

Tam Seramik Restorasyonlarda Uygulanan Yüzey İşlemleri

Surface Treatments of All Ceramic Restorations

Hatice Sevmez¹, Merve Bankoğlu Güngör¹, Handan Yılmaz¹

¹Gazi Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Protetik Diş Tedavisi Anabilim Dalı, Ankara, Türkiye.

Hatice Sevmez OrcID: <https://orcid.org/0000-0003-3637-3784>.

Merve Bankoğlu Güngör OrcID: <https://orcid.org/0000-0002-4002-6390>.

Handan Yılmaz OrcID: <https://orcid.org/0000-0001-5809-7018>.

Atıf/Citation: Sevmez, H., Güngör, M.B. & Yılmaz, H. (2018). Tam seramik restorasyonlarda uygulanan yüzey işlemleri. *Ege Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi*, 39(3), 148-159.

ÖZ

Protetik diş hekimliğinde, estetik ve doku uyumluluğuna karşı gösterilen hassasiyet, diş hekimlerini ve hastaları, metal desteksiz protez arayışına yönlendirmiştir. Bu nedenle tam seramiklerin kullanımları yaygınlaşmıştır. Tam seramik restorasyonların uzun dönem klinik başarısı için güçlü bağlanma dayanımı önemlidir. Tam seramik restorasyonlara uygulanan yüzey işlemleri, siman bağlanma dayanımını, iki seramik tabakası arasındaki bağlanma dayanımını ve tamir işlemlerinde tamir materyali ile seramik arasındaki bağlanma dayanımını artırmaktadır. Güvenilir bir bağlantı için seramik yüzeyine mekanik, kimyasal veya her ikisinin kombinasyonu olan yüzey işlemleri uygulanmaktadır. Kullanılan tam seramik materyalinin çeşidini ve mikro yapısını bilmek ve bu özelliklere göre yüzey işlemlerini seçerek uygulamak dayanıklı ve stabil bağlantı dayanımı için önemlidir.

Anahtar Kelimeler: Tam seramik, yüzey işlemleri, bağlantı dayanımı

ABSTRACT

In prosthetic dentistry, increasing sensitivity to esthetics and biocompatibility have moved both the patients' and dentists' demands to metal-free tooth colored restorations. For this reason, the use of all-ceramic systems has become widely used. High bonding strength (BS) is crucial for long-term clinical success of all-ceramic restorations. The surface treatments that are applied to the all-ceramic materials increase the BS between the all-ceramic restoration and cement, BS between two ceramic layers, and BS between the all-ceramic restoration and the repair material.

Mechanical, chemical, or combination of these two methods can be applied to the ceramic surface for a reliable bonding. Choosing the surface treatment method according to the type and microstructure of the ceramic material is important for providing durable and stable bonding.

Keywords: All ceramics, surface treatments, bond strength

GİRİŞ

Protetik diş hekimliğinde, estetik beklentilerin artması ve doku uyumluluğuna karşı gösterilen hassasiyet, diş hekimleri ve hastaları, metal desteksiz sistem arayışına yönlendirmiştir. Diş hekimliğinde seramik materyaller, yüksek doku uyumu, dayanıklılığı, yüksek abrazyon direnci, düşük plak birikimi, renk stabilitesi ve estetik olmaları gibi özelliklerinden dolayı geniş kullanım alanı bulmuştur.^{1,2} Seramikler bu gibi olumlu özelliklerinin yanında, düşük çekme direnci ve defekt ve

çatlak oluşturma gibi dezavantajlara da sahiptir.¹

Tam seramik restorasyonların uzun dönem klinik başarısı için önemli olan faktörlerden biri bağlantı dayanımıdır. Güçlü bir bağlanma dayanımı için gerekli faktörlerden biri de adezyondur.³ Güçlü ve dayanıklı bir bağlantı, seramik, yapıştırma simanı ve diş arasındaki başarılı bir adeziv bağlanmayla sağlanır. Simantasyon prosedürleri, restorasyonun retansiyonunu, dayanıklılığını ve marjinlerin sızdırmazlığını ve buna

Sorumlu yazar/Corresponding author: hsevmez@hotmail.com

Başvuru Tarihi/Received Date: 06.07.2018

Kabul Tarihi/Accepted Date: 13.11.2018

bağlı olarak da klinik başarıyı artıran önemli aşamalardan biridir.³⁻⁵ Adeziv simantasyon, kimyasal bağlanma ve mikromekanik kilitlenme ile restorasyonun diş yapışmasını sağlar,⁴ dişin ve restorasyonun kırılma dayanımını artırır.⁶ Geleneksel simantasyon ise, mikromekanik olarak restorasyon ile doğal diş arasındaki boşluğun bir yapıştırıcı siman ile doldurulması işlemidir ve kimyasal bağlanma söz konusu değildir.⁴ Güncel adeziv rezin simanlar, yüksek mekanik dayanıklılığa sahiptir. Ayrıca diş ve restorasyonun birbirine kimyasal bağlanmasını sağlar. Adeziv simantasyon iki yönde gerçekleşir: rezinin diş yapısına ve rezinin restorasyona bağlanması.^{5,7}

Tam seramik sistemlerde simantasyonda başarı için klinisyenin seramiğin yapısını, siman materyalleri ve uygulama prosedürlerini bilmesinin yanında, uygulanan yüzey işlemlerini de bilmesi gerekmektedir. Simantasyon öncesinde uygulanan yüzey işlemleri seramik tipine göre değişmektedir.⁴

Tam seramik restorasyonlara uygulanan yüzey işlemleri, siman bağlanma dayanımını, iki seramik tabakası arasındaki bağlanma dayanımını ve tamir işlemlerinde tamir materyali ile seramik arasındaki bağlanma dayanımını arttırmaktadır. Uygulanan yüzey işlemleri, materyal yüzeyindeki temas alanının artmasını sağlayarak, yüzey enerjisini ve ıslanabilirliği de artırır,^{8,9} bu sayede simanın mikro çukurcuklara akmasına izin verirler ve güçlü bir mikro mekanik kilitlenme sağlarlar.¹⁰ Güvenilir bir bağlantı için seramik yüzeyine mekanik, kimyasal veya her ikisinin kombinasyonu olan yüzey işlemleri uygulanmaktadır.¹¹

ELMAS DÖNER ALETLERLE PÜRÜZLENDİRME

Döner aletlerle pürüzlendirme, elmas gibi sert parçacıklar yardımıyla seramik yüzeyinin aşındırılması işlemidir.¹² Frezle aşındırma işlemi, seramiklerin yüzey topografyasını, pürüzlülük değerini ve yüzey enerjisini değiştirir.⁹ Kullanılan frezin gren büyüklüğü, basıncı, uygulama süresi ve hızı seramiklerin yüzey pürüzlülüğünü etkileyen değişkenlerdir.¹³ Dental seramiklerde kullanılan frezler, gren büyüklüklerine göre değişik renklerle kodlanmıştır. Siyah bantlı frezler ‘çok kalın grenli’ (150-180 µm), yeşil bantlı frezler ‘kalın grenli’ (125-150 µm), mavi bantlı frezler ‘standart’ (100-110 µm), kırmızı bantlı frezler ‘ince grenli’ (45-50 µm) ve sarı bantlı frezler ‘çok ince grenli’ (15-30 µm)’dir.^{14,15} Zirkonya gibi sert materyallerde kalın grenli (120-200 µm) frezlerin tercih edilmesi önerilir.^{16,17}

Dental seramiklerin frezlerle pürüzlendirilmesi, seramiğin mikroyapısına göre değişmekle birlikte çatlak oluşumuna ve yayılmasına neden olabilmektedir.^{16,18} Buna frezin gren büyüklüğü, uygulama esnasında

uygulanan basınç ve seramikteki artık stresler neden olabilmektedir.¹⁴ Song ve Yin,¹⁹ elmas frezin gren büyüklüğünün feldspar porselende oluşturduğu yüzey hasarını Sonlu Elmanlar Analizi (Finite Element Analysis, FEA) ve Taramalı Elektron Mikroskobu (Scanning Electron Microscopy, SEM) ile incelemişler ve kalın grenli frezlerin, ince grenli frezlerden 6-8 kat daha fazla yüzey hasarı oluşturduğunu, yüzey hasarının en aza indirilmesi amacıyla, küçük grenli frezlerin düşük basınçla uygulanması gerektiğini bildirmişlerdir. Güngör ve ark.,²⁰ hibrit seramiklere (Lava Ultimate, Vita Enamic ve GC Cerasmart) uygulanan yüzey işlemlerinin bağlantı dayanımına etkisini termalsiklüs (5°C ile 55°C’de 20 sn’de 10000 siklus) öncesi ve sonrasında inceledikleri çalışmalarında, termalsiklüs uygulamasının bağlanma dayanımını düşürdüğünü, termal siklus uygulanmayan grupta ise en yüksek bağlantı dayanımının frezle pürüzlendirme ve asit uygulaması sonrası silan uygulanan grupta olduğunu bildirmişlerdir.

Zirkonya seramiklerde frezlerle pürüzlendirme işlemi, yüzeyde daha fazla stres oluşumuna ve faz değişimine (tetragonal→monoklinik) değişimine neden olmaktadır. Bu nedenle materyal daha zayıf bükülme dayanımı göstermektedir.²¹ Zirkonya ile veneer seramiği arasındaki bağlantı dayanımını inceleyen bir çalışmada, frezle aşındırma işleminin yüzey pürüzlülüğünü artırdığını, fakat zirkonya alt yapı ile seramik arasındaki makaslama bağlantı dayanımına etkisinin olmadığını belirtmiştir.^{21,22}

KUMLAMA

Kumlama, temiz ve aktif porselen yüzeyi elde etmek ve mikro mekanik retansiyon sağlamak için yaygın kullanılan yüzey işlemidir. Bu yöntem için alüminyum oksit (Al₂O₃) partikülleri kullanılır. Al₂O₃ partiküllerinin, zayıf porselen parçacıklarını uzaklaştırması ile düzensiz yüzey elde edilir ve mekanik retansiyon, adezyon²³ ve ıslanabilirlik artar.¹⁶ Kumlama için kullanılan Al₂O₃ partiküllerinin boyutu 30-250 µm²⁴ arasında olup, uygulama basıncı 2-3 bar, kumlama ucunun materyale uzaklığı 5-20 mm,¹⁶ süresi ise 15 sn. kadardır.²³ Kumlamanın etkinliğini, partikül büyüklüğü, uygulama basıncı ve süresi, kumlama cihazının açısı gibi değişkenler etkiler.²³ Kumlama işleminin aşırı basınçla uygulanması, seramikte kopmalara ve aşırı materyal kaybına neden olabileceğinden silika bazlı tam seramik sistemlerde kullanımı önerilmez.^{25,26}

İki tabakalı zirkonya sistemlerinde veneer seramiğin ayrılması ve ya da kırılması gibi dezavantajlar bulunmaktadır.²⁷⁻³⁰ Birçok in vitro ve in vivo çalışmada, Y-TZP ve veneer seramiği arasındaki bağlantıda adeziv ve koheziv başarısızlık bildirilmiştir.^{31,32} Zirkonya seramiklerde kumlama işlemi farklı sonuçlara neden

olmaktadır. Bunlar; yüzey mikro çatlaklarının oluşmasıyla tetragonalden monoklinik (t / m) faza dönüşümün gerçekleşmesi ile materyalin mekanik özelliklerinin olumsuz yönde değişmesi^{16,18,33,34} ve mikro çatlaklarının giderilmesi için sıkıştırma kuvvetlerinin gerekliliğidir.^{16,35} Bazı araştırmacılar, transformasyon değişimini ortadan kaldırmak/tersine çevirmek için, ya kumlama işleminden sonra zirkonyaya tekrar ısı uygulanmasını^{16,26,35} ya da sinterlemeden önce kumlamanın yapılmasını önermişlerdir.^{16,26,36,37}

Moon ve ark.³⁶ uygulanan yüzey işlemlerine göre rezin siman ile Y-TZP seramik arasındaki bağlantı dayanımını incelemişler ve sinterleme öncesinde yapılan kumlamanın monoklinik fazı azalttığını ve zirkonya dayanımını artırdığını bildirmişlerdir.

ASİTLE PÜRÜZLENDİRME

Tam seramik restorasyonların bağlanma dayanımını artırmak için kullanılan tekniklerden biri de asitle pürüzlendirme işlemidir. Seramiklerin yüzey işlemlerinde kullanılan asit, silika içeren cam matriks ile reaksiyona girerek heksaflorosilika oluşturur. Bu reaksiyon sonucunda cam matriks ortadan kalkar ve kristal yapı açığa çıkar. Sonuç olarak seramik yüzeyinde, daha yüksek yüzey enerjisine sahip mikro mekanik retansiyon alanları oluşur.³⁸ Hidroflorik asit ve fosforik asit simantasyon prosedürlerinde en çok kullanılan asitlerdir.¹⁰

Hidroflorik Asit

Hidroflorik asit (HF), hidrojen floridin sulu bir çözeltisidir.⁵ Seramiklerin içeriğine göre HF asit konsantrasyonu ve uygulama süreleri değişmektedir.^{5,39-43} HF, silikon dioksit ile reaksiyona girerek seramiğin cam fazını çözer.⁴⁰ Bu sebeple HF, seramik yüzeyinin pürüzlülüğünü, seramiğin bağlanma dayanımını artırır, değme açısını düşürür ve mikro mekanik retansiyon sağlar.^{4,5,40,44} Cam fazın çözünmesinde asidik yapının etkisi yoktur. Çözünme Si.F (Silisyum Florür) camındaki elektronegativiteden dolayı florür ile oksijenin yer değiştirmesinden kaynaklanır.⁴⁰ Bu sebeple asitle pürüzlendirme terimi yerine HF ile pürüzlendirme kullanılır.⁴⁰ HF asit genellikle % 5-10 konsantrasyonda, yaklaşık 60 sn. süre ile kullanılmaktadır.⁴ Ancak kullanım süresi asitleme işlemi yapılacak olan seramik türüne göre değişmektedir.

Naves ve ark.,⁴⁶ lösit ile güçlendirilmiş cam seramiklere farklı sürelerde HF asit (%10) uygulayarak rezin ile bağlantı dayanımını incelemişler ve artmış asitleme süresinin bağlanma dayanımını düşürdüğünü, silan ve doldurucusuz rezinin birlikte uygulandığında bağlanma dayanımının, sadece silan uygulanan gruba göre daha fazla olduğunu bildirmişlerdir.

Sato ve ark.,⁴⁷ zirkonya katkılı lityum silikat

seramiğe (Vita Suprinity, Vita Zahnfabrik, Bad Säckingen, Almanya) uygulanan yüzey işlemlerinin siman ile bağlantısına etkisini inceledikleri çalışmalarında, silika kaplamanın yaşlandırma sonrasında bağlanma dayanımına etkisi olmadığını, HF asitin 20 sn. ve 40 sn. uygulanmasının bağlanma dayanımına etkisinin ise eşit olduğunu bildirmişlerdir.

Zirkonya, silika içermediğinden dolayı HF ile asitlemeye karşı dirençlidir.³⁴ Son zamanlarda, araştırmacılar yüzey morfolojisini değiştirmek için sıcak asitleme tekniğini öne sürmüşlerdir.^{34,48,49} Sıcak aşındırma tekniğinde kullanılan asit, metanol, hidroklorik asit ve ferrik klorürden oluşan deneysel bir asit solüsyonudur.^{34,50} Deneysel sıcak hidroklorik asit (HCl) solüsyonu pürüzlülüğü önemli ölçüde arttırmış¹⁶ ve solüsyonun 30 dakika uygulanması ile oluşturulan pürüzlülük değeri kumlamadan daha fazla bulunmuştur.^{16,51} Hidrojen peroksidin sülfirik asit ile solüsyonu (Piranha solüsyonu), zirkonya ile rezin seramik arasındaki bağlanma dayanımını olumlu yönde etkilemiştir.¹⁶

Tarib ve ark.⁵² çeşitli alt yapı materyalleri (metal alaşım, zirkonya ve lityum disilikat) üzerine yüzey işlemleri uygulamışlar ve veneer seramik ile arasındaki bağlanma dayanımını incelemişlerdir. Çalışma sonucunda, zirkonya ve lityum disilikat alt yapılar için kumlama sonrası asit uygulamasında en yüksek makaslama bağlantı dayanımı olduğu bildirilmiştir.

Fosforik Asit

Diş hekimliğinde kullanılan fosforik asit ortofosforik asittir ve kimyasal formülü H₃PO₄'tür. Çoğunlukla seramik yüzeyini temizlemek ve daha iyi bağlantı için pürüzlü bir yüzey oluşturmak için kullanılır. % 40 fosforik asidin 5 s ya da 60 s boyunca uygulanmasını SEM ile incelendiği bir çalışmada, seramik yüzeyinde belirgin bir morfolojik değişiklik göstermediği belirtilmiştir.^{40,53} H₃PO₄ (fosforikasit)'in, seramik yüzeyini pürüzlendirme işlemi önemli rolü yoktur fakat fluorürün silikon dioksit ile yer değiştirme üzerindeki rolü daha büyük önem taşımaktadır.⁴⁰

TRİBOKİMYASAL SİLİKA KAPLAMA

Tribokimyanın temel etkisi, mekanik enerji uygulanması sırasında materyalin kimyasal ve fizikokimyasal değişiklikler oluşturmasıdır.⁵⁴ Silanol grubu içermeyen metal ve oksit seramikler eğer silanize edilirse bağlantı dayanımının artacağı düşüncesiyle bu teknik geliştirilmiştir.⁵⁵ Ayrıca asit uygulamasına dayanıklı seramikler için de bu teknik önerilmiştir.⁴³ Tribokimyasal silika kum, alumina partiküllerinin silika ile modifiye halidir ve basınçla uygulandığında seramik yüzeyinde silika tabakası oluşturur.^{16,43} Bu yöntemle uygulanan sistemlerde (Rocatec ve Cojet, 3M-ESPE,

Seefeld, Almanya), alumina partikülleri seramik ve metal yüzeyine 15 µm'ye kadar penetre olabilmektedir.⁴³ Tribokimyasal silika kaplamanın bağlantıya etkisi iki mekanizma ile açıklanabilir: kumlama ile rezinin mikro mekanik olarak bağlanabileceği yüzey oluşturulması ve seramik yüzeyinin silika ile kaplanması ile rezin ve silan arasında kimyasal bağlantı sağlanmasıdır.^{40,43}

Cojet Sistemi: Seramik ve metal-seramik restorasyonlarda kırık tamiri ve simantasyon işlemlerinde silika kaplama işlemi, soğuk silikatizasyon ile yapılır.⁵⁶ Soğuk silikatizasyon metodunda gerekli olan enerji kumun yüzeye çarpması esnasındaki kinetik enerjiden elde edilir. Bu kinetik enerji uygulandığı alanda lokal bir ısı artışına neden olur böylece sıcaklıkta bir değişiklik olmaksızın silikatizasyon makroskopik olarak gerçekleşir.⁵⁶ Cojet sistemi 30 µm boyutlarında silika modifiye Al₂O₃ kum içerir ve tamir işlemlerinde intraoral olarak ve restorasyonların simantasyonunda ise ekstraoral olarak uygulanır.^{56,57} Üretici firma Cojet sistemin uygulanmasından sonra silan uygulanmasını önermiştir.

Siljet Sistemi (Danville Materials Inc., S. Ramon, CA, ABD): 30 µm boyutlarında silika modifiye Al₂O₃ kum içerir ve intraoral olarak uygulanır.^{58,59} Bu sistemin kullanımın ardından uygulanan silanın bağlanma dayanımını artırdığı belirtilmiştir.⁶⁰

Siljet Plus Sistemi (Danville Materials Inc., S. Ramon, CA, ABD): Silan enkapsülasyon teknolojisinin gelişimiyle birlikte tribokimyasal kaplama ve silanın aynı zamanda uygulanmasına olanak sağlayan Siljet Plus sistemi geliştirilmiştir. Bu sistem g-metakriloksipropil trimetoksisilan (MPTS) ile doldurulmuş ve yüzeyinin yine MPTS ile kaplandığı 30 µm boyutlarında pöröz silika mikro kapsülleri içerir. Bu tek aşamalı sistem ile hasta başında geçirilen süre azalmış ve rezin kompozitlerle bağlantı için daha uygun yüzey elde edilmiştir.⁵⁹

Cojet, Siljet ve Siljet Plus 30 µm boyutlarında silika (genellikle tetraetil ortosilika) modifiye Al₂O₃ kum içerir. Aralarındaki farklılık silika alumina oranıdır.⁵⁸

Pilo ve ark.,⁵⁸ üç farklı tribokimyasal sistem (CoJet, SilJet, SilJet Plus, Medical Grade Alpha Alumina) ile silan reaktivitesinin zirkonya-rezin bağlantısına etkisini inceledikleri çalışmalarında, SilJet Plus'ın en yüksek bağlanma dayanımını gösterdiğini, Cojet ve SilJet'in ise bunu takip ettiğini belirtmişlerdir. En düşük bağlanma dayanımının ise Alumina grubunda olduğu bildirilmiştir.

Rocatec Sistemi: Rocatec sisteminde, basınçlı hava yardımıyla partiküllerin kinetik enerjilerinin seramik yüzeyine transferiyle yüzeyin sıcaklığı 1200⁰ C'e kadar anlık yükselir. Bu emilen enerji yüzeyin mikroskobik olarak erimesine neden olur ve defektlerin büyüklüğü ve derinliği partiküllerin kinetik enerjisine bağlıdır.^{54,61}

Böylece silika kaplı alumina partikülleri yüzeyin derinliklerine gömülür ve seramik yüzeyi silika ile kaplanmış olur.⁵⁴ Rocatec sistemlerinde, yüzey öncelikle 110 µm Al₂O₃ partikülleri içeren Rocatec Pre uygulanarak yüzeyin temizlenmesi sağlanır.⁶² Seramik yüzeyinin silika ile kaplanması işleminde, Rocatec Soft (30 µm silika kaplı alumina) ya da Rocatec Plus (110 µm silika kaplı alumina) 280 kPa basınçla 13 sn/cm² süre ile yüzeye dik olarak 10 mm mesafeden uygulanmalıdır.⁵⁴ Rocatec sistemi genellikle laboratuvarlarda uygulanır.⁵⁶

PIROKİMYASAL SİLİKA KAPLAMA

Pirokimyasal silika kaplamanın etki mekanizması, silanın silikaya dönüşebilmesi için yüksek sıcaklıktaki silanın kimyasal reaksiyonu ile gerçekleşir.^{63,64} Silicoater Classic, Silicoater MD ve Siloc® (Heraeus-Kulzer, Wehrheim, Almanya) gibi yüksek sıcaklıkların kullanımına dayalı sistemler laboratuvarlarda kullanılmaktadır.^{63,65} Bu sistemlerde 150-200 °C civarında alev kullanılır.⁶³ Reaktif silan ara maddeleri materyal yüzeyine çöker, soğuduktan sonra silika kaplanmış alana reaksiyona girmesi için silan uygulanır ve daha sonra yüzeye bir opak sürülür ve ışık ile polimerize edilir. Bu metot çok uygulama alanı bulamamıştır.⁶³ İlerleyen zamanlarda Silicoter teknolojisine modifikasyon getirilerek hasta başı kullanımına olanak sağlayan ve bir el aleti şeklinden çıkan alev ile kullanılan Silano-Pen ve PyroSil Pen geliştirilmiştir.^{63,65}

SİLAN UYGULAMASI

Silan, 1940'lı yıllardan beri organik adezivler ile seramik ve metal arasındaki bağın kuvvetini artırmak için kullanılmaktadır.⁴³ Silan materyalleri genellikle inorganik yüzeyin ıslanabilirliğini artırarak, düşük vizkositeli rezin simanın yüzeyde daha kolay akmasına ve mikromekanik retansiyonun artmasına olanak sağlarlar.^{16,18}

Silanlar, seramik yüzeyindeki hidroksil grupları ve kopolimerizasyon ile rezin simanın ya da adezivin organik kısmı ile bağlantı yeteneğine sahip bifonksiyonel moleküller içerir.^{26,66} Silan kimyasal formülü, R'-Si(OR)₃ ile gösterilmekte olup R' genellikle metakrilat olan ve polimerizasyondan sonra adeziv sistem ya da kompozit siman ile kovalent bağ oluşturan organofonksiyonel grubu simgeler. Alkil grup olan R ise silanole (SiOH) hidrolize ederek silikon inorganik molekülleri ile kovalent bağ (Si-O-Si) oluşturur.²⁶ Seramik-rezin bağlantısında en sık kullanılan silan monomeri 3-methacryloxypropyltrimethoxysilane'dır (γ-methacryloxypropyltrimethoxysilane, MPS).^{5,40,66}

Silan primerleri, silan ajanı, siloksan bağlarını arttıran zayıf bir asit ve yüksek miktarda çözücü içerir.⁶⁶ Silan primerler, hidrolize olmamış tek şise silan primeri,

prehidrolize tek şişe silan primerleri ve 2 veya 3 şişe silan primerleri olmak üzere 3 ana grup olarak sınıflandırılırlar.²⁵ Silanın etkili olması için zayıf bir asitle hidrolize olması gerekmektedir. Hidrolize olmuş silanın raf ömrü daha kısadır ve etkinliği giderek azalmaktadır.⁶⁶ Bunun nedeni inaktif siloksan oligomer/polimerlerin artmasıdır.⁶³ Alternatif olarak, raf ömrünü uzatmak ve ilk reaktiviteyi artırmak için iki şişe silan sistemi geliştirilmiştir. Bir şişede, etanol içinde çözülmuş hidrolize edilmemiş silan monomerini ve diğer şişede ise asetik asitin sulu çözeltisini içerir. Bu iki şişe silanın hidrolizini sağlamak için kullanımdan önce karıştırılmalıdır.⁶³

Silan tabakası genellikle 10-50 nm kalınlığında uygulanır. Başarılı bağlantı için ince bir tabaka silan uygulaması önerilir. Tekrarlayan silan uygulamalarında, kalınlık arttıkça koheziv yıkım gerçekleşir.⁴⁰ Bu nedenle silan kalınlığını azaltmak için ısı uygulaması önerilir.^{40,67} Ayrıca silan sonrası ısı uygulaması seramik yüzeyindeki alkol, su ve yan ürünleri uzaklaştırır ve silan-seramik arasındaki kovalent bağın daha etkili ve dayanıklı olmasına yardımcı olur.⁶⁸⁻⁷¹

Sattabanasuk ve ark.^{71,72} lüsit ile güçlendirilmiş cam seramiğe (IPS Empress Esthetic, Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein) uygulanan mekanik ve kimyasal yüzey işlemlerinin rezin ile bağlanma dayanımına etkisini inceledikleri çalışmalarında, silan uygulanan gruplarda daha iyi bağlanma dayanımı olduğunu bildirmişlerdir.

Schwenter ve ark.⁷³ üç rezin kompozitle polimer infiltre seramik arasındaki bağlantı mekanizmasını inceledikleri çalışmada, hidroflorik asit uygulanmasının makaslama dayanımını belirgin bir şekilde artırdığını ve bu artışa mikromekanik tutuculuğun sebep olabileceğini vurgulamışlardır. Çalışmada, asitlenen yüzeylere silan uygulanmasının ise makaslama bağlantı dayanım değerlerini çok daha fazla artırdığı ve bu artışın silikat ve silan arasındaki kimyasal bağdan kaynaklanabileceği bildirilmiştir.

PRİMER UYGULAMASI

Primerler, indirekt restorasyonların adezyon prosedürlerinde önemlidir.^{5,60} Metal primerler, çeşitli baz ve soy metallerle rezin simanlar arasında kimyasal bağlantı sağlamak ve metal-seramik restorasyonlarda açığa çıkmış metalin tamiri için geliştirilmiştir.⁷⁴ Metal primerler, saf metal ve metal alaşımlarına yüzeylerinde bulunan metal oksit tabakasından dolayı güçlü bir bağlantı sağlarlar. Zirkonyum yüzeyi tıpkı titanyum yüzeyi gibi pasif bir oksit tabakası (ZrO_2) ile kolayca kaplanmaktadır. Zirkonyanın metallerle benzeyen bu özelliği sayesinde metal primerler, rezin simanlarla zirkonya arasındaki bağlantı dayanımını artırmaktadır.⁷⁴

Yun ve ark.⁷⁴ kumlamanın ve metal primerlerinin

Y-TZP seramik rezin siman bağlantısına etkisini inceledikleri çalışmalarında, sadece metal primer uygulamasının uzun süreli bağlanma dayanımı sağlayamayacağını, tek başına kumlamanın metal primerlere göre daha etkili olduğunu ve özellikle Panavia rezin siman için kumlama sonrası metal primer uygulamasının bağlanma dayanımını daha fazla artırdığını bildirmişlerdir.

10-metakriloyloksidezil dihidrojen fosfat (10-methacryloyloxydecyl dihydrogen phosphate, MDP) hem rezin simanın hem de metal primerlerin içinde bulunmaktadır. Bu sebeple MDP içeren primerler rezin siman ile seramik arasında kimyasal bağ oluştururlar.⁷⁵ Bu kimyasal bağ, zirkonyanın hidroksil grupları ile MDP'nin fosfat ester monomerlerinin reaksiyonu ile gerçekleşmektedir.^{34,66}

Blatz ve ark.⁷⁶ zirkonya seramiklerin self adeziv rezin simanlar ile arasındaki bağlanma dayanımına Al_2O_3 kumlamanın etkisini inceledikleri çalışmalarında, kumlanmış örneklerde bağlanma dayanımının kumlama yapılmayan örneklere göre daha fazla olduğunu ve MDP veya 4-META içeren rezin simanların daha fazla bağlanma kuvveti gösterdiğini bildirmişlerdir.

Metal/Zirkonya Primer (Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein) ve AZ Primer (Shofu, Kyoto, Japan) gibi fosforik asit monomerleri içeren primerler, oksit seramiklerin yüzeyinde kimyasal bağ oluşturduğundan zirkonya ve alumina gibi seramikler için alternatif olarak gösterilmektedir.^{66,77} Fosforik asit monomerleri veya fosfat modifiye rezin simanların adezyonu, benzer şekilde hidrosilasyon reaksiyonu gösterdiğinden silanlara benzer bulunmuştur.¹⁸ Resin simanın adezyonunu ve hidrolitik kararlılığını artırmak için bazı ticari firmalar primerlerde silan ve fosforik asit/ester primerlerini birleştirirler.⁶³

İlerleyen zamanlarda, organofosfat ve karboksilik asit monomerleri içeren zirkonya primerleri geliştirilmiştir. Organofosfat monomerlerinin organofonksiyonel kısmı silanlar gibi işlev görür. Sıklıkla organofonksiyonel grup, kompozit rezin simandaki monomerlerle ko-polimerize olan metakrilattır. Fosfat monomerleri ise alt katmandaki metal oksitlerle bağ oluşturabilen fosforik asit grupları da içerir. Karboksilik asit monomeri de bağın geliştirilmesini sağlar.⁷⁸

Qeblawi ve ark.⁷⁹ zirkonya seramik yüzeyine mekanik yüzey pürüzlendirme sonrası kimyasal yüzey işlemleri uygulamışlar ve zirkonya-rezin siman arasındaki bağlanma dayanımını incelemişlerdir. Mekanik ve kimyasal yüzey işlemlerinin uzun süreli zirkonya-rezin siman bağlantısında ve kumlama sonrası zirkonya primer uygulamasının bağlanma dayanımını artırmada en etkili yöntem olduğunu bildirilmiştir.

Son zamanlarda, organofosfat ester kaplama ajanı olan dipentaeritritol penta-akrilat fosfat (dipentaerythritol penta-acrylate phosphate, PENTA), rezinin zirkonya ile bağlantısı için geliştirilmiştir.^{63,80} Y-TZP ile metakrilat içerikli rezin simanın bağlanma dayanımına değişik konsantrasyonlarda (aseton içerisinde ağırlıkça % 5,10,15,20 ve 30 PENTA) PENTA içeren deneysel primerin etkisinin incelendiği bir çalışmada, PENTA'nın bağlanma dayanımı MDP'den daha iyi bulunmuş ve PENTA'nın konsantrasyonunun artması ile bağlanma dayanımının olumlu etkilendiği bildirilmiştir.⁶³

Primerlerin kimyasal yapılarındaki ve bonding mekanizmalarındaki değişikliklerden dolayı, uygulanan yüzey işlemlerine ve rezin simana göre uygun primer seçilmelidir.⁶⁶

LAZER İLE PÜRÜZLENDİRME

Lazerler, hipersentive tedavisinde, bleaching uygulamalarında, pit ve fissürlerin örtülmesinde, çürük dokunun kaldırılması gibi çeşitli alanlarda kullanılmaktadır.⁸¹ Diş hekimliğinde, CO₂ lazer yumuşak doku lazeri olarak periodontal cerrahide kullanılmaktadır.^{34,82} En çok kullanılan sert ve yumuşak doku lazerleri neodymium-doped yttrium aluminum garnet (Nd:YAG) ve erbium-doped yttrium aluminum garnet (Er:YAG) lazerdir.³⁴

Lazer ışınının enerjisi zirkonya/seramik tarafından absorbe edilir. Bu enerji, seramik yüzeyinde soyulmalar üreten bir ısı induksiyonu yaratır ve mikromekanik bağlantı sağlar. Lazerin çıkış gücü ve enerji seviyesi, mikromekanik bağlantı için çok önemlidir ve makaslama bağlantısı üzerine etkisi bulunmaktadır.^{34,83}

Lösit ile güçlendirilmiş seramiğe rezin siman ile bağlantı dayanımı için Al₂O₃ kumlama, % 5'lik HF asit ve Nd:YAG lazer uygulanan bir çalışmada, kumlamanın en yüksek makaslama bağlanma dayanım değerine sahip olduğunu, lazer ve HF asit uygulamalarında ise anlamlı bir fark bulunmadığını bildirirken⁸⁴ başka bir çalışmada Er:YAG lazer uygulamanın bağlanma dayanım kuvveti HF asit ile benzer bulunmuştur.⁸⁵ Diğer bir çalışma da ise, Er:YAG ve Nd:YAG lazer uygulamanın tek başına bağlanma dayanımı üzerinde yeterince etkili olamayacağı, HF asit ile birlikte lazer uygulanmasının bağlanma dayanımı üzerinde daha etkili olduğu belirtilmiştir.^{40,86}

CO₂ lazerlerin emisyon dalga boyu uzunluğu (2.3-10.6 µm) seramiklerin pürüzlendirilmesi için uygundur.⁸⁷ Yapılan bir çalışmada, bağlanma dayanımını artırmak için 3 W ve 4 W güçte CO₂ lazer uygulamasının yeterli olduğu vurgulanmıştır.^{16,88} CO₂ lazerin 4.5 W'da 60 saniye boyunca uygulandığı bir çalışmada, yüzeyin pürüzlülüğünün ve derinliğinin arttığı bildirilmiştir.⁸⁹

Teknolojinin gelişimiyle birlikte, zirkonyanın

simantasyonunda ve zirkonya-seramik bağlantısında lazerler kullanılmaya başlanmıştır.^{8,34} Lazer zirkonya üzerinde bağlanma dayanımını artırmasına rağmen, son çalışmalar, kumlamanın Er: YAG lazer uygulamasından daha üstün olduğunu göstermiştir.^{34,90} Nd:YAG lazer zirkonya yüzeyinde pürüzlülüğü ve bağlanma dayanımıyla beraber aynı zamanda monoklinik fazı da büyük oranda artırır.^{16,91} Nd:YAG lazer, zirkonya üzerinde siyah halka şeklinde pitler bırakmaktadır.^{16,89} Siyah halka oluşumuna neden olarak oksijenin azalması ve oluşan çatlaklarda erimiş materyalin katılması gösterilmiştir.⁸⁹

Asadzadeh ve ark.,⁹² Nd:YAG lazerin zirkonya seramiklerle rezin siman ve cam iyonomer siman arasındaki bağlantı dayanımına etkisini inceledikleri çalışmalarında, Nd:YAG lazerin rezin siman-zirkonya bağlantısını önemli derecede arttırdığını bildirmişlerdir.

Kasraei ve ark.⁹³ zirkonya-rezin siman arasındaki makaslama bağlanma dayanımına CO₂ ve Nd:YAG lazerlerin etkisini incelemişler ve yaşlandırma sonrasında her iki lazer uygulamasının bağlanma dayanımını arttırdığını bildirmişlerdir.

SELEKTİF İNFİLTRASYON ETCHİNG (SIE)

Selektif infiltrasyon etching, zirkonyanın adeziv rezinlerle bağlantısını artıran, mikro poröz alanlar oluşmasını sağlayan yeni bir tekniktir.⁹⁴ Yeni geliştirilen bu yüzey işleminde, silika partikülleri (ağırlığının % 65'i), alümina (ağırlığının % 15'i), sodyum oksit (ağırlığının % 10'u), potasyum oksit (ağırlığının % 5'i) ve titanyum oksit (ağırlığının % 5'i) içeren özel bir cam infiltrasyonu uygulanır.^{34,94} Bu silika esaslı cam, camsı geçiş sıcaklığı olan 750⁰ C' ye kadar ısıtılır, erimiş cam tam sinterize zirkonyanın yüzeyinde dağılır ve zirkonyanın gren sınırlarının değişmesine neden olur.⁹⁴ Asit banyosuyla camın uzaklaştırılmasından sonra, rezinin nüfus edebileceği, daha güçlü bir mikro mekanik bağlantının elde edilmesini sağlayan mikro poröziteler oluşur.^{34,95} Ayrıca SIE tekniğinde, kumlama görülen zirkonya yüzeyinde stres konsantrasyon alanları, çatlak başlatma ve yayılımı gibi olumsuz yüzey hasarlarının olmadığı bildirilmiştir.^{94,96}

Aboushelib ve ark., Al₂O₃ kumlama ve SIE tekniğinin zirkonya rezin siman bağlantısına etkisini incelemişler, SIE tekniği kullanıldığında güçlü, stabil ve sürdürülebilir bir bağlantı oluştuğunu bildirmişlerdir.⁹⁷

PLAZMA SPREY YÖNTEMİ

Plazma, elektronik olarak uyarılmış atomlar, moleküller ve serbest radikaller gibi reaktif parçacıklar içeren kısmi iyonize gazlar olarak tanımlanabilir.^{5,98} Gaz sıcaklığına (300-10000 K) bağlı olarak plazmalar, termal (yüksek sıcaklık) ve nontermal (düşük sıcaklık veya soğuk) plazmalar olmak üzere iki ana kategoriye

ayrılırlar.^{5,99} Plazmalar, yüzeylerin aşındırılması ve temizlenmesi, yüzey düzenlemesi ve fonksiyonelleştirilmesi, organik veya inorganik kaplamaların depolanması, solid biomateriyal ve tıbbi cihazların sterilizasyonunda kullanılmaktadır.⁹⁸

Plazma sprej yöntemi yüzey adezyonunu artıran yeni bir metottur. Plazmalar içerdikleri kimyasal aktif parçacıklar sayesinde, materyallerin sadece yüzeyini etkileyerek yüzey enerjisini artırır ve yüzey kimyasını optimize eder.¹⁰⁰ Plazma sprej yönteminde, kimyasal ve fiziksel özelliği farklı buharlar ve florin, klorosilan, heksametildisiloksan veya kalay oksit gibi plazmalar kullanılır.¹⁰ Plazma gazı, aktif peroksit radikallerinin ve Y-TZP gibi inert materyallerin yüzeyine uygulandığında CO ve COH gibi fonksiyonel grupların oluşumunu artırır.¹⁰¹ Diş hekimliğinde plazmalar, cam fiberlerin, fiber içerikli kompozitlerin ve cam seramiklerin ve polikarboksilat seramiklerin bağlanma dayanımını artırmak için kullanılmıştır.¹⁰⁰

Plazma oksiflorür, zirkonya yüzeyine, zirkonyum oksiflorür (ZrOxFy) tabakası (1-3 nm kalınlığında) kaplamak için kullanılır ve silan ve MDP içeren rezin simanlarla birlikte kullanıldığında bağlanma dayanımını artırır.^{16,102} Plazma heksametildisiloksan yüzeye uygulandığında ince bir tabaka (< 1 µm) siloksan kaplama görülür.^{16,103}

Lee ve ark.¹⁰⁴ plazma uygulamasının zirkonya-seramik bağlantısına etkisini araştırmışlar ve çalışma sonucunda plazma uygulamasının zirkonya yüzeyini hidrofilik hale getirdiğini bu nedenle veneer seramiği ile zirkonya arasındaki bağlanma dayanımının arttığını bildirmişlerdir.

TAM SERAMİK MATERYALLERDE YÜZEY İŞLEMLERİ

Cam matriks seramiklere, yüzey işlemleri olarak genellikle HF asit ve silan uygulanmaktadır.^{5,40,60,105} Ayrıca HF asit ve silanın etkisinin birleştirildiği, içerisinde amonyum polifloridin sulu çözeltisi ve silan metakrilatın bulunduğu self etching seramik primerleri kullanılmaktadır.⁵ Bazı araştırmacılar, silikat içerikli seramiklere HF asit uygulama sonucunda seramik yüzeyinde seramik-rezin bağlanma dayanımını olumsuz etkileyen yan ürün oluştuğunu bildirmişlerdir.⁵³ Bu yan ürün çözünmeyen silika florid tuzudur.¹⁰⁶ Bu nedenle cam seramik yüzeyini pürüzlendirmek için frezle pürüzlendirme, tribokimyasal silika kaplama veya asidik florür içeren bileşiklerle asitleme gibi yüzey işlemleri de uygulanmaktadır.^{72,107,108} Ayrıca cam seramiklere yüzey işlemi olarak lazer uygulamasının HF asit uygulama ile benzer bağlanma dayanımı gösteren çalışmalarda mevcuttur.^{40,84,85}

Polikristalin seramiklerden en çok kullanılan

materyal genellikle yttria-stabilize tetragonal zirkonyum dioksit polikristal'dir (Y-TZP; zirkonya). Zirkonyanın inert bir materyal olması nedeniyle, rezin simanlarla kimyasal bağ oluşturması zordur. Zirkonyanın rezin simanlarla arasındaki bağlanma dayanımını artırmak için çeşitli yüzey işlemleri uygulanmaktadır. Bu yüzey işlemleri genellikle AL₂O₃ kumlama, tribokimyasal silika kaplama ve silan uygulaması, MDP primer uygulaması, SIE ve lazerdir.^{5,10,16}

Rezin matriks seramikler, son yıllarda seramik ve kompozitin olumlu özelliklerini birleştiren ve CAD/CAM ile şekillendirilen yeni alternatif materyallerdir.¹⁰⁹ Rezin matriks seramikler için Ulusal Adeziv Dişhekimliği ve son zamanlarda yapılan in vitro çalışmalar HF asit ve silan uygulamasını önermişlerdir.^{5,45,110,111}

Tam seramik restorasyonların klinik başarısında güçlü ve dayanıklı bir bağlantı, seramik, yapıştırma simanı ve diş arasındaki başarılı bir adeziv bağlanmayla sağlanır. Adeziv bağlantı, rezinin dişe bağlanması ve rezinin restorasyona bağlanması olarak iki yönde gerçekleşir. Bağlanma dayanımını artırmak amacıyla seramik yüzeyine mekanik, kimyasal veya her ikisinin kombinasyonu olan yüzey işlemleri uygulanmaktadır. Kullanılan tam seramik materyalinin çeşidini ve mikro yapısını bilmek ve bu özelliklere göre yüzey işlemlerini seçerek uygulamak dayanıklı ve stabil bağlanma dayanımı için önemlidir.

KAYNAKÇA/REFERENCES

1. Leung BT, Tsoi JK, Matinlinna JP, Pow EH. Comparison of mechanical properties of three machinable ceramics with an experimental fluorophlogopite glass ceramic. *J Prosthet Dent* 2015;114(3):440-6.
2. Kelly JR, Nishimura I, Campbell SD. Ceramics in dentistry: historical roots and current perspectives. *J Prosthet Dent* 1996;75(1):18-32.
3. Wong ACH, Tian T, Tsoi JKH, Burrow MF, Matinlinna JP. Aspects of adhesion tests on resin-glass ceramic bonding. *Dent Mater* 2017;33(9):1045-55.
4. Vargas MA, Bergeron C, Diaz-Arnold A. Cementing all-ceramic restorations: recommendations for success. *J Am Dent Assoc* 2011;142 Suppl 2:20S-4S.
5. Awad M, Alqahtani H, Al-Mudahi A, Murayshed M, Alrahlah A, Bhandi S. Adhesive bonding to computer-aided design/computer-aided manufacturing esthetic dental materials: An overview. *J Contemp Dent Pract* 2017;18(7):622-6.
6. 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):382-93.
7. de Lucena Pereira L, Campos F, Dal Pivac AMdO, Gondim LD, e Souzae ROda, Özcanf M. Can application of universal primers alone be a substitute for airborne-particle abrasion to improve adhesion of resin cement to zirconia? *J Adhes Dent* 2015;17:169-74.
 8. Mello CC, Bitencourt SB, dos Santos DM, Pesqueira AA, Pellizzer EP, Goiato MC. The effect of surface treatment on shear bond strength between Y -TZP and veneer ceramic: A systematic review and meta - analysis. *J Prosthodont* 2017;doi: 10.1111/jopr.12727.
 9. Dutra D, Pereira G, Kantorski K, Exterkate R, Kleverlaan C, Valandro L, et al. Grinding with diamond burs and hydrothermal aging of a Y-TZP material: Effect on the material surface characteristics and bacterial adhesion. *Oper Dent* 2017;42(6):669-78.
 10. Papia E, Larsson C, du Toit M, von Steyern PV. Bonding between oxide ceramics and adhesive cement systems: A systematic review. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater* 2014;102(2):395-413.
 11. Külünk Ş, Külünk T, Kavut İ, Saraç D, Kunt GE. Fracture strength of surface treated zirconia based multilayer CAD/CAM ceramic crowns. *Türkiye Klinikleri J Dental Sci* 2017;23(3):174-83.
 12. Addison O, Cao X, Sunnar P, Fleming GJ. Machining variability impacts on the strength of a 'chair-side' CAD-CAM ceramic. *Dent Mater* 2012;28(8):880-7.
 13. Pradies G, Godoy I, Martínez fracture toughness, and weibull characteristics of different framework—veneer dental ceramic assemblies after grinding, polishing, and glazing. *J Prosthodont* 2017;doi: 10.1111/jopr.12653.
 14. Curran P, Cattani-Lorente M, Anselm Wiskott HW, Durual S, Scherrer SS. Grinding damage assessment for CAD-CAM restorative materials. *Dent Mater* 2017;33(3):294-308.
 15. Canneto JJ, Cattani-Lorente M, Durual S, Wiskott AH, Scherrer SS. Grinding damage assessment on four high-strength ceramics. *Dent Mater* 2016;32(2):171-82.
 16. Tzanakakis E-GC, Tzoutzas IG, Koidis PT. Is there a potential for durable adhesion to zirconia restorations? A systematic review. *J Prosthet Dent* 2016;115(1):9-19.
 17. Ohkuma K, Kazama M, Ogura H. The grinding efficiency by diamond points developed for yttria partially stabilized zirconia. *Dent Mater J* 2011;30(4):511-6.
 18. Thompson JY, Stoner BR, Piascik JR, Smith R. Adhesion/cementation to zirconia and other non-silicate ceramics: where are we now? *Dent Mater* 2011;27(1):71-82.
 19. Song XF, Yin L. The quantitative effect of diamond grit size on the subsurface damage induced in dental adjustment of porcelain surfaces. *Proc Inst Mech Eng H* 2010;224(10):1185-94.
 20. Gungor MB, Nemli SK, Bal BT, Unver S, Dogan A. Effect of surface treatments on shear bond strength of resin composite bonded to CAD/CAM resin-ceramic hybrid materials. *J Adv Prosthodont* 2016;8(4):259-66.
 21. Lundberg K, Wu L, Papia E. The effect of grinding and/or airborne-particle abrasion on the bond strength between zirconia and veneering porcelain: a systematic review. *Acta Biomater Odontol Scand* 2017;3(1):8-20.
 22. Korkmaz FM, Bagis B, Turgut S, Ates SM, Ayaz EA. Effect of surface treatments on the bond strength of veneering ceramic to zirconia. *J Appl Biomater Funct Mater* 2015;13(1):17-27.
 23. Moravej-Salehi E, Moravej-Salehi E, Valian A. Surface topography and bond strengths of feldspathic porcelain prepared using various sandblasting pressures. *J Investig Clin Dent* 2016;7(4):347-54.
 24. Amaral R, Ozcan M, Bottino MA, Valandro LF. Microtensile bond strength of a resin cement to glass infiltrated zirconia-reinforced ceramic: the effect of -Ruiz Lu Özcan Md Moring -Day Mater 2006;22(3):283-90.
 25. F. Analyses of surface roughness in resin-ceramic bonding: a review of the literature. *J Prosthet Dent* 2003;89(3):268-74.
 26. Soares CJ, Soares PV, Pereira JC, Fonseca RB. Surface treatment protocols in the cementation process of ceramic and laboratory-processed composite restorations: a literature review. *J Esthet Restor Dent* 2005;17(4):224-35.
 27. Kim HJ, Lim HP, Park YJ, Vang MS. Effect of zirconia surface treatments on the shear bond strength of veneering ceramic. *J Prosthet Dent* 2011;105(5):315-22.
 28. Kanat B, Çömlekoğlu EM, Dündar Hakan Sen B, Özcan M, Güngör MA. Effect of various veneering techniques on mechanical strength of computer -Çömlekoğlu -controlled zi
 29. Sola-Ruiz MF, Agustin-Panadero R, Fons-Font A,

- Labaiğ-Rueda C. A prospective evaluation of zirconia anterior partial fixed dental prostheses: Clinical results after seven years. *J Prosthet Dent* 2015;113(6):578-84.
30. Heintze SD, Rousson V. Survival of zirconia-and metal-supported fixed dental prostheses: a systematic review. *Int J Prosthodont* 2010;23(6):493-502.
 31. Mahmood DJ, Linderöth EH, Wennerberg A, Vult Von Steyern P. Influence of core design, production technique, and material selection on fracture behavior of yttria-stabilized tetragonal zirconia polycrystal fixed dental prostheses produced using different multilayer techniques: split-file, over-pressing, and manually built-up veneers. *Clin Cosmet Investig Dent* 2016;8:15-27.
 32. 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(4):383-8.
 33. Karakoca S, Yilmaz H. Influence of surface treatments on surface roughness, phase transformation, and biaxial flexural strength of Y-TZP ceramics. *Journal of biomedical materials research Part B, Applied biomaterials* 2009;91(2):930-7.
 34. Khan AA, Al Kheraif AAA, Jamaluddin S, Elsharawy M, Divakar DD. Recent trends in surface treatment methods for bonding composite cement to zirconia: A review. *J Adhes Dent* 2017;19(1):7-19.
 35. Kitayama S, Nikaido T, Maruoka R, Zhu L, Ikeda M, Watanabe A, et al. Effect of an internal coating technique on tensile bond strengths of resin cements to zirconia ceramics. *Dent Mater J* 2009;28(4):446-53.
 36. Moon JE, Kim SH, Lee JB, Ha SR, Choi YS. The effect of preparation order on the crystal structure of yttria-stabilized tetragonal zirconia polycrystal and the shear bond strength of dental resin cements. *Dent Mater* 2011;27(7):651-63.
 37. Monaco C, Tucci A, Esposito L, Scotti R. Microstructural changes produced by abrading Y-TZP in presintered and sintered conditions. *J Dent* 2013;41(2):121-6.
 38. Zogheib LV, Bona AD, Kimpara ET, McCabe JF. Effect of hydrofluoric acid etching duration on the roughness and flexural strength of a lithium disilicate-based glass ceramic. *Braz Dent J* 2011;22(1):45-50.
 39. Guarda GB, Correr AB, Gonçalves LS, Costa AR, Borges GA, Sinhoretí MA, et al. Effects of surface treatments, thermocycling, and cyclic loading on the bond strength of a resin cement bonded to a lithium disilicate glass ceramic. *Oper Dent* 2013;38(2):208-17.
 40. Tian T, Tsoi JK-H, Matinlinna JP, Burrow MF. Aspects of bonding between resin luting cements and glass ceramic materials. *Dent Mater* 2014;30(7):e147-e62.
 41. Blatz MB. Bonding protocols for improved long-term clinical success. *Compend Contin Educ Dent* 2014;35(4):276-7.
 42. Aboushelib MN, Sleem D. Microtensile bond strength of lithium disilicate ceramics to resin adhesives. *J Adhes Dent* 2014;16(6):547-52.
 43. 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(2):101-9.
 44. Della Bona A, Shen C, Anusavice KJ. Work of adhesion of resin on treated lithia disilicate-based ceramic. *Dent Mater* 2004;20(4):338-44.
 45. Campos F, Almeida CS, Rippe MP, de Melo RM, Valandro LF, Bottino MA. Resin Bonding to a Hybrid Ceramic: Effects of Surface Treatments and Aging. *Oper Dent* 2016;41(2):171-8.
 46. Naves LZ, Soares CJ, Moraes RR, Gonçalves LS, Sinhoretí MA, Correr-Sobrinho L. Surface/interface morphology and bond strength to glass ceramic etched for different periods. *Oper Dent* 2010;35(4):420-7.
 47. Sato T, Anami L, Melo R, Valandro L, Bottino M. Effects of surface treatments on the bond strength between resin cement and a new zirconia-reinforced lithium silicate ceramic. *Oper Dent* 2016;41(3):284-92.
 48. Jiang T, Chen C, Lv P. Selective infiltrated etching to surface treat zirconia using a modified glass agent. *J Adhes Dent* 2014;16(6):553-7.
 49. Re D, Augusti D, Augusti G, Giovannetti A. Early bond strength to low-pressure sandblasted zirconia: evaluation of a self-adhesive cement. *Eur J Esthet Dent* 2012;7(2):164-75.
 50. El-Korashy DI, El-Refai DA. Mechanical properties and bonding potential of partially stabilized zirconia treated with different chemomechanical treatments. *J Adhes Dent* 2014;16(4):365-76.
 51. Casucci A, Monticelli F, Goracci C, Mazzitelli C, Cantoro A, Papacchini F, et al. Effect of surface pre-treatments on the zirconia ceramic-resin cement microtensile bond strength. *Dent Mater* 2011;27(10):1024-30.
 52. Tarib NA, Anuar N, Ahmad M. Shear bond strength

- of veneering ceramic to coping materials with different pre-surface treatments. *J Adv Prosthodont* 2016;8(5):339-44.
53. Shimada Y, Yamaguchi S, Tagami J. Micro-shear bond strength of dual-cured resin cement to glass ceramics. *Dent Mater* 2002;18(5):380-8.
 54. Lung CY, Matinlinna JP. Aspects of silane coupling agents and surface conditioning in dentistry: an overview. *Dent Mater* 2012;28(5):467-77.
 55. Kimmich M, Stappert CF. Intraoral treatment of veneering porcelain chipping of fixed dental restorations: a review and clinical application. *J Am Dent Assoc* 2013;144(1):31-44.
 56. Heikkinen TT, Lassila LV, Matinlinna JP, Vallittu PK. Effect of operating air pressure on tribochemical silica-coating. *Acta Odontol Scand* 2007;65(4):241-8.
 57. Shin YJ, Shin Y, Yi YA, Kim J, Lee IB, Cho BH, *et al.* Evaluation of the shear bond strength of resin cement to Y-TZP ceramic after different surface treatments. *Scanning* 2014;36(5):479-86.
 58. Pilo R, Dimitriadi M, Palaghia A, Eliades G. Effect of tribochemical treatments and silane reactivity on resin bonding to zirconia. *Dent Mater* 2018;34(2):306-16.
 59. Pilo R, Dimitriadi M, Silikas N, Eliades G. Novel silane encapsulation system for tribochemical resin bonding to a Co-Cr alloy. *J Dent* 2016;50:60-8.
 60. Amaral M, Belli R, Cesar PF, Valandro LF, Petschelt A, Lohbauer U. The potential of novel primers and universal adhesives to bond to zirconia. *J Dent* 2014;42(1):90-8.
 61. Gbureck U, Masten A, Probst J, Thull R. Tribochemical structuring and coating of implant metal surfaces with titanium oxide and hydroxyapatite layers. *Mater Sci Eng C* 2003;23(3):461-5.
 62. Chai J, Chu FC, Chow TW. Effect of surface treatment on shear bond strength of zirconia to human dentin. *J Prosthodont* 2011;20(3):173-9.
 63. Matinlinna JP, Lung CYK, Tsoi JKH. Silane adhesion mechanism in dental applications and surface treatments: A review. *Dent Mater* 2018;34(1):13-28.
 64. Janda R, Roulet JF, Wulf M, Tiller HJ. A new adhesive technology for all-ceramics. *Dent Mater* 2003;19(6):567-73.
 65. Kurt M, Kulunk T, Ural C, Kulunk S, Danisman S, Savas S. The effect of different surface treatments on cement-retained implant-supported restorations. *J Oral Implantol* 2013;39(1):44-51.
 66. Manso AP, Silva NR, Bonfante EA, Pegoraro TA, Dias RA, Carvalho RM. Cements and adhesives for all-ceramic restorations. *Dent Clin North Am* 2011;55(2):311-32.
 67. Kern M. Resin bonding to oxide ceramics for dental restorations. *J Adhes Sci Technol* 2009;23(7-8):1097-111.
 68. Yavuz T, Eraslan O. The effect of silane applied to glass ceramics on surface structure and bonding strength at different temperatures. *J Adv Prosthodont* 2016;8(2):75-84.
 69. de Carvalho RF, Cotes C, Kimpara ET, Leite FP, Ozcan M. Heat treatment of pre-hydrolyzed silane increases adhesion of phosphate monomer-based resin cement to glass ceramic. *Braz Dent J* 2015;26(1):44-9.
 70. de Carvalho RF, Martins ME, de Queiroz JR, Leite FP, Ozcan M. Influence of silane heat treatment on bond strength of resin cement to a feldspathic ceramic. *Dent Mater J* 2011;30(3):392-7.
 71. Cotes C, de Carvalho RF, Kimpara ET, Leite F, Ozcan M. Can heat treatment procedures of pre-hydrolyzed silane replace hydrofluoric acid in the adhesion of resin cement to feldspathic ceramic. *J Adhes Dent* 2013;15(6):569-74.
 72. Sattabanasuk V, Charnchairerk P, Punsukumtana L, Burrow MF. Effects of mechanical and chemical surface treatments on the resin-glass ceramic adhesion properties. *J Investig Clin Dent* 2017;8(3).
 73. Schwenter J, Schmidli F, Weiger R, Fischer J. Adhesive bonding to polymer infiltrated ceramic. *Dent Mater J* 2016;35(5):796-802.
 74. Yun JY, Ha SR, Lee JB, Kim SH. Effect of sandblasting and various metal primers on the shear bond strength of resin cement to Y-TZP ceramic. *Dent Mater* 2010;26(7):650-8.
 75. de Souza GMD, Thompson VP, Braga RR. Effect of metal primers on microtensile bond strength between zirconia and resin cements. *J Prosthet Dent* 2011;105(5):296-303.
 76. Blatz MB, Phark J-H, Ozer F, Mante FK, Saleh N, Bergler M, *et al.* In vitro comparative bond strength of contemporary self-adhesive resin cements to zirconium oxide ceramic with and without air-particle abrasion. *Clin Oral Investig* 2010;14(2):187-92.
 77. Kitayama S, Nikaido T, Takahashi R, Zhu L, Ikeda M, Foxton RM, *et al.* Effect of primer treatment on bonding of resin cements to zirconia ceramic. *Dent Mater* 2010;26(5):426-32.
 78. Magne P, Paranhos MP, Burnett LH, Jr. New zirconia primer improves bond strength of resin-based cements. *Dent Mater* 2010;26(4):345-52.
 79. Qeblawi DM, Munoz CA, Brewer JD, Monaco EA,

- Jr. The effect of zirconia surface treatment on flexural strength and shear bond strength to a resin cement. *J Prosthet Dent* 2010;103(4):210-20.
80. Chen Y, Tay FR, Lu Z, Chen C, Qian M, Zhang H, *et al.* Dipentaerythritol penta-acrylate phosphate-an alternative phosphate ester monomer for bonding of methacrylates to zirconia. *Sci Rep* 2016;6:39542.
 81. Asadzadeh N, Ghorbanian F, Ahrary F, Rajati Haghi H, Karamad R, Yari A, *et al.* Bond Strength of Resin Cement and Glass Ionomer to Nd: YAG Laser - Treated Zirconia Ceramics. *J Prosthodont* 2017;10.1111/jopr.12651.
 82. Miragaya L, Maia LC, Sabrosa CE, de Goes MF, da Silva EM. Evaluation of self-adhesive resin cement bond strength to yttria-stabilized zirconia ceramic (Y-TZP) using four surface treatments. *J Adhes Dent* 2011;13(5):473-80.
 83. Ural Ç, Kalyoncuoğlu E, Balkaya V. The effect of different power outputs of carbon dioxide laser on bonding between zirconia ceramic surface and resin cement. *Acta Odontol Scand* 2012;70(6):541-6.
 84. Kara HB, Ozturk AN, Aykent F, Koc O, Ozturk B. The effect of different surface treatments on roughness and bond strength in low fusing ceramics. *Lasers Med Sci* 2011;26(5):599-604.
 85. Gokce B, Ozpinar B, Dundar M, Comlekoglu E, Sen BH, Gungor MA. Bond strengths of all-ceramics: acid vs laser etching. *Oper Dent* 2007;32(2):173-8.
 86. Akyıl MŞ, Yılmaz A, Bayındır F, Duymuş ZY. Microtensile bond strength of resin cement to a feldspathic ceramic. *Photomed Laser Surg* 2011;29(3):197-203.
 87. El Gamal A, Rocca JP, Fornaini C, Medioni E, Brulat-Bouchard N. Microhardness evaluations of CAD/CAM ceramics irradiated with CO₂ or Nd: YAP laser. *Laser Ther* 2017;26(1):13-8.
 88. Ural Ç, Külünk T, Külünk Ş, Kurt M. The effect of laser treatment on bonding between zirconia ceramic surface and resin cement. *Acta Odontol Scand* 2010;68(6):354-9.
 89. Noda M, Okuda Y, Tsuruki J, Minesaki Y, Takenouchi Y, Ban S. Surface damages of zirconia by Nd:YAG dental laser irradiation. *Dent Mater J* 2010;29(5):536-41.
 90. Gomes AL, Castillo-Oyague R, Lynch CD, Montero J, Albaladejo A. Influence of sandblasting granulometry and resin cement composition on microtensile bond strength to zirconia ceramic for dental prosthetic frameworks. *J Dent* 2013;41(1):31-41.
 91. Usumez A, Hamdemirci N, Koroglu BY, Simsek I, Parlar O, Sari T. Bond strength of resin cement to zirconia ceramic with different surface treatments. *Lasers Med Sci* 2013;28(1):259-66.
 92. Asadzadeh N, Ghorbanian F, Ahrary F, Rajati Haghi H, Karamad R, Yari A, *et al.* Bond Strength of Resin Cement and Glass Ionomer to Nd:YAG Laser-Treated Zirconia Ceramics. *J Prosthodont* 2017;10.1111/jopr.12651.
 93. Kasraei S, Rezaei-Soufi L, Yarmohamadi E, Shabani A. Effect of CO₂ and Nd:YAG lasers on shear bond strength of resin cement to zirconia ceramic. *J Dent* 2015;12(9):686-94.
 94. Aboushelib MN. Evaluation of zirconia/resin bond strength and interface quality using a new technique. *J Adhes Dent* 2011;13(3):255-60.
 95. Mirmohammadi H, Aboushelib MN, Salameh Z, Kleverlaan CJ, Feilzer AJ. Influence of enzymatic and chemical degradation on zirconia resin bond strength after different surface treatments. *Am J Dent* 2010;23(6):327-30.
 96. Wang H, Aboushelib MN, Feilzer AJ. Strength influencing variables on CAD/CAM zirconia frameworks. *Dent Mater* 2008;24(5):633-8.
 97. Aboushelib MN, Feilzer AJ, Kleverlaan CJ. Bonding to zirconia using a new surface treatment. *J Prosthodont* 2010;19(5):340-6.
 98. Chen M, Zhang Y, Yao X, Li H, Yu Q, Wang Y. Effect of a non-thermal, atmospheric-pressure, plasma brush on conversion of model self-etch adhesive formulations compared to conventional photo-polymerization. *Dent Mater* 2012;28(12):1232-9.
 99. Tendero C, Tixier C, Tristant P, Desmaison J, Leprince P. Atmospheric pressure plasmas: A review. *Spectrochim Acta B* 2006;61(1):2-30.
 100. Han GJ, Kim JH, Cho BH, Oh KH, Jeong JJ. Promotion of resin bonding to dental zirconia ceramic using plasma deposition of tetramethylsilane and benzene. *Eur J Oral Sci* 2017;125(1):81-7.
 101. Valverde GB, Coelho PG, Janal MN, Lorenzoni FC, Carvalho RM, Thompson VP, *et al.* Surface characterisation and bonding of Y-TZP following non-thermal plasma treatment. *J Dent* 2013;41(1):51-9.
 102. Piascik JR, Swift EJ, Braswell K, Stoner BR. Surface fluorination of zirconia: adhesive bond strength comparison to commercial primers. *Dent Mater* 2012;28(6):604-8.
 103. Derand T, Molin M, Kvam K. Bond strength of composite luting cement to zirconia ceramic surfaces. *Dent Mater* 2005;21(12):1158-62.

104. Lee M-H, Min BK, Son JS, Kwon T-Y. Influence of different post-plasma treatment storage conditions on the shear bond strength of veneering porcelain to zirconia. *Materials* 2016;9(1):43.
105. Hooshmand T, van Noort R, Keshvad A. Bond durability of the resin-bonded and silane treated ceramic surface. *Dent Mater* 2002;18(2):179-88.
106. Pollington S, Fabianelli A, van Noort R. Microtensile bond strength of a resin cement to a novel fluorocanite glass-ceramic following different surface treatments. *Dent Mater* 2010;26(9):864-72.
107. Neis CA, Albuquerque NLG, Albuquerque IdS, Gomes EA, Souza-Filho CBd, Feitosa VP, et al. Surface treatments for repair of feldspathic, leucite- and lithium disilicate-reinforced glass ceramics using composite resin. *Braz Dent J* 2015;26(2):152-5.
108. Blum IR, Nikolinakos N, Lynch CD, Wilson NH, Millar BJ, Jagger DC. An in vitro comparison of four intra-oral ceramic repair systems. *J Dent* 2012;40(11):906-12.
109. 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):227-35.
110. Peumans M, Valjakova EB, De Munck J, Mishevskaja CB, Van Meerbeek B. Bonding effectiveness of luting composites to different CAD/CAM materials. *J Adhes Dent* 2016;18(4):289-302.
111. 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):531-40.