

Diş Hekimliğinde Fotopolimerizasyon ile 3 Boyutlu Üretim Yöntemleri ve Kullanım Alanları

3 Dimensional Production Methods and Usage Areas with Photopolymerization in Dentistry

Melisa ÖZAY^a (ORCID-0000-0002-1441-0225), Serkan SARIDAĞ^b (ORCID-0000-0001-8767-788X)

^aTuran Ağız ve Diş Sağlığı Polikliniği, Bursa, Türkiye

^aTuran Oral and Dental Health Polyclinic, Bursa, Türkiye

^bOkan Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Protetik Diş Tedavisi AD, İstanbul, Türkiye

^bOkan University, Faculty of Dentistry, Department of Prosthodontics, Istanbul, Türkiye

ÖZ

Son yıllarda üretim teknolojilerinin hızla gelişmesiyle, 3 boyutlu yazıcıların kullanımında dikkat çekici bir artış yaşanmıştır. Havacılık, savunma, sanat ve tasarım alanlarında kullanılan 3 boyutlu üretim teknolojileri; diş hekimliğinde de önemli bir yere sahip olmuştur. Farklı metodlarda kullanılan birçok materyal ile hasta ve hekim konforu artırılmış ve çalışma süresi kısaltılmıştır. Yeni üretim yöntemleri; alçıdan model dökümü ve braketlerle ortodontik tedavi gibi geleneksel yöntemlerin aksine tedavilerin verimini ve başarısını ileri düzeye taşımış ve birçok yeni gelişmeye de olanak sağlamıştır. Fotopolimerize rezinler; protez kaide materyali, obturator, geçici kron-köprü üretiminin yanı sıra, dental eğitim alanında model eldesinde de kullanılmaya başlanmıştır. Bu derlemenin amacı; ışıkla polimerize olan rezinlerin 3 boyutlu üretim sürecindeki kullanım alanları hakkında genel bir bakış açısı sunmaktır. Ayrıca eklemeli üretim teknolojileri, bu teknolojilerde kullanılan materyaller, avantaj ve dezavantajları hakkında bilgi verilmesi amaçlanmıştır.

Anahtar Kelimeler

Bilgisayar Destekli Üretim, Eklemeli Üretim, 3-Boyutlu Yazıcı, Dijital Diş Hekimliği ve Fotopolimerizasyon

ABSTRACT

In recent years, with the rapid development of production technologies there has been a remarkable increase in the use of 3D printers. This technology, which is also used in the fields of aviation, defense, art and design, has an important place in dentistry. With many materials used with different methods, patient and dentist comfort is increased and working time is shortened. New production methods; contrary to traditional methods such as plaster model casting and orthodontic treatment with brackets, it has advanced the efficiency and success of treatments and has also enabled many new developments. Photopolymerized resins; in addition to the production of prosthetic base material, obturator, temporary crown-bridge, it is also used in the production of models in the field of dental education. The aim of this review is to provide an overview of the use of light-cured resins in the 3D production process. Also; it is aimed to give information about additive manufacturing technologies, materials used in these technologies, advantages and disadvantages.

Keywords

Computer Aided Manufacturing, Additive Manufacturing, 3-D Printing, Digital Dentistry and Photopolymerization

GİRİŞ

Tıp ve diş hekimliği alanında yeni teknolojilerin ortaya çıkışı; hastaların yaşam kalitesini artıracak malzeme ve prosedürlere sahip olma imkanı tanıyarak hem hastayı hem de hekimi etkileyecek gelişmeler sunmuştur.¹ 3 boyutlu üretim, son 30 yılda hasta ve hekimler tarafından popülerlik kazanmış ve hekimlere daha konforlu, daha kaliteli ve kişiye özgü tedaviler yapma imkanı sunmuştur. Geleneksel üretimden farklı olarak, hızlı üretilebilen, yüksek hassasiyetli ve kişiye özgü tasarlanan dental implantlar ve birçok tedavi daha ulaşılabilir hale gelmiştir.

1986 yılında, Charles Hull tarafından tanımlanan 3 boyutlu (3D) üretim teknolojisi, birçok yeni teknolojiyi de beraberinde getirmiştir.^{2,3} (Tablo1) Tüm bu teknolojilerin içerisinde, ışıkla sertleştirme yöntemi en eski 3 boyutlu üretim tekniğidir. Bu yöntemde fotopolimerizasyon esaslı ve materyal olarak sıvı fotopolimerize rezin kullanılır. Resin sadece ışık varlığında sertleşir ve ışınlama olmadığında sıvı formda kalır. Fotopolimerizasyon yöntemi; kırılganlık, deformasyonunun kolay olması ve düşük biyouyumluluk gibi dezavantajları olmasına rağmen, günümüz diş hekimliğinde dental model, ortodontik tedavi, implant cerrahisi ve benzeri birçok tedavide tercih edilmektedir.^{4,5,6}

Tablo 1. 3 boyutlu üretim yöntemleri

Yöntem	Avantajları	Dezavantajları
Stereolitografi (SLA): Işığa duyarlı polimer, lazer ışınıyla tabaka tabaka fotopolimerize edilir.	Yüksek çözünürlüklü ve hızlı üretim, farklı baskı cihazlarıyla uyum, büyük boyutlu objeleri üretilebilir	Yetersiz yüzey pürüzsüzlüğü, iritasyon, sınırlı mekanik dayanıklılık
Malzeme Püskürtme (Inkjet Yazıcılar): Materyal; basınç, ısı transferi veya ultraviyole ışık ile sertleştirilir.	Proksimal ve marjinal bölgede iyi uyum, kısa çalışma süresi	Güçlendirme için sinterleme gerekli
Dijital Işık İşleme (DLP): Sıvı rezin, bir projektör ışık kaynağı yardımıyla katman katman sertleştirilir.	Pürüzsüz yüzeyler, hızlı üretim, düşük maliyet	Destekleyici materyalleri uzaklaştırma gerekliliği
Yapıştırıcı ile Katmanlı Üretim (Binder Jetting): Toz halindeki katmanların üzerine yapıştırıcı püskürtülür ve seçici olarak birleştirilir.	Karmaşık yapıların hızlı üretimi, düşük maliyetli güvenli materyaller, hızlı üretim	Düşük dayanıklılık, düşük sterilize edilebilirlik
Seçici Lazer Sinterleme (SLS): Materyallerin erime sıcaklığının hemen altında ısıtılarak katman katman şekillendirilmesidir.	Dayanıklı ve uyumlu üretim, sterilize edilebilirlik	Pürüzlü yüzeyler, yüksek maliyet

Gönderilme Tarihi/Received: 23 Haziran, 2022

Kabul Tarihi/Accepted: 23 Ağustos, 2022

Yayınlanma Tarihi/Published: 21 Ağustos, 2023

Atıf Bilgisi/Cite this article as: ÖZAY M, Sarıdağ S. Diş Hekimliğinde Fotopolimerizasyon ile 3 Boyutlu Üretim

Yöntemleri ve Kullanım Alanları. Selcuk Dent J 2023;10(2): 479-485 Doi: 10.15311/ selcukdentj.1135010

Sorumlu yazar/Corresponding Author: Melisa ÖZAY

E-mail: melisaozay17@gmail.com

Doi: 10.15311/ selcukdentj.1135010

Bilgisayar ortamındaki veriler aracılığıyla, katman katman malzeme eklenecek üç boyutlu nesnelerin üretilmesi eklemeli üretim olarak adlandırılır.⁷ Günümüzde 3 boyutlu üretim, eklemeli üretim terimini de içerisinde barındırmakta ve hızlı prototipleme olarak da adlandırılmaktadır.⁸ Dijital veya konvansiyonel olarak alınan hasta ölçülerinden faydalanılarak çeşitli tedavilerin yapılmasına olanak veren bilgisayar destekli tasarım ve üretim teknolojisi (CAD/CAM); diş hekimliği uygulamalarında önemli gelişmelerin önünü açmakta ve hasta bilgilerinin dökümanite edilebilir, saklanabilir ve iletilebilir verilere dönüşmesini sağlamaktadır.^{9,10}

Eklemeli üretim; bilgisayar destekli tasarlanan (CAD) 3 boyutlu sanal model ve prototiplerin, bilgisayar destekli aşamalar ile üretimini gerçekleştirmektedir. (CAM)¹¹

Fotopolimerizasyon; solvent içermeyen rezinleri, ortam sıcaklığında katı polimere dönüştürmede en etkili yöntem olarak kabul edilmektedir.¹² Bu yöntemde sıvı rezin, tabakalar halinde yüzeye çıkar ve lazer ışını bu yüzeyleri tarar. Taranan sıvı rezin sertleşerek bir katman oluşturur, bu aşama tekrarlanarak üç boyutlu obje basılmış olur.¹³ Diğer 3 boyutlu üretim teknikleriyle kıyaslandığında, fotopolimerizasyon, detaylı üretim, bilgisayar tasarımı ile üretilen obje arasındaki düşük boyut farkı (yaklaşık 50 mikrometre) ve avantajlı fiziksel ve mekanik özellikleri ile karakterizedir.¹⁴ Fotopolimerizasyon ile üretim kullanıcıya; yüksek hassasiyet, pürüzsüzlük ve hızlı üretim avantajlarını sunmaktadır.

Diş hekimliğinde güncel olarak; 3 boyutlu üretim süreçlerinde, bir lazer kaynağının kullanıldığı klasik stereolitografi (SLA) ve bir maskeleme tekniği olarak ifade edilen dijital ışık işleme (DLP) yöntemleri sıklıkla kullanılmaktadır. Her iki yöntemde de obje, fotopolimer rezinin ışıkla aktive edilmesi sonucu oluşturulur.¹⁵ Stereolitografi yöntemiyle üretim; son derece hassas cihazlarla, dizayn, geometrik şekil ve ölçeklendirmede esneklik sağlamaktadır.¹⁶

Fotopolimer Rezinler

Polimerler, birbirlerine çeşitli kovalent bağlarla bağlı tekrarlayan birimlerden oluşan moleküllerdir.

Fotopolimerler ise; genellikle dalga boyu 100-400 nm aralığındaki ultraviyole (UV) ışık veya dalga boyu 400-740 nm aralığındaki elektromanyetik spektrumun gözle görünür bölgesinden bir ışığa maruz kaldığında, yapısal ve kimyasal özellikleri değişiklik gösteren ve fotopolimerizasyonla sertleşen polimerlerdir.¹⁷ Fotopolimerler; içerisinde fotobaşlatıcı, reaktif seyreltici, stabilizatör ve sıvı monomer gibi komponentler barındırır. Işın rezine temas ettiğinde, fotobaşlatıcılar bir dönüşüme uğrar ve sıvı monomerlerle birlikte reaktif hale gelir. Reaktif fotobaşlatıcı, polimer reaksiyonu başlatmak için bir monomer molekülü ile reaksiyona girer. Polimer zincirler ve bu zincirlerin arasındaki kovalent bağlar aracılığı ile çapraz bağlar oluşur.¹⁸ Temel olarak; serbest radikal ve katyonik olmak üzere iki farklı fotopolimerizasyon türü tanımlanmıştır.¹⁹ Oral yumuşak dokular için UV ışığın olumsuz etkileri göz önüne alındığında, görünür ışıkla indüklenen serbest radikal fotopolimerizasyon, UV ışıkla indüklenen katyonik fotopolimerizasyona kıyasla diş hekimliğinde fotopolimerizasyon teknolojisinin hızlı bir şekilde kabul edilmesini sağlamıştır.²⁰

Vinil Polimerler

Vinil polimerler, değiştirilebilir özelliklerinden dolayı diş hekimliğinde en sık kullanılan polimerlerdir. Dental implant gibi malzemelerde uzun vadede bozunma istenmediğinden, vinil polimerlerin biyoçözünür özellik göstermemeleri bir avantaj haline gelmiştir. Vinil polimerler, genel olarak seçici lazer sinterleme (SLS) ve fotopolimerizasyon yöntemleri ile birlikte kullanılır.

Diş hekimliğinde 3 boyutlu üretimde en sık kullanılan vinil polimer, poli (metil metakrilat-PMMA) vinilidir. PMMA, akrilat ailesine ait amorf polimerlerden biridir. Oda sıcaklığında 100 °C ile 130 °C arasında cam geçiş sıcaklığına ve 1.20 g/cm³ yoğunluğa sahip berrak, renksiz bir polimerdir. Çok iyi bir termal kararlılığa sahiptir ve 100 °C'ye kadar yüksek ve -70 °C'ye kadar düşük sıcaklıklara dayandığı bilinmektedir. Aynı zamanda, 1.490 kırılma indeksi ile çok iyi optik özelliklere, yüksek bir young modülüne ve düşük bir kırılma uzamasına sahiptir. İşleme kolaylığı, kabul edilebilir mekanik özellikler, maliyet uygunluğu ve nispeten düşük toksisite özellikleri nedeniyle, PMMA, protez kaide materyali olarak kullanılmaktadır. 20. yüzyılın son

yarısında, sadece protez kaide materyali olarak değil, obtüratör, geçici kron-köprü yapımı ve çeşitli dental ve maksillofasial protezlerin yapımında dikkate değer bir önem kazanmıştır. (Resim1)^{21,22,23}



Resim 1. Geçici restorasyon üretiminde kullanılan fotopolimerize rezin

Fotopolimerizasyon ile 3 Boyutlu Üretim Teknikleri

Stereolitografi (SLA)

SLA yöntemi, diş hekimliği alanında sıklıkla kullanılan bir 3 boyutlu üretim tekniğidir. Objelerin üretimi, sıvı rezinin fotopolimerizasyon yoluyla sertleştirilmesine dayanır. Lazer ışını, belirli bir derinliğe odaklanır ve lokalize polimerizasyona (dolayısıyla sertleşmeye) neden olur.²⁴ Polimerizasyon işlemi, 3 boyutlu obje üretilene kadar katman katman devam eder. Lazerin bu x-y eksenini üzerindeki hareketi, özel bir optik sistemle birlikte iki galvanometre tarafından gerçekleştirilir ve 5-10 µm çözünürlük elde edilir.²⁵

Dijital Işık İşleme (DLP)

DLP tabanlı 3 boyutlu üretim; hızlı baskı, mükemmel ölçeklenebilirlik ve kolay çalışma koşullarıyla ön plana çıkan bir yöntemdir.²⁶ Bu yöntemde, bağımsız olarak açık veya kapalı konuma getirilebilen milyonlarca aynadan oluşan bir dijital ayna aygıtı (DMD) kullanılır. Şeffaf rezin plaka üzerine iki boyutlu bir piksel deseni yansıtılarak tek seferde bir tabaka rezin sertleştirilir. Objelerin tamamlanma süresi x-y düzlemindeki boyutlara ve aynı anda üretilen objelerin sayısına değil, yalnızca katman kalınlığına bağlıdır. Dolayısıyla daha hızlı bir üretim süreci sağlanmış olur.²⁷ Yüksek hassasiyet, DLP tekniğinin en önemli avantajlarından biridir. Ancak yüksek hassasiyet küçük boyutlu üretimde garanti edilir. Bu özelliğinden dolayı diş hekimliğinde sıklıkla kullanılan bir yöntemdir.²⁸

Sıvı Kristal Ekran (LCD)

Işıklı polimerizasyon kullanılan tüm yöntemlerde, SLA'dan DLP'ye ve en son teknoloji LCD'ye, kontrol ve adım sistemi arasında çok az fark vardır, temel fark ışık kaynağı ve görüntüleme sistemidir. (Tablo2) DLP ve LCD teknikleri arasındaki en büyük fark görüntüleme sistemidir. LCD tekniğinde görüntüleme sistemi olarak likit kristal ekran kullanılmıştır. Sıvı kristale bir elektrik alanı uygulandığında, moleküler düzenini değiştirir ve ışığın geçmesini önler. Gelişmiş likit kristal ekran teknolojisi sayesinde likit kristal ekranın çözünürlüğü çok yüksektir.²⁹ Baskı kalitesine ek olarak, DLP ve LCD arasındaki en büyük fark, kullanılan ışık yoğunluğudur.³⁰

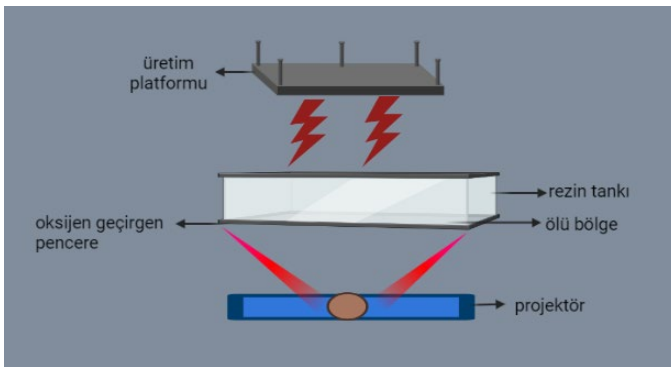
Tablo 2. Fotopolimerizasyon yöntemini kullanan 3 boyutlu üretim tekniklerinin karşılaştırılması

Teknik	Işık Kaynağı	Baskı Boyutu	Hassasiyet
SLA	355 nm (lazer ışını)	Sınır yok	Orta
DLP	385-405 nm (LED)	Sınırlı	Çok iyi
LCD	405 nm (LED)	Sınırlı	İyi
MJP	Sınır yok	Sınır yok	Mükemmel
CLIP	385-405 nm (LED)	Sınırlı	Çok iyi

Moon ve ark.³¹ DLP ve LCD tekniklerini kullanarak 2, 3, 5, 6 üyeli ve tam ark geçici restorasyonlar üretmiş ve bu restorasyonların çeşitli özelliklerini kıyaslamıştır. Her iki yöntemde de, restorasyon boyutu ile hata miktarının orantılı olarak arttığı, DLP yönteminde 6 üyeli restorasyonlarda belirgin hata meydana gelirken, LCD yönteminde 5 üyeli restorasyonlardan itibaren belirgin hatalar gözlenmeye başlamıştır. Bu sonuçlara dayanarak, daha büyük restorasyonlarda DLP ve LCD baskının her ikisinin de hatalı olduğu sonucuna varılmıştır. Küçük restorasyonlar için DLP ve LCD baskı kullanılabilir, ancak daha büyük restorasyonların daha doğru sonuçlar elde edilebilmesi için diğer teknolojilere dayalı 3 boyutlu yazıcılar düşünülebilir.

Devamlı Sıvı Arayüz Üretimi (CLIP)

SLA ve SLS gibi rutin olarak kullanılan 3 boyutlu eklemeli üretim teknikleri, baskı işlemini katman katman yaptıkları için yavaştır. Katmanlı üretimin seri üretimde uygulanabilmesi için, çözünürlük kalitesini korurken, hızının da artması gerekmektedir. Serbest radikal polimerizasyon sırasındaki açığa çıkan oksijen inhibisyonu, ışık ile sertleşen resinlerin fotopolimerize edilmesinde yaygın olarak karşılaşılan bir engel olmasına rağmen, daha basit ve daha hızlı üretim sağlamak için kontrollü oksijen inhibisyonunu içerisinde barındıran CLIP yöntemi geliştirilmiştir.³² CLIP tekniğinde nesne, katman katman yazdırmanın geleneksel prototiplemesinden farklı olarak, cam membrandan yapılmış oksijen geçirgen bir pencere ve bunun altındaki ultraviyole görüntü projeksiyon düzlemi ile elde edilir, bu da 3 boyutlu objelerin üretilmesine olanak tanır. (Şekil1)³³

**Şekil 1. CLIP tekniği ile 3 boyutlu üretim şeması**

Polyjet (MJP)

MJP tekniği ile 3 boyutlu üretim; birçok nozül dizisi ile birlikte çalıştığı için modelleri verimli bir şekilde yazdırabilen bir yöntemdir. Model verilerine göre, nozüller x-y eksenleri boyunca sıvı resin püskürtür. Püskürtülen resin bir silindirik yardımcıyla düzleştirilir ve UV ışıkla sertleştirilir. İlk katman sertleştirildikten sonra, son derece hassas bir şekilde katman kalınlığı düşürülür ve nozüller sıvı resin püskürtmeye devam eder.³⁴

SLA, DLP, LCD ve CLIP tekniklerinin aksine, MJP tekniğinin görüntüleme kontrolü ve ışık kaynağı bağımsızdır. Resinin viskozitesi, enjekte edilebilirlik ve püskürtülebilirlik açısından önem taşımaktadır. Bu nedenle düşük viskoziteli resin veya ısıtıcı nozül şartı aranır.

MJP tekniğinde çok sayıda nozül kullanılması, farklı materyallerin kullanılabilirliğini arttırmaktadır. Bu özelliği sayesinde, farklı boyutlarda, farklı renklerde ve farklı sertliklerde nesnelere üretilmektedir. 16 mikrona kadar düşebilen katman kalınlığı ile, yüksek çözünürlükte nesnelere üretilmektedir. Destekleyici malzemeler çözünür olduğundan, destekleyicilerin kaldırılması işlemi

kolayca yapılır ve baskı modellerinin yüzeyinde pürüzsüzlük sağlanabilir. Tüm bu avantajlarına rağmen, MJP yazıcılarının pahalı olması ve düşük viskoziteli resin gerektirmesi nedeniyle yalnızca yüksek çözünürlük gerektiren alanlarda kullanılmaktadır.³⁵

Fotopolimerize Resinlerin Kullanım Alanları

Cerrahi Rehberlerle İmplant Cerrahisi

Dental implantlarla restorasyon yapılırken, konik ışınlı bilgisayarlı tomografi (CBCT) 3 boyutlu implant planlama yazılımı ve cerrahi rehber gibi yeni tanımlan teknolojiler kullanılarak implantlar ideal, öngörülebilir ve planlı bir konuma yerleştirilebilir. CBCT sadece dental implantları yerleştirmeden önce değerlendirme için değerli bilgiler sağlamakla kalmaz, aynı zamanda cerrahi vakaların tamamen dijital olarak planlanmasına da olanak sağlar. Bir CBCT taraması kullanılarak, planlanan bir implantın kesin konumuna dayalı olarak 3 boyutlu cerrahi rehber üretilir. Cerrahi rehberler sayesinde, cerrahi işlem süresi kısılır ve implantlar istenen konuma ideal bir şekilde yerleştirilebilir.³⁶

CBCT rehberliğindeki cerrahide doğruluk, planlamadaki dental implant pozisyonu ile postoperatif pozisyon arasındaki sapma olarak tanımlanır.³⁷

Assche ve ark.³⁸ tarafından yapılan bir çalışmada, CBCT ile alınan veriler eşliğinde rehberli ve rehbersiz olarak yerleştirilen implantların sapma miktarları değerlendirilmiş ve yerleştirme sırasında rehber kullanılan implantlar için sapma parametrelerinin (giriş, apikal ve açı) daha düşük olduğu görülmüştür. İnceleme ayrıca, ilk bakışta görünüşte büyük olan, ancak kılavuzsuz cerrahi için açıkça daha düşük olan 2 mm'lik bir yanlışlığı kabul edilmesini gerektiğini göstermiştir. Ayrıca, gerçekleştirilen sistematik inceleme yapılarak, doğruluğun 0.5 mm'nin altına düşürülmesinin son derece zor görüldüğü sonucuna varılmıştır. (Tablo3)

Tablo 3. Rehber eşliğinde ve rehbersiz yerleştirilen dental implantların sapma değerleri

	Rehberli	Rehbersiz
Giriş noktası sapma miktarı (mm)	0.87	1.34
Apeks sapma miktarı (mm)	1.15	1.69
Angulasyon sapma derecesi	3.06°	5.6°

Cerrahi kılavuz, kılavuzun doğruluğuna bağlı olarak implantın planlanan pozisyonunda yerleştirilmesini kolaylaştırır. Ancak CBCT, segmentasyon, CAD, 3D baskı ve işlem sonrası her adımda hatalar meydana gelebilir ve birbirini tetikleyebilir. Aynı CAD modeli yazdırıldığında bile, ortaya çıkan parçanın doğruluğu, kullanılan 3D yazıcı teknolojisine bağlıdır. Basılı kılavuzun kullanılabilmesi için öngörülen toleranslar dahilinde olması gerekmektedir.³⁹

Ortodontik Aligner

Plak tedavisi, ortodontide bir tedavi seçeneği olarak tanıtılmasından bu yana, büyük bir popülerlik kazanmış ve plak tedavisi gören hastaların sayısında büyük bir artış yaşanmıştır. Konvansiyonel tedavinin dezavantajları ve hastaların alternatif braketsiz tedavilere yönelik artan istekleri, seri olarak kullanılan şeffaf alignerlerin, yani hassas ölçülere veya dijital taramalara dayalı olarak üretilen alignerlerin popülerleşmesine katkıda bulunmuştur. 3 boyutlu basılmış şeffaf bir alignerin kullanılması, analog ölçü alma ve bunu takip eden termoplastik iş akışından kaynaklanan kümülatif hataları ortadan kaldırmıştır. Doğrudan baskı, daha yüksek doğruluğa ek olarak, daha kısa teslim süreleri ve daha düşük maliyetler gibi avantajlar da sağlar. Ayrıca, eksiltici ve termoform süreçlerinden önemli ölçüde daha az atık üreten daha sürdürülebilir bir süreçtir.⁴⁰

Jindal ve ark.⁴¹ Dental Long Term (LT)® şeffaf resin (Form Labs, Somerville, MA, ABD) kullanılarak başarılı bir 3D baskılı 0.75 mm kalınlığında şeffaf hizalayıcı üretilmiş ve mekanik ve geometrik özelliklerini geleneksel olarak üretilen ısıyla şekillendirilmiş Duran şeffaf hizalayıcılarıyla karşılaştırmışlar ve daha iyi geometrik doğruluk ve mekanik direnç sahip oldukları için 3D baskılı ışıkla sertleşen şeffaf alignerlerin daha uygun olduğunu öne sürmüşlerdir.

Invisalign®, maloklüzyon tedavisinde son 20 yıldır kullanılmakta olan poliüretandan yapılmış stereolitografik şeffaf bir alignerdir. Ayrıca,

maloklüzyon tedavisi için şu anda kullanımda olan başka estetik şeffaf hizalayıcı sistemleri de vardır. Yakın zamanda ise, Form Labs® tarafından tanıttılan metakrilat bazlı stereolitografik fotopolimerizasyon yöntemi olan Dental LT®, diğer rezinlere göre biyouyumluluk değeri çok daha yüksek olan sınıf IIa bir malzeme olduğunu iddia etmektedir.

Çeşitli şeffaf aligner sistemlerinin sitotoksitesini kontrol etmek için birkaç çalışma yapılmıştır ve bunların çoğu istatistiksel olarak önemsiz düzeyde sitotoksitesine sahip oldukları ve ağız içi kullanım için güvenli oldukları sonucuna varmıştır. Dental LT®'nin sitotoksitesini üzerine daha önce yapılmış bir çalışma bulunmamaktadır.⁴²

Protez Kaide Materyali

Bilim ve teknolojideki son gelişmeler, CAD/CAM ve 3D baskı dahil olmak üzere protez kaidesi üretimi için birçok dijital yöntemi beraberinde getirmiştir. Dijital yöntemler, tek blokta bir protez kaidesi üretilmesine izin verir ve prefabrike dişlerin uygun bir yapıştırıcı ile yapıştırılabilmesini sağlar. Dijital kaide üretimiyle, protezin daha hızlı teslimi ve daha az aşama olmasından kaynaklı olarak hata olasılığının azalması söz konusudur.

Kopma modülü, eğilme mukavemeti veya enine kopma mukavemeti, bir malzemede eğilme testinde kopmadan hemen önceki gerilme olarak tanımlanan bir özelliktir. Bir protez günlük kullanımda çeşitli nedenlerle kırılabilceğinden, malzemesinin yüksek eğilme mukavemetine sahip olması önemlidir. Protez kaidesi için CAD/CAM malzemelerinin eğilme mukavemeti ile ilgili bulgular değişkenlik göstermektedir. Steinmassl ve ark.⁴³ yaptığı bir çalışma, farklı CAD/CAM protez kaidesi rezinlerinin, ısıyla polimerize edilmiş kontrol grubuna göre benzer, daha düşük veya daha yüksek eğilme mukavemeti değerleri gösterdiği karışık sonuçlar vermiştir.

Hareketli protezlerin başarısı; büyük oranda protezin tutuculuğuna bağlı olduğundan, kullanılan rezinlerin boyutsal stabilitesi önem taşımaktadır. Mekanik özelliklerle birlikte boyutsal doğruluk, uzun vadede protez başarısını etkilemektedir. Yapılan birçok araştırma 3 boyutlu baskı teknolojisini değerlendirmiş olsa da, 3 boyutlu baskılı protez kaidesi rezininin doğruluğuna ilişkin veriler hala yetersizdir.

Fasial ve ark.⁴⁴, termoplastik ve fotopolimerizasyon yöntemleri ile üretilen protez kaidelerinin çeşitli mekanik özelliklerini karşılaştırmışlardır. Bu çalışma, baskı doğruluğunun seçilen materyale göre değişiklik gösterdiğini ve fotopolimerize rezinlerle elde edilen kaidelerde, termoplastik rezinlere kıyasla, elastik modülü ve eğilme mukavemeti değerlerinde farklı sonuçlar elde edileceğini kanıtlamıştır.

Dental Modelleme

Dental modelleme; uzmanlığında, çalışma modeli, adli tıp modeli, teşhis modeli gibi araçlara ihtiyaç duyan tüm hekimler için vazgeçilmez bir araçtır. Dental model, geleneksel olarak diş laboratuvarında modelin öngörülen amacına bağlı olarak sertliği değişen alçılardan üretilir.

Yapılan çalışmalar; yeni dijital modelleme yöntemlerinin, geleneksel alçı modellemenin geçerli bir alternatifi olabileceğini doğrulamıştır. 3 boyutlu modeller; teşhisin ana hatlarının belirlenmesini, tedavi planlamasını ve diğer profesyonellerle bilgi alışverişini kolaylaştırır. Geleneksel alçı döküm modellerle karşılaştırıldığında, basılı modeller güçlü ve dayanıklıdır, ve tekrar üretilebilir. (Resim2)^{45,46}



Resim 2. 3 boyutlu üretim ile model eldesi

Alçı modellere kıyasla basılı modellerin doğruluğu konusunda yayınlanmış sadece birkaç çalışma yapılmış ve bu çalışmalar, basılı modellerin alçı modellerin yerine kullanılabileceği sonucuna varmıştır.

Camardella ve ark.⁴⁷, 10 gönüllünün ağız içi taramalarını yaptıktan sonra, bu verileri STL dosyasına aktarmış ve 30 set dijital model elde etmiştir. Dijital modeller, farklı baskı ve model tarama teknikleri kullanan 2 diş laboratuvarına gönderilmiştir. 30 dijital model, ışıkla sertleşen metakrilat rezin (E-Denstone; Envisiontec) içeren ve 0.10 mm'lik bir yapı katmanı kalınlığında DLP baskı yöntemini kullanan yazıcıyla (Ultra 3SP Ortho; Envisiontec, Gladbeck, Almanya) ve 0.016 mm katman kalınlığına sahip yazıcı (Objet Eden260VS; Stratasys, Eden Prairie, Minn) ile Polyjet tekniği kullanılarak basılmıştır. Basılı modeller, iki karşılaştırma yöntemi olan üstte bindirme ve ölçme ile incelenmiş ve ağız içi taramadan elde edilen orijinal dijital modeller ve taranan basılı modellerin benzer ve doğru olduğu, hem SLA hem de Polyjet yöntemiyle basılan modellerde ortalama 0.01 mm fark olduğu gösterilmiştir.

Eğitim

Diş hekimliği öğrencilerini hastalarına hazırlamak için, klinik öncesi bir ortamda kapsamlı uygulamalı eğitim gereklidir. Hohne & Schmitter⁴⁸ tarafından yapılan çalışmada, klinik öncesi eğitim için 3D baskı yoluyla çürük lezyonları ve pulpa boşluğu olan bir diş geliştirilmiştir. Bu çalışmada dişler, 47 diş hekimliği öğrencisi tarafından çürük temizleme, kanal tedavisi girişi kavitesi, kron hazırlama ve kor oluşturma konularında preklinik eğitim için kullanılmış ve uygulamalar sonrasında katılımcılara bir anket verilmiştir. 3D baskılı dişlerin diş hekimliği öğrencilerini eğitmeye yardımcı olacak birçok özelliğe sahip olduğu sonucuna varılmış ve katılımcılar bu dişlerin diş hekimliği eğitimindeki önemini vurgulamışlardır.

Remus ve ark.⁴⁹, dental travmatoloji eğitimi için gerçekçi bir 3 boyutlu model yapmanın fizibilitesini değerlendirmeyi amaçlamış ve travmatik diş yaralanması olan gerçek hastaların maksillasından alınan CBCT'lere dayanarak 3 boyutlu modeller üretmişlerdir. Modelin nispeten ucuz olduğu ve lisans diş hekimliği öğrencileri için uygulamalı eğitimde oldukça faydalı olduğu sonucuna varılmıştır.

Bulut⁵⁰ tarafından yapılan çalışmada, maksiller premolar ve molar dişlerin pembe mumdan modelleri hazırlanmış ve bu modeller STL dosyalarına aktarılarak ve 3 boyutlu yazıcılar ile basılmıştır. Pembe mum kron boyutu ile 3 boyutlu yazıcı ile elde edilen modellerin kron boyutu arasında anlamlı bir fark görülmemiştir. Bu çalışma kapsamında, üretilen modellerin görsel kalitelerinin preklinikte kullanılmakta olan fiziksel modellere yakın bir gerçekçiliğe sahip olduğu gösterilmiştir.

Sonuç

Diş hekimliği alanında 3 boyutlu üretimin geniş bir uygulama alanı vardır ve tedavilerde daha yeni ve daha verimli çözümler üretmeyi mümkün kılar. En yaygın uygulama, teşhis için modeller oluşturmak ve ardından hastalara daha öngörülebilir, daha az invaziv ve daha az maliyetli tedaviler sunmaktır. 3 boyutlu üretim teknolojilerinin ortaya çıkışı ve gelişmesi; dijital verilerle, yüksek ayarlanabilirlik ve karmaşıklığa sahip çeşitli malzemeleri kullanarak karmaşık geometrik formlar oluşturma, hekime özelleştirilmiş tasarımlar üretme ve çalışma verimini artırma olanağı tanır. Bu süreçte yazıcı doğruluğu, yazılım kullanımı, baskı malzemeleri ve klinik sonuçların değerlendirilmesi önem kazanmaktadır. Dijital teknolojilerin getirdiği yeniliklerin birçok avantajı olması, bu teknolojilerin gün geçtikçe daha fazla tercih edilmesini sağlasa da; cihazların ve diğer malzemelerin maliyeti, ulaşım zorluğu, teknik servis gerekliliği ve malzemelerin güvenilirliği konusundaki araştırmaların yetersiz olması sebebiyle geleneksel yöntemler hekimler tarafından kullanılmaya devam etmektedir.

Değerlendirme / Peer-Review

İki Dış Hakem / Çift Taraflı Körleme

Etik Beyan / Ethical statement

Bu makale, Uluslararası Tıp, Yaşam Bilimleri ve Sağlık Hizmetleri Kongresi'nde sözlü olarak sunulan ancak tam metni yayımlanmayan "Diş Ağartma Tedavilerine Güncel Bir Bakış" adlı tebliğin içeriği geliştirilerek ve kısmen değiştirilerek üretilmiş hâlidir.

Bu çalışmanın hazırlanma sürecinde bilimsel ve etik ilkelere uyulduğu ve yararlanılan tüm çalışmaların kaynakçada belirtildiği beyan olunur.

This article is the version of the presentation named "A Current View At Tooth Bleaching Treatments", which was presented orally at the International Congress of Medicine, Life Sciences and Health Services, but whose full text was not published, by improving and partially changing the content.

It is declared that during the preparation process of this study, scientific and ethical principles were followed and all the studies benefited are stated in the bibliography.

Benzerlik Taraması / Similarity scan

Yapıldı - ithenticate

Etik Bildirim / Ethical statement

ethic.selcukdentaljournal@hotmail.com

Çıkar Çatışması / Conflict of interest

Çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

Telif Hakkı & Lisans / Copyright & License

Yazarlar dergide yayınlanan çalışmalarının telif hakkına sahiptirler ve çalışmalarını CC BY-NC 4.0 lisansı altında yayımlanmaktadır.

Finansman / Grant Support

Yazarlar bu çalışma için finansal destek almadığını beyan etmiştir. | The authors declared that this study has received no financial support.

Çıkar Çatışması / Conflict of Interest

Yazarlar çıkar çatışması bildirmemiştir. | The authors have no conflict of interest to declare.

Yazar Katkıları / Author Contributions

Çalışmanın Tasarlanması | Design of Study: MÖ (%50), SS (%50)

Veri Toplanması | Data Acquisition: MÖ (%70), SS (%30)

Veri Analizi | Data Analysis: MÖ (%30), SS (%70)

Makalenin Yazımı | Writing up: MÖ (%70), SS (%30)

Makale Gönderimi ve Revizyonu | Submission and Revision: MÖ (%70), SS (%30)

KAYNAKLAR

- Cicciù M, Fiorillo L, D'Amico C, Gambino D, Amantia EM, Laino L, et al. 3D digital impression systems compared with traditional techniques in dentistry: A recent data systematic review. *Materials*. 2020;13(8):1982.
- Zaharia C, Gabor A-G, Gavrilovici A, Stan AT, Idorasi L, Sinescu C, et al. Digital dentistry-3D printing applications. *Journal of Interdisciplinary Medicine*. 2017;2(1):50-3.
- Lin L, Fang Y, Liao Y, Chen G, Gao C, Zhu P. 3D printing and digital processing techniques in dentistry: a review of literature. *Advanced Engineering Materials*. 2019;21(6):1801013.
- Wang J, Goyanes A, Gaisford S, Basit AW. Stereolithographic (SLA) 3D printing of oral modified-release dosage forms. *International journal of pharmaceutics*. 2016;503(1-2):207-12.
- Quan H, Zhang T, Xu H, Luo S, Nie J, Zhu X. Photo-curing 3D printing technique and its challenges. *Bioactive Materials*. 2020;5(1):110-5.
- Yavuz E, Yılmaz S. (2021). Dış hekimliğinde Yeni ve Hızla İlerleyen Üretim Teknolojisi: 3 Boyutlu Yazıcılar. *Akdeniz Tıp Dergisi*, 7(2), 197-205.
- Alammar A, Kojs JC, Revilla-León M, Att W. Additive Manufacturing Technologies: Current Status and Future Perspectives. *Journal of Prosthodontics*. 2022;31(S1):4-12.
- Murtezani I, Sharma N, Thieringer FM. Medical 3D Printing with a focus on Point-of-Care in Cranio-and Maxillofacial Surgery. A systematic review of literature. *Annals of 3D Printed Medicine*. 2022:100059.
- Miyazaki T, Hotta Y, Kunii J, Kuriyama S, Tamaki Y. A review of dental CAD/CAM: current status and future perspectives from 20 years of experience. *Dental materials journal*. 2009;28(1):44-56.
- Shin S-H, Doh R-M, Lim J-H, Kwon J-S, Shim J-S, Kim J-E. Evaluation of Dimensional Changes According to Aging Period and Postcuring Time of 3D-Printed Denture Base Prostheses: An In Vitro Study. *Materials*. 2021;14(20):6185.
- Dawood A, Marti BM, Sauret-Jackson V, Darwood A. 3D printing in dentistry. *British dental journal*. 2015;219(11):521-9.
- Alifui-Segbaya F. Biomedical photopolymers in 3D printing. *Rapid Prototyping Journal*. 2019.
- Oliveira TT, Reis AC. Fabrication of dental implants by the additive manufacturing method: A systematic review. *The Journal of Prosthetic Dentistry*. 2019;122(3):270-4.
- Layani M, Wang X, Magdassi S. Novel materials for 3D printing by photopolymerization. *Advanced Materials*. 2018;30(41):1706344.
- Schweiger J, Edelhoff D, Güth J-F. 3D printing in digital prosthetic dentistry: an overview of recent developments in additive manufacturing. *Journal of Clinical Medicine*. 2021;10(9):2010.
- Khorsandi D, Fahimipour A, Abasian P, Saber SS, Seyedi M, Ghanavati S, et al. 3D and 4D printing in dentistry and maxillofacial surgery: Printing techniques, materials, and applications. *Acta biomaterialia*. 2021;122:26-49.
- Crețu C, Agop-Forna D, Forna N-C. COMPUTERIZED TECHNIQUES USED FOR 3D PRINTING IN PROSHODONTICS. A SYSTEMATIC REVIEW. *Romanian Journal of Oral Rehabilitation*. 2021;13(1).
- Crivello JV, Reichmanis E. Photopolymer materials and processes for advanced technologies. *Chemistry of Materials*. 2014;26(1):533-48.
- Gibson I, Rosen D, Stucker B, Khorasani M. Direct digital manufacturing. *Additive manufacturing technologies*: Springer; 2021. p. 525-54.
- Ikemura K, Endo T. A review of the development of radical photopolymerization initiators used for designing light-curing dental adhesives and resin composites. *Dental Materials Journal*. 2010;1009140075-.
- Tian Y, Chen C, Xu X, Wang J, Hou X, Li K, et al. A review of 3D printing in dentistry: Technologies, affecting factors, and applications. *Scanning*. 2021;2021.
- Zafar MS. Prosthodontic applications of polymethyl methacrylate (PMMA): An update. *Polymers*. 2020;12(10):2299.
- Ali U, Karim KJBA, Buang NA. A review of the properties and applications of poly (methyl methacrylate)(PMMA). *Polymer Reviews*. 2015;55(4):678-705.
- Melchels FP, Feijen J, Grijpma DW. A review on stereolithography and its applications in biomedical engineering. *Biomaterials*. 2010;31(24):6121-30.
- Xu J, Shu Q. Application of 3D printing techniques in treatment of congenital heart disease. *Journal of Zhejiang University (Medical Science)*. 2019;48(5):573-9.
- Schmidleithner C, Kalaskar DM. *Stereolithography*. IntechOpen; 2018.
- Zhao Z, Tian X, Song X. Engineering materials with light: Recent progress in digital light processing based 3D printing. *Journal of Materials Chemistry C*. 2020;8(40):13896-917.
- Lu Y, Mapili G, Suhali G, Chen S, Roy K. A digital micro-mirror device-based system for the microfabrication of complex, spatially patterned tissue engineering scaffolds. *Journal of Biomedical Materials Research Part A: An Official Journal of The Society for Biomaterials, The Japanese Society for Biomaterials, and The Australian Society for Biomaterials and the Korean Society for Biomaterials*. 2006;77(2):396-405.
- Chang DG, Li S, An CF, editors. The influence analysis of globular indexing cam mechanism size parameters on transmission performance. *Advanced Materials Research*; 2012: Trans Tech Publ.
- Wu L, Zhao L, Jian M, Mao Y, Yu M, Guo X. EHMP-DLP: multi-projector DLP with energy homogenization for large-size 3D printing. *Rapid Prototyping Journal*. 2018.
- Moon W, Kim S, Lim B-S, Park Y-S, Kim RJ-Y, Chung SH. Dimensional accuracy evaluation of temporary dental restorations with different 3d printing systems. *Materials*. 2021;14(6):1487.
- Tumbleston JR, Shirvanyants D, Ermoshkin N, Januszewicz R, Johnson AR, Kelly D, et al. Continuous liquid interface production of 3D objects. *Science*. 2015;347(6228):1349-52.
- Balli J, Kumpaty S, Anewenter V, editors. Continuous liquid interface production of 3D objects: An unconventional technology and its challenges and opportunities. *ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition*; 2017: American Society of Mechanical Engineers.
- Ibrahim D, Broilo TL, Heitz C, de Oliveira MG, de Oliveira HW, Nobre SMW, et al. Dimensional error of selective laser sintering, three-dimensional printing and PolyJet™ models in the reproduction of mandibular anatomy. *Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery*. 2009;37(3):167-73.
- Sercer M, Rezić T, Godec D, Oros D, Pilipovic A, Ivusic F, et al. Microreactor Production by PolyJet Matrix 3D-Printing Technology: Hydrodynamic Characterization(section sign). *Food Technol Biotechnol*. 2019;57(2):272-81.
- Cui X, Breitenkamp K, Finn M, Lotz M, D'Lima DD. Direct human cartilage repair using three-dimensional bioprinting technology. *Tissue Engineering Part A*. 2012;18(11-12):1304-12.
- Unsal G-S, Turkyilmaz I, Lakhia S. Advantages and limitations of implant surgery with CAD/CAM surgical guides: A literature review. *Journal of Clinical and Experimental Dentistry*. 2020;12(4):e409.
- Van Assche N, Vercauteren M, Coucke W, Teughels W, Jacobs R, Quirynen M. Accuracy of computer-aided implant placement. *Clinical oral implants research*. 2012;23:112-23.
- Kim T, Lee S, Kim GB, Hong D, Kwon J, Park J-w, et al. Accuracy of a simplified 3D-printed implant surgical guide. *The Journal of prosthetic dentistry*. 2020;124(2):195-201. e2.
- Tartaglia GM, Mapelli A, Maspero C, Santaniello T, Serafin M, Farronato M, et al. Direct 3D Printing of Clear Orthodontic Aligners: Current State and Future Possibilities. *Materials*. 2021;14(7):1799.
- Jindal P, Juneja M, Siena FL, Bajaj D, Breedon P. Mechanical and geometric properties of thermoformed and 3D printed clear dental aligners. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2019;156(5):694-701.
- Mohnish Kumar S. Cytotoxicity of 3D Printed Materials: An In Vitro Study: Sri Ramakrishna Dental College and Hospital, Coimbatore; 2019.
- Prpić V, Schauerl Z, Čatić A, Dulčić N, Čimić S. Comparison of mechanical properties of 3D-printed, CAD/CAM, and conventional denture base materials. *Journal of Prosthodontics*. 2020;29(6):524-8.
- Al-Qarni FD, Gad MM. Printing Accuracy and Flexural Properties of Different 3D-Printed Denture Base Resins. *Materials*. 2022;15(7):2410.
- Pillai S, Upadhyay A, Khayambashi P, Farooq I, Sabri H, Tarar M, et al. Dental 3D-printing: transferring art from the laboratories to the clinics. *Polymers*. 2021;13(1):157.

46. Tancu A, Pantea M, Totan A, Tanase M, Imre M. 3D printed dental models. *Materiale Plastice*. 2019;56:51-4.
47. Camardella LT, de Vasconcellos Vilella O, Breuning H. Accuracy of printed dental models made with 2 prototype technologies and different designs of model bases. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2017;151(6):1178-87.
48. Nicot R, Druelle C, Schlund M, Roland-Billecart T, Gwénaél R, Ferri J, et al. Use of 3D printed models in student education of craniofacial traumas. *Dental Traumatology*. 2019;35(4-5):296-9.
49. Reymus M, Fotiadou C, Hickel R, Diegritz C. 3D-printed model for hands-on training in dental traumatology. *International Endodontic Journal*. 2018;51(11):1313-9.
50. Bulut AC. Düşük Maliyetli, Üç Boyutlu Bir Yazıcı Kullanılarak Oluşturulan Diş Modellerinin Değerlendirilmesi. *Kırıkkale Üniversitesi Tıp Fakültesi Dergisi*. 2020;22(3):461-9.