protezlerdir. PA, FDM teknolojisi için bir filament olarak mevcuttur.

Polieter-eterketon (PEEK), 334°C erime sıcaklığına ve 143°C cam geçiş sıcaklığına sahip yüksek performanslı bir termoplastik polimerdir (18). PEEK, yüksek eğilme ve çekme mukavemetlerinin yanı sıra iyi kimyasal direnç ve mükemmel biyouyumluluğa sahiptir (18). PEEK, güç, dayanıklılık ve sertlik dahil olmak üzere kemiğe benzer özelliklere sahiptir. PEEK'in elastik modülü 3-4 GPa'dır ve insan kortikal kemiğinin elastik modülü 14 GPa'dır. Bu nedenle PEEK implantı, elastik modülü 102-110 GPa olan titanyum implanttan daha uyumlu ve kemik dostudur (25). PEEK'in ana uygulamaları, özel diş implantları ve sabit protezlerin basılmasıdır. PEEK, FDM teknolojisi kullanılarak yazdırılabilir.

Metaller

Metaller ve alaşımlar, dental restorasyonlar ve protezler üretmek için mükemmel özelliklere sahiptir. Metaller, üstün mekanik performansları nedeniyle diş hekimliğinde yaygın olarak kullanılmaktadır; bununla birlikte, pahalıdırlar ve

işlenmeleri zordur (15,20). Metalik nesnelerin 3B baskı teknolojileri kullanılarak işlenmesi artık SLS ve SLM gibi teknolojileri kullanılarak mümkündür. Dental uygulamalar için 3B baskı teknolojilerinde kullanılan yaygın metal ve alaşım türü, kobalt-krom (Co-Cr) ve titanyum (Ti) alaşımlarıdır. SLS ve SLM teknolojileri için bu alaşımlar, kullanılan teknolojiye bağlı olarak küçük partikül boyutlarında toz halinde sunulur.

Co-Cr ve Ti alaşımları, yüksek sertlik ve dayanımın yanı sıra mükemmel aşınma direnci, korozyon direnci ve biyouyumluluğa sahip hafif malzemelerdir (15,20). Co-Cr şu anda SLS ve SLM teknolojileri dahil olmak üzere 3B baskı teknolojilerinin sahip olduğu sabit ve hareketli bölümlü protezler için en yaygın kullanılan alaşım türüdür (20).

Seramikler

Dental seramikler, dayanıklılık, renk stabilitesi, estetik ve termal iletkenlik gibi doğal diş özelliklerine yakın bazı çekici özelliklere sahip oldukları için dental protezlerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak dental seramikler sert, kırılabilir ve işleme koşullarına duyarlıdır (19,20). Dental seramiklerin yüksek erime noktaları, 3B yazıcıların standart ısıtma yöntemleri altında eritmeyi zorlaştırır, bu da soğutma işlemi sırasında çatlak oluşumuna neden olur ve seramik içindeki gözenekliliği artırır (19). Seramik malzemeler, benzersiz özellikleri nedeniyle son zamanlarda 3B baskıda kullanılmaktadır; bununla birlikte hala daha da geliştirilmesi gerekmektedir.

Zirkonya seramikler, 1990'larda farklı protetik uygulamalar için diş hekimliğinde kullanılmaya başlanmıştır. Zirkonya seramiğin mükemmel mekanik özellikleri ve biyouyumluluğunun yanı sıra presinterize zirkonyanın frezleme teknolojisi ile kolay işlenebilirliği, onu protezlerde yaygın olarak kullanılabilir hale getirmiştir (19). Zirkonya seramiklerin yüksek sertlik, dayanıklılık, aşınma direnci, korozyon direnci ve kırılma dayanımına sahip olduğu kabul edilir (15,19). Ancak zirkonya seramiklerin opaklık ve faz dönüşümü özelliklerine bağlı olarak bazı dezavantajları vardır (19). Doğrudan mürekkep püskürtmeli baskı ve zirkonyanın seramik süspansiyonlarını kullanan SLA teknolojileri ile zirkonya kronlar basmak için çalışmalar devam etmektedir (20,26,27).

Kompozitler

Kompozit materyaller, iki veya daha fazla materyalin bileşimi olarak tanımlanır ve bu bileşim, tek tek bileşenlerden farklı özellikler oluşturur. Dental kompozitler, seramik-seramik, seramik-polimer veya seramik-metal kombinasyonla-

rını içerebilir (19). FDM teknolojisine dayalı çoğu 3B yazıcı, seramik-polimer kompozit malzemelerle kullanılabilir ve SLA ve DLP teknolojileri için de son zamanlarda kompozit materyaller geliştirilmiştir.

DENTAL PROTEZLER İÇİN 3B BASKI UYGULAMALARI

3B baskı çeşitli dental protez ve apareylerin üretiminde kullanılmaktadır. İndirekt olarak, döküm için gerekli mum ve reçineleri üretilmesinde, direkt olarak ise nihai malzemeyi metal veya reçineden basmak için kullanılabilir (12,14). 3B baskının indirekt uygulamaları, kronlar veya köprüler, tam protezler ve parsiyel protez altyapıları için dökülebilir mumların veya reçinelerin üretimini içerir (28). Direkt uygulamalar, dental modelleri, kişisel kaşıkları, geçici veya daimi kron ve köprüleri, total protezleri ve parsiyel protez altyapısının üretimini içerir (12,24). Ayrıca cerrahi kılavuzlar, maksillofasial protezler, ortodontik modeller, konumlandırma kaşıkları, gece plakları ve oklüzal splintler gibi birçok maksillofasial ve ortodontik aparey 3B baskı ile üretilmektedir (12,14,24).

Kişisel Kaşıklar

3B baskı teknolojilerinin ideal uygulamalarından bir tanesi kişisel kaşıkların üretilmesidir. Dijital olarak basılmış kişisel kaşıklar, ölçü malzemeleri için küçük ve homojen alanın kontrolünü sağlayarak malzeme tüketimini ve prosedürleri azaltır (11). Birçok çalışma, SLA, DLP, PolyJet ve FDM teknolojilerini kullanan 3B yazdırılmış kişisel kaşıkların, geleneksel kişisel kaşıklardan daha iyi hassasiyet ve daha düşük hata sunduğunu göstermiştir (29-32).

Dental Modeller

Diş hekimliğinde 3B baskı teknolojilerinin ana uygulamalarından biri, teşhis amaçlı veya protez teslimi için basılı modeller elde etmektir. Ayrıca tedavi planlaması, ortodontik teşhis ve eğitim amaçlı dental modeller için 3B baskı teknolojileri etkin bir şekilde kullanılmaktadır (11,33-35). Ayrıca, basılı dental modeller, frezeleme teknolojisi kullanılarak üretilen sabit protezlerin yapımında yaygın olarak kullanılmaktadır. Yapılan çalışmalar, SLA, DLP ve PolyJet teknolojileri gibi dijital model baskılı 3B baskı teknolojilerinin geleneksel alçı modellere kıyasla üstün doğruluk ve tekrarlanabilirlik gösterdiğini bildirmiştir (11).

Sabit protezler

Geçici kronlar, köprüler ve dökülebilir altyapılar, SLA, DLP ve PolyJet dahil olmak üzere 3B baskı teknolojileri kullanılarak etkili bir şekilde basılabilmektedir (36-39). 3B baskılı geçici kronlar, manuel olarak üretilenlerden daha üstün internal uyum ve daha küçük marjinal açıklık göstermiştir (40,41). Polimer esaslı veya seramik materyallerle daimi kron ve köprüleri basmak mümkündür ancak 3B baskı teknolojileri kullanılarak etkili bir şekilde basıldığı bildirilmemiştir (27). Dental kronlar ve köprüler için metal altyapılar, Co-Cr ve Ti alaşımları kullanılarak lazer sinterleme ve lazer eritme gibi teknolojiler kullanılarak işlenmiştir (27,42). Bu metal altyapıların, yüksek internal ve marjinal uyum gösterdiği ve döküm yöntemi kullanılarak üretilen geleneksel altyapılardan daha iyi mekanik özelliklere, sağkalım oranlarına ve seramik veneer materyaline adezyona sahip olduğu bildirilmiştir (20,27,43,44). Benzer şekilde, post-kor restorasyonlar, Co-Cr alaşımları kullanılarak lazer eritme teknikleri ile etkili bir şekilde üretilmiştir (45). Ayrıca, çok üyeli sabit restorasyonlar için metal altyapılar yine 3B baskı teknolojileri kullanılarak başarıyla basılmıştır. Co-Cr alaşımları kullanılarak SLM teknolojisiyle üretilen üç ünite implant destekli sabit restorasyon alt yapılarının, döküm veya frezeleme yöntemleriyle üretilenlerden daha yüksek boyutsal hassasiyet gösterdiği bildirilmiştir (46).

Hareketli Bölümlü Protezler

3B baskı teknolojileri, direkt ve indirekt yöntemlerle bölümlü protez metalik altyapılarının üretimi için kullanılmıştır (47). İndirekt yöntemde, hareketli bölümlü protezlerde için dökülebilir basılı desenler, SLA, DLP ve FDM gibi 3B baskı teknolojileri kullanılarak işlenebilmektedir (11). Ancak, bu basılı bölümlü protez altyapısının geleneksel döküm yöntemiyle üretilmesi gerekmektedir, bu da uygun olmayan altyapılara neden olabilir (11). Bu nedenle, hareketli bölümlü protezlerin metalik altyapıları, lazer sinterleme ve lazer eritme gibi teknolojiler kullanılarak doğrudan işlenmiştir (14). Co-Cr ve Ti alaşımları kullanılarak lazer eritme ile işlenen hareketli bölümlü protezlerin metalik altyapıları, geleneksel döküm yöntemiyle üretilenlere kıyasla mükemmel mekanik ve fiziksel özellikler göstermiştir (47,48). Ayrıca, randomize kontrollü bir klinik çalışma, seçici lazer eritme ile üretilmiş hareketli bölümlü protez kullanan hastaların, döküm hareketli bölümlü protezlerle tedavi edilenlere göre daha yüksek hasta memnuniyeti gösterdiğini bildirmiştir (49).

Total Protezler

CAD/CAM teknolojisinin gelişimi, dijital teknoloji kullanılarak total protez üretimine olanak tanımıştır (11). Son zamanlarda, farklı fotopolimer reçineleri ile SLA, DLP ve PolyJet gibi farklı 3B baskı teknolojileri kullanılarak geçici ve daimi total protezler başarıyla üretilmiştir (50). Total protezler bir veya iki parça halinde tamamen 3B olarak basılabilir, burada protez kasesi farklı malzemelerle basılabilir ve daha sonra protez dişlerine yapıştırılabilir veya hem protez kasesi hem de dişler tek parça halinde basılabilir (11,51).

Çene yüz protezleri

Çene yüz protezleri ve obtüratörler, farklı 3B baskı teknolojileri kullanılarak başarıyla üretilmektedir (52,53). 3B baskı teknolojileri kullanılarak total protez üretimine benzer şekilde çene protezleri de direkt ve indirekt yöntemlerle basılabilmektedir. Örneğin burun protezleri gibi maksillofasiyal protezler için dökülebilir desenler veya kalıplar 3B baskı teknolojileri ile basılabilir ve daha sonra uygun malzemeler kullanılarak üretilebilirler (54,55). Palatal obtüratör protezler (PAP) ve cerrahi obtüratörler, SLS ve SLM teknolojileri kullanılarak doğrudan titanyum alaşımları ile işlenebilir (56,57). Dental implantların yerleştirilmesine yardımcı olan cerrahi stentler ve cerrahi kılavuzlar sıklıkla 3B baskı teknolojileri tarafından üretilir (23,35,58-60). Ek olarak, cerrahi ateller için altyapılar çeşitli 3B baskı teknolojileri kullanılarak basılabilir (61). Ayrıca implantlar ve çene cerrahisi için kullanılan cerrahi aletler SLM teknolojisi kullanılarak basılmıştır (62).

Dental İmplantlar

İmplant analog modelleri, PolyJet ve SLA teknolojileri kullanılarak basılmıştır ve alçı model elde edilerek yapılan geleneksel implant analoglarından daha hassastır (63). Dental implantlar SLS ve SLM kullanılarak basılabilir (38,39). 3B baskılı implantlar, kemikle osteointegrasyon için gözenekli veya pürüzlü bir yüzeyle üretilebilir veya karmaşık dental implant vakalarında kullanılan özel bir şekle veya karmaşık geometrilere sahip olabilir (12,38,39). Ayrıca, implant destekli sabit protezler lazer eritme teknolojisi kullanılarak başarıyla üretilmiş ve geleneksel olanlarla karşılaştırılabilir sonuçlara sahip olduğu gösterilmiştir (11).

SONUÇ

3b baskı teknolojileri, düşük maliyet ve az miktarda materyalle hassas ve yüksek kaliteli dental nesnelere basabilmeleri nedeniyle dental protezleri ve aparatları üretmek için umut verici yöntemlerdir. 3B baskı teknolojilerinin bazıları, kullanılan malzemelerin durumu ve bir nesneyi oluşturmak için katmanları yerleştirme yöntemi açısından farklılık gösterir. SLA ve DLP gibi tekne fotopolimerizasyon tabanlı 3B baskı teknolojileri, pürüzsüz bir yüzey ve kabul edilebilir maliyetle yüksek çözünürlük ve hassasiyet sağladıkları için dental uygulamalar için tercih edilen 3B baskı teknolojileridir. Dental modeller, kişisel kaşıklar, kron ve köprüler, hareketli bölümlü protezler, total protezler ve maksillofasiyal protezler de dahil olmak üzere birçok dental uygulama 3B baskı teknolojileri kullanılarak etkili bir şekilde basılabilir. Basılabilen dental polimerler, 3B baskı teknolojilerinde en sık kullanılan malzeme türüdür, metalleri ise etkili bir biçimde kullanılmaktadır. Dental seramikler ve kompozitleri basmak, 3B baskı teknolojilerine entegre edilmiş en yeni materyal türüdür; ancak halen daha fazla geliştirilmeye ihtiyaçları vardır.

KAYNAKLAR

1. van Noort R. The future of dental devices is digital. *Dental Materials*. 2012;28:3–12. doi:10.1016/j.dental.2011.10.014.
2. Alessandretti R, Borba M, Benetti P, et al. Reliability and mode of failure of bonded monolithic and multilayer ceramics. *Dental Materials*. 2017;33:191–197. doi:10.1016/j.dental.2016.11.014.
3. Alessandretti R, Borba M, Della Bona A. Cyclic contact fatigue resistance of ceramics for monolithic and multilayer dental restorations. *Dental Materials*. 2020;36:535–541. doi:10.1016/j.dental.2020.02.006.
4. Basso GR, Moraes RR, Borba M, et al. Reliability and failure behavior of CAD-on fixed partial dentures. *Dental Materials*. 2016;32:624–630. doi:10.1016/j.dental.2016.01.013.
5. Corazza PH, de Castro HL, Feitosa SA, et al. Influence of CAD-CAM diamond bur deterioration on surface roughness and maximum failure load of Y-TZP-based restorations. *American Journal of Dentistry*. 2015;28:95–99.
6. Della Bona A, Cantelli V, Britto VT, et al. 3D printing restorative materials using a stereolithographic technique: a systematic review. *Dental Materials*. 2021;37:336–350. doi:10.1016/j.dental.2020.11.030.
7. Stansbury JW, Idacavage MJ. 3D printing with polymers: challenges among expanding options and opportunities. *Dental Materials*. 2016;32:54–64. doi:10.1016/j.dental.2015.09.018.
8. Wang X, Jiang M, Zhou Z, et al. 3D printing of polymer matrix composites: A review and prospective. *Composites Part B: Engineering* 2017; 110:442–458. doi:10.1016/j.compositesb.2016.11.034
9. Javaid M, Haleem A. Current status and applications of additive manufacturing in dentistry: A literature-based review. *Journal of Oral Biology and Craniofacial Research*. 2019;9(3):179–185. doi:10.1016/j.jobcr.2019.04.004.

10. Dizon JR, Espera Jr AH, Chen Q, et al. Mechanical characterization of 3D-printed polymers. *Additive Manufacturing*. 2018;20:44–67.
11. Revilla-León M, Özcan M. Additive manufacturing technologies used for processing polymers: current status and potential application in prosthetic dentistry. *Journal of Prosthodontics*. 2019;28(2):146–158. doi:10.1111/jopr.12801.
12. Dawood A, Marti BM, Sauret-Jackson V, et al. 3D printing in dentistry. *British Dental Journal*. 2015;219(11):521. doi:10.1038/sj.bdj.2015.914.
13. Onoral O, Abugofa A. Advancements in 3D Printing Technology: Applications and Options for Prosthetic Dentistry. *Cyprus Journal of Medical Science*. 2020;5(2):176–183.
14. Alageel O, Wazirian B, Almufleh B, Tamimi F. Fabrication of dental restorations using digital technologies: techniques and materials”, in Tamimi, F. (Ed.) *Digital Restorative Dentistry*, Springer. 2019.
15. Lin L, Fang Y, Liao Y, et al. 3d printing and digital processing techniques in dentistry: a review of literature. *Advanced Engineering Materials*. 2019;21(6):1801013. doi:10.1002/adem.201801013
16. George E, Liacouras P, Rybicki FJ, et al. Measuring and establishing the accuracy and reproducibility of 3D printed medical models. *Radiographics*. 2017;37(5):1424–1450. doi:10.1148/rg.2017160165.
17. Yalçın B, Ergene B. Endüstride yeni eğilim olan 3-d eklemeli imalat yöntemi ve metalurjisi. *Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi*. 2017;9(3):65–88.
18. Jockusch J, Özcan M. Additive manufacturing of dental polymers: an overview on processes, materials and applications. *Dental Materials Journal*. 2020;39(3):2019–2023. doi:10.4012/dmj.2019-123.
19. Galante R, Figueiredo-Pina CG, Serro AP. Additive manufacturing of ceramics for dental applications: A review. *Dental Materials*. 2019;35(6):825–846. doi:10.1016/j.dental.2019.02.026.
20. Barazanchi A, Li K, Al-Amleh B, et al. Additive technology: update on current materials and applications in dentistry. *Journal of Prosthodontics*. 2017;26(2):156–163. doi:10.1111/jopr.12510.
21. Sames W, List F, Pannala S, et al. The metallurgy and processing science of metal additive manufacturing. *International Materials Reviews*. 2016;61(5):315–360. doi:10.1080/095066608.2015.1116649.
22. Alharbi N, Osman R, Wismeijer D. Effects of build direction on the mechanical properties of 3D-printed complete coverage interim dental restorations. *Journal of Prosthetic Dentistry*. 2016;115(6):760–767. doi:10.1016/j.prosdent.2015.12.002.
23. Costa AJM, Teixeira Neto AD, Burgoa S, et al. Fully Digital Workflow with Magnetically Connected Guides for Full-Arch Implant Rehabilitation Following Guided Alveolar Ridge Reduction. *Journal of Prosthodontics*. 2020;29(3):272–276. doi:10.1111/jopr.13150.
24. Stansbury JW, Idacavage MJ. 3D printing with polymers: Challenges among expanding options and opportunities. *Dental Materials*. 2016 Jan;32(1):54–64. doi:10.1016/j.dental.2015.09.018.
25. Haleem A, Javaid M, Vaish A, et al. Three-Dimensional-Printed Polyether Ether Ketone Implants for Orthopedics. *Indian Journal of Orthopaedics*. 2019;53(2):377–379. doi:10.4103/ortho.IJOrtho_499_18.
26. Sulaiman TA. Materials in digital dentistry-A review. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*. 2020;32(2):171–181. doi:10.1111/jerd.12566.
27. Wang W, Yu H, Liu Y, et al. Trueness analysis of zirconia crowns fabricated with 3-dimensional printing. *Journal of Prosthetic Dentistry*. 2019;121(2):285–291. doi:10.1016/j.prosdent.2018.04.012.

28. Totu EE, Nechifor AC, Nechifor G, et al. Poly(methyl methacrylate) with TiO₂ nanoparticles inclusion for stereolithographic complete denture manufacturing - the future in dental care for elderly edentulous patients? *Journal of Dentistry*. 2017;59:68–77. doi:10.1016/j.jdent.2017.02.012.
29. Piedra Cascón W, Revilla-León M. Digital workflow for the design and additively manufacture of a splinted framework and custom tray for the impression of multiple implants: A dental technique. *Journal of Prosthetic Dentistry*. 2018;120(6):805–811. doi:10.1016/j.prosdent.2018.02.003.
30. Chen H, Yang X, Chen L, et al. Application of FDM three-dimensional printing technology in the digital manufacture of custom edentulous mandible trays. *Scientific Reports*. 2016;6:19207. doi:10.1038/srep19207.
31. Kanazawa M, Iwaki M, Arakida T, et al. Digital impression and jaw relation record for the fabrication of CAD/CAM custom tray. *Journal of Prosthodontic Research*. 2018;62(4):509–513. doi:10.1016/j.jpor.2018.02.001.
32. Revilla-León M, Sánchez-Rubio JL, Oteo-Calatayud J, et al. Impression technique for a complete-arch prosthesis with multiple implants using additive manufacturing technologies. *Journal of Prosthetic Dentistry*. 2017;117(6):714–720. doi:10.1016/j.prosdent.2016.08.036.
33. Lanis A, Alvarez Del Canto O, Barriga P, et al. Computer-guided implant surgery and full-arch immediate loading with prefabricated-metal framework-provisional prosthesis created from a 3D printed model. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*. 2019;31(3):199–208. doi:10.1111/jerd.12458.
34. Mendes TA, Marques D, Lopes LP, et al. Total digital workflow in the fabrication of a partial removable dental prostheses: A case report. *SAGE Open Medical Case Reports*. 2019;7:2050313X19871131. doi:10.1177/2050313X19871131.
35. Venezia P, Torsello F, Santomauro V, et al. Full Digital Workflow for the Treatment of an Edentulous Patient with Guided Surgery, Immediate Loading and 3D-Printed Hybrid Prosthesis: The BARI Technique 2.0. A Case Report. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2019;16(24):E5160.
36. Al-Rimawi A, EzEldeen M, Schneider D, et al. 3D Printed Temporary Veneer Restoring Autotransplanted Teeth in Children: Design and Concept Validation Ex Vivo. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2019;16(3):496. doi:10.3390/ijerph16030496.
37. Lee WS, Lee DH, Lee KB. Evaluation of internal fit of interim crown fabricated with CAD/CAM milling and 3D printing system. *Journal of Advanced Prosthodontics*. 2017;9(4):265–270. doi:10.4047/jap.2017.9.4.265.
38. Osman RB, van der Veen AJ, Huijberts D, et al. 3D-printing zirconia implants; a dream or a reality? An in-vitro study evaluating the dimensional accuracy, surface topography and mechanical properties of printed zirconia implant and discs. *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*. 2017;75:521–528. doi:10.1016/j.jmbbm.2017.08.018.
39. Osman RB, Alharbi N, Wismeijer D. Build Angle: Does It Influence the Accuracy of 3D-Printed Dental Restorations Using Digital Light-Processing Technology? *The International Journal of Prosthodontics*. 2017;30(2):182–188. doi: 10.11607/ijp.5117.
40. Peng CC, Chung KH, Ramos V Jr. Assessment of the Adaptation of Interim Crowns using Different Measurement Techniques. *Journal of Prosthodontics*. 2020;29(1):87–93.
41. Peng CC, Chung KH, Yau HT, et al. Assessment of the internal fit and marginal integrity of interim crowns made by different manufacturing methods. *Journal of Prosthetic Dentistry*. 2020;123(3):514–522. doi:10.1016/j.prosdent.2019.02.024.

42. Kim MJ, Choi YJ, Kim SK, et al. Marginal Accuracy and Internal Fit of 3-D Printing Laser-Sintered Co-Cr Alloy Copings. *Materials (Basel)*. 2017;10(1):93. doi:10.3390/ma10010093.
43. Koutsoukis T, Zinelis S, Eliades G, et al. Selective Laser Melting Technique of Co-Cr Dental Alloys: A Review of Structure and Properties and Comparative Analysis with Other Available Techniques. *Journal of Prosthodontics*. 2015;24(4):303–312. doi:10.1111/jopr.12268.
44. Prabhu R, Prabhu G, Baskaran E, et al. Clinical acceptability of metal-ceramic fixed partial dental prosthesis fabricated with direct metal laser sintering technique-5 year follow-up. *Journal of Indian Prosthodontic Society*. 2016;16(2):193–197. doi:10.4103/0972-4052.176526.
45. Bilgin MS, Erdem A, Dilber E, et al. Comparison of fracture resistance between cast, CAD/CAM milling, and direct metal laser sintering metal post systems. *Journal of Prosthodontic Research*. 2016;60(1):23–28. doi:10.1016/j.jprior.2015.08.001.
46. Presotto AGC, Barão VAR, Bhering CLB, et al. Dimensional precision of implant-supported frameworks fabricated by 3D printing. *Journal of Prosthetic Dentistry*. 2019;122(1):38–45. doi:10.1016/j.prosdent.2019.01.019.
47. Alageel O, Abdallah MN, Alsheghri A, et al. Removable partial denture alloys processed by laser-sintering technique. *Journal of Biomedical Materials Research Part B: Applied Biomaterials*. 2018;106(3):1174–1185. doi:10.1002/jbm.b.33929.
48. Ohkubo C, Sato Y, Nishiyama Y, et al. Titanium removable denture based on a one-metal rehabilitation concept. *Dental Materials Journal*. 2017;36(5):517–523. doi:10.4012/dmj.2017-137.
49. Almufleh B, Emami E, Alageel O, et al. Patient satisfaction with laser-sintered removable partial dentures: A crossover pilot clinical trial. *Journal of Prosthetic Dentistry*. 2018;119(4):560–567. doi:10.1016/j.prosdent.2017.04.021.
50. Lin WS, Harris BT, Pellerito J, et al. Fabrication of an interim complete removable dental prosthesis with an in-office digital light processing three-dimensional printer: A proof-of-concept technique. *Journal of Prosthetic Dentistry*. 2018;120(3):331–334. doi:10.1016/j.prosdent.2017.12.027.
51. Park GS, Kim SK, Heo SJ, et al. Effects of Printing Parameters on the Fit of Implant-Supported 3D Printing Resin Prosthetics. *Materials (Basel)*. 2019;12(16):2533. doi:10.3390/ma12162533.
52. Batstone MD. Reconstruction of major defects of the jaws. *Australian Dental Journal*. 2018;63 Suppl 1:S108–S113. doi:10.1111/adj.12596.
53. Unkovskiy A, Spintzyk S, Brom J, et al. Direct 3D printing of silicone facial prostheses: A preliminary experience in digital workflow. *Journal of Prosthetic Dentistry*. 2018;120(2):303–308. doi:10.1016/j.prosdent.2017.11.007.
54. Abdullah AM, Mohamad D, Din TNDT, et al. Fabrication of nasal prosthesis utilising an affordable 3D printer. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2019;100:1907–1912.
55. McHutchion L, Kincade C, Wolfaardt J. Integration of digital technology in the workflow for an osseointegrated implant-retained nasal prosthesis: A clinical report. *Journal of Prosthetic Dentistry*. 2019;121(5):858–862. doi:10.1016/j.prosdent.2018.10.005.
56. Gueutier A, Kün-Darbois JD, Laccourreya L, et al. Anatomical and functional rehabilitation after total bilateral maxillectomy using a custom-made bone-anchored titanium prosthesis. *International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*. 2020;49(3):392–396. doi:10.1016/j.ijom.2019.08.014.

57. Kortés J, Dehnad H, Kotte ANT, et al. A novel digital workflow to manufacture personalized three-dimensional-printed hollow surgical obturators after maxillectomy. *International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*. 2018;47(9):1214–1218. doi:10.1016/j.ijom.2018.03.015.
58. Kim SM, Son K, Kim DY, et al. Digital Evaluation of the Accuracy of Computer-Guided Dental Implant Placement: An In Vitro Study. *Applied Science*. 2019; 9(16):3373. doi:10.3390/app9163373
59. Oh KC, Park JM, Shim JS, et al. Assessment of metal sleeve-free 3D-printed implant surgical guides. *Dental Materials*. 2019;35(3):468–476. doi:10.1016/j.dental.2019.01.001.
60. Sun Y, Ding Q, Tang L, et al. Accuracy of a chairside fused deposition modeling 3D-printed single-tooth surgical template for implant placement: An in vitro comparison with a light cured template. *Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery*. 2019;47(8):1216–1221. doi:10.1016/j.jcms.2019.03.019.
61. Yu JH, Wang YT, Lin CL. Customized surgical template fabrication under biomechanical consideration by integrating CBCT image, CAD system and finite element analysis. *Dental Materials Journal*. 2018;37(1):6–14. doi:10.4012/dmj.2016-312.
62. Anssari Moin D, Derksen W, Waars H, et al. Computer-assisted template-guided custom-designed 3D-printed implant placement with custom-designed 3D-printed surgical tooling: an in-vitro proof of a novel concept. *Clinical Oral Implants Research*. 2017;28(5):582–585. doi:10.1111/clr.12838.
63. Buda M, Bratos M, Sorensen JA. Accuracy of 3-dimensional computer-aided manufactured single-tooth implant definitive casts. *Journal of Prosthetic Dentistry*. 2018;120(6):913–918. doi:10.1016/j.prosdent.2018.02.011.