

## اثر زیرکونیا بر استحکام خمشی سرامیک IPS Empress 2

دکتر حمید کرمانشاه<sup>†</sup>\* - دکتر شهرام فرزین ابراهیمی\*\*

\*استادیار گروه آموزشی ترمیمی و زیبایی دانشکده دندانپزشکی و عضو مرکز تحقیقات دندانپزشکی دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی، درمانی تهران

\*\*استادیار گروه آموزشی ترمیمی و زیبایی دانشکده دندانپزشکی دانشگاه علوم پزشکی کرمان

**Title:** The effect of zirconia on flexural strength of IPS Empress 2 ceramic

**Authors:** Kermanshah H. Assistant Professor\*, Farzin Ebrahimi Sh. Assistant Professor\*\*

**Address:** \*Department of Operative Dentistry, School of Dentistry, Medical Sciences/ University of Tehran

\*\*Department of Operative Dentistry, School of Dentistry, Kerman University of Medical Sciences

**Background and Aim:** All ceramic, inlay-retained resin bonded fixed partial denture is a conservative method for replacement of missing teeth, because of minimal tooth reduction. The connector between the retainer and the pontic is the weak point of these bridges. Reinforcement of ceramic core will increase the clinical longevity. The aim of this study was to determine the effect of zirconia on flexural strength of IPS Empress 2 core ceramic.

**Materials and Methods:** In this experimental in vitro study, twenty eight bar shape specimens (17×3.1×3.1 mm) were made of four different materials: (1) Slip casting in-ceram alumina core (control group) (2) Hot-pressed lithium disilicate core ceramic (IPS Empress 2) (3) IPS Empress 2 with cosmopost (zirconia post) inserted longitudinally in the center of the bar (4) IPS Empress 2 with cosmopost (zirconia post) inserted longitudinally in bottom of the bar. Specimens were subjected to three-point flexure loading with the span of 15mm, at a cross-head speed of 0.5 mm/min. Failure loads were recorded and analyzed using one-way ANOVA and Tomhane Post-hoc tests and  $p < 0.05$  was set as the level of significance. Fractured surfaces were then observed by scanning electron microscope (SEM). Four additional samples were made as the third group, and zirconia-IPS interface was observed by SEM before fracture.

**Results:** Mean values and standard deviations of three point flexural strengths of groups 1 to 4, were: 378.4±44.6, 258.6±27.5, 144.3±51.7, 230±22.3 MPa respectively. All the groups were statistically different from each other ( $P < 0.05$ ), except groups 2 and 4. The flexural strengths of groups 2, 3, 4 were significantly lower than group 1. Group 3 had the lowest flexural strength. SEM analysis showed that the initiated cracks propagated in the interface of zirconia post and IPS Empress 2 ceramic.

**Conclusion:** Based on the results of this study, inserting zirconia post (cosmopost) in IPS Empress 2 ceramic does not reinforce all-ceramic inlay retained resin bonded fixed partial dentures.

**Key Words:** Three point flexural strength; Lithium disilicate glass ceramic; Alumina ceramic core; Zirconia post; Scanning electron microscope

### چکیده

**زمینه و هدف:** بریج‌های تمام سرامیکی با نگهدارنده‌های اینله، به دلیل تراش کم دندان، محافظه کارانه‌ترند. بیشترین شکست این بریج‌ها در ناحیه کانکتور میان پونتیک و نگهدارنده‌ها است. تقویت سرامیک کور مورد استفاده در این بریج‌ها باعث افزایش دوام کلینیکی آنها می‌شود. مطالعه حاضر با هدف تعیین اثر زیرکونیا بر استحکام خمشی کور سرامیک IPS Empress 2 انجام شد.

**روش بررسی:** در این مطالعه تجربی آزمایشگاهی، ۲۸ نمونه سرامیکی به شکل مکعب مستطیل به ابعاد ۱۷×۳ میلی‌متر در چهار گروه به ترتیب زیر تهیه شد: (۱): کور سرامیک اینسرام آلومینا (به روش Slip casting) به عنوان گروه کنترل

<sup>†</sup> مؤلف مسؤول: نشانی: تهران - خیابان انقلاب - خیابان قدس - دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی، درمانی تهران - دانشکده دندانپزشکی - گروه آموزشی ترمیمی  
تلفن: ۰۲۶۴۰۶۶۴۰ نشانی الکترونیک: Kermanshahamid@yahoo.com

(۲): کور سرامیک لیتیوم دی سیلیکات (به روش Hot press) (IPS Empress 2)

(۳): کور سرامیک لیتیوم دی سیلیکات همراه با Cosmopost (پست زیرکونیا) به صورت طولی در مرکز نمونه

(۴): کور سرامیک لیتیوم دی سیلیکات همراه با Cosmopost (پست زیرکونیا) به صورت طولی در زیر نمونه

نمونه‌ها تحت آزمایش خمش سه نقطه‌ای با طول ۱۵ میلی‌متر و با سرعت ۰/۵ میلی‌متر در دقیقه قرار گرفتند. نیروهای شکست ثبت شدند و داده‌ها با استفاده از آزمون آماری یک طرفه ANOVA و post-hoc (Tomhane) با سطح معنی‌داری  $p < 0/05$  مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت. سپس سطح شکست نمونه‌ها با میکروسکوپ الکترونی (SEM) بررسی شد. در ضمن چهار نمونه اضافی مشابه گروه ۳ ساخته و برش داده شد تا ناحیه حد فاصل میان پست زیرکونیا و سرامیک IPS Empress 2 قبل از شکست تحت ارزیابی SEM قرار گیرد.

**یافته‌ها:** میانگین و انحراف معیار استحکام خمشی سه نقطه‌ای (بر حسب مگاپاسکال) برای گروه‌ها به این شرح بود: گروه ۱:  $44/6 \pm 378/4$ ، گروه ۲:  $27/5 \pm 258/6$ ، گروه ۳:  $51/7 \pm 144/3$ ، گروه ۴:  $22/3 \pm 230$ . استحکام خمشی گروه‌های ۲ و ۳ و ۴ به طور معنی‌داری از گروه ۱ کمتر بود. در میان تمام نمونه‌ها، استحکام خمشی گروه ۳ کمترین بود. ارزیابی SEM نشان داد که ترک بعد از شروع در حد فاصل پست زیرکونیا و IPS Empress 2 پخش می‌شود.

**نتیجه‌گیری:** با توجه به نتایج این مطالعه، پست زیرکونیا (Cosmopost) باعث تقویت سرامیک IPS Empress 2 نمی‌گردد.

**کلید واژه‌ها:** استحکام خمشی سه نقطه‌ای؛ گلاس سرامیک لیتیوم دی سیلیکات؛ کور سرامیک آلومینا؛ پست زیرکونیا؛ میکروسکوپ الکترونی

وصول: ۸۵/۰۵/۱۰ اصلاح نهایی: ۸۵/۱۱/۱۵ تأیید چاپ: ۸۶/۰۱/۱۶

## مقدمه

افزایش دوام کلینیکی آنها می‌شود. هرچند که خواص مکانیکی سرامیک و قابلیت کارکرد کلینیکی آن تحت تأثیر عوامل مختلفی قرار می‌گیرد، ولی استحکام و fracture toughness به عنوان اولین شاخص‌های ارزیابی سرامیک‌ها در نظر گرفته می‌شود (۷).

مطالعه حاضر با هدف ارزیابی اثر سرامیک زیرکونیا (Cosmopost) در استحکام خمشی IPS Empress 2 و مقایسه آن با استحکام خمشی کور سرامیک In-ceram انجام شد. اگر Cosmopost باعث تقویت استحکام خمشی IPS Empress 2 شود، می‌توان در داخل اینله - بریج باند شونده با رزین که با IPS Empress 2 ساخته شده است، آن را به صورت طولی برای تقویت کانکتورها قرار داد.

## روش بررسی

### تهیه نمونه‌ها

مواد مورد استفاده مطالعه در جدول ۱ قابل مشاهده است. در این مطالعه تجربی - آزمایشگاهی ۲۸ نمونه سرامیکی به شکل مکعب مستطیل به ابعاد  $17 \text{ mm} \times (3 \pm 0/2) \times (3 \pm 0/2)$  در چهار گروه ۷ تایی تهیه شد. در گروه ۱ (گروه کنترل) از سرامیک In-ceram alumina به روش slip casting استفاده شد.

امروزه سرامیک‌ها جایگزین فلز در کراون و بریج‌ها شده‌اند. از معایب ترمیم‌های فلز - سرامیک عدم زیبایی به ویژه در یک سوم لثه‌ای و تغییر رنگ لثه و حساسیت به آلیاژهای بیس متال و noble است (۱). زیبایی و سازگاری نسجی بهتر باعث روی آوردن دندانپزشکان به سیستم‌های تمام سرامیکی شده است.

برای جایگزین کردن دندان از دست رفته، بریج‌های تمام سرامیکی با نگهدارنده اینله که با سیمان چسبانده می‌شوند به علت تراش حداقل و حفظ سلامت دندان و حفظ نسوج پریو، ترمیم محافظه کارانه‌تری به نظر می‌رسند (۲).

در بین انواع مختلف سرامیک مورد استفاده در بریج‌های سه واحدی، گلاس سرامیک IPS Empress 2 (hot press) برای جایگزین کردن یک دندان، در ناحیه دندان‌های قدامی تا پره‌مولر اول معرفی شد. سطح مقطع کانکتور پیشنهادی  $16 \text{ mm}^2$  است (۳، ۴). در بعضی موارد به علت ارتفاع کم انسوزو جینجیوالی دندان در پروگزیمال با محدودیت روبرو می‌شویم (۳، ۵، ۶).

تحقیقات قبلی نشان داده‌اند که تجمع استرس در بریج‌های تمام سرامیکی باند شونده با رزین اغلب موارد در ناحیه کانکتور میان دندان پایه و پونتیک است (۳، ۵، ۶).

تقویت سرامیک کور مورد استفاده در این بریج‌ها باعث

جدول ۱- مواد مورد استفاده در مطالعه

نام ماده	کارخانه سازنده	LOT (Batch No)
IPS Empress 2 core Ingot	Ivoclar vivadent (Schaan, Liechtenstein)	F67167
Invex liquid IPS 2	Ivoclar vivadent (Schaan, Liechtenstein)	DO7912
Cosmopost	Ivoclar vivadent (Schaan, Liechtenstein)	E04353, E28874, F39964
Special investment material IPS 2	Ivoclar vivadent (Schaan, Liechtenstein)	F97070
Investment liquid IPS 2	Ivoclar vivadent (Schaan, Liechtenstein)	F98057
In-Ceram Alumina core	Vita Zahnfabrik (Germany)	6264
Glass (In-ceram)	Vita Zahnfabrik (Germany)	6440L

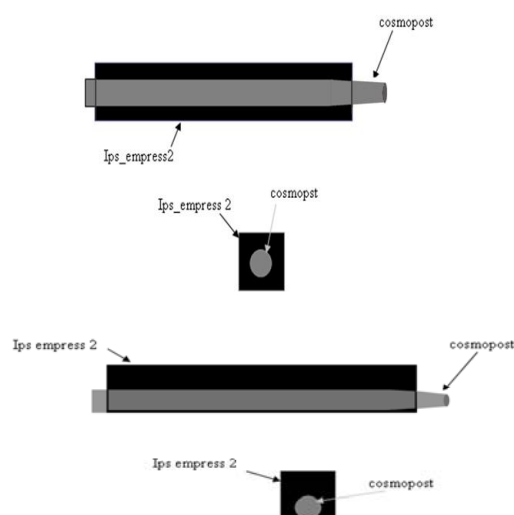
و بعد از اسپروگذاری در داخل سیلندر مخصوص قرار گرفت. بعد از ریختن گچ اینوستمنت مخصوص و سخت شدن آن، سلیندر اینوستمنت به همراه پلانگر آلومینا به کوره منتقل شد تا موم داخل آن حذف شود (۳۰ دقیقه در دمای  $250^{\circ}\text{C}$  و ۶۰ دقیقه در  $850^{\circ}\text{C}$ ). بعد از آن سلیندر اینوستمنت به همراه ingot کور سرامیک IPS Empress 2 و پلانگر آلومینا به کوره EP 600 (Press Furnace Empress) منتقل گردید تا ingot به مدت ۲۰ دقیقه در حرارت  $920^{\circ}\text{C}$  با فشار ۵ bar به داخل مولد تزریق شود. پس از سرد شدن مولد گچ‌ها به وسیله سند بلاست حذف شد.

نمونه‌ها در مایع Invex (۲٪ HF + ۱٪ اسید سولفوریک + ۹۷٪ آب) به مدت ۲۰ دقیقه قرار گرفت و سپس اسپروها به وسیله دیسک الماسی همراه آب حذف شد.

در گروه ۳ یک پست زیرکونیا (Cosmopost) به قطر ۱/۴ mm در داخل مولد فلزی مخصوص به ابعاد ۳/۱×۳/۱×۱۷ mm قرار گرفت. پس از موم‌گذاری از داخل آن یک الگوی مومی به ابعاد ۳/۱×۳/۱×۱۷ mm به دست آمد که یک پست زیرکونیا به صورت طولی در مرکز آن مکعب مستطیل قرار داشت. ۱/۵ mm از دو طرف الگوی مومی اضافه پست بیرون زده باقی ماند (شکل ۱). بقیه مراحل کار مانند گروه ۲ بود. در مرحله حذف موم پست زیرکونیا در محل خود باقی مانده و موم حذف شد.

گروه ۴ همانند گروه ۳ بود با این تفاوت که فقط پست زیرکونیا (Cosmopost) به صورت طولی در وسط سطح زیرین مکعب مستطیل الگوی مومی قرار گرفت. بقیه مراحل مانند گروه ۳ بود (شکل ۱).

ابتدا در مولد مخصوص ساخته شده به ابعاد ۳/۱×۳/۱×۱۷ mm (شکل ۱)، توسط گچ‌های مخصوص، In-ceram آماده شد. سپس روی آن سوسپانسیون slip (پودر آلومینا + آب) به وسیله قلم مو اضافه شد تا کور آلومینا ساخته شود. کور آلومینا در داخل کوره مخصوص Vita In-ceram III قرار داده شد تا عمل sintering انجام شود. پس از آن به وسیله شیشه مذاب لاتانوم آلومینو سیلیکات تحت عمل اینفیلتراسیون قرار گرفت تا شیشه تخلخل‌های کور آلومینا را پر کند. سپس اضافات گلاس تحت عمل سند بلاست با ذرات آلومینای  $50\ \mu\text{m}$  با فشار ۲ bar حذف شد.



شکل ۱- از بالا به پایین نمای شماتیک نمونه‌های گروه ۳ و ۴

در گروه ۲ از کور سرامیک IPS Empress 2 استفاده شد. ابتدا الگوی مومی به ابعاد ۳/۱×۳/۱×۱۷ mm در داخل مولد فلزی تهیه شد

جدول ۲- نتایج مربوط به آزمون خمشی سه نقطه‌ای

گروه	مواد	متوسط استحکام خمشی (MPa)	انحراف معیار (SD)	خطای معیار	۹۵٪ ضریب اطمینان	
					حد تحتانی	حد فوقانی
۱	In-Ceram Alumina	۳۷۸/۴۴	۴۶/۶۲	۱۵/۷۸	۳۴۱/۱۴	۴۱۵/۷۵
۲	IPS Empress 2	۲۵۸/۵۶	۲۷/۴۸	۹/۷۲	۲۳۵/۵۸	۲۸۱/۵۵
۳	IPS Empress 2+ Zr (middle)	۱۴۴/۳۲	۵۱/۶۷	۱۸/۲۷	۱۰۱/۱۳	۱۸۷/۵۲
۴	IPS Empress 2+Zr (bottom)	۲۳۰/۷۸	۲۲/۲۹	۸/۴۲	۲۱۰/۱۷	۲۵۱/۴

نمونه‌های گروه ۴ به گونه‌ای در دستگاه قرار گرفتند که طرف دارای پست زیرکونیا پایین و تحت استرس کششی قرار گیرد.

#### مشاهده نمونه‌ها با میکروسکوپ الکترونی (SEM)

بعد از شکست نمونه‌ها، قطعات شکسته شده به همراه نمونه‌های اضافی برش داده شده مشابه گروه ۳ در محلول اتانول ۷۰٪ به مدت ۱۵ دقیقه در دستگاه اولتراسونیک قرار گرفتند. سپس قطعات با آب شستشو داده شده و خشک گردید. نمونه‌ها با چسب روی صفحه فلزی مخصوص ثابت شد. جهت هدایت الکتریکی به لبه‌ها چسب نقره مالیده شد و سطوح با طلا پوشیده گردید (BL-TEC, SCDOOS, Swiss) و Sputter coater (Philips. XXL 30 The Netherlands) پوشیده شدند. ارزیابی شدند.

اطلاعات مربوط به استحکام خمشی سه نقطه‌ای گروه‌ها به وسیله آنالیز واریانس یک‌طرفه (One-way ANOVA) و Post-hoc (Tomhane) با سطح معنی‌داری  $p < 0.05$  مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت.

#### یافته‌ها

متوسط استحکام خمشی سه نقطه‌ای و انحراف معیار برحسب مگاپاسکال برای هر یک از ۴ گروه در جدول ۲ قابل مشاهده است. آنالیز واریانس ANOVA بین استحکام خمشی گروه‌های مورد مطالعه اختلاف آماری معنی‌داری را نشان داد ( $P < 0.001$ ).

پس از تهیه نمونه‌های سرامیکی چهار گروه، گوشه‌های تمام نمونه‌ها به وسیله کاغذهای سیلیکون کارباید ۴۰۰ grit گرد شد. سپس تمام نمونه‌ها در شرایط مرطوب به وسیله کاغذهای سیلیکون کارباید ۲۲۰، ۴۰۰، ۶۰۰، ۸۰۰ و ۱۰۰۰ grit پرداخت شدند.

تمام نمونه‌ها در دستگاه اولتراسونیک با آب مقطر به مدت ۱۵ دقیقه تمیز شدند. عرض ( $3 \pm 0.2$  mm) و ارتفاع ( $3 \pm 0.2$  mm) نهایی نمونه‌های ۴ گروه به وسیله کولیس دیجیتالی اندازه‌گیری شد. در ضمن ۴ نمونه اضافی مشابه گروه ۳ ساخته شد. مقطع عرضی از آنها تهیه گردید تا قبل از شکست سرامیک، ناحیه حد فاصل پست زیرکونیا و پرسن IPS Empress 2 با میکروسکوپ الکترونی (SEM) ارزیابی شود.

#### استحکام خمشی سه نقطه‌ای

تست استحکام خمشی سه نقطه‌ای در دستگاه universal testing (Zwick/ Roel, model 2020) با طول span ۱۵ میلی‌متر و با سرعت ۰/۵ mm/min انجام شد. استحکام خمشی سه نقطه‌ای به وسیله فرمول زیر محاسبه گردید:

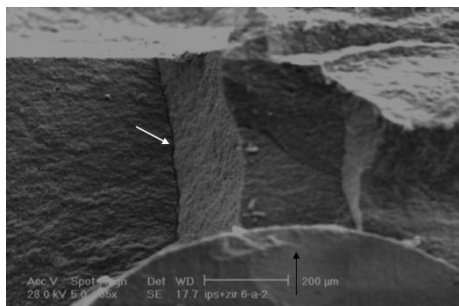
$$\delta_{3p} = \frac{3WL}{2bd^2}$$

W: نیروی شکست (N)

L: طول span (mm)

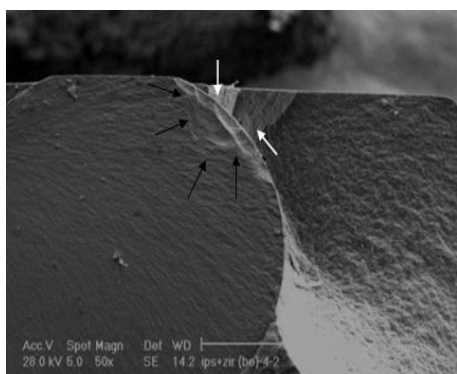
b: پهناي نمونه (mm)

d: ضخامت نمونه (mm)

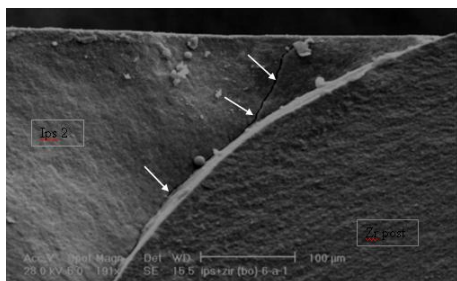


شکل ۳ (ب) - نمای SEM سطح مقطع شکسته شده از گروه ۳. ترک از سطح آغاز شده و در ناحیه حد فاصل پخش می شود (فلش سفید). ترک در پست زیرکونیا ادامه پیدا می کند (فلش سیاه).

در گروه ۴ شکست یا از ناحیه حد فاصل پست زیرکونیا (Cosmopost) و پرسن IPS Empress 2 در سطح زیرین نمونه و یا از پرسن ضعیف و نازک در زیر Cosmopost شروع شده و در ناحیه حد فاصل پخش شد، شکست نهایی وقتی رخ داد که در خود زیرکونیا هم ترک شروع شده و کل نمونه دچار شکست شود (شکل ۴).



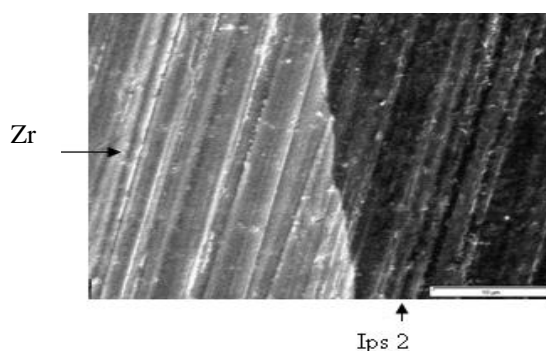
شکل ۴ (الف) - نمای SEM سطح مقطع شکسته شده از گروه ۴. فلش های سیاه محل شروع شکستگی در پست زیرکونیا را نشان می دهند. فلش سفید شروع شکستگی را در کف نمونه در پرسن IPS Empress 2 نشان می دهد.



شکل ۴ (ب) - نمای SEM سطح مقطع شکسته شده از گروه ۴. فلش سفید مسیر ترک را نشان می دهد.

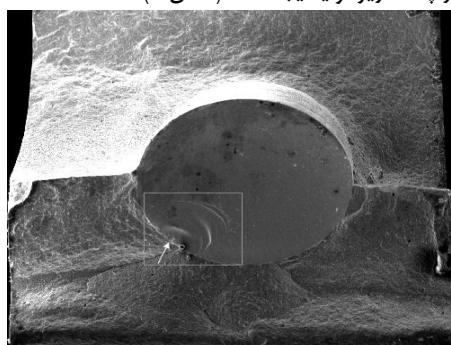
بیشترین استحکام خمشی مربوط به گروه ۱ (In-ceram alumina) و کمترین مربوط به گروه ۳ (وسط) IPS Empress 2+Zr بود. مطابق با نتایج آزمون Post hoc (Tomhane) بین دو گروه ۱ و ۳ اختلاف معنی دار بود ( $P < 0.05$ ).

دو نمونه از گروه ۳ و یک نمونه از گروه ۴ در حین انجام آزمون خمشی سه نقطه ای قبل از شکست کامل نمونه دچار پریدگی پرسن شدند. در بررسی SEM نمونه های مشابه گروه ۳ که به طور عرضی برش داده شده بودند، هیچ فاصله ای بین پست زیرکونیا و IPS Empress 2 دیده نشد (شکل ۲).



شکل ۲ - ارزیابی با میکروسکوپ الکترونی (SEM) سطح مقطع برش خورده یک نمونه از گروه ۳. در ناحیه حد فاصل بین دو ماده پست زیرکونیا و IPS Empress 2 مشخص است که هیچ فاصله ای بین دو ماده نیست (بزرگنمایی ۳۰۰۰ برابر)

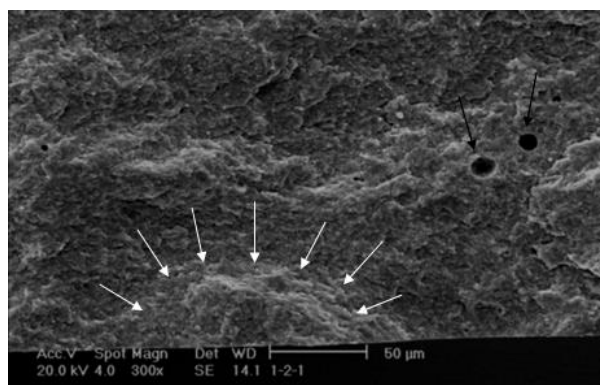
در گروه ۳ شکست از سطح زیرین نمونه آغاز شده و به طرف بالا پیشرفت نمود و در ناحیه حد فاصل پخش گردید. شکست نهایی با شروع ترک در پست زیرکونیا ایجاد شد (شکل ۳).



شکل ۳ (الف) - نمای SEM سطح مقطع شکسته شده از گروه ۳. محل شروع شکستگی در داخل پست زیرکونیا با فلش نشان داده شده است. خطوط Wallner عمود بر جهت شکستگی در پست زیرکونیا مشخص شده است (بزرگنمایی ۵۰۰ برابر)

در بررسی SEM سطح شکسته شده گروه ۲ در سطح زیرین نمونه، نشانه‌های اختصاصی نقطه شروع شکست دیده نشد (شکل ۵).

در بررسی SEM سطح شکسته شده گروه ۲ در سطح زیرین نمونه، نشانه‌های اختصاصی نقطه شروع شکست دیده نشد (شکل ۵).



شکل ۵- نمای SEM سطح شکسته شده یک نمونه از گروه ۲. فلش‌های سفید محل شروع شکستگی را نشان می‌دهد. دو Pore (سوراخ) هم با فلش‌های سیاه نشان داده شده است.

## بحث و نتیجه‌گیری

شکست وقتی رخ می‌دهد که استرس وارده بیشتر از استحکام ماده باشد. شکست سرامیک‌ها از ضعیف‌ترین flaw شروع می‌شود (۸). طبق مطالعه Cattell و همکاران heat treatment (سیکل‌های حرارتی اضافی بعد از پخت) اثری روی استحکام خمشی IPS Empress 2 (E2) ندارد (۹). در این مطالعه In vitro تأثیر سرامیک زیرکونیا (به صورت Cosmopost) در بهبود استحکام خمشی سرامیک E2 بررسی شد.

به دلیل شکل ساده نمونه‌ها و طراحی راحت دستگاه و بازوها از آزمایش خمش سه نقطه‌ای در این مطالعه استفاده شد (۱۰). البته عیب این آزمایش این است که ناحیه نسبتاً کوچکی از نمونه تحت استرس کششی بالا قرار می‌گیرد. نمونه‌ها در این آزمون بسیار به نقص سطح و لبه‌ها حساس هستند. در آزمون خمشی ۴ نقطه‌ای پخش استرس بهتر است، ولی هنوز به نقص لبه و سطح حساس می‌باشد. در Biaxial bend test بیشترین استرس کششی در ناحیه مرکز رخ می‌دهد و شکست‌های لبه‌ای حذف می‌شود (۱۰). در این مطالعه از آزمون خمشی Biaxial استفاده نشد، زیرا پست زیرکونیا به شکل میله است و نمی‌توان از نمونه‌های دیسکی (جهت آزمون Biaxial) استفاده کرد. به دلیل قطر ۱/۴mm پست زیرکونیا (Cosmopost) استفاده شده در این مطالعه، اندازه نمونه‌ها براساس استاندارد ISO 6872

(۱۱) و Cattell و همکاران (۹) ونیر روی استحکام E2 اثری ندارد. همچنین مطالعه Edelhoff و Sorensen نشان داده است که حرارت روی استحکام پست زیرکونیا اثر مخربی ندارد (۱۲). طبق تحقیق حاضر استحکام خمشی سه نقطه‌ای IA (In-ceram alumina) به طور معنی‌داری بیشتر از E2 بود (۲۵۸ مگاپاسکال در مقابل ۳۷۸ مگاپاسکال).

Guazzato و همکاران در مطالعه خود، استحکام خمشی IA (۵۴۹ MPa) را بالاتر از E2 (۳۰۶ MPa) نشان دادند (۱۳). طبق گزارش کارخانه سازنده E2 (Ivoclar) استحکام خمشی سه نقطه‌ای آن  $350 \pm 50$  MPa است که بالاتر از استحکام خمشی به دست آمده برای E2 در مطالعه حاضر می‌باشد ( $258 \pm 28$  MPa). چنین تفاوتی می‌تواند مربوط به اختلاف در شکل نمونه‌ها و آزمایش و آماده‌سازی سطح نمونه‌ها و شرایط آزمایشگاهی باشد.

در مطالعه Chong و همکاران استحکام خمشی سه نقطه‌ای برای IA ( $362 \pm 90$  MPa) گزارش شد (۱۴) که تقریباً برابر مقدار به دست آمده در مطالعه حاضر بود.

استحکام خمشی کور IA بسته به نوع و روش مورد آزمایش از ۲۳۶ تا ۵۳۰ مگاپاسکال گزارش شده است. در کل در هر آزمایشی استرس شکست بستگی زیادی به پرداخت سطح دارد (۱۴).

طبق مطالعه Bona و همکاران استحکام خمشی سه نقطه‌ای در محیط خشک (هوا) حدود ۳۰٪ بالاتر از مقدار به دست آمده از استحکام خمشی چهار نقطه‌ای در آب است (۱۱). در مطالعه حاضر (محیط خشک و دمای اتاق  $25^\circ\text{C}$ ) استحکام خمشی سه نقطه‌ای در هوا برای E2 (۲۵۸ MPa) حدود ۱۸٪ بیشتر از استحکام خمشی چهار نقطه‌ای در آب در مطالعه Bona و همکاران (۲۱۵ MPa) بود (۱۱).

استحکام خمشی گروه ۳ E2+Zr (middle) ( $144 \pm 51$  MPa) به طور معنی‌داری کمتر از گروه ۲ (E2) بود. طبق مطالعه Edelhoff و Sorensen، وقتی یک گلاس سرامیک روی Cosmopost قرار داده می‌شود، اگر ضریب انبساط حرارتی سرامیک بیشتر از Cosmopost باشد، در طی سرد شدن یک استرس کششی در سرامیک به وجود می‌آید که باعث تسریع رشد ترک ریز (microcrack) در داخل گلاس

حد فاصل در مطالعه حاضر هم هیچ فاصله‌ای بین پست زیرکونیا و E2 در SEM مشاهده نشد.

دو نمونه از گروه ۳ دچار پریدگی پرسنل در زیر پیستون وارد کننده نیرو شدند. علت این پریدگی ترک روی پرسنل بود که به علت flaw سطحی به وجود آمده و در ناحیه حد فاصل پخش می‌شود و قبل از شکست پست زیرکونیا باعث پریدگی پرسنل E2 روی می‌شود. همچنین یک نمونه از گروه ۴ هم دچار پریدگی پرسنل در زیر نمونه شد. علت این امر یک ترک آغاز شده از کف نمونه بود که در ناحیه حد فاصل پخش شده و قبل از شکست پست زیرکونیا باعث پریدگی پرسنل E2 از زیر نمونه شد.

در پروسه شکست قسمتی از انرژی نیروی مکانیکی وارد شده صرف ایجاد سطح جدیدی به نام fracture surface می‌شود که دارای سه جزء است:

۱- Smooth mirror region

۲- Mist region

۳- Hackle region

اولین ناحیه smooth mirror است که به وسیله رشد آهسته ترک موقع آغاز شکست، در ماده ایجاد می‌شود و نسبتاً صاف است.

وقتی ترک رشد می‌کند انرژی strain و kinetic افزایش می‌یابد و باعث زیاد شدن سرعت ترک می‌شود. در انتهای آن افزایش انرژی باعث ایجاد ترک‌های ریز (microcracks) اضافی در نوک ترک می‌شود که این ترک‌های ریز انرژی کافی برای پیشرفت ندارند و باعث ایجاد ناحیه mist در سطح می‌شود که کمی نقطه نقطه است. سپس انرژی اضافه باعث رشد پایدار ترک‌های ثانویه به نام hackle region و در انتها منجر به پخش ماکروسکوپی ترک می‌شود (۱۸).

در نمونه‌های گروه ۱ (IA) محل شروع شکست به صورت واضح در نمای SEM دیده نشد. طبق مطالعات قبلی (۱۹، ۱۸) در سرامیک‌های متخلخل (porous)، چند فاز و یا دانه درشت (coarse grain)، نشانه‌های واضح محل شروع شکست (Hackle, Mist, Mirror) وجود ندارد. در ضمن نمای mirror می‌تواند به علت اندازه بزرگ دانه (grain) و در کمتر از ۲۵٪ شکست‌های transgranular (شکسته شدن کریستال‌های آلومینا) پاک شود و دیده نشود (۱۹). اغلب شکست‌های IA هم از نوع

سرامیک می‌شود (۱۲). در مطالعه حاضر هم ضریب انبساط حرارتی برای E2 ( $10^{-6} \times 10^{-6} K^{-1}$ ) بیشتر از Cosmopost ( $10^{-6} \times 10^{-6} K^{-1}$ ) بود که ممکن است باعث تسریع رشد ترک ریز (microcrack) در سرامیک E2 شود.

در مطالعه Steiner و همکاران در سیستم‌های سرامیک-سرامیک، حد تحمل مناسب (safe tolerance) برای اختلاف ضریب انبساط حرارتی سرامیک-سرامیک کمتر از  $10^{-6} \times 10^{-6} K^{-1}$  گزارش شد (۱۵). در مطالعه حاضر اختلاف دو سرامیک (E2 و Zr)  $10^{-6} \times 10^{-6} K^{-1}$  بود که شاید باعث ایجاد ترک‌های رادیال در سرامیک E2 در طی سرد شدن شود.

طبق مطالعه Guazzato و همکاران (۱۷) مواد تشکیل دهنده سطح تحت کشش بیشترین اثر را روی استحکام خمشی دارد. در مطالعه حاضر در گروه ۳ همان ماده‌ای که تحت فشار (زیر پیستون) بود (E2)، تحت کشش هم قرار گرفت و فقط پست زیرکونیا در وسط نمونه قرار گرفته بود که شاید خود به صورت یک نقص بزرگ عمل کند. در بررسی finite element سرامیک‌های دو لایه (۱۷، ۱۶) وقتی سرامیک کور روی سرامیک ونیر قرار می‌گیرد، یک استرس کششی اضافی در زیر کور (در ناحیه حد فاصل) به وجود می‌آید و موقع شکست، دو محل شروع شکست به وجود می‌آید، یکی در کف پرسنل ضعیف‌تر زیرین، که به ناحیه حد فاصل می‌رسد و در آنجا پخش می‌شود و ترک دومی در کف کور (ناحیه حد فاصل) که باعث شکست نمونه می‌گردد. در بررسی SEM گروه ۳ هم به نظر می‌رسد که ترک از ۲ جا شروع شده است. یکی در کف E2 و یکی هم در کف Zr (پست Cosmopost).

استحکام خمشی گروه ۴ (E2+ Zr (bottom)) از نظر آماری برابر گروه ۲ و به طور معنی‌داری بیشتر از گروه ۳ بود.

در گروه ۴ Cosmopost با fracture toughness بالا (۷ MPa) و استحکام بالا ( $>800$  MPa) به همراه E2 تحت حداکثر کشش قرار گرفت. به نظر می‌رسد استحکام خمشی آن بالاتر از گروه ۲ (E2 به تنهایی) باشد، ولی این گونه نبود. ناحیه حد فاصل بین Zr و E2 ممکن است خود به صورت یک flaw سطحی عمل کند.

در کل محل شکست و نوع شکست به شدت تحت تأثیر روش آزمایش، استرس‌های باقیمانده ناشی از مراحل ساخت (processing)، اثرات محیط و خواص ناحیه حد فاصل می‌باشد (۱۶). در بررسی ناحیه

نمونه سرامیک E2 تأثیری در استحکام خمشی سرامیک ندارد. در پایان پیشنهاد می‌شود که استحکام باند میان Cosmopost و سرامیک IPS Empress 2 ارزیابی شده و نیز یک بررسی finite element برای نمونه‌های این مطالعه انجام شود.

### تشکر و قدردانی

این مقاله نتیجه طرح تحقیقاتی مصوب دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی و درمانی تهران به شماره قرارداد ۱۳۲/۶۷۴۶ مورخ ۸۴/۸/۱۷ می‌باشد. بدینوسیله از کمک‌های مالی معاونت پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی تهران که منجر به اجرای این تحقیق گردید، صمیمانه تشکر می‌شود. همچنین از آقای دکتر خرازی فرد مشاور آمار و آقای مهدی ابدار که صمیمانه ما را در اجرای این تحقیق یاری نمودند، قدردانی می‌گردد.

transgranular می‌باشد (۱۴،۷). در تعداد محدودی از نمونه‌های گروه ۲، ۳ و ۴ هم نشانه‌های اختصاصی پروسه شکست و نقطه شروع شکست (Hackle, Mirror) دیده شد (شکل ۵).

طبق مطالعه Della Bona نشانه‌های اختصاصی پروسه شکست در گلاس آمورف نسبت به سرامیک کریستالی واضح‌تر دیده می‌شود و در ساختارهای پیچیده‌تر مشخص کردن نشانه‌های اختصاصی شکست مشکل‌تر است (۲۰). همچنین بزرگ‌ترین مشکل آنالیز فرکتوگرافی (آنالیز محل شکست) تعیین محل شروع شکست و تعیین ابعاد آن است (۲۱).

طبق این مطالعه کاربرد پست زیرکونیا (Cosmopost) در داخل سرامیک IPS Empress 2 (E2) پیشنهاد نمی‌شود، زیرا نه فقط باعث تقویت استحکام خمشی نمی‌شود، بلکه باعث کاهش استحکام IPS Empress 2 نیز می‌گردد. همچنین کاربرد Cosmopost در زیر

### منابع:

- Hansen P, West LA. Allergic reaction following insertion of a Pd-Cu-Au fixed partial denture: a clinical report. *J Prosthodont* 1997; 6(2): 144-8.
- Kilicarslan MA, Kedici PS, Kucukesmen HC, Uludag BC. In vitro fracture resistance of posterior metal-ceramic and all-ceramic inlay-retained resin-bonded fixed partial dentures. *J Prosthet Dent* 2004; 92(4):365-70.
- Raigrodski A, Chiche G. The safety and efficacy of anterior ceramic fixed partial dentures: A review of the literature. *J Prosthet Dent* 2001; 86(5): 520-5.
- Sorensen JA, Cruz M, Mito WT, Raffener O, Meredith HR, Foser HP. A clinical investigation on three-unit fixed partial denture fabricated with a lithium disilicate glass-ceramic. *Prac Periodont Aesthet Dent* 1998; 11(1): 95-106.
- Koutayas S, kern M, Ferarso F, Strub JR. Influence of design and mode of loading on fracture strength of all ceramic resin-bonded fixed partial dentures. *J Prosthet Dent* 2000; 83(5): 540-47.
- Pospiech P, Rammelsberg P, Goldhofer G, Gemet W. All-ceramic resin-bonded bridges. *Eu J Oral Sci* 1996; 104(4): 390-95.
- Guazzato M, Albakry M, Swain MV, Ironside J. Mechanical properties of In-ceram Alumina and in-Ceram Zirconia. *Int J Prosthodont* 2002; 15(4): 339-46.
- Della Bona A, Mecholsky Jr J, Anusavice KJ. Fracture behavior of lithia disilicate- and leucite-based ceramics. *Dental Materials* 2004; 20(1): 956-62.
- Cattell MJ, Palumbo RP, Knowles JC, Clarke RL, Samarawickrama DY. The effect of veneering and heat treatment on the flexural strength of Empress 2 ceramics. *Journal of Dentistry* 2002; 30(4):161-69.
- Zeng K, Oden A, Rowcliffe D. Flexure tests on dental ceramics. *Int J Prosthodont* 1996; 9(5): 434-43.
- Bona AD, Anusavice KJ, Dehoff PH. Analysis and flexural strength of hot-pressed core and veneered ceramic structures. *Dental Materials* 2003; 19(7): 662-69.
- Edelhoff D, Sorensen JA. Retention of selected core materials to zirconia posts. *Operative Dentistry* 2002; 27(5):455-61.
- Guazzato M, Albakry M, Ringer S, Swain MV. Strength, fracture toughness and microstructure of a selection of all-ceramic materials. Part I. Pressable and alumina glass-infiltrated ceramics. *Dental Materials* 2004; 20(5):441-45.
- Chong KH, John C, Takahashi Y, Wozniak W. Flexural strength of In-ceram Alumina and In-ceram Zirconia core materials. *Int J Prosthodont* 2002; 15(2):183-88.
- Steiner P, Kelly JR, Giuseppetti AA. Compatibility of ceramic-ceramic system for fixed prosthodontics. *Int J Prosthodont* 1997; 10(4):375-80.
- Guazzato M, Proos K, Quach L, Swain MV. Strength, reliability and mode of fracture of bilayered porcelain/zirconia (Y-TZP) dental ceramics. *J Biomaterials* 2004; 25(20):5045-52.
- Guazzato M, Proos K, Sara G, Swain MV. Strength, reliability, and mode of fracture of bilayered porcelain/core ceramics. *Int J Prosthodont* 2004; 17(2):142-49.
- Kelly JR, Campbell SD, Bowen HK. Fracture surface analysis of dental ceramics. *J Prosthet Dent* 1989; 62(5):536-41.
- Quinn JB, Quinn GD, Kelly JR, Scherrer SS. Fractographic analyses of three ceramic whole crown restoration failures. *Dental Materials* 2005; 21(10):920-29.
- Della Bona A. Characterizing ceramics and the interfacial adhesion to resin: I-the relationship of microstructure, composition, properties and fractography. *J Appl Oral Sci* 2005; 13(1):1-9.
- Scherrer SS, Kelly JR, Quinn GD, Xu K. Fracture toughness of a dental porcelain determined by fractographic analysis. *Dental Materials* 1999; 15(5): 342-48.