


Rezin matriks seramikler-derleme

Resin matrix ceramics-an overview

Elif Melike AKARCA 

Dilara ŞAHİN 

Ragibe Şenay CANA 

Hacettepe Üniversitesi, Diş
Hekimliği Fakültesi, Protetik Diş
Tedavisi Anabilim Dalı, Ankara,
Türkiye

ÖZ

Biyolojik uyumluluk ve yüksek estetik talepler konusunda endişelerin artması hastalar ve diş hekimlerini metalsiz, diş rengindeki restorasyonlara doğru yöneltmektedir. Giderek daha geniş kullanıma sahip olan bilgisayar destekli tasarım/ bilgisayar destekli üretim (CAD/CAM) sistemleri geçmişten günümüze büyük bir gelişim göstermektedir. Bu gelişim ile birlikte artan materyal seçeneği, daha hızlı ve yüksek kalitede estetik restorasyon üretimi olanağı tanımıştır. Diş hekimliğinde kullanılan iki önemli materyal grubu seramikler ve kompozitlerdir. Rezin matriks seramikler, hem seramiğin hem de kompozitlerin olumlu özelliklerini birleştiren yeni bir seramik sınıfıdır. Seramikler, biyoyumlu materyallerdir. Seramiklerin kimyasal stabiliteleri, bükülme dayanımları ve elastik modülleri kompozit materyallere göre oldukça yüksektir ancak bu materyallerin karşıt doğal dişte fazla aşınmaya sebep olmaları, millenmelerinin ve tamir edilebilmelerinin kompozitlere göre daha zor olması problem oluşturmaktadır. Kompozitlerin ise olumlu özelliklerinin yanı sıra aşınma dirençleri, biyoyumluluğu ve mekanik özellikleri seramiklere göre daha zayıftır. Bu iki materyalin olumlu özelliklerinin bir araya getirildiği, bilgisayar destekli tasarım/ bilgisayar destekli üretim teknolojisi ile kullanılan resin matriks seramikler piyasaya sunulmuştur. Bu materyaller yüksek oranda doldurulmuş seramik parçacıkları içeren organik bir matriksten oluşur. Rezin matriks seramikler dentine yakın elastik modüle sahiptir ve ağız içerisinde kolaylıkla aşındırılıp cilası yapılabilir. Bu derlemenin amacı piyasaya yeni sunulan resin matriks seramik materyallerinin mikroyapısal, mekanik ve fiziksel özellikleri hakkında bilgi vermektir.

Anahtar Kelimeler: Rezin matriks seramik, nano seramik, hibrit seramik

ABSTRACT

Patients and dentists tend to make metal-free, tooth-colored restorations with increasing concerns about biocompatibility and high aesthetic demands, computer aided design/computer aided manufacturing (CAD/CAM) systems which have become more widely used, have shown great improvement from past to present. Increasing material choice has enabled faster and higher quality aesthetic restoration production with this development. Two important material groups used in dentistry are ceramics and composites. Resin matrix ceramics is a new class of ceramics that combines the positive properties of both ceramics and composites. Ceramics are biocompatible materials. The chemical stability, flexural strength and elastic modulus of ceramics are considerably higher than composite materials, however they cause the problem such as excessive wear the opposing natural tooth, be more difficult to mill, and repair than composites. In addition to the positive properties of the composites, their abrasion resistance, biocompatibility and mechanical properties are weaker than ceramics. Resin matrix ceramics are used with computer aided design/computer aided manufacturing system technology, combining the positive properties of these two materials, were introduced to the market. This material consists of an organic matrix with a high proportion of ceramic particle-filled. Resin matrix ceramics have an elastic modulus close to dentin and they can easily be abraded and polished in the mouth. The purpose of this review is to give information about the microstructural, mechanical and physical properties of the newly introduced resin matrix ceramic materials.

Keywords: Resin matrix ceramic, nano ceramic, hybrid ceramic

GİRİŞ

Son yıllarda malzeme çeşitliliğindeki artış ve artan estetik gereksinimler doğrultusunda metal içermeyen diş renginde restorasyonlar diş hekimliğinde oldukça yaygın kullanılmaktadır.^{1,2} 1980'lerde ilk olarak kullanılmaya başlayan CAD/CAM sistemleri günümüze kadar hızlı gelişim göstermekte ve kullanımı oldukça popüler hale gelmektedir.³ Artan talepler ve sistemin gelişimi büyük bir piyasa oluşturmuş ve beraberinde materyal bilimini de gelişmeye sürüklemiştir.^{4,5}

Restoratif diş hekimliğinin hedefi, kaybedilen diş yapısını, fiziksel ve yapısal özelliklerin doğal diş yapısını taklit eden restoratif materyal ile eski haline getirmektir.^{6,7} Diş hekimliğinde kullanılan iki önemli materyal grubu seramikler ve kompozitlerdir.⁸ Her iki materyalin birbirine göre üstünlüğü olmasına rağmen restorasyonun uzun ömrü açısından elverişsiz bazı özelliklere sahip olduğu bilinmektedir.^{9,10} İdeal bir restoratif materyalin, seramik ve kompozitlerin olumlu özelliklerini birleştirerek uzun vadede görülebilecek olumsuzlukların üstesinden gelmesi beklenir.¹⁰ Seramikler gelişmiş mekanik ve fiziksel özelliklere, iyi optik özelliklere, kimyasal olarak stabil yapıya ve biyoyumluluğa sahiptir.¹¹⁻¹³ Seramiklerle yapılan restorasyonlarda başarılı doğal görünümlü sonuçlar elde edilir.¹⁴ Ancak yüksek aşındırıcı özellikleri, millenmelerinin ve tamirlerinin zor olması problem oluşturmaktadır.^{15,16} Kompozitler, düşük aşındırıcılığa ve dentine yakın elastik modüle sahiptir ancak renk stabilitesi, aşınma dirençleri ve mekanik özellikleri seramiklere göre daha zayıftır.^{17,18} Bu iki materyalin fiziksel ve mekanik avantajlarını birleştirmek için CAD/CAM teknolojisi

Geliş Tarihi/Received: 26.02.2020

Kabul Tarihi/Accepted: 28.05.2020

Sorumlu Yazar/Corresponding Author:

Elif Melike AKARCA

E-posta: elifmelike.dr@gmail.com

Cite this article: Akarca ME, Şahin D, Cana ŞR. Resin matrix ceramics-an overview. *Curr Res Dent Sci.* 2022;32(1): 114-118



Content of this journal is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.

ile üretilen geleneksel seramik ve kompozitlere alternatif olan rezin matris seramikler piyasaya sürülmüştür.^{16,19} 2013 yılında Amerikan Diş Hekimliği Derneği (ADA)'nin yaptığı porselen/seramik tanımı temel alınarak sınıflamaya yeni bir grup ilave edilmiştir.^{20,21} Ağırlıkça % 50 den fazla inorganik yapı içerdiğinden ve daha az organik yapı bulundurmasından dolayı rezin matris seramikler, seramik benzeri materyaller olarak sınıflamaya dahil edilmiştir.²¹⁻²³

Rezin Matris Seramikler

Yüksek sıcaklık ve basınç altında, seramik ve kompozit birleştirilerek yeni bir mikro yapının elde edildiği bu materyallerle güçlü mekanik özellik, düşük büzülme elde edilmekte, mikro yapıdaki defekt miktarı ve büyüklüğü azaltılmaktadır.²⁴⁻²⁶

Rezin matris seramikler dentine yakın elastik modüle sahiptir.^{27,28} Ağız içerisinde kolayca freze edilip uyumlanabilir, polisajı yapılabilir.²⁸ Özellikle CAD/CAM sistemleri ile kullanıldıkları için bu sistemin de avantajını içermektedir.²⁹ Bu materyaller mekanik performans açısından içerisinde yüksek cam doldurucu içeren seramiklere alternatif olarak kullanılabilir.²¹

Rezin matris seramikler inorganik doldurucularına göre üç alt gruba ayrılır.²¹

1. Rezin nanoseramik
2. Rezin matris içerisinde iç içe geçmiş cam seramik
3. Rezin matris içerisinde iç içe geçmiş zirkonya-silika seramik

Rezin Nanoseramikler

Bu grupta yer alan bloklardan ilki Lava Ultimate (3M ESPE, Minnesota, Amerika Birleşik Devletleri) tir. Lava Ultimate, oldukça sertleştirilmiş bir organik rezin matris (% 20) içerisinde nano-seramik (%80) parçacıklarından oluşur.³⁰⁻³² İnorganik nano seramik kısmını 200 nm boyutundaki silika nano partikülleri, 4-11 nm boyutundaki zirkonya nano partikülleri oluşturur.^{21,33} Bu inorganik yapı bisfenol-A Glisidil Metakrilat (Bis-GMA), urethane dimethacrylate (UDMA), bisphenol ethoxylated bisphenol-A dimethacrylate (Bis-EMA) ve triethylene glycol dimethacrylate (TEGDMA) içeren rezin matris ile çevrelenmiştir.³⁴ Bükülme dayanımı 200 MPa' dir ve kırılma dayanımları cam seramiklere kıyasla daha yüksektir.³⁵ Esneyebilmeleri sayesinde çiğneme sırasında kırılmaya ve çatlamaya karşı oldukça dayanıklıdır.³⁶ Materyal, yüksek parlaklıktaki yüzey kalitesini geleneksel CAD/CAM bloklardan daha uzun süre koruyabilir.^{8,37} Yapılan bir araştırmada rezin nanoseramiklerin özellikle de implant üstü tek kronlarda yapıştırıcı siman ile kron ara yüz bağlantısının başarısız olduğu sonucuna varılmıştır.³⁸ Materyal yapısından dolayı esnek oldukları için, kron içinde elastik deformasyon meydana gelir ve bu stres yoğunlaşması bağlantı sorunlarına neden olan adeziv tabakaya aktarılabilir.³⁷ Kronlarda görülen bu yüksek başarısızlık oranından dolayı Lava Ultimate'in kron endikasyonu firma tarafından 12 Haziran 2015 tarihinde kaldırılmıştır.^{10,37,39} Endikasyon olarak veneer, inley ve onleyler yapılabilir. Hidroflorik (HF) asit ile pürüzlendirme yapılmaz ancak alüminyum oksit (Al₂O₃) ile kumlama yapılması restorasyon iç yüzeyinde iyi bir pürüzlendirme sağlar.^{7,40} Çeşitli yüzey işlemlerinin rezin siman ve seramik bağlantısına etkisinin araştırıldığı bir çalışmada, en iyi bağlantıyı Lava Ultimate' a uygulanan kumlama ve silanizasyon işleminin sağladığı görülmüştür. Aynı zamanda en yüksek makaslama dayanımı da bu yüzey işleminde görülmektedir.⁴⁰ Lava Ultimate ve cam seramiklerin mekanik özelliklerinin karşılaştırıldığı bir çalışmada ise, Lava Ultimate daha yüksek başarı ve kırılma dayanımı göstermiştir.⁴¹

Grandio blocs (VOCO, Cuxhaven, Almanya) 2017 yılının sonlarında piyasaya sürülmüş olan yüksek (%86) doldurucu oranına sahip bloklardır. Diş dokusuna benzerliği oldukça iyidir. Bükülme direnci ve

abrazyona dayanıklılığı yüksektir. Fırınlama gerektirmemesi, tamir edilebilir ve ince kenarlarda dahi freze edilebilir olması avantajları arasında yer alır. Endikasyon olarak inley, onley, lamina, diş üstü ve implant üstü tek kronlarda kullanılmaktadır.⁴² Grandio blocs'un da dahil olduğu 4 farklı CAD/CAM materyalinin termal siklus ve mekanik yükleme ile yaşlandırma yapıldığı in vitro bir çalışmada en yüksek kırılma dayanımını Grandio blocs göstermiştir.⁴³

Cerasmart (GC, Tokyo, Japonya) 2014 yılında piyasaya sürülmüştür. Ağırlıkça %71 inorganik doldurucu partikül içermektedir. Partiküller, 20 nm çapında silika ve 300 nm çapında baryum cam dolduruculardan, organik kısım ise; 2,2-bis 4-methacryloxy-polyethoxyphenyl propane (Bis-MEPP), UDMA, dimethacrylate (DMA) tan meydana gelir.⁴⁴ Küçük ve homojen dağılımlı partiküllere sahip olmakla birlikte, restorasyonların kenar uyumları oldukça iyidir. Bükülme dayanımları karşılaştırıldığında en yüksek değere sahip materyal olarak öne çıkmaktadır.^{2,19} Cerasmart ve Lava Ultimate için en iyi bağlanma dayanımı değerini elde ettiğimiz yüzey işlemleri Al₂O₃ tozu ile kumlama ve silan uygulamasının birlikte yapıldığı uygulamadır.⁴⁵

Rezin Nano Seramikler, kolay freze edilebilir, uyumlanabilir ve yeniden cilalanabilir. Aşınma dirençleri oldukça iyidir. Renklenmelere karşı dayanıklıdır. Ayrıca cam seramiklere kıyasla karşıt dişte daha az aşınmaya neden olur. İkinci kez fırınlamaya ihtiyaç duymazlar. Bu nedenle daha az laboratuvar işlemleri uygulanır. Yüksek bükülme dayanımına (200 MPa) sahiptir.⁴⁶

Rezin matris içerisinde iç içe geçmiş cam seramik

Bu grupta 2013 yılında piyasaya sürülen Enamic (VITA, Bad Sackingen, Almanya) yer almaktadır. Sadece CAD/CAM sistemleriyle kullanılabilen blok şeklindeki bu materyaller "Hibrit Seramik" olarak tanımlanmaktadır.⁴⁷ Birbiri içine geçmiş gözenekli bir seramik ağa sahip çift fazlı bir mikro yapıya sahiptir.^{8,27,48} Organik matris UDMA ve TEGDMA' dan oluşur.¹⁷ Ağırlıkça % 86 oranında Al₂O₃ ile güçlendirilmiş feldspatik seramik bulunur.⁴⁵

İlk önce toz porselenin yoğunluğunun yaklaşık % 70'ine sinterlenmesi ve daha sonra monomerlerin infiltrasyonu ile üretilir. 160 MPa bükülme dayanımı ve 38 GPa elastik modülüne sahiptir.⁴⁹

Hem seramik hem de kompozitin olumlu özelliklerini birleştirmeyi başaran bu materyal, hem dayanıklılık hem de elastikiyet arasında dengeyi sağlayarak çiğneme kuvvetlerini başarılı bir şekilde karşılayabilmektedir.⁵⁰ Feldspatik seramiklere kıyasla düşük sertlik değeri olmasından dolayı dişlerde daha az aşınma meydana getirir.²² Ancak bu düşük sertlik değeri zaman içinde materyalin feldspatik seramiklere göre daha fazla aşınmasına neden olur.^{15,51} Endikasyonları kronlar, inleyler, onleyler ve veneerlerdir. Ancak köprü ve parafonksiyonel alışkanlığı olan bireylerde kontrendikedir.⁵² Bu materyaller % 5'lik HF asit ile muamele edildiğinde restorasyon iç yüzeyi oldukça iyi pürüzlendirilir ve adeziv simanlarla yapıştırılabilir.⁵³ Hampe ve arkadaşları termal siklus öncesi ve sonrası kırılma dayanımının değerlendirildiği çalışmada termal siklus sonrası en yüksek değeri Enamic materyalinin gösterdiğini bildirmişlerdir.⁵⁴ Yine benzer şekilde başka bir çalışmada, termal siklus sonrası Lava Ultimate ve Cerasmart'ın bükülme dayanımında azalma görülürken Enamic' te önemli bir değişiklik görülmemiştir.² Yapılan klinik bir çalışmada 3 yıllık klinik takip sonucu Enamic'in % 95-98 oranında klinik başarı ve uygun performans gösterdiği bildirilmiştir.⁵⁵ Yapılan in vitro bir çalışmada yaşlanma ile kopma direncinin düşmediği belirlenmiştir.⁵⁶ Renklenmenin incelendiği klinik çalışmalarda Enamic' in klinik olarak kabul edilebilir renk değişimi gösterdiği bildirilmiştir.^{57,58}

Hibrit seramikler yüksek kırılma direncine ve geleneksel seramiklere kıyasla düşük elastik modülüne sahiptir. Kırık ya da çatlak olmadan ince şekilde kazınabilme, elmas aletlerle kolayca ve kısa sürede frezelenbilme gibi avantajları da bulunmaktadır.^{6,8,32,51} Ancak bazı yazarlar, zayıf polimer matrisin seramik ağıdan kolayca ayrılabilirdiğini ve bunun da yüzey pürüzlülüğünün artmasına neden olduğunu göstermiştir.³⁹ Yapılan bir diğer çalışma ise; hibrit seramik sistemde bulunan polimer bileşenin, geleneksel tam seramik sistemlere kıyasla tükürük içeriğine karşı daha duyarlı olduğunu, buna bağlı olarak yüzey mikro sertliğinin azaldığını bildirmiştir.⁵⁹

Rezin matris içerisinde iç içe geçmiş zirkonya-silika seramik

Ağırlıkça yapısı % 60 tan fazla inorganik içerik bulundurur. Bu grupta Paradigm MZ100 (3M ESPE, Minnesota, Amerika Birleşik Devletleri) ve Shofu Block HC (Shofu inc., Kyoto, Japonya) bulunmaktadır.²¹

Paradigm MZ100, 2000 yılında tanıtılmıştır.³⁷ Bu firmaya ait Z100 kompozit materyalinin içerisine seramik ilave edilmiş ilk polimer infiltre kompozit blok materyalidir.^{24,37,60} % 85 inorganik yapı % 15 organik matriksten oluşur. Zirkonya-silika seramik parçacıkları inorganik kısmını oluştururken, organik kısmını Bis-GMA, TEGDMA ve üçlü aktivatör sistemi meydana getirir ve seramik partiküller bu organik matriksle çepeçevre sarılır.⁶¹ Polimerizasyonu fabrikasyon aşamasında tamamlanır ve bu nedenle gelişmiş mekanik özellikler gösterir.¹ Yaklaşık 150 MPa bükülme direncine sahiptir.⁶¹

Uzun süreli geçici yapımında, diş sıkma alışkanlığı olan bireylerde gelen kuvvetleri absorbe edebildiği için tek kron, inley, onley yapımında kullanılabilirler.⁶² Bazı in vitro çalışmalar materyalin yorulma dayanımı açısından iyi performans gösterdiğini rapor etmiştir.⁶³⁻⁶⁵ Diğer resin matris sistemlerde olduğu gibi daha konservatif diş preparasyonuna izin verirler. Renklendirme, bitirme ve polisaj işlemleri kolaydır. Ağzı içerisinde rahatlıkla uyumlanabilirler.³¹ Paradigm MZ100'ün yerini farklı sıcaklık ve basınç koşulları altında polimerize edilmiş, mekanik özellikleri geliştirilmiş Lava Ultimate almıştır.^{1,66}

Shofu Block HC ağırlıkça % 61 silika, silikat ve zirkonyum silikat doldurucularından meydana gelmektedir.⁶⁷ Bu yapı, UDMA ve TEGDMA' dan oluşan polimer organik matris ağı ile sarılmıştır.⁴⁵ Bükülme dayanımı 190-200 MPa arasındadır. Dişe benzer estetik özellikler sergilediğinden ve çift tabakalı blokları mevcut olduğundan anterior ve posterior, implant üstü kronlarda, inley ve onleylerde, veneer restorasyonlarda kullanılmaktadır.⁶⁸

SONUÇ

Bu materyaller, içerisindeki seramik ve polimer oranına göre farklı davranışlar sergilemektedir. Her geçen gün yeni materyal üretimiyle bu sınıflandırma genişletilebilir ve yeni materyaller eklenebilir. Ancak yapılan çalışmalar bu materyallerin klinik davranışları konusunda yeterli bilgi vermemektedir. Bu nedenle bu materyallerle ilgili uzun dönem klinik takip ve daha fazla bilimsel çalışmaya gerek duyulmaktadır.

Hakem Değerlendirmesi: Dış bağımsız.

Yazar Katkıları: Fikir – E.M.A., R.Ş., D.Ş.C.; Tasarım – E.M.A., R.Ş., D.Ş.C.; Denetleme – E.M.A., R.Ş., D.Ş.C.; Kaynaklar – E.M.A., R.Ş., D.Ş.C.; Veri Toplanması ve/veya İşlenmesi – E.M.A., R.Ş., D.Ş.C.; Analiz ve/veya Yorum – E.M.A., R.Ş., D.Ş.C.; Literatür Taraması – E.M.A., R.Ş., D.Ş.C.; Yazıyı Yazan – E.M.A., R.Ş., D.Ş.C.; Eleştirel İnceleme – E.M.A., R.Ş., D.Ş.C.

Çıkar Çatışması: Yazarlar çıkar çatışması bildirmemişlerdir.

Finansal Destek: Yazarlar bu çalışma için finansal destek almadıklarını beyan etmişlerdir.

Peer-review: Externally peer-reviewed.

Author Contributions: Concept – E.M.A., R.Ş., D.Ş.C.; Design – E.M.A., R.Ş., D.Ş.C.; Supervision – E.M.A., R.Ş., D.Ş.C.; Resources – E.M.A., R.Ş., D.Ş.C.; Materials – E.M.A., R.Ş., D.Ş.C.; Data Collection and/or Processing – E.M.A., R.Ş., D.Ş.C.; Analysis and/or Interpretation – E.M.A., R.Ş., D.Ş.C.; Literature Search – E.M.A., R.Ş., D.Ş.C.; Writing Manuscript – E.M.A., R.Ş., D.Ş.C.; Critical Review – E.M.A., R.Ş., D.Ş.C.

Conflict of Interest: The authors have no conflict of interest to declare.

Financial Disclosure: The authors declared that this study has received no financial support.

KAYNAKLAR

- Ruse ND, Sadoun MJ. Resin-composite blocks for dental CAD/CAM applications. *J Dent Res*. 2014;93(12):1232–1234.
- Lauvahutanon S, Takahashi H, Shiozawa M, Iwasaki N, Asakawa Y, Oki M, Finger WJ, Arksornnukit M. Mechanical properties of composite resin blocks for CAD/CAM. *Dent Mater J*. 2014;33(5):705–710.
- Villarreal M, Fahl N, De Sousa AM, De Oliveira OB Jr. Direct esthetic restorations based on translucency and opacity of composite resins. *J Esthet Restor Dent*. 2011;23(2):73–87.
- Elsaka SE. Bond strength of novel CAD/CAM restorative materials to self-adhesive resin cement: the effect of surface treatments. *J Adhes Dent*. 2014;16(6):531–540.
- Karaalioglu OF, Duymuş ZY. Diş hekimliğinde uygulanan CAD/CAM sistemleri. *J Dent Fac Atatürk Uni*. 2008;(1):25–32.
- Coldea A., Swain MV, Thiel N. Mechanical properties of polymer-infiltrated-ceramic-network materials. *Dent Mater J*. 2013;29(4):419–426.
- Chen C, Trindade FZ, de Jager N, Kleverlaan CJ, Feilzer AJ. The fracture resistance of a CAD/CAM Resin Nano Ceramic (RNC) and a CAD ceramic at different thicknesses. *Dent Mater J*. 2014;30(9):954–962.
- Della Bona A, Corazza PH, Zhang Y. Characterization of a polymer-infiltrated ceramic-network material. *Dent Mater J*. 2014;30(5):564–569.
- 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(5):417–424.
- Mainjot AK, Dupont NM, Oudkerk JC, Dewael TY, Sadoun MJ. From artisanal to CAD-CAM blocks: state of the art of indirect composites. *J Dent Res*. 2016;95:487–495
- Alt V, Hannig M, Wöstmann B, Balkenhol M. Fracture strength of temporary fixed partial dentures: CAD/CAM versus directly fabricated restorations. *Dent Mater*. 2011;27(4):339–347.
- Balkenhol M, Mautner MC, Ferger P, Wöstmann B. Mechanical properties of provisional crown and bridge materials: chemicalcuring versus dual-curing systems. *J Dent*. 2008;36(1):15–20.
- Stawarczyk B, Ender A, Trottmann A, Özcan M, Fischer J, Hämmerle CH. Load-bearing capacity of CAD/CAM milled polymeric three-unit fixed dental prostheses: effect of aging regimens. *Clin Oral Investig*. 2012;16(6):1669–1677.
- Barutçigil K, Barutçigil Ç, Kul E, Özarslan MM, Buyukkaplan US. Effect of different surface treatments on bond strength of resin cement to a CAD/CAM restorative material. *J Prosthodont*. 2019;28(1):71–78.
- Mörmann WH, Stawarczyk B, Ender A, Sener B, Attin T, Mehl A. Wear characteristics of current aesthetic dental restorative CAD/CAM materials: two-body wear, gloss retention, roughness and martens hardness. *J Mech Behav Biomed Mater*. 2013;20:113–125.
- Nguyen JF, Migonney V, Ruse ND, Sadoun M. Resin composite blocks via high-pressure high-temperature polymerization. *Dent Mater*. 2012;28(5):529–534.

17. Spitznagel FA, Horvath SD, Guess PC, Blatz MB. Resin bond to indirect composite and new ceramic/polymer materials: a review of the literature. *J Esthet Restor Dent*. 2014;26(6):382–393
18. Wang LK, Liu YN, Hui H, Li PP. Color stability of computer aided design and computer aided manufacture composite ceramic/resin cements after accelerated ageing. *Zhonghua kou qiang yi xue za zhi=Chinese J Stomatology*. 2019;54(11):765–769.
19. Awada A, Nathanson D. Mechanical properties of resin-ceramic CAD/CAM restorative materials. *J Prosthet Dent*. 2015;114(4):587–593.
20. American Dental Association. CDT: Code on dental procedures and nomenclature. <http://www.ada.org/en/publications/cdt/>. Accessed March 17, 2015.
21. Gracis S, Thompson VP, Ferencz JL, Silva NR, Bonfante EA. A new classification system for all-ceramic and ceramic-like restorative materials. *Int J Prosthodont*. 2015;28(3):227–235.
22. Lawson NC, Bansal R, Burgess JO. Wear, strength, modulus and hardness of CAD/CAM restorative materials. *Dent Mater*. 2016;32(11):275–283.
23. Nguyen J, Ruse D, Phan A, Sadoun M. High-temperature-pressure polymerized resin-infiltrated ceramic networks. *J Dent. Res*. 2014;93(1):62–67.
24. Facenda JC, Borba M, Corazza PH. A literature review on the new polymer-infiltrated ceramic-network material (PICN). *J Esthet Restor Dent*. 2018;30(4):281–286.
25. He LH, Swain M. A novel polymer infiltrated ceramic dental material. *Dent Mater*. 2011;27(6):527–534.
26. Tassin M, Bonte E, Loison-Robert LS, et al. Effects of hightemperature-pressure polymerized resin-infiltrated ceramic networks on oral stem cells. *PLoS One*. 2016;11(5):e0155450
27. Furtado de Mendonca A, Shahmoradi M, Gouvêa C, De Souza GM, Ellakwa A. Microstructural and Mechanical Characterization of CAD/CAM Materials for Monolithic Dental Restorations. *J Prosthodont*. 2019;28(2):587–594.
28. Aladağ A, Oğuz D, Çömlekoğlu ME, Akan E. In vivo wear determination of novel CAD/CAM ceramic crowns by using 3D alignment. *J Adv Prosthodont*. 2019;11(2):120–127.
29. Acar O, Yilmaz B, Altintas SH, Chandrasekaran I, Johnston WM. Color stainability of CAD/CAM and nanocomposite resin materials. *J Prosthet Dent*. 2016;115(1):71–75.
30. Johnson AC, Versluis A, Tantbirojn D, Ahuja S. Fracture strength of CAD/CAM composite and composite-ceramic occlusal veneers. *J Prosthodont Res*. 2014;58(2):107–114.
31. Shetty R, Shenoy K, Dandekeri S, Suhaim KS, Ragher M, Francis J. Resin-matrix ceramics – an overview. *Int J Recent Sci Res*. 2015;6(11):7414–7417.
32. Goujat A, Abouelleil H, Colon P, Jeannin C, Pradelle N, Seux D, Gros-gogeat B. Mechanical properties and internal fit of 4 CAD-CAM block materials. *J Prosthet Dent*. 2018;119(3):384–389.
33. Lührs AK, Pongprueksa P, De Munck J, Geurtsen W, Van Meerbeek B. Curing mode affects bond strength of adhesively luted composite CAD/CAM restorations to dentin. *Dent Mater*. 2014;30(3):281–291.
34. Sen N, Us YO. Mechanical and optical properties of monolithic CAD-CAM restorative materials. *J Prosthet Dent*. 2018;119(4):593–599.
35. Albero A, Pascual A, Camps I, Grau-Benitez M. Comparative characterization of a novel cad-cam polymer-infiltrated-ceramic-network. *J Clin Exp Dent*. 2015;7(4):495–500.
36. Lucsanzsky IJ, Ruse ND. Fracture Toughness, Flexural Strength, and Flexural Modulus of New CAD/CAM Resin Composite Blocks. *J Prosthodont*. 2020;29(1):34–41.
37. Schepke U, Meijer HJ, Vermeulen KM, Raghoobar GM, Cune MS. Clinical Bonding of Resin Nano Ceramic Restorations to Zirconia Abutments: A Case Series within a Randomized Clinical Trial. *Clin Implant Dent R*. 2016;18(5):984–992.
38. Bonfante EA, Suzuki M, Lorenzoni FC, Sena LA, Hirata R, Bonfante G, Coelho PG. Probability of survival of implant-supported metal ceramic and CAD/CAM resin nanoceramic crowns. *Dent Mater*. 2015;31(8):168–177.
39. Awad D, Stawarczyk B, Liebermann A, Ilie N. Translucency of esthetic dental restorative CAD/CAM materials and composite resins with respect to thickness and surface roughness. *J Prosthet Dent*. 2015;113(6):534–540.
40. Zhang HB, Huo H, Liu LJ. Influence of different surface treatments on resin nano ceramic-resin cement bond strength. *Zhonghua kou qiang yi xue za zhi=Chinese J Stomatology*. 2020;38(2):155.
41. Romanini-Junior JC, Hirata R, Bonfante EA, et al. Monolithic CAD/CAM laminate veneers: Reliability and failure modes. *Dent Mater*. 2020;36(6):724–732.
42. Voco Dental. Voco Grandio Block [online]. <https://www.voco.dental/en/products/indirect-restoration/cad-cam-material/grandio-blocs.aspx> [Accessed 2 June 2020].
43. Rosenrith M, Krifka S, Strasser T, Preis V. Fracture force of CAD/CAM resin composite crowns after in vitro aging. *Clin Oral Investig*. 2020;24(7):2395–2401.
44. Tekçe N, Fidan S, Tuncer S, Kara, D, Demirci M. The effect of glazing and aging on the surface properties of CAD/CAM resin blocks. *J Adv Prosthodont*. 2018;10(1):50–57.
45. Şişmanoğlu S, Gürçan AT, Yıldırım-Bilmez Z, Turunç-Oğuzman R, Gümüştaş B. Effect of surface treatments and universal adhesive application on the microshear bond strength of CAD/CAM materials. *J Adv Prosthodont*. 2020;12(1):22–32.
46. GC CERASmart [online]. <https://www.gcamerica.com/products/digital/CERASmart/> [Accessed 2 September 2020].
47. Horvath S. Key Parameters of Hybrid Materials for CAD/CAM-Based Restorative Dentistry. *Compend Contin Educ Dent*. 2016;37(9):638–643.
48. Huang XQ, Hong NR, Zou LY, Wu SY, Li Y. Estimation of stress distribution and risk of failure for maxillary premolar restored by occlusal veneer with different CAD/CAM materials and preparation designs. *Clin Oral Investig*. 2020;24(9):3157–3167.
49. Fasbinder DJ, Neiva GF, Dennison JB, Heys DR. Clinical Performance of CAD/CAM-Generated Composite Inlays After 10 Years. *J Cosmet Dent*. 2013;28(4):134–145.
50. Oğuz Eİ, Kılıçarslan MA, Özcan M. Effect of endodontic access simulation on the fracture strength of lithium-disilicate and resin-matrix ceramic CAD-CAM crowns. *J Esthet Restor Dent*. 2020;32(5):472–479
51. Coldea A, Swain MV, Thiel N. In-vitro strength degradation of dental ceramics and novel PICN material by sharp indentation. *J Mech Behav Biomed Mater*. 2013;26:34–42.
52. Tinschert J, Zvez D, Marx R, Anusavice K. Structural reliability of alumina-, feldspar-, leucite-, mica-and zirconia-based ceramics. *J Dent*. 2000;28(7):529–535.
53. 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. *Jpn Dent Sci Rev*. 2019;55(1):41–50.
54. Hampe R, Theelke B, Lümekemann N, Eichberger M, Stawarczyk B. Fracture toughness analysis of ceramic and resin composite CAD/CAM material. *Oper Dent*. 2019;44(4):E190–E201.
55. Spitznagel FA, Scholz KJ, Strub JR, Vach K, Gierthmuehlen PC. Polymer-infiltrated ceramic CAD/CAM inlays and partial coverage restorations: 3-year results of a prospective clinical study over 5 years. *Clin Oral Investig*. 2018;22(5):1973–1983.
56. Hampe R, Theelke B, Lümekemann N, Stawarczyk B. Impact of artificial aging by thermocycling on edge chipping resistance and Martens hardness of different dental CAD-CAM restorative materials. *J Prosthet Dent*. 2020; available online 27 February 2020.
57. Chirumamilla G, Goldstein CE, Lawson NC. A 2-year retrospective clinical study of enamic crowns performed in a private practice setting. *J Esthet Restor Dent*. 2016;28(4):231–237.
58. Stawarczyk B, Liebermann A, Eichberger M, Güth JF. Evaluation of mechanical and optical behavior of current esthetic dental restorative CAD/CAM composites. *J Mech Behav Biomed*. 2016;55:1–11.
59. Mushashe AM, Farias IC, Gonzaga CC, Cunha Lfd, Ferracane JL, Correr GM. Surface Deterioration of Indirect Restorative Materials. *Braz Dent J*. 2020;31(3):264–271.

60. Fasbinder DJ. Materials for chairside CAD/CAM restorations. *Compend Contin Educ Dent*. 2010;31(9):702-704.
61. Paradigm TM MZ100 Block Technical Product Profile. 3M ESPE [online]. <https://multimedia.3m.com/mws/media/775960/3m-paradigm-mz100-block-for-cerec-technical-product-profile.pdf>. [Accessed 10 October 2020].
62. Höland W, Schweiger M, Frank M, Rheinberger V. A comparison of the microstructure and properties of the IPS Empress® 2 and the IPS Empress® glass-ceramics. *J Biomed Mater Res*. 2000;53(4):297-303.
63. Magne P, Knezevic A. Simulated fatigue resistance of composite resin versus porcelain CAD/CAM overlay restorations on endodontically treated molars. *Quintessence Int*. 2009;40(2):125-133.
64. Tsitrou EA, Helvatjoglu-Antoniades M, Van Noort R. A preliminary evaluation of the structural integrity and fracture mode of minimally prepared resin bonded CAD/CAM crowns. *J Dent*. 2010;38(1):16-22.
65. Kassem AS, Atta O, El-Mowafy O. Fatigue resistance and microleakage of CAD/CAM ceramic and composite molar crowns. *J Prosthodont*. 2012;21(1):28-32.
66. Thornton I, Ruse ND. Characterization of nanoceramic resin composite and lithium disilicate blocks. *J Dent Res*. 2014;93(Special Issue B):151.
67. Demirel G, Baltacıoğlu İH. Influence of different universal adhesives on the repair performance of hybrid CAD-CAM materials. *Restor Dent Endod*. 2019;44(3):e23.
68. Shofu. *Shofu Block HC Broşür* (online). <https://www.shofu.de/wp-content/uploads/2018/06/SHOFU-Block-HC-Disk-HC-Info-UK.pdf> [Accessed 2 June 2020].