

GÜÇLENDİRİLMİŞ DENTAL SERAMİKLERİN VICKERS SERTLİKLERİ VE YÜK ALTINDA KIRILMA DAVRANIŞLARI

VICKER'S HARDNESS OF REINFORCED CERAMICS AND MODES OF FRACTURE UNDER LOAD

Dr. M.Erhan ÇÖMLEKOĞLU*

Doç. Dr. Mine DÜNDAR*

Dr. Bülent GÖKÇE*

Doç Dr. M. ALİ GÜNGÖR*

Prof. Dr. Mutlu ÖZCAN**

Prof. Dr. Celal ARTUNÇ*

ÖZET

Amaç: Bu çalışmanın amacı güçlendirilmiş dental seramiklerin Vickers sertlik değerlerinin ve yük altındaki kırılma şekillerinin belirlenmesidir. **Gereç ve Yöntem:** Lösit (Evopress, Wegold&De), düşük lösit (Finesse, Ceramco), cam infiltrasyonlu aluminöz seramik (Inceram Alumina, Vita) ve lityum disilikat (E.max press, Ivoclar) bazlı dört farklı seramik alt yapı materyali (n=7/grup) her bir üretici firmanın önerileri doğrultusunda hazırlandı (3 mm kalınlıkta; 5 mm çapta). Her bir alt yapı seramiğine özgü kaplama seramikleri; paslanmaz çelik bir metal kalıpta (5mm çap 5mm yükseklikte) vibrasyonla kondanse edildi ve alt yapı seramiklerinin üzerine pişirildi. Örnekler batırma testlerinden önce 37 °C' de 24 saat distile suda bekletildikten sonra polyeater kalıplara gömüldü. Vickers sertlik değerleri (DUH±SD) ölçüldü (çene hızı:7,2 gf/s, yük:200 gf) ve veriler istatistiksel olarak analiz edildi (ANOVA). Çatlak oluşumu için örneklerin üst yüzeylerine makro sertlik test cihazında batıcı elmas uç ile (1 mm çaplı) 400 N yük uygulandı. Alınan taramalı elektron mikroskop görüntüleri ile her bir gruba ilişkin çatlak şekilleri gözlemlendi. **Bulgular:** Gruplar arasında ortalama Vickers sertlik değerleri düşük lösit grubu için anlamlı olarak (P<0.05) en yüksek bulunur iken (236±17), bunu lösit (129±51), cam infiltrasyonlu aluminöz seramik (117±38), ve lityum disilikat (85±34) kaplama seramik materyalleri azalan sırayla izledi. Yük uygulaması sonrasında genellikle ışınal ya da koni şekilli çatlakların oluştuğu gözlemlendi. **Sonuç:** Seramik materyalin sertliğinin artması daha fazla ve daha uzun çatlak oluşumuna yol açtı. Bu çalışmadaki deneysel koşullar altında kaplama seramik gruplarının hiçbirinde alt yapı seramiklerine ulaşan çatlak oluşumu gözlenmedi.

Anahtar Kelimeler: Vickers sertliği, cam seramik, kaplama seramikleri.

SUMMARY

Objective: The objectives of this study were to determine the Vicker's hardness of reinforced dental ceramics and determine the modes of fractures under load. **Methods:** Four ceramic core groups (n=7/group) from leucite (Evopress, Wegold&De), low leucite (Finesse, Ceramco), glass-infiltrated (Inceram Alumina, Vita) and lithium disilicate materials (E.max press, Ivoclar) were fabricated according to each manufacturers' instructions (thickness: 3 mm, diameter: 5 mm). Their individual veneering ceramics were vibrated, condensed in a stainless steel mold (diameter: 5 mm, height: 5 mm) and fired on the core materials. The specimens were stored in distilled water at 37°C for 24 hours prior to indentation tests and embedded in polyester moulds. Vickers hardness values (DUH±SD) were measured (cross-head speed:7,2 gf/s, load:200 gf) and statistically analysed (ANOVA). A load of 400 N was applied on the surfaces of specimens with a diamond indenter (diameter:1 mm) at the macro hardness test machine for crack formation. The crack modes for each group were observed under the scanning electron microscope. **Results:** The Vickers hardness values for low leucite veneering ceramic were significantly (P<0.05) higher (236±17), followed by the leucite (129±51), glass-infiltrated (117±38), and lithium disilicate (85±34) veneering ceramic materials in decreasing order. Mainly radial or cone cracks were observed after the application of load. **Conclusion:** The increase in the hardness of the material led to more crack formation and resulted in longer cracks. No crack formation extending to the core materials were observed in neither of the ceramic groups under these experimental conditions.

Keywords: Vickers hardness, glass ceramics, veneering ceramics.

GİRİŞ

Dental porselen, farklı oranlarda silika (SiO₂), feldspar (K₂O-Al₂O₃-6SiO₂) ve alümina (Al₂O₃) gibi kristaller içerir. Bu kristalize parçalar berrak ve likide benzer yapıdaki camın içinde bir arada tutulurlar.¹⁻³ Dental

* Ege Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Protetik Diş Tedavisi AD, İzmir

** Groningen Üniversitesi, Klinik Dental Biyomateryaller Bölümü, Groningen, Hollanda

seramiklerin güçlendirilmesi için alümina partikülleri, iyon değişimi ile seramik yüzeyinde gerilim oluşturularak, lösit ile ve kontrollü kristalizasyon işlemleriyle yapılabilmektedir.¹⁻³ Sabit seramik restorasyon yapımı için en az üç farklı tip seramik kullanılır: alt yapı (kor), insizal ve gingival. Bu seramikler doğal bir dişin farklı

kısımlarını taklit edebilecek şekilde yapılmışlardır. Bunlar çoğunlukla lösit gibi kristalize yapılar içeren camlardır. Lösit ($K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 4SiO_2$), yapay kristal bir feldspatoid yapıdır. Dental porselenlerin çoğunda feldspar kristalleri özel bir ısıl işlemden geçirildikten sonra cama ve lösit kristallerine çevrilmektedir. Lösitin dental porselendeki esas görevi termal genleşme katsayısını artırarak sertliği ve bağlanmayı arttırmaktır. Dental porselenler lösit içeren tozlardan oluşurlar. Lösit, ısıya dayanıklı bir iskelet oluşturur ve aradaki boşluklar cam ile dolar.⁴⁻⁷

Alüminöz seramiklerde alt yapı materyali % 40 kristalize alümina içermektedir. Bu alt yapı, materyalin dayanıklılığını yaklaşık iki kat (10,000 psi (69 MN/m²)) arttırmaktadır. In-Ceram sisteminde yüksek alümina içeren (% 85) bir materyal kullanılır ancak güdüklü alçı model üzerinde hazırlanır. Bu güdük orijinal master die'dan dublike edilerek özel bir alçı ile çoğaltılır ve vernik ile aralık yaratılır. Toz karıştırılarak ıslak karışım, emici ısıya dayanıklı matrisle uygulanır, kurutulur ve sinterlenir. Bu ısıl işlem alümina partiküllerinin gren sınırlarını kısmen birleştirir ve alt yapının güdükten ayrılmasını kolaylaştırır. Uyumlandırıldıktan sonra alümina alt yapı termal uyumlu, özel bir düşük ısı camı ile kaplanarak "infiltrasyon pişirmesi" yapılır ve kapiller etki ile pişirilerek yoğun, alümina ve camdan oluşan kuvvetli, kompozit bir yapı meydana gelir. Bu işlemde, kor materyali büyük, beyaz, opak bir kütleden güçlü, karamel renkli seramik bir alt yapıya dönüşür. Bu aşamada, In-Ceram alt yapısı tamamlanmış sayılır ve restorasyon son şekline göre bitirilerek termal olarak uyumlu alüminöz kaplama seramikleri pişirilir.⁴⁻⁶ IPS E.max press cam seramik, SiO_2-LiO_2 kimyasal sisteminden; Evopress ve Finesse lösit bazlı cam seramikler ise $SiO_2-Al_2O_3-K_2O$ sisteminden türetilmişlerdir.⁷

Sabit bölümlü protezlerin yapımı için yukarıda da kısaca değinildiği gibi geliştirilmiş dayanıklılığa sahip tam seramik sistemler üretime sunulmuştur. Güçlendirilmiş seramik materyallerdeki hasarlanma davranışlarını tanımlayabilmek için tabakalı dental seramik yapılarda yük altında başarısızlığın mekaniğinin anlaşılması gerekmektedir.

Laboratuvar koşullarındaki "yük altında başarısızlık" testleri, sabit bölümlü protezlerin başarısını etkilediği düşünülen değişkenleri araştırmak ve yeni materyaller ya da tasarımları değerlendirmek amacıyla simülasyon girişimli yöntemlerdir. Bu testlerin çoğunda küresel ve/veya keskin batıcı uçlarla yükleme uygulanmaktadır.^{8,9}

Kırılma tokluğu (sertliği) testleri, bir materyalin çatlak ve düğümlere karşı duyarlılığını belirler.¹⁰ Kırılma sertliğini belirlemek için farklı yöntemler uygulanabilir ancak bu yöntemlerin çoğunda karmaşık şekilli örneklerin kullanılması gerekir.^{8,9} Belirli şekilli örneklerin üretimindeki zorluklar nedeniyle batırma ile kırılma sertliği ölçme testleri geliştirilmiştir.¹¹ Bu testlerde, yüzeye elmas bir uç batırılır. Bu işlem, sertlik testine benzer ancak batırma bölgesinin çevresinde çatlaklar oluşturmak için daha fazla yük uygulanması gereklidir. Yük, Poisson oranı, elastiklik modülü ve ölçülen batma oranı ile çatlak boyutları ampirik bir denklem ile kırılma sertliğinin hesaplanmasına olanak tanır.⁸⁻¹¹ Bu test yöntemi, ancak büyük ikincil fazları olmayan oldukça homojen materyaller için uygundur.¹²

Tam seramik restorasyonlar genellikle tabakalar halinde; yoğun ve güçlü seramik alt yapıların üzerine estetik ancak zayıf kaplama seramikleri ile üretilirler.¹²⁻¹⁴ Klinik başarısızlıklarında ise en çok rastlanan nedenler kaplama ve/veya alt yapı seramiklerinde çatlak oluşumlarıdır.¹³⁻¹⁶ Bu çalışmanın amacı, farklı tam seramik kaplama/alt yapı materyallerinin Vickers sertlik ölçüm yöntemiyle çatlak şekillerinin belirlenmesidir.

GEREÇ VE YÖNTEM

Lösit (Evopress, Wegold), düşük lösit (Finesse, Ceramco), cam infiltrasyonlu alüminöz seramik (Inceram Alumina, Vita) ve lityum disilikat (E.max press, Ivoclar) bazlı dört farklı seramik alt yapı materyali her bir üretici firmanın önerileri doğrultusunda; 3 mm kalınlıkta ve 5 mm çapta olmak üzere hazırlandı (n=7/grup, N=28) (Tablo I).

Tablo 1. Çalışmada kullanılan alt yapı ve kaplama materyalleri ile üretici firmalar.

Materyal	Alt yapı	Kaplama	Üretici firma
Evopress	Lösit cam seramik	Feldspatit	Wegold, Wehrle, Alcamo
Inceram	Diş alt yapı cam seramik	Feldspatit	Ceramco, D.L.AEC
Ceramco	Cam infiltrasyonlu seramik	Feldspatit	Vita, Vita Zahnfabrik, Wehrle, Alcamo
E.max press	Lityum disilikat	Feldspatit	Ivoclar, Ivoclar, Ivoclar

Seramik örnekler, 15 dk. boyunca sırasıyla etanol ve deiyonize suda ultrasonik olarak temizlendi (Quantrex 90, L&R Ultrasonics, Kearny, NJ, ABD). Her bir alt yapı seramiğine özgü kaplama seramikleri; 5 mm çaplı 5 mm yükseklikteki paslanmaz çelik bir metal kalıpta vibrasyonla kondanse edildi ve alt yapı seramiklerinin üzerine pişirildi. Kondansasyon sırasında artan sıvı, örnek yüzeyine uygulanan emici kağıt ile (Kimwipes® Lite 200,

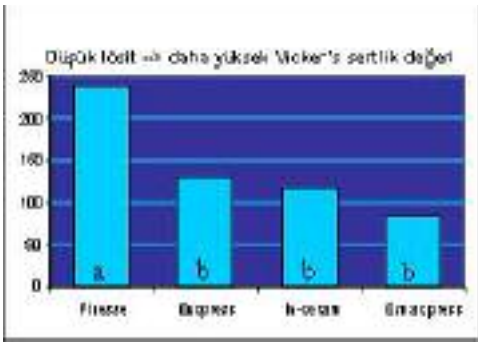
Kimberly, ABD) uzaklaştırıldı. Kondansasyon sonrası, örnekler kalıptan uzaklaştırıldı ve platin folyo üzerinde kalibre edilmiş seramik pişirme fırınına (Programat P90, Ivoclar, Liechtenstein) aktarılarak sinterizasyon işlemi tamamlandı. Pişirme işlemi izleyerek örnekler kalıpta minör düzeltmeler açısından yeniden denenerek var ise eksik kalan bölümler yeniden pişirildi ve ultrasonik olarak temizlendi.

Örnekler batırma testlerinden önce 37°C' de 24 saat distile suda bekletildikten sonra polimetilmetakrilat kalıplara (Palapress, Vario, Heraeus Kulzer) gömülerek Vickers sertlik değerleri (DUH= Dynamic Ultra Hardness±SD) (Shimadzu Dynamic Ultra Microhardness Tester, Japonya) ; 7,2 gf/s çene hızında, 200 gf yük altında ölçüldü. Elde edilen veriler istatistiksel olarak Tek Yönlü Varyans Analizi ile %95 önem düzeyinde değerlendirildi. Çatlak şekilleri ise örneklerin üst yüzeylerine makro sertlik test cihazında (Carl Zeiss, Jena, Almanya) 1 mm çaplı batıcı elmas uç ile 400 N yük uygulandıktan sonra alınan taramalı elektron mikroskop (JEOL JSM-5200, Tokyo, Japonya) görüntüleri üzerinde çatlak şekilleri, sınırları ve boyutları gözlemlendi.

BULGULAR

Vickers sertlik değerleri

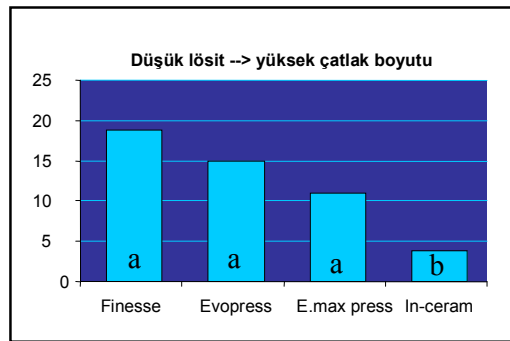
Gruplar arasında kaplama seramiklerine ilişkin ortalama Vickers sertlik değerleri (DUH±SD) düşük lösit (Finesse) grubu için anlamlı olarak (P<0.05) en yüksek bulunur iken (236±17), bunu aralarında anlamlı farklar bulunmayan (P>0.05) lösit (Evopress) (129±51), cam infiltrasyonlu aluminöz seramik (In-ceram Alumina) (117±38), ve lityum disilikat (IPS E.max press) (85±34) kaplama seramik materyalleri azalan sırayla izledi (Grafik 1).



Grafik 1. Kaplama seramiklerinin Vickers sertlik değerleri (DUH±SD)

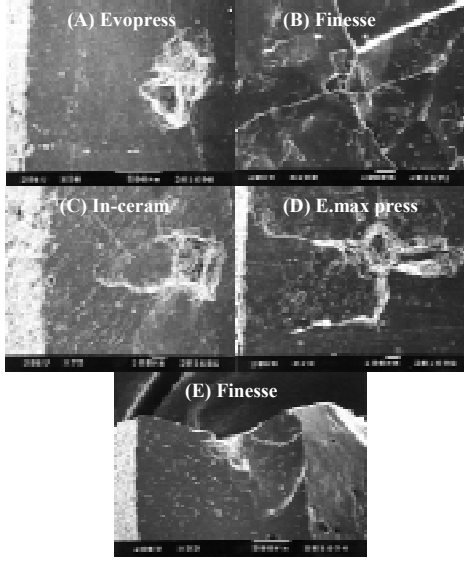
Çatlak şekilleri

Yük uygulaması sonrasında genellikle ışımsal ya da koni şekilli çatlakların oluştuğu gözlemlendi. En uzun çatlak boyu, düşük lösit kaplama seramiğinde (Finesse) (9×10^{-5} m ile 23×10^{-5} m arasında, ort. 18×10^{-5} m) görülür iken bunu azalan sırayla lösit (Evopress) (7×10^{-5} m ile 20×10^{-5} m arasında, ort. 15×10^{-5} m), lityum disilikat (IPS E.max press) (9×10^{-5} m ile 18×10^{-5} m arasında, ort. 11×10^{-5} m) ve cam infiltrasyonlu aluminöz seramik kaplama materyali (In-ceram Alumina) (3×10^{-5} m ile 9×10^{-5} m arasında, ort. 5×10^{-5} m) izledi (Grafik 2).



Grafik 2. Seramik sistemlerinde oluşan ortalama çatlak boyutları (10^{-5} m)

Cam infiltrasyonlu aluminöz seramik grubunda anlamlı olarak daha düşük çatlak uzunlukları gözlenirken (P<0.05), diğer gruplar arasında anlamlı farklara rastlanmadı (P>0.05). Lösit bazlı güçlendirilmiş kaplama materyallerinde ışımsal tarzda, ancak alt yapı seramiğine ulaşmayan çatlaklar izlendi (Şekil 1a,b). İki fazlı yapıda olan seramiklerde oluşan çatlaklar direkt kaplama seramiği boyunca (alumina/florapatit) ilerledi (Şekil 1c,d). Diğer üç gruptaki örneklerde oluşan çatlaklar sadece kaplama seramiği içinde görülürken Şekil 1e'de görüldüğü gibi yalnız düşük lösit seramik (Finesse) grubunda parça şeklinde kopma gözlemlendi.



Şekil 1. (a,b) Lösit bazlı güçlendirilmiş kaplama materyallerinde ışınal tarzda, ancak alt yapı seramiğine ulaşmayan çatlaklar. **(c,d)** İki fazlı yapıda olan seramiklerde oluşan ve direkt kaplama seramiği boyunca (alumina/florapatit) ilerleyen çatlaklar. **(e)** Sadece düşük lösit seramik (Finesse) grubunda kaplama seramiği içinden parça şeklinde kopma.

TARTIŞMA

Bu çalışmada farklı özelliklerdeki tam seramik alt yapı materyallerine kaplama seramikleri uygulandıktan sonra Vickers sertlik değerleri incelenmiş ve bu seramik sistemlerinin yük altındaki çatlak oluşum şekilleri gözlenmiştir.

Dental porselenler kırılma materyalleridir ancak bu, zayıf oldukları anlamına gelmemelidir. Silikon (silisyum) oksijen bağının kuvvetli olması ve gren sınırlarının bulunmaması sonucu dental porselenlerin camı matrisleri, yüksek iç gerilim dayanıklılıklarına sahiptir. Komşu atomların çekim kuvveti ile bir dizi atomun kopması için yaklaşık 0.1 ile 0.2 E bir baskı gereklidir. Bundan sonra olan kopma maksimum 0.1 ve 0.2 E'de beklenir.^{4,5} Oda sıcaklığında dental porselen hemen hemen mükemmel elastikiyettedir ve kırılma genellikle çekme ile olur; bu kırılma, yüzeydeki çatlak (bu çatlaklar porselenin iç yapısında doğal olarak mevcuttur ve "Griffith's flaws" denir) ucundaki stres birikimine bağlıdır. Vitröz materyallerde (seramikte) kırılma olması için uygulanan kuvvetin çatlak ucundaki stresin matrisin kendi içsel dayanıklılığına eşit bir stres oluşturması gerekir. Bu mekanizma bir kere tetiklendiği zaman çatlak, uygulanan kuvvet ile ilerler.^{6,8}

Porselenlerdeki gecikmiş başarısızlığın nedeni, streslerin yoğun olduğu yüzeydeki çatlakların ucunda cam ile su arasındaki stresle artmış kimyasal reaksiyondur.

Seramik restorasyonlar, nem (dış ortamda tükürük ve iç ortamda siman) varlığında fonksiyon görebilmelidir. Seramik restorasyonlarda makroskopik veya mikroskopik olarak özellikle de çekme gerilimlerinin yüksek olduğu bölgelerde yüzeyde çatlakların olması porseleni zayıflatıcı etkiye sahiptir.^{6,8,9} Bu çalışmada da seramikte oluşan çatlaklar kaplama seramiğinin içinde sınırlı kalmış ya da parça şeklinde kopma göstermiş ancak alt yapı seramiğine uzanan bir başarısızlık gözlenmemiştir. Ancak test edilen materyellere termal döngü ya da herhangi bir yorma testi yapılmaksızın uygulanarak elde edilen bu sonuçlar, sözü edilen testler yapıldıktan sonra değerlendirildiklerinde daha erken ya da alt yapı seramiğine ulaşan başarısızlıkların karşımıza çıkması da olasıdır. Metal alt yapısız seramik sistemlerinde başarısızlığın daha çok kaplama seramiği seviyesinde kaldığı göz önünde bulundurularak, yeni geliştirilen sistemlerde, alt yapı yerine kaplama seramiklerine önem verilmesi gerektiğini düşünmekteyiz.

Düşük kırılma sertliğine sahip materyaller çok küçük çatlak ya da düğümlerden bile önemli ölçüde zayıflatılırlar. Bunun tersine, altın ya da alumina gibi yüksek sertlikteki materyaller, büyük düğümlerden bile önemli ölçüde zayıflamazlar.^{8,9} Bu çalışmada kullanılan seramiklerde lösit içerikli olanların Vickers sertlik değerleri daha yüksek bulunmuş ve en az Vickers sertliği değerini ise lityum disilikat alt yapı kaplama seramiği vermiştir.

Taşkonak ve ark.,¹⁶ deneysel olarak klinik başarısızlığa uğramış tam seramik köprülerde kırılma analizi yaptıkları çalışmalarında kırılmanın kaynağının kaplama seramiğinin içinde başladığını ve kırılmayı başlatan çatlakın başarısızlık stresine ulaşması anında hemen ilerlediğini göstermişlerdir. Alt yapı seramiği kaplama seramiğinden daha sert olmasına karşın kaplama seramiğinde çatlak oluştuğu anda çatlak düzleminden sapmamakta ya da hapsolmemektedir. Çatlak ilerlemesine alt yapı seramiğinin katkısı yoktur. Çift tabakalı materyallerde kompresif artık streslerin oluşum nedeni termal genişlemelerindeki anizotropi (~22 MPa) ve viskolelastik süreçtir.¹⁶ Bizim çalışmamızda da alt yapı seramiklerin değil, ancak onlarla uyumlu termal genişleme katsayılarına sahip önerilen kaplama seramikleri kullanılarak bu seramiklerde çatlak oluşum analizi yapılmasının nedeni de bu çift tabakalı materyallerin kırılma şekillerini incelemektir.

Alt yapı/kaplama seramik kalınlık oranının da çatlak oluşumu ve ilerlemesi açısından önemli bir faktör olduğu gösterilmiştir. Bunun nedeni, çift tabakalı seramik

sistemlerinde alt yapı seramiğinin kaplama seramiğine oranla göreceli olarak daha dayanıklı olmasıdır.¹⁷ Alt yapı/kaplama kalınlık oranı arttıkça, çatlak oluşma alanlarının daha çok alt yapı seramiği içinde meydana geldiği bildirilmiştir.¹⁷ Bizim çalışmamızda altyapı/kaplama seramik kalınlığı oranı 3 mm / 2 mm olarak belirlenmiştir ve bu oranın klinik koşulları yansıttığı düşünülse de, seramik tabaka kalınlık oranının çatlak oluşumunu etkileyip etkilemediği daha ileri çalışmalarla araştırılabilir.

SONUÇ

Seramik materyalin sertliğinin artması daha fazla ve daha uzun çatlak oluşumuna yol açtı. Cam-infiltrate alumina altyapılı seramik sisteminde göreceli olarak daha az çatlak oluşumu gözlemlendi. Bu çalışmadaki deneysel koşullar altında kaplama seramik gruplarının hiçbirinde alt yapı seramiklerine ulaşan çatlak oluşumu gözlemlenmedi. Ağız ortamı, *in vitro* laboratuvar test yöntemleriyle taklit edilemeyecek kadar karmaşık durumların bir bileşimi olduğundan kliniğe daha yakın sonuçlar elde edebilmek için ileri *in vivo* yöntemler geliştirilmelidir.

TEŞEKKÜR

Taramalı elektron mikroskop görüntülerinin alınmasında yardımcı olan Prof.Dr.Bilge Hakan Şen'e ve Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü'ne mekanik testlerin yapımında gösterdikleri yardımlarından dolayı teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

1. McLean JW. The Science and Art of Dental Ceramics: Vol.1: The Nature of Ceramics and Their Clinical Uses, Illinois: Quintessence Publishing:1979. p. 58.
2. Naylor PW, Beatty PM. Materials and Techniques in Fixed Prosthodontics Dent Clin North Am 1992; 36(3): 343-9.
3. Wall JG, Dale LC. Alternative Crown Systems. Dent Clin North Am, 1992; 36(3): 371-7.
4. Griggs JA. Recent advances in materials for all-ceramic restorations. Dent Clin North Am, 2007; 51(3): 713-27.
5. Conrad HJ, Seong WJ, Pesun IJ. Current ceramic materials and systems with clinical recommendations: a systematic review. J Prosthet Dent. 2007; 98(5): 389-404.
6. Della Bona A, Mecholsky JJ Jr, Barrett AA, Griggs JA. Characterization of glass-infiltrated alumina-based ceramics. Dent Mater 2008; 24(11): 1568-74.

7. Höland W, Rheinberger V, Apel E, van 't Hoen C, Höland M, Dommann A, Obrecht M, Mauth C, Graf-Hausner U. Clinical applications of glass-ceramics in dentistry. J Mater Sci Mater Med. 2006; 17(11): 1037-42.

8. Kelly RJ. Clinically relevant approach to failure testing of all-ceramic restorations. J Prosthet Dent 1999; 81(6): 652-61.

9. Wagner WC, Chu TM. Biaxial flexural strength and indentation fracture toughness of three new dental core ceramics. J Prosthet Dent 1996; 76: 140-4.

10. Guazzato M, Albakry M, Ringer SP, Swain MV. Strength, fracture toughness and microstructure of a selection of all-ceramic materials. Part I. Pressable and alumina glass-infiltrated ceramics. Dent Mater. 2004; 20(5): 441-8.

11. Rizkalla AS, Jones DW. Indentation fracture toughness and dynamic elastic moduli for commercial feldspathic dental porcelain materials. Dent Mater. 2004; 20(2): 198-206.

12. Anusavice KJ, Kakar K, Ferree N. Which mechanical and physical testing methods are relevant for predicting the clinical performance of ceramic-based dental prostheses? Clin Oral Implants Res. 2007; 18 Suppl 3: 218-31.

13. Dündar M, Özcan M, Gökçe B, Çömlekoğlu E, Leite F, Valandro LF. Comparison of two bond strength testing methodologies for bilayered all-ceramics. Dent Mater 2007; 23(5): 630-6.

14. Della Bona A, Kelly JR. The clinical success of all-ceramic restorations. J Am Dent Assoc. 2008; 139 Suppl: 8S-13S.

15. Dündar M, Özcan M, Çömlekoğlu E, Güngör MA, Artunç C. Bond strengths of veneering ceramics to reinforced ceramic core materials. Int J Prosthodont 2005; 18(1): 71-2.

16. Taskanak B, Mecholsky JJ Jr, Anusavice KJ. Fracture surface analysis of clinically failed fixed partial dentures. J Dent Res. 2006; 85(3): 277-81.

17. Wakabayashi N, Anusavice KJ. Crack initiation modes in bilayered alumina/porcelain disks as a function of core/veneer thickness ratio and supporting substrate stiffness. J Dent Res 2000; 79:1398-404.

Yazışma Adresi:

Dr. M. Erhan ÇÖMLEKOĞLU
Ege Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi
Protetik Diş Tedavisi Ana Bilim Dalı
Bornova /İzmir
Tel : 0 232 3880327
Faks : 0 232 3880325
E-posta : erhancomlek@yahoo.com