

Tipologie di cementi nel fissaggio di corone in zirconia-ceramica: revisione della letteratura

Types of cement for zirconia-ceramic crowns fixing: a review of the literature

P. Cardelli, E. Bigelli*, F. Balestrà, M. Montani, M. Gallio, C. Arcuri

UOC Odontostomatologia, Dipartimento di Malattie Odontostomatologiche, Ospedale San Giovanni Calibita Fatebenefratelli, Università degli Studi di Roma Tor Vergata

Ricevuto il
26 luglio 2012
Accettato il
1 marzo 2013

*Autore di riferimento
Elena Bigelli
e-bigelli@libero.it

RIASSUNTO

OBIETTIVI. Scopo dell'articolo è presentare una revisione della letteratura sui trattamenti di superficie e sulle metodiche di cementazione della zirconia.

MATERIALI E METODI. È stata condotta una revisione della letteratura internazionale sia su riviste specialistiche odontoiatriche sia attingendo dal database internazionale PubMed.

RISULTATI E CONCLUSIONI. Il trattamento di superficie ritenuto più efficace per la zirconia è la sabbatura, seguita dall'utilizzo di cementi resinosi autopolimerizzanti o duali. Risulta opportuno, comunque, scegliere la tipologia di materiale cementante in base alle condizioni cliniche.

PAROLE CHIAVE

- ▶ Zirconia
- ▶ Cementazione
- ▶ Trattamenti di superficie
- ▶ Protesi
- ▶ Cementi resinosi

ABSTRACT

OBJECTIVES. The purpose of this article is to present a review of the literature about surface treatments and methods of cementation of zirconia.

MATERIALS AND METHODS. We undertook a review of international literature considering dental journals as well as international PubMed database.

RESULTS AND CONCLUSIONS. The sandblasting is considered the best treatment for zirconia, which is followed by using auto-curing or dual-curing resin cements. The choice of the type of material used is in accordance with the clinical conditions.

KEY WORDS

- ▶ Zirconia
- ▶ Cementation
- ▶ Surface treatments
- ▶ Prosthesis
- ▶ Resin cements

1. INTRODUZIONE

Negli ultimi anni l'aspetto estetico nelle riabilitazioni protesiche ha assunto notevole importanza. La richiesta, da parte dei pazienti, di ottenere un effetto estetico ottimale e duraturo nel tempo è infatti diventata sempre più frequente.

La zirconia, metallo di origine naturale, viene spesso impiegata per le riabilitazioni protesiche nei settori frontali e latero-posteriori poiché, grazie al suo colore e alla sua trasparenza, consente di ottenere un risultato estetico ottimale anche in caso di retrazione del margine gengivale. Nel presente lavoro gli autori si propongono di elencare le metodiche di lavorazione della superficie della zirconia e le tipologie di cemento per la stessa ritenute idonee dalla letteratura più recente.

2. MATERIALI E METODI

È stata condotta una revisione della letteratura internazionale non solo su riviste specialistiche odontoiatriche in formato cartaceo, ma anche utilizzando fonti bibliografiche provenienti dal database internazionale PubMed. La revisione è stata condotta prendendo in considerazione gli articoli riportanti informazioni circa le tecniche di cementazione che garantiscono, attraverso dati sperimentali, una migliore adesione tra la zirconia e l'elemento dentale. Particolare attenzione è stata rivolta alla differenza tra cementazione convenzionale, a base di cementi all'ossifosfato di zinco o vetroionomeri, e cementazione adesiva a base di monomeri fosfati.

Sono stati esclusi dalla revisione tutti gli articoli più vecchi di 15 anni e senza follow-up a distanza di 2-3 anni.

Le parole chiave utilizzate per la ricerca sono state: "zirconia", "cementation",

"cements", "surface treatments", "prosthesis", "resin cements".

3. RISULTATI

3.1 TRATTAMENTI DI SUPERFICIE E CEMENTAZIONE

Il trattamento di superficie viene sempre consigliato quando si devono cementare manufatti in zirconia-ceramica, poiché in questo modo è possibile, soprattutto in caso di cementazione adesiva, aumentare la ruvidità e la superficie di contatto favorendo così la formazione di una corretta interfaccia (interlocking) tra il cemento resinoso e la zirconia.

La prima tipologia di trattamento di superficie analizzata è la sabbiatura con ossidi di alluminio: tra gli autori a esprimersi in merito a questo trattamento si possono citare Kern et al. [1] che nel 1998, utilizzando particelle abrasive (Al_2O_3) di 110 μm di diametro a 0,25 bar di pressione, sostenevano di poter ottenere un legame duraturo impiegando resine composite e un monomero adesivo, anche dopo aver conservato i campioni 150 giorni in acqua e averli sottoposti a invecchiamento tramite termocicli.

Lo stesso Kern [2] realizzò successivamente tale procedura con particelle di grandezza diversa (50 μm) a 0,5 bar di pressione; e altri autori, tra cui Augusti et al. [3] nel loro studio effettuato su diverse tipologie di zirconia presinterizzata, suggeriscono l'uso di particelle di granulometria pari a 110 μm a 2,8 bar di pressione.

La sabbiatura è una metodica di lavorazione delle superficie molto efficace ai fini dell'adesione del materiale cementante alla struttura metallica; infatti conferisce ruvidità al materiale, favorendo così il legame meccanico e allo stesso tempo promuovendo l'adesione chimica [4]. Se

da una parte, come detto, la sabbiatura migliora l'adesione alla zirconia, dall'altra è stato dimostrato che può dar luogo alla formazione di microcrack che risultano dannosi per la longevità del restauro stesso [5]. Aboushelib et al. [6] hanno però dimostrato che la sabbiatura determina la trasformazione della fase monoclinica della zirconia, determinando di conseguenza la formazione di uno strato di stress compressivo sulla superficie, in grado di contrastare la propagazione dei crack. Anche Kosmac et al. [7] riferiscono come questa tecnica sia facile da realizzare e comporti la formazione di microfrazioni che però, generando il passaggio di fase, migliorano la resistenza del materiale. Guazzato et al. [8] dal canto loro hanno dimostrato che la sabbiatura è in grado di determinare questo passaggio di fase anche a basse temperature, riducendo al minimo il rischio di danni alla superficie e dimostrandosi così un trattamento valido rispetto alla lucidatura con mole abrasive o frese diamantate.

Nonostante la sabbiatura, come documentato da diversi studi citati precedentemente, fornisca un substrato adatto a creare un legame, a seguito di prove di laboratorio risulta tuttavia evidente che da sola non è sufficiente per formare un legame che sia realmente duraturo [1]; in quest'ultimo articolo Kern et al. dimostrano infatti che la sola sabbiatura, in realtà, aumenta il livello di adesione dei cementi resinosi tradizionali, ma non basta a stabilizzarne il legame alle strutture nel tempo. Per risolvere tale problema già da tempo sono in corso molti studi volti a valutare la tipologia di primer da associare al cemento per far sì che quest'ultimo esplichi efficacemente la sua funzione; nel caso dei materiali non autoadesivi viene infatti suggerito [9] l'utilizzo della sabbiatura insieme a un primer funzio-

nale o a un cemento contenente MDP (Methacryloyloxydecyl Dihydrogen Phosphate), monomero fosfato funzionale, al fine di ottimizzare il legame tra resina composita e zirconia [10].

Già nel 1995 Kern et al. [11] dimostrarono che il BIS-GMA non era in grado di legarsi con le particelle di allumina che abrasano l'ossido di zirconio, affermando che l'utilizzo di un monomero adesivo contenente fosfato (MDP) fosse capace di rendere il legame all'allumina e alla zirconia più forte e duraturo. Dal punto di vista chimico la molecola di MDP è costituita da tre porzioni differenti:

- ▶ il gruppo polimerizzabile, in questo caso a contatto con la zirconia;
- ▶ il gruppo idrofobo;
- ▶ il gruppo fosfato idrofilo in grado di legarsi alla struttura dentale grazie alla liberazione di due atomi di idrogeno dei gruppi -OH e al conseguente legame dell'ossigeno con gli atomi di calcio della dentina.

In realtà i primi a riportare un legame duraturo tra il cemento contenente monomero fosfato e la zirconia furono, nel 1998, Kern e Wegner [1] che confrontando dopo 150 giorni di invecchiamento la resistenza del legame di due monomeri fosfati, del BIS-GMA solo e del BIS-GMA dopo silanizzazione, giunsero alla conclusione che i cementi contenenti fosfati hanno un legame molto resistente anche dopo l'invecchiamento artificiale di due anni. Gli stessi autori infatti dopo due anni (nel 2000) pubblicarono un articolo [12] in cui veniva confermato che l'estere funzionale dell'MDP è in grado di formare un legame duraturo, H₂O resistente, con la zirconia.

A conferma di questa tesi anche Bachhav et al. [13] in un articolo datato 2011 affermano che la combinazione di abrasione tramite sabbatura e il successivo utilizzo

del monomero MDP consente di ottenere un legame duraturo tra zirconia e cemento. Nel medesimo articolo gli autori – facendo riferimento al lavoro di Kern e Wegner [1] e citando un'altra fonte bibliografica del 2008, Amaral et al. [14] – sostengono però che non esistono dati sufficienti sul meccanismo di reazione dell'MDP, sulle sue performance a lungo termine, sull'effetto idrolitico e sulla forza di legame oltre i due anni.

Un'altra tecnica applicabile alla superficie della zirconia riportata in letteratura è la SIE (Selective Infiltration Etching), processo di maturazione indotto dal calore che consente di infiltrare un sottile strato di vetro fuso a bassa viscosità, in grado quindi di fondere a basse temperature, sulla superficie da trattare per poi sottoporla a incisione tramite acido fluoridrico al 5%; in tal modo è possibile trasformare la superficie densa e non legante della zirconia in una ad alta ritenzione. Con questa tecnica si può infatti formare una rete porosa in tre dimensioni che consente un incastro tra cemento resinoso e zirconia [5]. Il vantaggio di tale tecnica è che si possono utilizzare grani che emergono dal vetro fuso permettendo così il controllo durante la mordenzatura della zona infiltrata [15].

Anche Aboushelib et al. [16] riferiscono che l'utilizzo della SIE sulla zirconia conferisce una maggiore resistenza al legame cementante se confrontato con i legami realizzati su superfici abrase con particelle e aria; la tecnica SIE infatti migliora la nanoritenzione meccanica e fornisce una superficie più ampia di legame al cemento.

Tale concetto è stato confermato anche da Casucci et al. [17] i quali sottolineano la maggiore rugosità di superficie della zirconia trattata con questa metodica rispetto a quella riscontrata a seguito

dell'abrasione con particelle all'ossido di alluminio o con acido fluoridrico.

La combinazione di infiltrazione vetrosa selettiva, mordenzatura e primer specifici per la zirconia ha portato secondo alcuni studi [18] a un miglioramento significativo della forza di legame zirconia-cemento.

Per quanto riguarda la mordenzatura è opportuno sottolineare che purtroppo le sostanze acide non possono essere utilizzate sulle ceramiche non a base di silicati come la zirconia, rendendo così più difficile l'irruvidimento superficiale volto a creare una ritenzione meccanica [19].

Di contro a quanto appena affermato Kato et al. [20], comparando i risultati ottenuti con l'abrasione tramite particelle e quelli con il trattamento acido, dedussero che la seconda tipologia di trattamento è in grado di determinare una forza di legame maggiore rispetto alla prima.

Szep et al. [21] inoltre hanno riscontrato la presenza di un precipitato amorfo contenente fluoro lasciato dall'acido fluoridrico che riduce la possibilità di formazioni cariose e influenza positivamente la formazione del legame.

In contrapposizione con quanto sostenuto in queste due ultime fonti bibliografiche è opportuno riportarne una di Guazzato et al. [22] i quali evidenziano come il trattamento con acido fluoridrico seguito dall'utilizzo di un silano non possa avere successo a causa dell'acido-resistenza, della superficie stabilizzata e dell'assenza delle particelle vetrose della zirconia.

La letteratura [23] riporta infine una tecnica di mordenzatura acida a caldo proposta inizialmente per il trattamento delle leghe nichel-cromo nei ponti Maryland; proprio seguendo il protocollo proposto da Casucci et al. [5] i campioni possono essere immersi in una soluzione di HCl-FeCl₃ riscaldata fino a 100 °C per 30 mi-

nuti e infine lavati in acqua deionizzata per un minuto e immersi in un bagno di ultrasuoni per altri 30 minuti; in quest'ultimo lavoro sperimentale si è osservato inoltre che l'acido cloridrico è altamente corrosivo e attacca i metalli più comuni inclusi ferro, acciaio e piombo. La zirconia ha dimostrato di essere resistente alla corrosione, se usata in soluzioni con acido cloridrico, a qualsiasi concentrazione e a temperature di gran lunga superiori al punto di ebollizione. Nonostante ciò, la presenza di impurità ossidanti in queste soluzioni può essere dannosa per la zirconia; in particolare la contaminazione con lo ione ferrico (Fe^{3+}) o lo ione rame (Cu^{2+}) può portare alla rottura del film protettivo dell'ossido di zirconio e dare inizio a una corrosione locale, con formazione di pori. L'azione della soluzione mordenzante a caldo utilizzata in questo studio è un processo di corrosione controllata; è stato infatti ipotizzato che tale soluzione sia in grado di determinare una mordenzatura chimica selettiva della zirconia [24] creando microritenzioni e allargando gli spazi tra i grani attraverso la rimozione preferenziale di atomi periferici meno aggregati [25].

Il grado di mordenzatura dipende dal movimento della soluzione attraverso la superficie ceramica e dalla temperatura ideale, di 100 °C in questo studio; in tal modo è possibile conseguire il condizionamento del substrato in un tempo di circa 30 minuti. La tipologia di superficie così ottenuta consente alla resina composta di infiltrarsi negli spazi intergranulari tridimensionali, può integrarsi strutturalmente con la superficie e dovrebbero essere necessarie forze più elevate per decementarla.

Anche se non esistono molte ricerche che riportino la forza di legame tra il cemento e la zirconia dopo questo trattamento,

Casucci et al. in un articolo del 2009 [17] hanno dimostrato che l'applicazione di una soluzione calda produce una superficie ruvida significativamente maggiore rispetto al trattamento con SIE; questo trattamento potrebbe quindi migliorare la ritenzione meccanica, ma è opportuno sottolineare che non sono ancora disponibili dati e prove in vitro e in vivo che effettivamente questo possa essere un trattamento valido e sostituibile alla sabbiatura.

Possiamo perciò concludere che la sabbiatura con particelle all'ossido di alluminio viene preferita rispetto agli altri trattamenti, anche se da sola non è sufficiente per creare un legame duraturo e resistente alla compressione, alla flessione e alla frattura. Alla sabbiatura devono infatti seguire l'applicazione di un cemento contenente monomero fosfato MDP, che a oggi sembra essere il migliore, ed eventualmente l'applicazione di un silano.

Il trattamento con SIE seguito da mordenzatura e primer ha apportato un miglioramento nella forza di legame tra zirconia e cemento.

La mordenzatura a base di acido fluoridrico al 10% non può essere eseguita sulle ceramiche senza silicati come l'ossido di zirconio; la mordenzatura a caldo, in base alle ultime ricerche, ha portato a miglioramenti ai fini del legame resinoso, ma gli studi sono ancora insufficienti per poter affermare che questa rappresenti una valida alternativa alla sabbiatura.

Attualmente esistono due metodiche principali di cementazione per la zirconia: la cementazione convenzionale e quella adesiva. La prima non sempre fornisce una forza di legame sufficiente a garantire ritenzione e resistenza al manufatto protesico [26]; quella adesiva viene infatti preferita in caso di monconi corti o

conici dove, a causa della ritenzione compromessa, funzionalizzando la superficie e utilizzando un legame adesivo si hanno maggiori garanzie di durata della cementazione [27].

Per quanto riguarda la cementazione adesiva è bene sottolineare che, a differenza delle ceramiche tradizionali, la composizione senza silicato dell'ossido di zirconio rende difficile l'adesione alla struttura dentale tramite cementi compositi tradizionali; già Kern et al. [11] in un loro articolo del 1995 affermavano che il BIS-GMA, contenuto nella matrice organica dei compositi da restauro diretto, non era in grado di legarsi alle particelle di allumina depositatesi sulla zirconia a seguito dei trattamenti di superficie; per realizzare un legame adeguato a sopportare i carichi della masticazione è infatti necessario, come esposto in precedenza, impiegare un monomero fosfato. Contrariamente a quanto affermato da Kern et al. [11], Dérand et al [28] in un articolo del 2000 sostengono che il cemento a polimerizzazione anaerobia contenente il monomero MDP in realtà non è in grado di formare un legame duraturo, proponendo una resina cementante contenente 4-META/TBB/PMMA, come valida alternativa al monomero precedente. Anche Ernst et al. [29] e Lee et al. [30] ritengono che quest'ultimo sia capace di formare un legame migliore rispetto al primo, poiché il 4-META riesce a aderire efficacemente alla zirconia; va però sottolineato che questi autori non propongono al lettore prove che attestino quanto questo legame sia realmente più efficace. La minore resistenza del cemento contenente MDP, da loro sostenuta, potrebbe essere semplicemente imputabile alle diverse metodiche di test utilizzate per i due materiali, allo spessore del cemento, alla composizione della ceramica, al tipo

di composito e al metodo con cui si lega la zirconia alla struttura dentale tramite il monomero e la resina.

Detto ciò, nel corso degli anni la ricerca si è concentrata maggiormente sullo studio e sul miglioramento del legame dell'MDP alla zirconia; questo monomero, poiché idroliticamente stabile, non subisce una diminuzione della sue capacità di legame anche a distanza di tempo.

Altri cementi contenenti o non contenenti monomeri fosfati, pur avendo dimostrato buone caratteristiche di legame, rimangono ancora, secondo il parere di Glauser et al. [31], una scelta clinica secondaria, seppur valida rispetto all'MDP, grazie alla bassa percentuale sia dei fallimenti sia della perdita di ritenzione di quest'ultimo.

Diversi articoli, tra cui il più recente è del 2011 [32], sottolineano che grazie all'elevata resistenza alla frattura della zirconia (> 700 MPa) sia la cementazione adesiva sia quella convenzionale possono essere ritenute entrambe valide anche nei settori posteriori [33,34]; la stessa simulazione scientifica realizzata da Al-Amleh et al. [35], i quali si occuparono di valutare la resistenza alla frattura della zirconia e dei restauri in lega metallica sottoposti ai carichi orali, confermò che il tipo di cementazione e il materiale della corona non esercita un'influenza fondamentale ai fini della resistenza alla frattura del materiale. Altri autori [36] ritengono invece che la cementazione adesiva potrebbe essere in grado di aumentare non solo i carichi che determinano la resistenza alla frattura, ma anche la longevità del manufatto stesso [37], seppur non venga considerata indispensabile [33] per i restauri FDP (Fixed Partial Dentures) o le corone singole.

È opportuno riferire che in un articolo del 1999 viene suggerito anche l'utilizzo

di cementi vetroionomerici ibridi, ovvero contenenti resine nella porzione liquida del cemento. In questo studio Diaz-Arnold et al. [38] sostengono infatti come la combinazione dei vantaggi dell'adesione chimica con quelli delle resine possa portare a un miglioramento della cementazione in termini di forza di legame, durezza e resistenza.

4. CASO CLINICO

Paziente maschio di 30 anni si presenta alla nostra osservazione lamentando un'estetica non soddisfacente, a causa di

un restauro diretto in composito, a livello dell'elemento 2.1 (fig. 1).

Si programma una riabilitazione protesica che prevede la devitalizzazione dell'elemento dentario con successiva realizzazione di un perno moncone in oro (fig. 2) e di una corona in zirconia-ceramica per risolvere l'evidente incongruità estetica. Una volta terminata la temporizzazione con i provvisori, sono state prese le impronte di precisione con tecnica putty-wash (bifasica bicomponente in polivinil-silossano) (fig. 3). Vengono così trasferiti i dati in laboratorio dove viene realizzata con tecnica CAD-CAM la cappetta in zir-



Fig. 1 Caso iniziale



Fig. 2 Devitalizzazione e perno moncone in oro

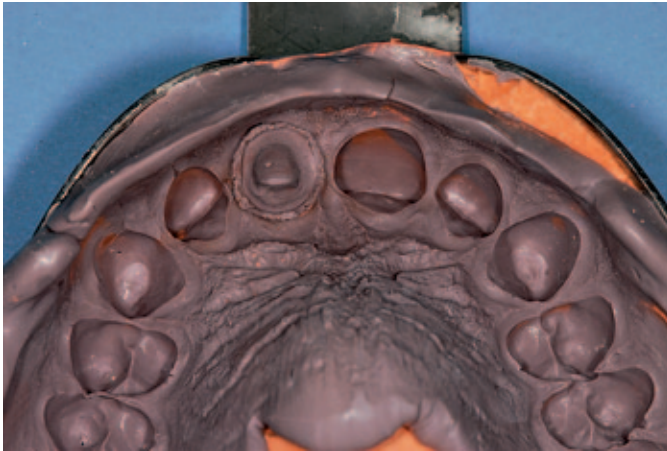


Fig. 3 Impronta bifasica



Fig. 4 Prova della struttura

conia ed eseguita quindi la prova della struttura (fig. 4).

La corona terminata viene provata nel cavo orale, ne viene verificata la con-

gruenza funzionale ed estetica e infine viene cementata definitivamente con un cemento automordenzante a polimerizzazione duale (figg. 5-8).

Dopo la cementazione definitiva il paziente è stato controllato a distanza di 15 giorni. I tessuti gengivali risultano sani, è infatti riscontrabile il tipico aspetto a



Fig. 5 Polimerizzazione



Fig. 6 Rimozione degli eccessi



Fig. 7 Rimozione degli eccessi con filo interdentale



Fig. 8 Caso finale



Fig. 9 Controllo dopo 15 giorni

buccia d'arancia degli stessi (fig. 9).

Gli autori hanno ottenuto il consenso informato da parte del paziente.

5. CONCLUSIONI

Dall'esame della letteratura si può evincere che a oggi i cementi resinosi auto-mordenzanti a polimerizzazione duale contenenti monomeri specifici idrofobici (MDP), preceduti dalla sabbiatura sulla superficie della zirconia, presentano una forza di legame maggiore con la zirconia rispetto alle altre metodiche di cementazione.

I cementi al fosfato di zinco e i cementi vetroionomerici sono semplici da utilizzare, ma la loro minore resistenza e adesione alla struttura del dente rispetto ai cementi adesivi possono rappresentarne un limite nell'utilizzo clinico. Vengono consigliati soprattutto grazie alla loro capacità di rilasciare fluoro e alla loro trasparenza, dovuta alla presenza dei nuclei vetrosi piuttosto che di ossido di zinco, per la cementazione di manufatti in settori estetici su elementi vitali.

Le ceramiche ad alta resistenza come quelle all'ossido di alluminio o all'ossido di zirconio possiedono una tenuta intrin-

seca e un'elevata resistenza che consente il loro fissaggio con i sistemi di cementazione convenzionale o comunque anche adesiva soprattutto, ma non solo, in caso di monconi corti o poco ritentivi.

CONFLITTO DI INTERESSI

Gli autori dichiarano di non aver alcun conflitto di interessi.

FINANZIAMENTI ALLO STUDIO

Gli autori dichiarano di non aver ricevuto finanziamenti istituzionali per il presente studio.

BIBLIOGRAFIA

1. Kern M, Wegner SM. Bonding to zirconia ceramic: adhesion methods and their durability. *Dent Mater* 1998;14(1):64-71.
2. Kern M, Barloi A, Yang B. Surface conditioning influences zirconia ceramic bonding. *J Dent Res* 2009;88(9):817-22.
3. Augusti D, Re D, Augusti G, Merlati G, Barabanti N, Cerutti A. I pretrattamenti di superficie del biossido di zirconio nella cementazione adesiva: studio in vitro. *Dentista Moderno* 2010;28(9):134-50.
4. Blatz MB, Sadan A, Blatz U. The effect of silica coating on the resin bond to the intaglio surface of Procera AllCeram restorations. *Quintessence Int* 2003;34(7):542-7.
5. Casucci A, Sestini M. Indagine microscopica di superfici di zirconia trattate

con diverse metodiche. *Dentista Moderno* 2010;28(9):59-60.

6. Aboushelib MN, Mirmohamadi H, Matinlinna JP, Kukk E, Ounsi HF, Salameh Z. Innovations in bonding to zirconia-based materials. Part II: Focusing on chemical interactions. *Dent Mater* 2009;25(8):989-93.
7. Kosmac T, Oblak C, Jevnikar P, Funduk N, Marion L. The effect of surface grinding and sandblasting on flexural strength and reliability of Y-TZP zirconia ceramic. *Dent Mater* 1999;15(6):426-33.
8. Guazzato M, Quach L, Albakry M, Swain MV. Influence of surface and heat treatments on the flexural strength of Y-TZP dental ceramic. *J Dent* 2005;33(1):9-18.
9. Re D, Augusti D, Sailer I, Spreafico D, Cerutti A. The effect of surface treatment on the adhesion of resin cements to Y-TZP. *Eur J Esthet Dent* 2008;3(2):186-96.
10. Matinlinna JP, Heikkinen T, Ozcan M, Lassila LV, Vallittu PK. Evaluation of resin adhesion to zirconia ceramic using some organosilanes. *Dent Mater* 2006;22(9):824-31.
11. Kern M, Thompson VP. Bonding to glass infiltrated alumina ceramic: adhesive methods and their durability. *J Prosthet Dent* 1995;73(3):240-9.
12. Wegner SM, Kern M. Long-term resin bond strength to zirconia ceramic. *J Adhes Dent* 2000;2(2):139-47.
13. Bachhav VC, Aras MA. Zirconia-based fixed partial dentures: a clinical review. *Quintessence Int* 2011;42(2):173-82.
14. Amaral R, Ozcan M, Valandro LF, Balducci I, Bottino MA. Effect of conditioning methods on the microtensile bond strength of phosphate monomer-based cement on zirconia ceramic in dry and aged conditions. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater* 2008;85(1):1-9.
15. 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.
16. Aboushelib MN, Kleverlaan CJ, Feilzer AJ. Selective infiltration-etching technique for a strong and durable bond of resin cements to zirconia-based materials. *J Prosthet Dent* 2007;98(5):379-88.

17. Casucci A, Osorio E, Osorio R, Monticelli F, Toledano M, Mazzitelli C, et al. Influence of different surface treatments on surface zirconia frameworks. *J Dent* 2009;37(11):891-7.
18. Aboushelib MN, Matinlinna JP, Salameh Z, Ounsi H. Innovations in bonding to zirconia-based materials: Part I. *Dent Mater* 2008;24(9):1268-72.
19. Blatz MB, Sadan A, Kern M. Resin-ceramic bonding: a review of the literature. *J Prosthet Dent* 2003;89(3):268-74.
20. Kato H, Matsumura H, Atsuta M. Effect of etching and sandblasting on bond strength to sintered porcelain of unfilled resin. *J Oral Rehabil* 2000;27(2):103-10.
21. Szep S, Gerhardt T, Gockel HW, Ruppel M, Metzeltin D, Heidemann D. In vitro dentinal surface reaction of 9.5% buffered hydrofluoric acid in repair of ceramic restorations: a scanning electron microscopic investigation. *J Prosthet Dent* 2000;83(6):668-74.
22. Guazzato M, Proos K, Quach L, Swain MV. Strength, reliability and mode of fracture of bilayered porcelain/zirconia (Y-TZP) dental ceramics. *Biomaterials* 2004;25(20):5045-52.
23. Ferrari M, Cagidiaco MC, Borracchini A, Bertelli E. Evaluation of a chemical etching solution for nickel-chromium-beryllium and chromium-cobalt alloys. *J Prosthet Dent* 1989;62(5):516-21.
24. Javid AH, Hassani AH, Golshan G. Selective removal of heavy metals from chloride caused by etching processes by using sulfide precipitation. *J Env Sci Technology* 2004;20.
25. Anusavice KJ. Mechanical properties of materials. In: *Phillips' Science of Dental Materials*. St. Louis (MO): Saunders 2003; pp. 115-8.
26. Blatz MB, Chiche G, Holst S, Sadan A. Influence of surface treatment and simulated aging on bond strengths of luting agents to zirconia. *Quintessence Int* 2007;38(9):745-53.
27. Burke FJ. Fracture resistance of teeth restored with dentin-bonded crowns: the effect of increased tooth preparation. *Quintessence Int* 1996;27(2):115-21.
28. Dérand P, Dérand T. Bond strength of luting cements to zirconium oxide ceramics. *Int J Prosthodont* 2000;13(2):131-5.
29. Ernst CP, Cohnen U, Stender E, Willershausen B. In vitro retentive strength of zirconium oxide ceramic crowns using different luting agents. *J Prosthet Dent* 2005;93(6):551-8.
30. Lee HJ, Ryu JJ, Shin SW, Suh KW. Effect of surface treatment methods on the shear bond strength of resin cement to zirconia ceramic. *J Korean Acad Prosthodont* 2007;45:743-52.
31. Glauser R, Sailer I, Wohlwend A, Studer S, Schibli M, Schärer P. Experimental zirconia abutments for implant-supported single-tooth restorations in esthetically demanding regions: 4-year results of a prospective clinical study. *Int J Prosthodont* 2004;17(3):285-90.
32. Rosentritt M, Hmaidouch R, Behr M, Handel G, Schneider-Feyrer S. Fracture resistance of zirconia FPDs with adhesive bonding versus conventional cementation. *Int J Prosthodont* 2011;24(2):168-71.
33. Tinschert J, Natt G, Mautsch W, Augthun M, Spiekermann H. Fracture resistance of lithium disilicate-, alumina-, and zirconia-based three-unit fixed partial dentures: a laboratory study. *Int J Prosthodont* 2001;14(3):231-8.
34. Rosentritt M, Behr M, Thaller C, Rudolph H, Feilzer A. Fracture performance of computer-aided manufactured zirconia and alloy crowns. *Quintessence Int* 2009;40(8):655-62.
35. Al-Amleh B, Lyons K, Swain M. Clinical trials in zirconia: a systematic review. *J Oral Rehabil* 2010;37(8):641-52.
36. Fleming GJ, Narayan O. The effect of cement type and mixing on the bi-axial fracture strength of cemented aluminous core porcelain discs. *Dent Mater* 2003;19(1):69-76.
37. Attia A, Kern M. Influence of cyclic loading and luting agents on the fracture load of two all-ceramic crown systems. *J Prosthet Dent* 2004;92(6):551-6.
38. Diaz-Arnold AM, Vargas MA, Haselton DR. Current status of luting agents for fixed prosthodontics. *J Prosthet Dent* 1999;81(2):135-41.