

DERLEME

Review

Yazışma adresi
Correspondence address

Elham MAZLOUMINIA
İstanbul Üniversitesi,
Dış Hekimliği Fakültesi,
Protetik Diş Tedavisi Anabilim Dalı
İstanbul, Türkiye

elham.m@ogr.iu.edu.tr

Geliş tarihi / Received : 24 Aralık 2024
Kabul Tarihi / Accepted : 12 Mayıs 2025

Bu makalede yapılacak atıf
Cite this article as

Mazlouminia E, Özçelik AK,
Alper Kaygusuz N, Çetiner H, Tunç E.
Reçine Nanoseramik ve Polimer
İnfiltrate Seramik CAD-CAM
Materyallerinin Yapısal Özellikleri

Akd Diş Hek 2025;4(2): 128-139

Elham MAZLOUMINIA
İstanbul Üniversitesi,
Dış Hekimliği Fakültesi,
Protetik Diş Tedavisi Anabilim Dalı
İstanbul, Türkiye

Ahmet Konuralp ÖZÇELİK
İstanbul Üniversitesi,
Dış Hekimliği Fakültesi,
Protetik Diş Tedavisi Anabilim Dalı
İstanbul, Türkiye

Nilgün ALPER KAYGUSUZ
İstanbul Üniversitesi,
Dış Hekimliği Fakültesi,
Protetik Diş Tedavisi Anabilim Dalı
İstanbul, Türkiye

Hakan ÇETİNER
Atlas Üniversitesi,
Dış Hekimliği Fakültesi,
Protetik Diş Tedavisi Anabilim Dalı
İstanbul, Türkiye

Elif TUNÇ
İstanbul Üniversitesi,
Dış Hekimliği Fakültesi,
Protetik Diş Tedavisi Anabilim Dalı
İstanbul, Türkiye

Reçine Nanoseramik ve Polimer İnfiltrate Seramik CAD-CAM Materyallerinin Yapısal Özellikleri

Structural Properties of Resin Nanoceramic and Polymer-Infiltrated Ceramic CAD-CAM Materials

ÖZ

Protetik tedavide kullanılacak materyale doğru karar verebilmek, tedavi başarısı ve estetik beklentileri karşılama açısından kritik bir öneme sahiptir. Geleneksel restoratif materyallerin avantaj ve dezavantajlarının optimize edildiği hibrit CAD-CAM materyalleri sabit protetik diş tedavisinde klasik ürün seçeneklerine alternatif olarak kullanıma sunulmaktadır. CAD-CAM üretim teknikleri, bu materyallerin hassas bir şekilde şekillendirilmesine olanak tanımakta ve süreci basitleştirmektedir. Bu derlemenin amacı, reçine nanoseramik ve polimer infiltrate seramik hibrit CAD-CAM materyallerinin kimyasal, mekanik ve estetik özellikleri ve bu materyallerin adeziv simantasyon protokolünde uygulanması gereken yüzey işlemi prosedürleri hakkında bilgi vermektir.

Anahtar Sözcükler

Adeziv simantasyon, CAD-CAM, Polimer infiltrate seramik, Reçine nanoseramik

ABSTRACT

Properly made decision on material to be used for prosthodontic treatment is of critical importance in terms of treatment outcomes. Hybrid CAD-CAM materials, which the advantages and disadvantages of traditional restorative materials are optimized, are offered as an alternative to conventional restorative materials used for prosthodontic treatment. CAD-CAM technology allows these materials to be manufactured easily and precisely. The aim of this review is to provide information about the chemical, mechanical and esthetic properties of resin nanoceramic and polymer infiltrated ceramic hybrid CAD-CAM materials and the surface treatment procedures which should be applied during adhesive cementation protocol of these materials.

Key Words

Adhesive cementation, CAD-CAM, Polymer-infiltrated ceramic, Resin nanoceramic

GİRİŞ

Sabit protetik tedavi planlamasında materyal seçimi, tedavinin başarısını ve hastanın estetik beklentilerini etkileyecek kritik öneme sahip bir aşamadır (1). Tam seramik restoratif materyallerin sabit protetik tedavilerde tercih edilmesinin başlıca nedeni, doğal dişlere oldukça benzer ışık geçirgenliğine sahip olmaları ve bu sayede tedavi sonucunu estetik açıdan olumlu yönde etkilemeleridir. Dental seramikler aynı zamanda kimyasal olarak inert materyallerdir. Bu özelliği sayesinde materyal aşınmaya direnç, biyouyumluk ve yüksek yapısal stabilite gibi avantajlara sahiptir (2). Bu avantajlarının yanında dental seramiklerin mekanik özellikleri, boyut, ortam ve üretim şartlarına göre değişkenlik gösterir. Kırılma dayanımları düşüktür ve bunun temel sebebi çatlak ilerlemesine karşı dirençsiz olmalarıdır (2,3). Sertlik değerlerinin mine ve dentinin sertlik değerlerinden yüksek olması nedeniyle materyalle temas ilişkisi olan doğal dişlerde abrazyona sebep olmaları da dental seramiklere dair diğer bir dezavantajdır (2).

Dental kompozitler organik ve inorganik bileşenlerin aynı yapı içinde bulunduğu hibrit materyallerdir (4). Doğal diş görüntüsüne yakın estetik özellikler göstermeleri nedeniyle çok çeşitli kullanım alanına sahip olmalarına rağmen dental seramiğin sahip olduğu aşınmaya direnç, biyouyumluk ve yüksek yapısal stabilite gibi özellikler açısından materyale üstünlük sağlayamazlar. Düşük aşınma direnci ve polimerizasyon büzülmesi boyutsal stabilitelerini, yapısal olarak inert özellik göstermemeleri renk stabilitesi ve biyouyumluluğu olumsuz yönde etkiler (5). Ancak, dental kompozitlerin elastisite modülü diş dokusuna benzer değerler gösterdiği için, çiğneme kuvvetleri altında oluşan gerilimin optimize edilmesinde rol oynayabilir (6).

Bilgisayar Destekli Tasarım-Bilgisayar Destekli Üretim (CAD-CAM) uygulamalarının diş hekimliğinde yaygın hale gelmesiyle birlikte, tek başına seramik ya da kompozit kaynaklı dezavantajların yaratabileceği olumsuzlukları en aza indirgeyebilmek amacıyla avantajlı özelliklerin bir araya getirildiği, dezavantajların azaltıldığı, polimer ve seramik materyallerin hibrit kullanıldığı CAD-CAM protetik materyaller geliştirilmiştir (7-9). Hem organik hem de inorganik bileşenleri içeren çift fazlı yapı bu sayede, mine ve dentine benzer fiziksel ve mekanik özellikler gösteren, belli oranda esneme özelliğine sahip ancak aşınmaya daha dirençli, doğal dişlere benzer ışık geçirgenliği gösteren, ağız içerisinde tamiri mümkün, polisaj işlemi kolay ve yüzey parlaklığını uzun süre koruyan bir materyale dönüşür. (2,10,11) Hibrit materyaller bloklar halinde CAD-CAM teknolojisi yardımıyla şekillendirilebilir. Bu durumda restorasyonun üretimi aşamasında fırınlama ya da sinterizasyon işlemine gerek duyulmaz. Ancak, son dönemde üç boyutlu (3B) yazıcılar yardımıyla üretilen hibrit materyallerde piyasaya sunulmuştur. Bu yöntemle üretilen yapılar ise şekillendirme bitiminde polimerize edilerek süreç tamamlanır (12,13).

Hibrit CAD-CAM materyallerinin yapısal özellikleri

Güncel hibrit bloklar, üretim teknolojilerine bağlı olarak reçine nanoseramik ve polimer infiltre seramik olarak iki ana grupta incelenebilirler. Reçine nanoseramikler, nano boyutlu seramik partiküllerinin polimer matrikse entegre edilmesiyle üretilir. Polimer infiltre seramikler ise, presinterize seramik bir ağ yapı içine düşük viskoziteli reçine materyalinin infiltre edilmesi ve reçinenin, seramik ağ yapıdaki boşlukları doldurarak, polimer-seramik hibrit yapıyı oluşturması yoluyla elde edilirler (7,12,14).

Reçine nanoseramikler

Nanomateryal genel anlamıyla boyutsal olarak 100 nm altında bir büyüklüğe sahip olma hali olarak tanımlanır (15). Nanoteknoloji ise çeşitli fiziksel ve kimyasal metodlar yardımıyla 0.1–100 nm arası boyuta sahip yapıların üretimi ve kullanımını (16). Nanopartiküller malzemenin fiziksel ve mekanik özelliklerinin iyileştirilmesinde önemli rol oynamaktadır (17). Diş hekimliğinde geniş bir uygulama alanı olan nanoteknoloji özellikle kompozit materyallerin geliştirilmesinde özel bir öneme sahiptir. Organik yapıya inorganik yapılar eklenerek oluşturulan hibrit ve mikrohibrit kompozitlerde inorganik partikül boyutları 0.7-30 µm arasında değişirken, nanoseramik yapılar 5–100 µm boyutlarında inorganik partiküller içermektedir (16).

Reçine nanoseramik materyaller, eklemeli ve eksiltmeli olmak üzere iki farklı üretim teknolojisiyle şekillendirilebilmektedir. Eklemeli üretim teknolojisinin en büyük avantajı, karmaşık geometrilerin hızlı ve kişiye özel olarak üretilmesi ve malzeme kaybının minimumda tutulmasıdır. Diğer taraftan, eksiltmeli üretim, daha geleneksel bir tekniktir ve genellikle frezeleme gibi mekanik işlemlerle yapılır. Bu yöntemde, reçine nanoseramik bloklarından istenilen şekil, tasarım doğrultusunda bloktan madde kazınarak elde edilir. Eksiltmeli üretim, daha hassas işçilik gerektiren restorasyonlar için tercih edilebilir ancak malzeme kaybı daha fazladır. Her iki yöntem de reçine nanoseramiklerin estetik ve mekanik özelliklerini optimize etmek için kullanılır, ancak her birinin kendine özgü avantajları ve sınırlamaları bulunmaktadır (18).

Genel olarak materyal çeşitliliği oldukça fazla olmakla birlikte, bu çalışmanın odaklandığı 3B yazıcı teknolojisiyle üretilen nano boyutlu reçine nanoseramik materyaller sınırlı sayıdadır.

Eksiltme yöntemi ile şekillendirilen reçine nanoseramikler

Kimyasal özellikler

Endüstriyel koşullarda yüksek sıcaklık ve basınç altında üretilen reçine nanoseramik blokların yapısını yaklaşık %80 oranında inorganik zirkonyum, baryum, silika nano partikülleri ve %20 oranında organik polimer matriks oluşturmaktadır (7). İnorganik partiküllerin 100 nm'den küçük boyutlarda olması, inorganik matriksin yüzey alanının art-

masına ve organik matriks ile daha güçlü kimyasal bağlar oluşturmaya olanak sağlar (19). Organik matriks genellikle bisfenol A glisidil metakrilat (Bis-GMA), trietilen glikol dimetakrilat (TEGDMA), üretilen dimetakrilat (UDMA),

Bisfenol A diglisidil metakrilat etoksilat fenil fosfat (BIS-MEPP), dimetakrilat (DMA) ve etoksilat bisfenol A dimetakrilat (Bis-EMA) gibi malzemenin özelliklerini etkileyen farklı organik bileşenler içermektedir (20) (Tablo1).

Tablo1. Reçine Nanoseramik ve Polimer İnfiltrat Seramik CAD-CAM Materyalleri

Ürün Tipi	Materyal	Organik matriks	İnorganik doldurucu (*ağırlık)	Üretici firma	Üretim teknolojisi
Reçine Nano-seramikler	Lava Ultimate	Bis-GMA Bis-EMA TEGDMA UDMA	*%71 Silika nanomer (20nm) Zirkonya nanomer (4-10nm)	3M ESPE, ABD	Kazıma
	Cerasmart	%29 BisMEPP UDMA DMA polimerler	*%71 Barium-borosilikat cam(300nm) Silika (20nm) nanopartikülleri	GC Corporation, Japonya	Kazıma
	Brilliant Crios	%29 Bis-GMA TEGDMA Bis-EMA	*71% Silika doldurucu (<20 µm) Barium cam (<1 µm)	Coltene Whaledent, Altstätten, İsviçre	Kazıma
	Katana Avencia	UDMA TEGDMA	*%62 Alüminyum oksit (20nm) Silika doldurucu(40nm)	Kuraray Noritake Dental,Niigata Japonya	Kazıma
	SHOFU blok	UDMA TEGDMA	*%61 Zirkonyum silikat (1-10 µm). Silikon dioksit(10-40nm)	Shofu Inc, Kyoto, Japonya	Kazıma
	Mazic Duro	Bis-GMA TEGDMA	*%80 Silika (10 nm) Barium cam (500 nm), Zirkonyum oksit (1 µm)	Vericom, Kore	Kazıma
Polimer İnfiltrat Seramikler	Vita Enamic	%14 çapraz bağlı polimer UDMA TEGDMA	*%86 Alüminyum oksitle güçlendirilmiş feldspatik seramik ağ	Vita Zahnfabrik, Badstücken, Almanya	Kazıma
	Crystal Ultra	%30 Çapraz bağlı polimer matris BisGMA UDMA BUDMA	*%70 Seramik benzeri inorganik silikat cam doldurucu	Digital dental Scottsdale, ABD	Kazıma

Üretici firma tarafından belirtilmiş değerlerdir. * ağırlık, Bis-EMA: etoksilat bisfenol A dimetakrilat, Bis-MEPP: 2,2-Bis(4-metaksyloxyetoksifenil)propan; BisGMA: bisfenol A glisidil metakrilat, BUDMA: 1,4-Butanediol Dimetakrilat, DMA: dimetakrilat, UDMA: uretane dimetakrilat, TEGDMA: trietilen glikol dimetakrilat.

Reçine nanoseramiklerin polimer matriksinde bulunan Bis-GMA, yüksek viskoziteye sahip bir monomer olup, yüksek moleküler ağırlığı nedeniyle yapısal dayanıklılığı arttırmaktadır. Bu özellik aynı zamanda yapının sertlik derecesini yükselttiği için kazıma safhası zorlaşmaktadır. Düşük moleküler ağırlığı ve düşük viskozite gibi özelliklere sahip olan TEGDMA monomer ile kombine kullanıldığında bu zorluk ortadan kalkmaktadır (21). Organik bileşene büyük moleküler hacmine rağmen düşük viskoziteye sahip UDMA monomerinin katıldığı bloklarda ise yapısındaki esnek çapraz bağlar sayesinde malzemenin dayanıklılığını artırır (22,23) (Tablo 1). Benzer şekilde, Bis-GMA'nın yerine kısmen Bis-EMA kullanıldığı bloklarda da düşük viskozitesine rağmen hidroksil grupları içermemesi nedeniyle yüksek moleküler ağırlığa sahip bu materyal yapının esnekliğini artırır (24,25).

İlerleyen süreçte reçine nanoseramiklerin organik yapısına, BIS-MEPP ile DMA monomerleri eklenerek materyal modifiye edilmiştir. Bis-MEPP monomerinin hidroksil grupları

içermemesi, yapıya hidrofobik özellik kazandırarak materyalin renk stabilitesini arttırmaktadır (26). DMA monomeri ise, adeziv sistemlerle hidrolize dirençli dayanıklı bir kopolimerizasyon reaksiyonu oluşturarak mikrosızıntının azaltılmasına yardımcı olmaktadır (27).

Mekanik özellikler

CAD-CAM reçine nanoseramik materyallerin elastisite modülü, dentinin elastisite modülü değerlerine (15-20 GPa) benzer olarak 10-20 GPa aralığında, bükülme dayanımı ise 116-250 MPa'dır. Cam seramiklerin elastisite modülü ise 95±5 GPa ve bükülme dayanımı 370-460 MPa'dır (Tablo 3). Bu değerler genel olarak polimer içerikli yapıların seramiklere kıyasla yükler altında daha kolay esneme özelliğine sahip olduklarını göstermektedir. Seramik ise gelen yükleri absorbe edecek şekilde deforme olma özelliğine sahip değildir. Değerler göz önüne alındığında nanoseramik materyallerin cam seramiklere kıyasla stresi daha homojen dağıtıp daha fazla absorbe edebileceği sonucuna varılmıştır (28,29).

Seramik genel olarak basma dayanımı yüksek bir materyaldir. Cam seramikler 350-400 Mpa basma dayanımı değeriyle kompozit materyallerin düşük baskı dayanım değerlerine üstünlük sağlamaktadırlar. Ancak, yapısal modifikasyonlarla reçine nanoseramiklerin basma dayanımları da yaklaşık 200-600 MPa arasına yükselterek cam seramiklere benzer bir seviyeye getirilmiştir (30,31).

Reçine nanoseramikler yaklaşık 50-70 MPa çekme dayanımına sahip olup, içerdikleri inorganik nano partiküller stres dağılımını daha homojen bir hale getirirken, organik polimer matriks ise çekme yükleri altında yapının daha esnek bir özellik göstermesine yardımcı olur. Seramik materyaller genellikle 100-200 MPa arasında daha yüksek bir çekme dayanımına sahip olmalarına rağmen kırılma yapıları nedeniyle çatlama eğilimi gösterirler (30,31).

Reçine nanoseramikler, polimer matriks içinde gömülmüş yaklaşık %80 oranında nano boyutta silika ve zirkonya partikülleri içerir (32). Matriks içine gömülü inorganik partiküllerin zamana bağlı aşınması, yapıda polimer infiltre seramiklere kıyasla daha fazla hacim kaybı oluşmasına neden olmaktadır (33). Sertlik dereceleri seramik materyallere ve polimer infiltre seramiklere göre daha düşük olmasına rağmen, zamana bağlı olarak materyal yüzeyinde oluşan abrazyon, partikülleri düzenli ve küresel bir forma sokması, yüzeyin daha pürüzsüz hale gelmesine ve karşıt dişte aşındırma miktarının azalmasına neden olmaktadır (34).

Eстетik özellikler

Bir dental materyalin estetik özelliğini etkileyen optik davranışlarda rol oynayan faktörler; bileşimindeki inorganik partikül boyutuna bağlı olarak ışık geçişini etkileyen yapısal özellikler ile, yüzey parlaklığı derecesi ve pürüzlülüğü gibi yüzey özellikleri olarak özetlenebilir (35). Hibrit materyallerin bileşimindeki organik ve inorganik yapı kombinasyonlarındaki çeşitlilik nedeniyle her materyalin estetik özelliklerinin ayrı değerlendirilmesi gerekmektedir. Organik matriksten ışık geçişi, organik-inorganik yapı arayüzünde ortaya çıkan ve bu iki yapının kırılma indeksleri arasındaki farklılıktan etkilenen çok fazla sayıdaki kırılma ve yansımalar ile karakterizedir.

Reçine nanoseramiklerin ışık geçirgenliğinin dentine çok benzer olarak %47 olduğunu bildirilmiştir (36,37). Reçine nanoseramiklerin inorganik kısmında bulunan silika ve zirkonya partiküllerinin nano boyutta olması, ışık saçılımını azaltarak ışık geçirgenliğini ve materyalin translüsentliğini artırır. Yapılan çalışmalar (38,39), partikül boyutlarının görünür ışığın dalga boyundan daha küçük olduğunda bu etkinin belirginleştiğini göstermektedir.

Ayrıca, zirkonya nanopartiküllerin, antimikrobiyal özellikleri ve düşük sitotoksisite ile bakteriyel adezyonu azaltarak yüzey özelliklerini iyileştirdiği bildirilmektedir (4). Bakteriyel adezyonunun engellenmesi, materyalin yüzeyinde plak ve bakteriyel birikintilerin oluşumunu ve zamana bağlı renk değişimi gibi estetik sorunları ortadan kaldırarak nanoseramiklerin estetik özelliklerinin uzun süre korunmasına olanak tanır (4). Yapılan çalışmalar organik yapısı hidrofobik özellik gösteren Bis-MEPP ve UDMA monomeri içeren nanoseramiklerin renk stabiliteğini uzun vadede koruduğunu belirtmektedir (40) (Resim 1).



Resim 1. Reçine nanoseramik ile üretilmiş overlay restorasyonu (Cerasmart; GC Corporation) **A:** Prepare edilmiş diş, **B:** Restorasyonun ağız içi görünümü, **C:** Restorasyonun iç yüzey görüntüsü **D:** Restorasyonun bitim hali

Ekleme yöntemi ile şekillendirilen reçine nanoseramikler

Ekleme yöntemi ile üretilen reçine nanoseramik materyaller, hibrit bloklardan farklı olarak likid formda olup, 3B yazıcılar için orijinal şişelerinde paketlenmiş şekilde piyasaya sunulmaktadır (41,42) (Tablo 2).

Tablo 2. 3-B yazıcı teknolojisi ile üretilen reçine nanoseramik materyaller

Ürün Tipi	Materyal	Organik matriks	İnorganik doldurucu	Üretici firma	Üretim teknolojisi
Reçine nano-seramikler	SprintRay Ceramic Crown	%20-60 Oligomer %20-50 monomerler ,	*%50 inorganik seramik	Sprint Ray Inc., Kaliforniya, ABD	3-D yazıcı
	Rodin® Sculpture 2.0	%25-49 Metakrilat ester Dimetakrilat reçine	> *%50 seramik doldurucu	Pac-Dent, Brea, CA, ABD	3-D yazıcı

Bu değerler üretici firmadan alınan bilgilerdir. EM: Elastisite modülü, , BaD: Basma Dayanımı , BD:Bükülme Dayanımı

Bu üretim tekniğinde, malzeme katman katman eklenerek şekillendirilir ve her bir katman genellikle ışıqla polimerizasyon yöntemiyle sertleştirilir. Bu üretim tekniği başlıca stereolitografi (SLA) ve dijital ışıqla işleme (DLP) gibi teknolojilerle gerçekleştirilir. SLA yönteminde, ultraviyole ışıqla sertleşen bir materyal, ince tabakalar halinde üst üste yığılır ve bu şekilde katı objeler oluşturulur. DLP teknolojisi ise benzer bir prensiple çalışmakla birlikte, ışıqla kaynağı olarak lazer yerine görünür ışıqla kullanılır (18).

Kimyasal özellikler

Yapılan çalışmalar, kimyasal içeriği üretici firma tarafından tam olarak açıklanmayan bu materyallerin, organik içeriğinin metakrilat bazlı reçine olduğunu ve Bis-GMA, TEGDMA monomerlerini içerdiğini göstermektedir (43).

Mekanik özellikler

3B yazıcı üretim teknolojisi ile elde edilen bu materyaller, kazıma yöntemi ile üretilen bloklardan farklı olarak daha düşük elastisite modülü değerine (6.5-7.5 GPa) sahiptirler (Tablo 3). Ayrıca, bükülme dayanımları 136 ila 182 MPa arasında değişmektedir (Tablo 3). 3B yazıcılarla üretilen restoratif materyallerin mine aşındırıcılığı ve mekanik dayanımını değerlendiren bir çalışmada, bu materyallerin kırılma dayanımının cam seramiklerle benzer olduğu, ancak karşıt mine yüzeyinde daha az aşınmaya neden olduğu bildirilmiştir. Bu durum, 3B yazıcı materyallerinin daha düşük elastisite modülü ve sürtünme katsayısına sahip olmaları nedeniyle yüzeyde daha az mekanik hasara neden olmasıyla açıklanmaktadır (44).

3B yazıcı teknolojisiyle üretilen hibrit seramik materyallerin kimyasal bileşimi şimdiye kadar açık şekilde tanımlanmamış olmakla beraber, içerik kompozisyonunun mekanik özellikleri etkilediği bildirilmiştir (43,45). Park ve ark. (46) malzemenin dolgu materyali içeriğinin yanı sıra içerdiği reçinenin tipinin de bükülme dayanımı üzerinde etkisi olduğunu ve bu anlamda UDMA içerikli 3B yazıcı teknolojisiyle üretilen hibrit materyallerin bükülme dayanımlarının ve elastisite modülü değerlerinin daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir. Bununla birlikte yapılan çalışmalar (43,45), bu materyallerin içerdiği dolgu partikül yüzdesi ile bükülme dayanımı, mikrosertlik ve aşınma dayanımı arasında pozitif lineer bir ilişki olduğunu göstermiştir. Buna göre 3B yazıcı teknolojisiyle üretilen hibrit seramik materyaller, eksiltme yöntemi ya da geleneksel yöntemlerle şekillendirilen reçine nanoseramik, kompozit ya da seramik materyallere kıyasla daha düşük elastisite modülü, bükme dayanımı ve sertlik değerlerine sahip olsalar da kırılma olmayan plastik bir davranış göstermektedirler (43,47).

3B yazıcı teknolojisiyle üretilen hibrit seramik materyallerin, mekanik dayanım açısından, eksiltme yöntemi ile şekillendirilen reçine nanoseramik materyaller ile karşılaştırıldığı bir çalışmada, tüm materyallerin minimal kalınlıklarda benzer kırılma dayanımı değerleri gösterdiği ve bu sonuca dayanarak, 3B yazıcı teknolojisiyle üretilen hibrit seramik materyallerin minimal invaziv restorasyon-

larda mekanik dayanım açısından yeterli performans sergileyebileceği bildirilmiştir (48).

Üretim teknolojisi kullanılan katman kalınlığı ve üretim açısı da, bu materyallerin çekme ve basma dayanımı üzerinde belirleyici rol oynamaktadır. Yapılan çalışmalarda (48,49), 0.05 mm katman kalınlığı ve 0° baskı açısıyla üretilen yapılarda daha yüksek çekme dayanımı elde edildiği, 90° baskı açısında ise basma dayanımının arttığı bildirilmiştir. Ayrıca, elastisite modülü değerinin ince katman ve 45° baskı açısı kombinasyonlarında daha yüksek değerlere ulaştığı belirtilmiştir. Bu bulgular, üretim sırasında belirlenen üretim parametrelerinin, malzemenin stres altındaki davranışını doğrudan etkilediğini ortaya koymaktadır. Dolayısıyla, üretim parametrelerinin doğru seçimi, restorasyonların uzun dönem başarısını belirleyen kritik bir faktör olarak değerlendirilmektedir (49).

Estetik özellikler

3B yazıcılarla üretilen reçine esaslı materyaller optik açıdan incelendiğinde, bu materyallerin kazıma yöntemiyle üretilen materyallere kıyasla zamanla daha fazla renk değişimi gösterebildiği belirtilmiştir. Bu durum, düşük inorganik doldurucu içeriği ve katmanlı üretim sürecine bağlı olarak yüzeyde reçine kalıntılarının kalma olasılığı ile ilişkilendirilmektedir (50).

Bu bağlamda, estetik başarıyı etkileyen en önemli faktörlerden biri olan yüzey pürüzlülüğü, özellikle 3B yazıcılarla üretilen hibrit seramik materyallerde dikkatle değerlendirilmelidir. 3B yazıcılar ile üretilen hibrit seramik materyallerde, üretim sürecine bağlı olarak yüzeyde mikroskobik düzensizlikler ve reçine fazına ait kalıntılar kalabilmekte; bu durum zamanla renk değişimi, yüzey parlaklık kaybı ve bakteri plağı birikimi gibi klinik açıdan istenmeyen etkilere neden olabilmektedir. Üretim sonrası yapılacak mekanik cilama işlemleri, bu pürüzlülüğü anlamlı düzeyde azaltarak daha homojen yüzeyler oluşmasını sağlamakta, renk stabilitesini iyileştirmekte ve uzun dönem estetik başarı açısından avantaj sağlamaktadır (51). Bununla birlikte, yüzey kalitesini artırmak amacıyla ışıqla sertleşen yüzey kaplama ajanları da kullanılabilir. Bu amaçla, metil metakrilat (MMA) bazlı organik matris içinde nano boyutlu silika (SiO₂) partikülleri içeren kaplama ajanları (GC Corporation, Tokyo, Japonya) tercih edilebilmektedir (52). Bu içerik sayesinde restorasyon yüzeyindeki mikroporlar doldurularak pürüzlülük azaltılmakta, ışıqla dağılımı optimize edilmekte ve estetik görünüm iyileştirilmektedir. Yapılan bir çalışmada, 3B yazıcı teknolojisi ile üretilen restorasyonlarda, Optiglaze uygulaması sonrası yüzey pürüzlülüğünün azaldığı ve renk değişiminin klinik kabul edilebilir sınırları içinde kaldığı bildirilmiştir. Ayrıca, bakteri plağı tutulumunu azaltabileceği ve biyolojik uyumu destekleyebileceği de ifade edilmektedir (53). Yapılan bir çalışma, bu uygulamanın restorasyonun yüzey pürüzlülüğünü azalttığı doğrulanmakla birlikte, mekanik cilamaya kıyasla daha fazla renk değişimine neden olabileceğini ve uygulama sonrasında yüzeyde oluşan mikroskobik hava

kabarcıkları nedeniyle yüzey homojenliğinin azalabileceğini bildirmiştir (51).

Polimer infiltre seramikler

Polimer infiltre seramik materyaller, biri inorganik seramik ağ yapı diğeri organik polimer matriks olmak üzere iç içe geçmiş ikili bir yapıyla karakterize materyaller olarak tanımlanabilirler. Seramik partiküller, başlangıçta %86 oranında kristalize edildikten sonra, kısmen kristalize pöröz seramik altyapı içine infiltre edilen monomer reçinenin ışıkla polimerizasyonu ile hibrit bir yapı elde edilmiş olur (54).

Kimyasal özellikler

İlk polimer infiltre hibrit seramik blokları CAD-CAM materyali olarak Vita Zahnfabrik firması tarafından tanıtılmıştır (Tablo 1) (55). Ağırılık olarak materyalin %14'ünü kapsayan polimer ağının bileşimi UDMA ve TEGDMA monomeri iken, %86 oranındaki inorganik yapı alüminyum oksit ile güçlendirilmiş feldspatik seramikten oluşmaktadır (54, 56). İki fazlı bir yapıya sahip olması nedeniyle malzemenin gözenek boyutu dağılımına bağlı olarak geçirgenlik kazanmasının fiziksel değişime uğramasına neden olabileceği düşünüldükçe, ilerleyen dönemde hibrit materyal yapısı %70 oranında inorganik silikat cam doldurucu ve %30 oranında çapraz bağlı polimerden oluşacak şekilde modifiye edilmiştir. Ayrıca, organik içeriğe estetik özellikleri modifiye eden 1,4-bütandiol dimetakrilat (BUDMA) monomeri eklenmiştir (57). Organik matriks oranının yüksek olması, reçine siman ile kimyasal kopolimerizasyon kapasitesinin yükselmesine ve ayrıca UDMA'nın üretan gruplarının, 10-metakriololoksidesil dihidrojen fosfat (MDP) içerikli siman materyalinin üretan grupları ile bağlantı sağlanmasına yardımcı olmaktadır (58).

Mekanik özellikler

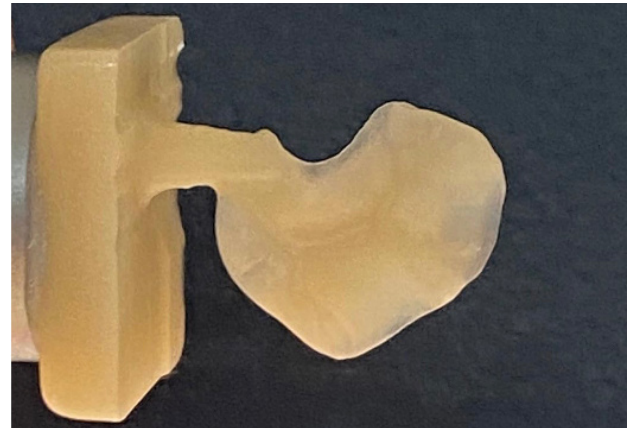
Polimer infiltre seramik materyaller, tam seramiklere kıyasla yapısal olarak kırılma ve sertlik değerlerinde azalma göstermekle birlikte esneklik ve kolay işlenebilirlik yönünden tam seramiklerden daha olumlu değerlere sahiptir. Polimer infiltre seramik yapının bükülme direnci (150-175 MPa) ve elastisite modülü (10-30 GPa) olup, diş minesine ve dentinin ilgili değerlerine oldukça yakın özellikler göstermesi, yükleme sırasında oluşan stresin homojen şekilde dağılmasına olanak sağlar (59).

Basma dayanımının 490-560 MPa aralığında olması nedeniyle baskı kuvvetlerine yüksek dirençli bir materyaldir (60). Çatlak ilerlemesi seramik ağ yapı içerisine infiltre edilmiş polimerler tarafından engellendiği için kırılma dayanımı tam seramiklere göre daha yüksektir. Materyalde meydana gelen çatlak, taramalı elektron mikroskobu ile incelendiğinde, çatlağın polimer-seramik ara yüzünde yön değiştirerek durduğu gözlenmiştir. Geleneksel CAD-CAM materyallerine kıyasla daha düşük sertliğe sahip olmaları, daha hızlı frezelenmelerini sağlamaktadır (12).

Sertlik açısından seramikler ile reçineler arasında bir konumda yer alan polimer infiltre seramikler, aynı zamanda da çatlak oluşumunu önleyen polimer yapı sayesinde yüksek bükülme direncine sahiptir. Vickers sertlik değeri mine ve dentin arasında seyreder (8,61). Bununla birlikte, polimer matriksin daha düşük sertlik değerine sahip olması, özellikle fırçalama sırasında organik matriksin daha hızlı aşınmasına ve yüzeyde mikro oluklar oluşmasına yol açabilmektedir (34). Ancak, seramik ağ yapı sayesinde zaman içerisinde daha az hacim kaybına uğrayan, aşınmaya daha dirençli bir davranış gösterirler (62). Bu konuda net bir sonuca varılamamış olmakla beraber, polimer infiltre seramik yapının reçine nanoseramiklere kıyasla karşıt dişlerde daha fazla aşınmaya neden olduğu ve bu aşınma modelinin mineye benzer olduğu belirtilmektedir (62,63).

Estetik

Polimer infiltre seramikler, estetik ve renk özellikleri bakımından içeriklerine bağlı olarak belirgin farklılıklar göstermektedir. Bu farklılıklar, polimer infiltre seramiklerin kendi bileşimindeki içerik değişikliklerinden kaynaklanmakta olup, translüsentlik parametrelerinde farklı değerlere yol açmaktadır. Polimer infiltre materyalin ışık geçirgenliğini araştıran bir çalışmada, inorganik yapısında bulunan yüksek Al_2O_3 içeriğine bağlı olarak ışık geçirgenliğinin diğer nanoseramik bloklar ve cam seramiklerden daha düşük olduğunu bildirmiştir (64) (Tablo 1) (Resim 2).



Resim 2. Polimer infiltre seramik bloktan üretilmiş onlay restorasyonu (Vita Enamic; VITA Zahnfabrik).

Polimer infiltre seramiklerde organik matrikte BUDMA monomerinin kullanıldığı blokların renk stabilitesi, BUDMA'nın yüksek hidrofobik özelliği ve düşük sıvı absorpsiyonu sayesinde artmaktadır (57,65). BUDMA, çapraz bağlantı sağlayan bir monomer olarak, seramik ağ yapısının gözenek boyutu ve dağılımını olumlu yönde etkileyerek sıvı geçirgenliğini azaltır (66).

Reçine nanoseramik ve polimer infiltre seramik materyallerin simantasyon protokolü

İndirekt restorasyonlarda adeziv simantasyon, mikrosızıntının önlenmesi, marjinal adaptasyonun sağlanması ve restorasyonun uzun ömürlü olması açısından oldukça önemlidir. Kullanılan materyallerin içeriğine bağlı olarak doğru simantasyon prosedürlerini uygulamak, etkin bir bağlantı sağlamak açısından büyük önem taşır. CAD-CAM materyallerindeki içerik çeşitliliği farklı simantasyon protokollerinin uygulanmasını gerektirmektedir (67).

Adeziv simantasyon protokolünde, siman ile protetik materyal arasında etkili bir adezyon oluşturabilmek için yüzey pürüzlülüğünün artırılması gerekmektedir. Bu işlem, hem yüzey enerjisinin hem de yüzey alanının artmasını sağla-

yarak oluşacak adezyonun etkinliğini artırır. Hem organik hem de inorganik bileşenler içeren hibrit materyallerin yüzey pürüzlendirme işlemleri, içerdikleri inorganik yapıya bağlı olarak değişkenlik gösterir (68).

Oksit seramikler (zirkonya ve alümina), kimyasal olarak inert bir yapıya sahip oldukları için asitlere karşı dirençlidir ve bu nedenle asitleme işlemiyle yüzeyin pürüzlendirilebilmesi mümkün değildir. Bu tür materyallerde yüzey işlemleri genellikle kumlama gibi mekanik yöntemlerle gerçekleştirilir. Buna karşılık, cam seramikler ve yapısında silika içeren hibrit bloklar, hidroflorik asit ile pürüzlendirilebilir. Pürüzlendirme işlemi, simanlarla mikromekanik ve kimyasal bağlanmayı güçlendirmek için önerilmektedir (69) (Tablo 3).

Tablo 3. Reçine nanoseramik ve polimer infiltre seramik CAD-CAM materyallerinin mekanik ve simantasyon özellikleri

<i>Materyal</i>	<i>Mekanik Özellikler</i>	<i>Siman yüzeyi hazırlığı</i>	<i>Endikasyon</i>	<i>Referans</i>
<i>Lava Ultimate</i>	EM:12.7GPa BD:200MPa BaD: 383MPa	50 µm'lik Al ₂ O ₃ partikülleri ile kumlama	Anterior ve posterior kuron , laminate veneer, inley, onley	(70)
<i>Cerasmart</i>	EM: 12.2 BD: 238MPa BaD: 492MPa	50 µm'lik Al ₂ O ₃ partikülleri ile kumlama veya %5'lik hidroflorik asit ile 60 sn asitleme	Anterior ve posterior kuron , İnley, onley, , endokuron, veneer, İmplant destekli kuron	(71)
<i>Brilliant Crios</i>	EM:10.3 GPa BD: 200MPa BaD: 426MPa	50 µm'lik Al ₂ O ₃ partikülleri ile kumlama	Posterior kuron, İnley,onley,Veneer	(72)
<i>Katana Avencia</i>	EM: 10 GPa BD:230 MPa BaD: 600MPa<	50 µm'lik Al ₂ O ₃ partikülleri ile kumlama	İnley, onley, anterior ve posterior kuron , veneer, Üç üyeli köprü	(73)
<i>Shofu blok</i>	EM: 9.6GPa BD: 191MPa BaD: 472MPa	50 µm'lik Al ₂ O ₃ partikülleri ile kumlama	Anterior ve posterior kuron, inley, onley, laminate veneer	(74)
<i>Mazic Duro</i>	EM: 10-15GPa BD: 200-250MPa BaD: 400-500MPa	50 µm'lik Al ₂ O ₃ partikülleri ile kumlama veya %5 hidroflorik asit ile 20sn asitleme	Posterior kuron, inley,onley,veneer	(75)
<i>SprintRay Ceramic Crown</i>	EM: 7.5 GPa BD: 136 MPa	50 µm'lik Al ₂ O ₃ partikülleri ile kumlama	Kuron, inley ,onley, veneer	(41, 76)
<i>Rodin® Sculpture Ceramic</i>	EM:6.5 GPa BD:160-182 MPa	50 µm'lik Al ₂ O ₃ partikülleri ile kumlama	Tek üyeli anterior ve posterior kuron, implant üstü kuron, İnley, Onley, Veneer,	(42, 77)
<i>Vita Enamic</i>	EM: 30GPa BD: 150-160MPa BaD:560MPa	%5'lik hidroflorik asit ile 60 sn asitleme	İmplantüstü ön ve arka tek kuronlar, kuron, inley, onley, veneer,	(60, 78)
<i>Crystal Ultra</i>	EM: 10 Gpa BD:175 MPa BaD: 490 MPa	50 µm'lik Al ₂ O ₃ partikülleri ile kumlama	Anterior Kuron,Anterior ve posterior implant üstü kuron,inley,onley, veneer,Köprü	(79, 80)

Bu değerler üretici firmadan alınan bilgilerdir. EM: Elastisite modülü, BaD: Basma Dayanımı, BD:Bükülme Dayanımı

Metal oksit içerikli reçine nanoseraimiklerde üretici firmanın önerdiği kumlama işlemi genellikle 50 µm'lik Al₂O₃ partikülleri kullanılarak hava püskürtme yöntemiyle gerçekleştirilir. Bu işlem, restorasyonun yüzeyinde sadece mikromekanik bağlantıyı arttırmada etkilidir (81). Ancak, farklı tekniklerle yapılacak yüzey işlemleri hem mekanik ve hem de kimyasal bağlantı sağlayabilir. Yapılan çalışmalar tribokimyasal silika kaplama tekniği kullanılması, kinetik enerjiyi kimyasal enerjiye dönüştürme prensibine yönelik olarak alüminyum trioksit ve silisyum parçacıklarının restorasyon yüzeyine penetre olmasını sağlayarak mikro pürüzlülüğün ve simanla kimyasal bağlantının güçlenmesine yol açtığı gösterilmiştir (67,82). Bu şekilde yapılan yüzey pürüzlendirmesi, protetik materyallerin hem yüzey alanını arttırarak mekanik bağlantıyı ve hem de kimyasal bağlanmayı güçlendirmektedir. Yüzey pürüzlendirme işlemini takiben, işlem görmüş yüzeye kimyasal bağlantının oluşmasını sağlayacak silan monomeri uygulanır. Silan monomerinin temel fonksiyonu, reçine siman ile restorasyon arasındaki kimyasal bağlantıyı arttırmaktır. Silan, iki fonksiyonel monomer içermektedir; bunlardan biri, yüzeydeki silikon dioksitlerle siloksan bağları oluşturabilen silanol grubu, diğer monomer ise reçine organik matriksine bağlanan metakrilat grubudur. Bu yapısı sayesinde, silan ajanı materyallerin yüzey enerjisini artırarak yüzey ıslanabilirliğini kolaylaştırmaktadır (67,83).

Silika esaslı hibrit seramiklerde üretici firmanın önerdiği hidroflorik asit ile yüzey pürüzlendirme işlemi yapılmalıdır (84) (Tablo 3). %86 seramik feldspar içerikli polimer infiltre seramiklerde %5'lik hidroflorik asit ile 60 saniye süren asitleme işlemi, materyalin camsı matriksini çözer ve kristal fazı açığa çıkarır. Bu işlem, yüzeyde mikromekanik bağlanma için uygun bir yapı oluşturarak adeziv simanla mekanik bağlantıyı kolaylaştırır (85). Asitleme sonrası yüzey su ve hava ile iyice yıkanır ve ultrasonik banyoda temizlenir, bu da yüzeydeki asit kalıntılarının tamamen uzaklaştırılmasını sağlar.

Bazı bloklarda, hem kumlama hem de asitleme işlemlerinin ardışık olarak kullanılması tercih edilebilir. Bu yaklaşım, yüzeyde mikromekanik bağlantıyı artırırken kimyasal bağlanma potansiyelini de maksimize eder. Örneğin, baryum borosilikat ve silika içerikli reçine nanoseraimik blok materyallerinde, üretici firma tarafından hem alüminyum oksit partikülleri ile kumlama hem de hidroflorik asit ile asitleme işlemi yapılabildiği bildirilmiştir (86) (Tablo 3).

3B yazıcı teknolojisi ile üretilen hibrit seramik restorasyonlarda yüzey hazırlığı, 50 µm Al₂O₃ partikülleriyle yaklaşık 1 bar basınç altında kumlama yapılarak gerçekleştirilir. Bu işlem, mikro pürüzlülük oluşturarak yüzey enerjisini artırır. Kumlama sonrasında, yüzey temizlenir ve kurutulur. Ardından, yüzeye MDP içeren silan ajanı ince bir tabaka halinde uygulanır. Son aşamada, adeziv reçine siman ile simantasyon işlemi tamamlanır (77,87).

SONUÇ

Reçine-seramik hibridizasyonu ile üretilen CAD-CAM materyalleriyle ilgili başlıca hedef, estetik protetik uygulamalarda tedavi sonuçlarının optimizasyonunu sağlamaktır. Bununla birlikte, içerik çeşitliliğinden kaynaklanan avantaj ve dezavantajlar hakkında bilgi sahibi olmak doğru tedavi planlamasını yapmaya imkân tanıyacaktır.

Yazarların Katkısı

Fikir/Kavram, Tasarım, Denetleme/Danışmanlık, Veri Toplama ve İşleme, Kaynak Taraması, Makale Yazımı, Eleştirel İnceleme: M.E., A.K.Ö., N.A.K., H.Ç., E.T.

Finansal veya Mali Destek

Herhangi bir finansal/mali destek alınmamıştır.

Çıkar Çatışması

Herhangi bir çıkar çatışması bildirilmemektedir.

Etik Kurul Onay Bilgisi

Etik kurul onayına gerek yoktur.

1. Rosenstiel S, Land M, Fujimoto J. Contemporary Fixed Prosthodontics 4th edition. Mosby, El Sevier Inc, St Louis, Missouri, USA, 2006.
2. Jorquera G, Mahn E, Sanchez J, *et al.* Hybrid ceramics in dentistry: a literature review. J Clin Res Dent. 2018; 1: 1-5.
3. Hampe R, Theelke B, Lümke N, *et al.* Fracture toughness analysis of ceramic and resin composite CAD/CAM material. Oper Dent. 2019; 44: E190-201.
4. Pasha M, Muhammad N, Shahnawaz S, *et al.* Ceramic nanomaterials in dental applications. Nano Bio. 2022; 123-44.
5. Çiftci S. Sturdevant's Art and Science of Operative Dentistry, 2011.
6. Davarpanah I. Hybrid ceramics for chairside restorations. Scot Dent Mag. 2018; 58-63.
7. Marchesi G, Camurri Piloni A, Nicolin V, *et al.* Chairside CAD/CAM materials: current trends of clinical uses. Biology. 2021; 10: 1170.
8. Dirksen C, Blunck U, Preissner S. Clinical performance of a new biomimetic double network material. Open Dent J. 2013; 7: 118.
9. Siddanna GD, Valcanaia AJ, Fierro PH, *et al.* Surface evaluation of resilient CAD/CAM ceramics after contouring and polishing. J Esthet Restor Dent. 2021; 33: 750-63.
10. Nagasawa Y, Hibino Y, Eda Y, *et al.* Effect of surface treatment of CAD/CAM resin composites on the shear bond strength of self-adhesive resin cement. Dent Mater J. 2021; 40: 364-78.
11. Bonfante EA, Calamita M, Bergamo ETP. Indirect restorative systems - a narrative review. J Esthet Restor Dent. 2023; 35: 84-104.
12. Mainjot A, Dupont N, Oudkerk J, *et al.* From artisanal to CAD-CAM blocks: state of the art of indirect composites. J Dent Res. 2016; 95: 487-95.
13. Eić M. Effects of printing orientation, post-curing time, and aging on the physical properties of a 3D printed resin composite indicated for permanent restorations: University of British Columbia, 2024.
14. Gracis S, Thompson VP, Ferencz JL, *et al.* A new classification system for all-ceramic and ceramic-like restorative materials. Int J Prosthodont. 2015; 28: 227-35.
15. Jandt KD, Watts DC. Nanotechnology in dentistry: Present and future perspectives on dental nanomaterials. Dent Mater. 2020; 36: 1365-78.
16. Beun S, Glorieux T, Devaux J, *et al.* Characterization of nanofilled compared to universal and microfilled composites. Dent Mater. 2007; 23: 51-9.
17. Atabek D, Sillelioglu H, Ölmez A. The efficiency of a new polishing material: nanotechnology liquid polish. Oper Dent. 2010; 35: 362-9.
18. Schweiger J, Edelhoff D, Güth JF. 3D printing in digital prosthetic dentistry: an overview of recent developments in additive manufacturing. J Clin Med. 2021; 10: 2010.
19. Vollath D. Nanoparticles-nanocomposites nanomaterials: an introduction for beginners. John Wiley & Sons, 2013.
20. Mainjot A. Recent advances in composite CAD/CAM blocks. J Esthet Restor Dent. 2016; 11: 275-80.
21. Vasudeva G. Monomer systems for dental composites and their future: a review. J California Dent Assoc. 2009; 37: 389-98.
22. Shen C, Rawls HR, Esquivel-Upshaw JF. Phillips' Science of Dental Materials. Elsevier Health Sciences, 2021.
23. Ding Y, Li B, Wang M, *et al.* Bis-GMA free dental materials based on UDMA/SR833s dental resin system. Adv Polym Technol. 2016; 35: 396-401.
24. Gonçalves F, Kawano Y, Pfeifer C, *et al.* Influence of BisGMA, TEGDMA, and BisEMA contents on viscosity, conversion, and flexural strength of experimental resins and composites. Eur J Oral Sci. 2009; 117: 442-6.
25. Barszczewska-Rybarek IM. A guide through the dental dimethacrylate polymer network structural characterization and interpretation of physico-mechanical properties. Materials. 2019; 12: 4057.
26. Păstrav M, Moldovan M, Chisnoiu A, *et al.* Influence of filler, monomer matrix and silane coating on composite resin adhesion. Studia UBB Chemia. 2021; 66: 225-33.
27. Li K, Yao C, Sun Y, *et al.* Enhancing resin-dentin bond durability using a novel mussel-inspired monomer. Mater Today Bio. 2021; 12: 100174.

28. Rees J, Jacobsen P. The elastic moduli of enamel and dentine. *Clin Mater.* 1993; 14: 35-9.
29. Isgrò G, Rodi D, Sachs A, *et al.* Modulus of elasticity of two ceramic materials and stress□inducing mechanical deformation following fabrication techniques and adhesive cementation procedures of a dental ceramic. *Int J Biomater.* 2019; 2019: 4325845.
30. Zubrzycki J, Klepka T, Marchewka M, *et al.* Tests of dental properties of composite materials containing nanohybrid filler. *Materials.* 2022; 16: 348.
31. Vaiani L, Boccaccio A, Uva AE, *et al.* Ceramic materials for biomedical applications: an overview on properties and fabrication processes. *J Func Biomater.* 2023; 14: 146.
32. Duarte S, Sartori N, Phark JH. Ceramic-reinforced polymers: CAD/CAM hybrid restorative materials. *Cur Oral Health Rep.* 2016; 3: 198-202.
33. Yin R, Kim YK, Jang YS, *et al.* Comparative evaluation of the mechanical properties of CAD/CAM dental blocks. *Odontol.* 2019; 107: 360-7.
34. de Andrade GS, Augusto MG, Simões BV, *et al.* Impact of simulated toothbrushing on surface properties of chairside CAD-CAM materials: an in vitro study. *J Prosthet Dent.* 2021; 125: 469.
35. Schürmann MG, Olms C. Shade stability of polymer-infiltrated and resin nano ceramics. *Open Dent J.* 2018; 12: 791.
36. Gueth JF, Zuch T, Zwinge S, *et al.* Optical properties of manually and CAD/CAM-fabricated polymers. *Dent Mater J.* 2013; 32: 865-71.
37. Skorulska A, Piszko P, Rybak Z, *et al.* Review on polymer, ceramic and composite materials for CAD/CAM indirect restorations in dentistry-application, mechanical characteristics and comparison. *Materials (Basel).* 2021; 14: 1592.
38. Kurtulmus-Yilmaz S, Cengiz E, Ogun S, *et al.* The effect of surface treatments on the mechanical and optical behaviors of CAD/CAM restorative materials. *J Prosthodon.* 2019; 28: E496-503.
39. Lee YK. Influence of scattering/absorption characteristics on the color of resin composites. *Dent Mater.* 2007; 23: 124-31.
40. Demir N, Bozkurt M, Temizci T. Comparison of optical properties and bond strength of new CAD/CAM ceramic materials. *Mater Res Express.* 2024; 11: 095202.
41. SprintRay. Dental 3D Printing Materials 2024 [Available from: <https://sprintray.com/dental-3d-printing-materials/>].
42. 3D R. Rodin 3D Brochure 2023 [Available from: <https://www.rodin-3d.com/help-center/rodin-brochure>].
43. Bora PV, Sayed Ahmed A, Alford A, *et al.* Characterization of materials used for 3D printing dental crowns and hybrid prostheses. *J Esthet Restor Dent.* 2024; 36: 220-30.
44. Bora PV, Lawson NC, Givan DA, *et al.* Enamel wear and fatigue resistance of 3D printed resin compared with lithium disilicate. *J Prosthet Dent.* 2025; 133: 523.
45. Alkandari A. Evaluation of the mechanical and physical properties of 3D-printed resin materials. Boston University, 2026.
46. Park Y, Kim J, Kang Y-J, *et al.* Comparison of fracture strength of milled and 3D-printed crown materials according to occlusal thickness. *Materials.* 2024; 17: 4645.
47. Schulz AC, Othman A, Ströbele DA, *et al.* Fracture strength test of digitally produced ceramic-filled and unfilled dental resin restorations via 3D printing: an in vitro study. *J Clin Exp Dent.* 2023; 15: E118.
48. Zimmermann M, Ender A, Egli G, *et al.* Fracture load of CAD/CAM-fabricated and 3D-printed composite crowns as a function of material thickness. *Clin Oral Investig.* 2019; 23: 2777-84.
49. Farkas AZ, Galatanu SV, Nagib R. The influence of printing layer thickness and orientation on the mechanical properties of DLP 3D-printed dental resin. *Polymers.* 2023; 15: 1113.
50. Krajangta N, Klaisiri A, Leelaponglit S, *et al.* Color alteration of CAD/CAM 3D-printed, milled resin-ceramic hybrid material compared to enamel. *Dent Mater J.* 2024; 43: 386-93.
51. Albrecht M, Schmidt F, Menzel F, *et al.* Comparative analysis of modern 3D-printed hybrid resin-ceramic materials for indirect restorations: an in vitro study. *Polymers.* 2024; 16: 3161.
52. Nam NE, Hwangbo NK, Kim JE. Effects of surface glazing on the mechanical and biological properties of 3D printed permanent dental resin materials. *J Prosthodon Res.* 2024; 68: 273-82.

53. Burjes O, Alkhalidi E. Evaluation of surface roughness of two 3D printed resin material. *Front Health Inf.* 2024; 13: 9498-9506.
54. Facenda JC, Borba M, Corazza PH. A literature review on the new polymer-infiltrated ceramic-network material (PICN). *J Esthet Restor Dent.* 2018; 30: 281-6.
55. Lise D, Van Ende A, De Munck J, *et al.* Microtensile bond strength of composite cement to novel CAD/CAM materials as a function of surface treatment and aging. *Oper Dent.* 2017; 42: 73-81.
56. Awada A, Nathanson D. Mechanical properties of resin-ceramic CAD/CAM restorative materials. *J Prosthet Dent.* 2015; 114: 587-93.
57. Al Amri MD, Labban N, Alhijji S, *et al.* *In vitro* evaluation of translucency and color stability of CAD/CAM polymer-infiltrated ceramic materials after accelerated aging. *J Prosthodont.* 2021; 30: 318-28.
58. Rohr N, Flury A, Fischer J. Efficacy of a universal adhesive in the bond strength of composite cements to polymer-infiltrated ceramic. *J Adhes Dent.* 2017; 19: 417-24.
59. Swain M, Coldea A, Bilkhair A, *et al.* Interpenetrating network ceramic-resin composite dental restorative materials. *Dent Mater.* 2016; 32: 34-42.
60. Ling L, Ma Y, Malyala R. A novel CAD/CAM resin composite block with high mechanical properties. *Dent Mater.* 2021; 37: 1150-5.
61. Lawson NC, Bansal R, Burgess JO. Wear, strength, modulus and hardness of CAD/CAM restorative materials. *Dent Mater.* 2016; 32: E275-83.
62. Laborie M, Naveau A, Menard A. CAD-CAM resin-ceramic material wear: a systematic review. *J Prosthet Dent.* 2024; 131: 812-8.
63. Xu Z, Yu P, Arola DD, *et al.* A comparative study on the wear behavior of a polymer infiltrated ceramic network (PICN) material and tooth enamel. *Dent Mater.* 2017; 33: 1351-61.
64. Awad D, Stawarczyk B, Liebermann A, *et al.* Translucency of esthetic dental restorative CAD/CAM materials and composite resins with respect to thickness and surface roughness. *J Prosthet Dent.* 2015; 113: 534-40.
65. EftekharaShtiani R, Beyabanaki E, Razmgah M, *et al.* Color stability of resin hybrid ceramic materials in comparison to zirconia-reinforced lithium silicate ceramic. *Frontiers in Dentistry.* 2023.
66. Jonnada M, Rathnasekara R, El Rassi Z. Recent advances in nonpolar and polar organic monoliths for HPLC and CEC. *Electrophoresis.* 2015; 36: 76-100.
67. Mine A, Kabetani T, Kawaguchi-Uemura A, *et al.* Effectiveness of current adhesive systems when bonding to CAD/CAM indirect resin materials: A review of 32 publications. *Japanese Dental Science Review.* 2019; 55: 41-50.
68. Moura DMD, Veríssimo AH, Vila-Nova TEL, *et al.* Which surface treatment promotes higher bond strength for the repair of resin nanoceramics and polymer-infiltrated ceramics? A systematic review and meta-analysis. *J Prosthet Dent.* 2022; 128: 139-49.
69. Gül SZ, Battal R, Arısu HD. İndirekt Restorasyonların Adeziv Simantasyonu. *Türkiye Klinikleri Restorative Dentistry-Special Topics.* 2022; 8: 30-7.
70. Lava Ultimate C. CAM Restorative Technical Product Profile. St Paul, Minnesota: 3M ESPE. 2011.
71. Tsujimoto A, Barkmeier WW, Takamizawa T, *et al.* Influence of thermal cycling on flexural properties and simulated wear of computer-aided design/computer-aided manufacturing resin composites. *Oper Dent.* 2017; 42: 101-10.
72. Whaledent C. BRILLIANT Crios Product Guide 2023 [Available from: https://global.coltene.com/fileadmin/Data/EN/Products/Adhesives_Restoratives/CADCAM/60021815-06-16-EN-BRILLIANT-Crios-Product-Guide-A4-VIEW.pdf].
73. Karaer O, Yamaguchi S, Imazato S, *et al.* In Silico Finite Element Analysis of Implant-Supported CAD-CAM Resin Composite Crowns. *J Prosthodont.* 2023; 32: 259-66.
74. Reymus M, Roos M, Eichberger M, *et al.* Bonding to new CAD/CAM resin composites: influence of air abrasion and conditioning agents as pretreatment strategy. *Clin Oral Investig.* 2019; 23: 529-38.
75. Implant M. MAZIC Duro Brochure 2023 [Available from: https://www.minimaximplant.com.au/wp-content/uploads/2023/10/1_MAZICDuro_minimax.pdf].

76. Sprintray. SprintRay Ceramic Crown Cementation Protocol (Ivoclar Variolink Esthetic DC) 2024 [Available from: <https://sprintray.com/wp-content/uploads/2024/11/SprintRay-Ceramic-Crown-Cementation-Protocol-Ivoclar-Variolink-Esthetic-DC-FINAL.pdf>].
77. Kim M, Lee J, Park C, *et al.* Evaluation of shear bond strengths of 3D printed materials for permanent restorations with different surface treatments. *Polymers*. 2024; 16: 1838.
78. Zahnfabrik V. VITA ENAMIC Technical and Scientific Documentation 2023 [Available from: https://mam.vita-zahnfabrik.com/portal/ecms_mdb_download.php?id=82333&sprache=en&fallback=&rechtsraum=&cls_session_id=&neuste_version=1].
79. Beyabanaki E, Eftekhar Ashtiani R, Feyzi M, *et al.* Evaluation of Microshear Bond Strength of Four Different CAD-CAM Polymer-Infiltrated Ceramic Materials after Thermocycling. *J Prosthodont*. 2022; 31: 623-8.
80. Ultra C. Dentist's Page Available from: <https://crystalultra.com/dentists-page/>.
81. Della-Bona A. Characterizing ceramics and the interfacial adhesion to resin: II-the relationship of surface treatment, bond strength, interfacial toughness and fractography. *J Appl Oral Sci*. 2005; 13: 101-9.
82. Filho AM, Vieira LCC, Araújo É, *et al.* Effect of different ceramic surface treatments on resin microtensile bond strength. *J Prosthodont*. 2004; 13: 28-35.
83. Tian T, Tsoi JK-H, Matinlinna JP, *et al.* Aspects of bonding between resin luting cements and glass ceramic materials. *Dent Mater*. 2014; 30: E147-62.
84. Güngör MB, Nemli SK, Bal BT, *et al.* Effect of surface treatments on shear bond strength of resin composite bonded to CAD/CAM resin-ceramic hybrid materials. *J Adv Prosthodont*. 2016; 8: 259-66.
85. Bashary N, Tashkandi A, Fan Y, *et al.* Evaluating the Bond strength of a polymer infiltrated ceramic network to zirconia using the crossbeam push-off method. *Eur J Prosthodont Rest Dent*. 2022; 30: 207.
86. Gc-dental. Cerasmart Brochure [Available from: <https://www.gc.dental/sea/sites/sea.gc.dental/files/products/downloads/cerasmart/brochure/cerasmart-brochure.pdf>].
87. Kariper E, Cilingir A. Bond strength of different resin-based cements to 3D-printed permanent restorations. *Am J Dent*. 2025; 38: 39-45.