



Aydın Dental Journal

Journal homepage: <http://dergipark.ulakbim.gov.tr/adj>
DOI: 10.17932/IAU.DENTAL.2015.009/dental_v01i2004



CAD/CAM Sistemi ile Üretilen Zirkonya ve Rezin Nanoseramik Kuronların Kırılma Dirençlerinin Değerlendirilmesi

Evaluation of Fracture Resistance of Zirconia and Resin Nanoceramic Crowns Fabricated with CAD/CAM System

Ceren Küçük^{1*}, Atilla Sertgöz²

ÖZET

Amaç: Bu çalışmanın amacı rezin nanoseramik kuron restorasyonların kırılma direncini monolitik zirkonya ve veneerlenen zirkonya alt yapı kuron restorasyonlarıyla karşılaştırmaktır.

Gereç ve Yöntemler: Toplam 90 kuron restorasyonu üretildi. Kullanılan materyalin türüne göre 3 eşit gruba (n = 30) ayrıldı: grup U, rezin nanoseramik (Lava™ Ultimate) kuronlar, grup MZ, monolitik zirkonya (Lava™ Frame) kuronlar ve grup BZ, düşük ısı porseleni ile veneerlenen zirkonya alt yapı kuronlar. Restorasyonlar self adeziv rezin siman (Rely X U100) ile prepare edilen dişler üzerine simante edildi. Kırılma direnci kompresyon testi uygulanarak değerlendirildi.

Bulgular: Gruplar arasındaki farkları değerlendirmek için iki yönlü ANOVA analizi, çoklu grup karşılaştırmaları için ise Tukey HSD testi kullanıldı. Yapılan istatistiksel değerlendirmede kırılma dirençleri açısından tüm gruplar arasında anlamlı fark tespit edildi ($p < .05$). İkili karşılaştırmada her bir grup arasında anlamlı fark tespit edildi. ($p < .05$) En yüksek kırılma direnci grup MZ’de, en düşük kırılma direnci grup U’da görüldü.

Sonuç: Resin nanoseramik kuron restorasyonları, monolitik ve veneerlenen zirkonya kuronlar normal klinik koşullara dayanabilir ve kırılma dirençleri ortalama çiğneme kuvvetlerinin üzerindedir. Monolitik zirkonya restorasyonlar en yüksek kırılma direncine sahipken, bunu veneerlenen zirkonya restorasyonlar izlemektedir, rezin nanoseramik restorasyonlar ise en düşük kırılma direncine sahiptir.

Anahtar kelimeler: Dental rezinler, Dental kuronlar, Zirkonyum

ABSTRACT

Objective: To compare the fracture resistance of resin nanoceramic crown restorations with monolithic zirconia and bilayered zirconia-based crown restorations.

Materials and Methods: A total of 90 crowns were fabricated. They were divided into 3 equal groups (n = 30) according to the type of material used: group U, resin nanoceramic (Lava™ Ultimate), group MZ, monolithic zirconia (Lava™ Frame), and group BZ (bilayered zirconia substructure with veneering ceramic). Crowns were cemented on prepared teeth using a self-adhesive resin cement (Rely X U100). Fracture resistance was evaluated using a compression test.

Results: Two-way ANOVA analysis was used to evaluate the differences between groups and Tukey HSD test was used for multiple group comparisons. In the statistical evaluation, a significant difference was found between all groups in terms of fracture resistance ($p < .05$). In pairwise comparison, a significant difference was detected between each group ($p < .05$). The highest fracture resistance was seen in group MZ and the lowest fracture resistance was seen in group U.

Conclusion: Resin nanoceramic crown restorations, monolithic and veneered zirconia crowns can withstand normal clinical conditions and their fracture resistance is above average masticatory forces. Monolithic zirconia restorations have the highest fracture resistance, followed by veneered zirconia restorations, while resin nanoceramic restorations have the lowest fracture resistance.

Keywords: Dental crowns, Dental resins, Zirconia

¹Dr. Öğr. Üyesi, Marmara Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Protetik Diş Tedavisi Anabilim Dalı, Maltepe, İstanbul, Türkiye.

²Prof. Dr., Özel Klinik, Kadıköy, İstanbul, Türkiye.

*Sorumlu Yazar: Ceren Küçük, e-mail: ceren.kucuk@marmara.edu.tr, ORCID: 0000-0002-9044-1912, Marmara Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Protetik Diş Tedavisi Anabilim Dalı, Maltepe, İstanbul, Türkiye.

Giriş

Tam seramik restorasyonlar, yüksek estetik özellikleri, ideal mekanik nitelikleri ve biyouyumlulukları nedeniyle estetik diş hekimliği alanında büyük öneme sahiptirler.¹ Yttrium ile stabilize edilmiş zirkonyum (Y-TZP) materyali son 20 yılda büyük ölçüde metal altyapıların yerini alarak sabit restorasyonların yapımında kullanılan ideal seramik alt yapı materyali haline gelmiştir.² Opak beyaz renge sahip olan zirkonyum esaslı altyapılar, estetik görünüm sağlamak amacıyla uzun yıllar boyunca feldspatik porselenlerle veneerlenerek kullanılmıştır.³ Klinik çalışmalar, 3 ila 5 yıl takip edilen zirkonya restorasyonlarda, Y-TZP alt yapının sağlam kalmasına rağmen veneer seramik tabakasının değişen derecelerde *chipping* riski gösterdiğini ortaya koymuştur.^{4,5} *Chipping*den sorumlu başlıca faktörler; veneer seramiklerinin mekanik özelliklerinin altyapı için kullanılan diğer seramiklere kıyasla düşük olması, çiğneme kuvvetlerinden kaynaklanan yorgunluk ve termal rezidüel streslerdir. Termal rezidüel stresler de büyük ölçüde iki faktöre bağlıdır: üst yapı seramiği ile Y-TZP arasındaki termal genleşme katsayısındaki farklılıklar ve soğutma sırasında veneer tabakası boyunca oluşan sıcaklık değişimi.⁶ *Chipping* sorununu aşmak amacıyla farklı yaklaşımlar ve yöntemler önerilmiştir: CAD/CAM ile üretilen veneer gibi alternatif veneerleme tekniklerinin uygulanması, fırınlama prosedürlerinin modifikasyonu ve altyapı tasarımının modifiye edilmesi.⁷ Bir diğer alternatif çözüm de veneerlenmemiş zirkonya restorasyonların kullanılmasıdır. CAD/CAM teknolojisindeki ilerlemelerin bir sonucu olarak zirkonyanın translusensisi artmış ve porselen veneer içermeyen tam konturlu, monolitik zirkonya restorasyonlar giderek daha popüler hale gelmiştir.⁸ Monolitik zirkonya restorasyonlar CAD/CAM iş akışı sayesinde daha hızlı üretim sağlayarak, ideal marjinal uyumu olan restorasyonlar elde edilmesini sağlarlar. Ayrıca, mükemmel biyouyumluluğa sahiptirler ve artan kalınlık nedeniyle mekanik özellikleri bakımından daha üstün performans gösterirler.⁹ Monolitik zirkonya *chipping* problemini ortadan kaldırmak için özellikle posterior bölgede kullanılmaktadır. Sadece 0,5 mm oklüzal kalınlık ile yüksek çiğneme kuvvetlerine dayanabilmesi nedeniyle sınırlı interoklüzal boşluğu olan hastalarda kullanılması önerilmiştir.¹⁰

Dental restorasyonların yapımında kullanılan rezin-seramik materyallerin sayısı giderek artmaktadır. Bu rezin-seramik materyaller, rezin nanoseramikler (RNC) ve polimer infiltre seramik network materyalleri

olarak sınıflandırılabilirler.¹¹ Bu materyaller, kolay şekillendirilebilme özellikleri sayesinde, estetik ve diş dokusunu koruyucu restorasyonların üretiminde kullanılmak üzere CAD/CAM teknolojilerine uygun olarak geliştirilmiştir.¹² Rezin nanoseramik materyaller, silika veya zirkonya gibi nano boyutlu seramik dolgu partiküllerinin, polimer matris içinde rastgele dağılımı ile oluşturulan hibrit kompozitlerdir.¹³ Rezin nano seramikler ile kuron, inley ve onley restorasyonları üretilebilir. Rezin nanoseramiğin elastik yapısı, ağız içinde kolaylıkla aşındırılmasına ve onarımına izin verir. Porselen kırığı görülen seramik restorasyonların yenilenmesi ile karşılaştırıldığında, ağız içi tamirin daha konservatif ve düşük maliyetli olması nedeniyle tercih edilebilir bir yaklaşım olduğu düşünülmektedir.¹⁴

Birden çok tabakalı yapılar olarak üretilen kuron restorasyonları, monolitik restorasyonlardan farklı stres dağılımlarına ve yük taşıma kabiliyetine sahip olabilirler. Bu nedenle bu tip restorasyonlar arasında mekanik davranış ve kırık görülme sıklığı açısından farklılıklar beklenmektedir.¹⁵ Bu çalışmanın amacı, rezin nanoseramik, monolitik zirkonya ve veneerlenen zirkonya alt yapı kuron restorasyonlarının kırılma direncini incelemektir. Çalışmanın hipotezi, monolitik zirkonya, veneerlenmiş zirkonya ve rezin nanoseramik restorasyonların karşılaştırılabilir kırılma direnci değerleri sergileyeceği yönündedir.

Gereç ve Yöntemler

Bu çalışma, Marmara Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Girişimsel Olmayan Klinik Araştırmalar Etik Kurulu tarafından 02.05.2013 tarihli ve 1 sayılı karar ile etik açıdan onaylanmıştır.

Bu çalışmada periodontal nedenlerle çekilmiş 90 adet intakt, çürüksüz, restore edilmemiş insan mandibuler molar dişi kullanıldı. Çekimden hemen sonra dişler kavitrone cihazı (Lm-Ergo Grip Ultra; Lm Dental, Parainen, Finlandiya) ile temizlendi ve steril %0.1 timol solüsyonu içinde 1 gün boyunca oda sıcaklığında bekletildi. Sonrasında prepare edilene kadar distile suda saklandı. Her bir diş silikon bir kalıp kullanılarak akrilik reçine (Meliodent, Heraeus Kulzer, Berkshire, Birleşik Krallık) içine gömüldü. Paralelometre (Kavo EWL, Typ 990, Kavo Elektrotechnisches Werk GmbH, Leutkirch im Allgau, Almanya) kullanılarak dişlerin uzun ekseninin akrilik rezin bloğun üst yüzeyine dik olarak konumlanması sağlandı. Diş preparasyonları, büyük gritli elmas frezler (Meisinger 880 G, Hager and Meisinger, Neuss, Almanya) kullanılarak yuvarlatılmış bitiş çizgisi mine-sement sınırının 1 mm yukarısında, 1,5 mm aksiyel redüksiyon, 1,5-2 mm oklüzal

redüksiyon, toplam oklüzal konverjans açısı 6°, iç açılar yuvarlatılmış olacak şekilde gerçekleştirildi. Dental döner alet, standart diş preparasyonunu gerçekleştirmek için bir paralelometreye (KaVo EWL Typ 990, KaVo Elektrotechnisches Werk) sabitlendi. Prepare edilen dişlerin ölçüleri C tipi silikon ölçü maddesi (Zhermack Elite HD+, Badia Polesine, İtalya) ile alındı ve ölçülerden elde edilen alçı modeller kuron restorasyonlarının fabrikasyonu için kullanıldı. Toplam 90 numune rastgele 3 gruba ayrıldı. Daha sonra her grup için kuron restorasyonları üretildi:

- Grup MZ: Monolitik Zirkonya Kuronlar (Lava™ Frame, 3M ESPE, ABD) (n=30)
- Grup VZ: Veneerlenmiş zirkonya alt yapılı kuronlar; zirkonya alt yapı (Lava™ Frame, 3M ESPE, ABD) düşük ısı porseleni (Lava™ Ceram, 3M ESPE, ABD) ile veneerlendi (n=30)
- Grup U: Resin nanoseramik kuronlar (Lava™ Ultimate, 3M ESPE, ABD) (n=30)

Üç test grubu için toplam 90 alçı model elde edildi. Kuron restorasyonlarının fabrikasyonu için öncelikle alçı modeller tarandı ve dijital ortama aktarıldı (CEREC inLab; Sirona Dental Systems GmbH, Bensheim, Almanya). Tüm kuron restorasyonları için 80 µm'lik¹⁵ bir siman boşluğu bırakıldı. Grup MZ ve Grup U'nun kuronları ve Grup VZ'nin altyapıları CAD/CAM ünitesi (CEREC inLab; Sirona Dental Systems) tarafından tasarlandı ve frezelenildi. Grup VZ'nin zirkonya altyapıları (kalınlık 0,7 mm) buharla temizlendi ve düşük ısı porseleni ile veneerlendi, ardından fırınladı (Programat S1; Ivoclar Vivadent AG). Monolitik restorasyonlara glazür (Ceram

Glaze; Ivoclar Vivadent AG, Schaan, Liechtenstein) tabakası uygulandı. Kuron restorasyonları kesilmiş dişlere rezin siman (Rely X U100, 3M ESPE, ABD) ile simante edildi. Simantasyondan sonra, tüm numuneler kompresyon testine kadar 2 gün boyunca oda sıcaklığında distile su içinde saklandı.

Kırılma direncini değerlendirmek için, numuneler evrensel bir test makinesinde (Testometric Micro 500, Testometric Co. Ltd., Lancashire, UK) restorasyonun santral oluşuna yerleştirilen 3,5 mm çapında bir çelik bilye kullanılarak 0,5 mm/dak travers hızında kırılma meydana gelene kadar kompresyon testine tabi tutuldu. Her numune için, kırılmaya kadar olan maksimum yük ölçüldü ve dijital bir ekranda görüntülendi. Sonuçlar bir yazılım paketi (Windows için SPSS 13.0, SPSS Inc., IL, ABD) ile analiz edildi. Gruplar arasındaki farkları değerlendirmek için iki yönlü ANOVA analizi, çoklu grup karşılaştırmaları için ise Tukey HSD testi kullanıldı.

Bulgular

Yapılan istatistiksel değerlendirmede kırılma dirençleri açısından tüm gruplar arasında anlamlı fark tespit edildi ($p<.05$). Tablo 1'de kırılma testinden elde edilen kırılma kuvvetlerinin ortalama ve standart sapma değerleri ikili karşılaştırma şeklinde gösterilmiştir. İkili karşılaştırmada her bir grup arasında anlamlı fark tespit edildi. ($p<.05$). Elde edilen bulgular kırılma dirençlerinin MZ grubunda ($4298,21 \pm 935,90$ N) en yüksek olduğunu, bunu VZ grubunun ($3367,81 \pm 881,6$) izlediğini ve U grubunda ($2695,45 \pm 919,48$ N) en düşük olduğunu göstermiştir ($p<.05$)

Tablo 1. Test edilen malzemelerin kırılma direnci değerlerinin (N) ortalama $\pm$ Standart sapması

Gruplar	Kırılma Yüğü (N)
MZ	$4298,21 \pm 935,90^A$
VZ	$3367,81 \pm 881,61^B$
U	$2695,45 \pm 919,48^C$

ANOVA, post-hoc Tukey test, $p<.05$. Aynı üst simge harfleri $\alpha = 0,05$ 'te istatistiksel olarak anlamlı fark olmadığını gösterir. Her kolon için büyük harflerle gösterilmiştir.

Tartışma

Kırılma, restorasyonların yapısal başarısızlığının en önemli nedenlerinden biridir. Bu çalışmada, veneerlenen zirkonya alt yapılı kuron restorasyonlarının kırılma direncinin monolitik zirkonya ve resin nanoseramik kuronların kırılma dirençleriyle karşılaştırılması amaçlanmıştır. İstatistiksel analiz sonuçları kırılma kuvvetinin monolitik zirkonya kuronlar için en yüksek olduğunu, bunu veneerlenen zirkonya alt yapılı kuronların

izlediğini ve rezin nanoseramik kuronlar için en düşük olduğunu göstermiştir ($p<.05$). Bu nedenle, test edilen kuronların kırılma direncinde herhangi bir fark bulunmayacağı yönündeki araştırma hipotezi reddedilmiştir.

Bu çalışmanın bazı limitasyonları vardır. Bir materyali ağızda test etmeden önce, diğer özelliklerinin yanı sıra yorulmaya, aşınmaya, kırılmaya karşı direncini ve antagonist dişler üzerindeki etkisini

belirlemek için klinik öncesi bir testten geçmesi gerekir. Bu nedenle, bir çiğneme simülatörü aracılığıyla ağız koşullarını simüle etmek için bu malzemeye belirli yüklerin uygulanması gereklidir.¹⁶ Çiğneme simülatörü ile termomekanik yükleme yapılan çalışmalarda^{3,15} zirkonya ve hibrit seramik materyallerin kırılma direnci değerlerinin düştüğü görülmüştür. Bu çalışmada kuron restorasyonlarına çiğneme simülasyonu uygulanmamıştır.

Bu çalışmanın metodunun güçlü yanı, destek yapı olarak periodontal yıkım sebebiyle çekilmiş çürüksüz alt molar dişlerin kullanılmış olmasıdır. Bir araştırmada, destek yapı olarak kobalt-krom alaşımı, polimer ve doğal diş dokusu kullanılmış, bu altyapılar üzerine uygulanan seramik kuron restorasyonlarının kırılma dirençleri incelenmiştir. Doğal dişlerin kullanımında görece düşük kırılma direnci değerleri elde edilmiştir ve doğal dişlerin destek yapı olarak kullanıldığı çalışmalarda daha gerçekçi sonuçlar elde edileceği bildirilmiştir.¹⁷ Scherrer ve Rijk¹⁸ destek yapının elastik modülündeki artışın restoratif materyalin kırılma direncini artırdığını bildirmiştir. Ancak, destek yapı olarak yüksek rijitlikte materyallerin tercih edilmesi, elde edilen sonuçların klinik gerçekliği yansıtmaması azaltabilir.

Klinik ortamda dental restorasyonlar genellikle 60–250 N arasındaki çiğneme kuvvetlerine maruz kalırken, ani ve kısa süreli yüklenmelerde bu değerler 500–800 N'ye kadar çıkabilmektedir. Dişin bulunduğu anatomik bölgeye göre de kuvvet değerleri değişiklik göstermektedir; molar bölgede 400–890 N, premolar bölgede 22–445 N, kaninlerde 133–334 N ve kesici dişlerde 89–111 N arasında ölçülen kuvvetler bildirilmiştir.^{19,20} Bu çalışmada test edilen restorasyon materyallerinin ortalama kırılma dirençleri; monolitik zirkonya için 4298 N, rezin nano seramik için 2696 N ve feldspatik porselenle veneerlenen zirkonya restorasyonlar için 3368 N olarak kaydedilmiştir. Bu değerler, her üç materyalin de fizyolojik çiğneme kuvvetlerine karşı yeterli mekanik dayanıklılığa sahip olduğunu ortaya koymaktadır.

Magne ve ark.²¹ rezin nano seramikten üretilmiş kuron ve onley restorasyonlarının kırılma dirençlerini karşılaştırdıkları çalışmalarında, kuron restorasyonları için ortalama 2794 N, onley restorasyonları için ise 2606 N kırılma direnci elde etmişlerdir. Bu çalışmada ise rezin nano seramik kuronların ortalama kırılma direnci 2695,53 N olarak ölçülmüş olup, elde edilen veriler Magne ve ark.²¹'nin bulgularıyla benzerlik göstermektedir.

Benzer şekilde Zierden ve ark.²² resin nanoseramik kuronların kırılma direncini termomekanik yükleme yapılmayan örneklerde ortalama 2.529.54 N olarak bildirmişlerdir, Bildirilen değerler bu çalışmadan elde edilen sonuçlarla uyumludur.

Choi ve ark.²³ farklı tekniklerle veneerlenen zirkonya alt yapı kuronların kırılma direncini değerlendirdikleri çalışmada titanyum modeller üzerinde CAD/CAM sistemi ile zirkonya alt yapılar üretmişlerdir. Alt yapılar 3 gruba ayrılarak, tabakalama, presleme ve sinterleme tekniği ile hazırlanan üst yapılar ile veneerlenmiştir. Kırılma dayanımı, tabakalama tekniği uygulanan örneklerde ortalama 4263,8 N olarak bildirilmiştir. Bu çalışmada ise aynı teknikle veneerlenen numunelerde ortalama kırılma dayanıklılığı 3367,88 N olarak ölçülmüştür. Elde edilen bu değer, Choi ve ark.²³ 'nın bildirdiği değerlerden düşük olması, söz konusu çalışmada destek materyali olarak elastik modülü 200 GPa olan titanyum alaşımı kullanılması ile açıklanabilir. Araştırmacılar, elastik modülü 12 GPa olan doğal diş yapısının kullanılması durumunda kuronların kırılma dayanımının daha düşük olabileceğini ifade etmişlerdir.

Zhang ve ark.²⁴ monolitik zirkonyanın kırılma direncinin veneerlenmiş zirkonya, lityum disilikat ve metal-seramik restorasyonlardan daha yüksek olduğunu bildirmiştir. Birçok çalışmada²⁵⁻²⁷ monolitik zirkonyanın veneerlenmiş zirkonyadan daha yüksek kırılma direncine sahip olduğunu bildirmiştir. Buna karşın Preis ve ark.²⁸ 'ın çalışmasında monolitik ve veneerlenmiş zirkonyanın kırılma dayanımı benzer bulunmuştur. Bu çalışmada monolitik zirkonya kuron restorasyonlarının kırılma direnci, veneerlenmiş zirkonya restorasyonlardan istatistiksel olarak anlamlı derecede yüksek bulunmuştur.

Bu çalışmanın sınırlılıkları arasında in vitro tasarım yer almaktadır. Laboratuvar test düzenekleri, lateral kuvvetler, ağız boşluğundaki sıcaklık değişimi, periodonsiyumun hareketi ve dentinden gelen nem gibi gerçek klinik koşulları taklit edemezler.²⁹ Bu sebeple in vitro veriler klinik çalışmalarla desteklenmelidir.

Sonuç

Bu in vitro çalışmada elde edilen bulgulara dayanarak aşağıdaki sonuçlar çıkarılmıştır:

1. Monolitik zirkonya kuronların kırılma direnci, veneerlenen zirkonya kuronlardan ve rezin nanoseramik kuronlardan istatistiksel olarak anlamlı şekilde daha yüksektir.

2. Rezin nanoseraamik kuronlar istatistiksel olarak anlamlı derecede en düşük kırılma direncini göstermiştir.

3. Rezin nanoseraamik kuron restorasyonları, monolitik ve veneerlenen zirkonya kuronlar normal klinik koşullara dayanabilir ve kırılma dirençleri ortalama çiğneme kuvvetlerinin üzerindedir.

Etik Kurul Onayı

Bu çalışma için gerekli etik onayı Marmara Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Girişimsel Olmayan Araştırmalar Etik Kurulu tarafından verilmiştir (2013-1).

Finansal Kaynak

Bu çalışma sırasında, yapılan araştırma konusu ile ilgili doğrudan bağlantısı bulunan herhangi bir ilaç firmasından, tıbbi alet, gereç ve malzeme sağlayan ve/veya üreten bir firma veya herhangi bir ticari firmadan, çalışmanın değerlendirme sürecinde, çalışma ile ilgili verilecek kararı olumsuz etkileyebilecek maddi ve/veya manevi herhangi bir destek alınmamıştır.

Çıkar Çatışması

Bu çalışma ile ilgili olarak yazarların çıkar çatışması olabilecek bilimsel ve tıbbi komite üyeliği veya üyeleri ile ilişkisi, danışmanlık, bilirkişilik, herhangi bir firmada çalışma durumu, hissedarlık ve benzer durumları yoktur.

Yazar Katkısı

Fikir: A.S. Tasarım: A.S. Denetleme: A.S. Kaynaklar: A.S. Malzemeler: C.K. Veri Toplama: C.K. Analiz: A.S., C.K. Literatür: C.K. Yazı: C.K. Eleştirel İnceleme: A.S.

Kaynakça

1. Pjetursson BE, Sailer I, Zwahlen M, Hammerle CH. A systematic review of the survival and complication rates of all-ceramic and metal-ceramic reconstructions after an observation period of at least 3 years. Part I: Single crowns. *Clin Oral Implants Res.* 2007;18 Suppl 3:73-85.
2. Raigrodski AJ, Hillstead MB, Meng GK, Chung KH. Survival and complications of zirconia-based fixed dental prostheses: a systematic review. *J Prosthet Dent.* 2012;107:170-7.
3. Sarikaya I, Hayran Y. Effects of dynamic aging on the wear and fracture strength of monolithic zirconia restorations. *BMC Oral Health.* 2018;18:146.
4. Sailer I, Feher A, Filser F, Gauckler LJ, Luthy H, Hammerle CH. Five-year clinical results of zirconia frameworks for posterior fixed partial dentures. *Int J Prosthodont.* 2007;20:383-8.
5. Koenig V, Vanheusden AJ, Le Goff SO, Mainjot AK. Clinical risk factors related to failures with zirconia-based restorations: an up to 9-year retrospective study. *J Dent.* 2013;41:1164-74.
6. Baldassarri M, Stappert CF, Wolff MS, Thompson VP, Zhang Y. Residual stresses in porcelain-veneered zirconia prostheses. *Dent Mater.* 2012;28:873-9.
7. Stawarczyk B, Keul C, Eichberger M, Figge D, Edelhoff D, Lumkemann N. Three generations of zirconia: From veneered to monolithic. Part I. *Quintessence Int.* 2017;48:369-80.
8. Zhang Y, Lawn BR. Novel Zirconia Materials in Dentistry. *J Dent Res.* 2018;97:140-7.
9. Tajti P, Solyom E, Czumbel LM et al. Monolithic zirconia as a valid alternative to metal-ceramic for implant-supported single crowns in the posterior region: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *J Prosthet Dent.* 2024;132:881-9.
10. Leitao C, Fernandes GVO, Azevedo LPP, Araujo FM, Donato H, Correia ARM. Clinical performance of monolithic CAD/CAM tooth-supported zirconia restorations: systematic review and meta-analysis. *J Prosthodont Res.* 2022;66:374-84.
11. 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;95:487-95.
12. Awada A, Nathanson D. Mechanical properties of resin-ceramic CAD/CAM restorative materials. *J Prosthet Dent.* 2015;114:587-93.
13. Laborie M, Naveau A, Menard A. CAD-CAM resin-ceramic material wear: A systematic review. *J Prosthet Dent.* 2024;131:812-8.
14. Hassan A, Hamdi K, Ali AI, Al-Zordk W, Mahmoud SH. Clinical performance comparison between lithium disilicate and hybrid resin nano-ceramic CAD/CAM onlay restorations: a two-year randomized clinical split-mouth study. *Odontology.* 2024;112:601-15.
15. Hamza TA, Sherif RM. Fracture Resistance of Monolithic Glass-Ceramics Versus Bilayered Zirconia-Based Restorations. *J Prosthodont.* 2019;28:e259-e64.
16. Heintze SD, Cavalleri A, Forjanic M, Zellweger G, Rousson V. Wear of ceramic and antagonist--a systematic evaluation of influencing factors in vitro. *Dent Mater.* 2008;24:433-49.
17. Rosentritt M, Plein T, Kolbeck C, Behr M, Handel G. In vitro fracture force and marginal adaptation of ceramic crowns fixed on natural and artificial teeth. *Int J Prosthodont.* 2000;13:387-91.
18. Scherrer SS, de Rijk WG. The fracture resistance of all-ceramic crowns on supporting structures with different elastic moduli. *Int J Prosthodont.* 1993;6:462-7.
19. Wiskott HW, Nicholls JJ, Belser UC. Stress fatigue: basic principles and prosthodontic implications. *Int J Prosthodont.* 1995;8:105-16.
20. Attia A, Abdelaziz KM, Freitag S, Kern M. Fracture load of composite resin and feldspathic all-ceramic CAD/CAM crowns. *J Prosthet Dent.* 2006;95:117-23.
21. Magne P, Carvalho AO, Bruzi G, Anderson RE, Maia HP, Giannini M. Influence of no-ferrule and no-post buildup design on the fatigue resistance of endodontically treated molars restored with resin nanoceramic CAD/CAM crowns. *Oper Dent.* 2014;39:595-602.
22. Zierden K, Acar J, Rehmann P, Wostmann B. Wear and Fracture Strength of New Ceramic Resins for Chairside Milling. *Int J Prosthodont.* 2018;31:74-6.
23. Choi YS, Kim SH, Lee JB, Han JS, Yeo IS. In vitro evaluation of fracture strength of zirconia restoration veneered with various ceramic materials. *J Adv Prosthodont.* 2012;4:162-9.
24. Zhang Y, Mai Z, Barani A, Bush M, Lawn B. Fracture-resistant monolithic dental crowns. *Dent Mater.* 2016;32:442-9.
25. Beuer F, Stimmelmayer M, Gueth JF, Edelhoff D, Naumann M. In vitro performance of full-contour zirconia single crowns. *Dent Mater.* 2012;28:449-56.
26. Lameira DP, Buarque e Silva WA, Andrade e Silva F, De Souza GM. Fracture Strength of Aged Monolithic and Bilayer Zirconia-Based Crowns. *Biomed Res Int.* 2015;2015:418641.

27. Ezzat Y, Sharka R, Rayyan M, Al-Rafee M. Fracture Resistance of Monolithic High-Translucency Crowns Versus Porcelain-Veneered Zirconia Crowns After Artificial Aging: An In Vitro Study. *Cureus*. 2021;13:e20640.
28. Preis V, Behr M, Hahnel S, Handel G, Rosentritt M. In vitro failure and fracture resistance of veneered and full-contour zirconia restorations. *J Dent*. 2012;40:921-8.
29. Kelly JR. Clinically relevant approach to failure testing of all-ceramic restorations. *J Prosthet Dent*. 1999;81:652-61.