

## مقایسه استحکام پیوند پرسلن به فلز در آلیاژهای نابل، بیس متال با و بدون بریلیوم با روش آنالیز SEM/EDS

شیرین معماران\*، امید صوابی<sup>۱</sup>، فرحناز نجاتی دانش<sup>۱</sup>، محمدحسین فتحی<sup>۲</sup>

### چکیده

**مقدمه:** یکی از نیازمندی‌های اساسی سیستم‌های متال-سرامیک، اتصال مناسب پرسلن و فلز است. بررسی اتصال در سطح اتمی با آنالیز اتم‌های سیلیسیوم، روشی دقیق برای تعیین قدرت اتصال پرسلن و فلز می‌باشد. هدف از این مطالعه، ارزیابی استحکام اتصال پرسلن به سه آلیاژ نابل، بیس متال با و بدون بریلیوم بود.

**مواد و روش‌ها:** در این مطالعه تجربی، ۶ نمونه (به شکل مربع  $1 \times 10 \times 10$  میلی‌متر) از سه نوع آلیاژ نابل (بگوستار)، بیس متال حاوی بریلیوم (رکسیلیوم ۳) و بیس متال فاقد بریلیوم (ویرون ۹۹) تهیه گردید. نمونه‌ها با ذرات اکسید آلومینیوم ۵۰ میکرومتر سند بلاست شد. پس از آماده‌سازی سطحی، پرسلن (به شکل دایره با قطر ۶ و ضخامت ۱ میلی‌متر) در مرکز آنها قرار گرفت و پخته شد. سپس نمونه‌ها به وسیله دستگاه تست یونیورسال با سرعت کراس‌هد  $0.5$  میلی‌متر در دقیقه تحت آزمایش برشی صفحه‌ای شکسته شدند و در سه مرحله، برای تعیین درصد اتمی سیلیسیوم با میکروسکوپ الکترونی با بزرگ‌نمایی  $50 \times$  مورد بررسی قرار گرفتند. قدرت اتصال پرسلن به نمونه‌های آلیاژ با تعیین شاخص AFAP (Area Fraction Adherent Porcelain) ارزیابی شد. نتایج با آنالیز واریانس یک طرفه و تست تکمیلی LSD بررسی گردید.

**نتایج:** شاخص AFAP در بین گروه‌های مورد آزمایش تفاوت معنی‌دار داشت. AFAP گروه آلیاژ نابل ( $0.97 \pm 0.07$ ) بطور مشخصی بالاتر از دو گروه دیگر بود. در میان گروه آلیاژهای بیس متال نیز میزان شاخص AFAP گروه حاوی بریلیوم ( $0.45 \pm 0.13$ ) بالاتر از گروه بدون بریلیوم ( $0.17 \pm 0.04$ ) به دست آمد. **نتیجه‌گیری:** بالاتر بودن شاخص AFAP در آلیاژ نابل، استحکام اتصال بیشتر پرسلن و فلز را نسبت به آلیاژهای بیس متال تأیید می‌کند. در بین آلیاژهای بیس متال نیز انواع حاوی بریلیوم، AFAP و استحکام اتصال بالاتری دارند.

**کلیدواژه‌ها:** استحکام پیوند سرامیک به فلز، آلیاژهای نابل، آلیاژهای بیس متال، بریلیوم، ترمیم‌های متال سرامیک.

\* دکتر شیرین معماران (استادیار)، گروه پروتزهای دندانی، دانشکده دندان پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، خیابان هزارگریب، اصفهان.

۱: دانشیار دانشکده دندان پزشکی دانشگاه علوم پزشکی اصفهان و ۲: دانشیار دانشگاه صنعتی اصفهان.

این مقاله در تاریخ ۸۴/۱۲/۲۰ به دفتر مجله رسیده، در تاریخ ۸۵/۲/۲۱ اصلاح شده و در تاریخ ۸۵/۳/۱۰ تأیید گردیده است.

مجله دانشکده دندان پزشکی اصفهان  
۱۳۸۵؛ ۲(۱): ۴۷ تا ۵۲

## مقدمه

یکی از ملزومات اساسی سیستم متال‌سرامیک، اتصال مناسب بین پرسنل و فلز برای تأمین استحکام مطلوب ترمیم می‌باشد. تجربیات کلینیکی ثابت کرده‌اند که پیوند پرسنل با آلیاژهای طلا رضایت‌بخش است. از طرفی، با افزایش سریع قیمت طلا و همچنین نیاز به وجود آلیاژهایی با استحکام بالاتر که در برابر خزش مقاومت نمایند، توجه همگان را به استفاده از آلیاژهای ارزان‌تر و مقاوم‌تر جلب کرده است [۱].

آلیاژهای بیس‌متال دارای خصوصیات مطلوبی مانند قیمت پایین، استحکام، نقطه ذوب بالا و تغییر شکل کمتر به هنگام پخت پرسنل هستند ولی نسبت به آلیاژهای با درصد بالاتر فلزات نابل از نظر زیست‌سازگاری، مطلوبیت کمتری دارند [۲ تا ۵]. تحقیقات متعددی در مورد استحکام پیوند پرسنل به آلیاژهای نابل و بیس‌متال انجام شده و نتایج متفاوتی به دست آمده است. علی‌رغم وجود آزمایش‌های متعدد، طرح پذیرفته شده قابل قبولی برای اندازه‌گیری استحکام پیوند حقیقی سیستم‌های متال - سرامیک وجود ندارد [۳، ۶ تا ۹].

تحلیل استرس آزمایش‌های رایج اتصال متال - سرامیک به روش اجزای محدود، نشان‌دهنده حداکثر میزان استرهای برشی در ناحیه نزدیک محل اعمال نیرو است [۱۰].

در یکی از اولین مطالعات انجام شده در مورد استحکام پیوند آلیاژ بیس‌متال - پرسنل نشان داده شده که مقادیر استحکام پیوند برشی - کششی برای آلیاژهای نیکل - کروم - بریلیم بالاتر از آلیاژ طلا می‌باشد [۱۱]. در تحقیقی دیگر، استحکام پیوند برشی - کششی آلیاژ نیکل - کروم برای نمونه‌های با طول بیشتر، بالاتر بود [۱۲].

در مطالعه بر روی فلزات مختلف بیس‌متال مشخص گردید که آلیاژهای بیس‌متال حاوی بریلیم نسبت به آلیاژهای بدون بریلیم از استحکام پیوند بالاتر پرسنل - فلز برخوردار هستند [۱۳ تا ۱۵]. نتایج چند مطالعه برای بررسی استحکام پیوند با آزمایش برشی - صفحه‌ای نشان‌دهنده مقادیر پایین‌تر استحکام پیوند در گروه آلیاژ بیس‌متال نسبت به گروه آلیاژ نابل بوده است [۱۶ و ۱۷].

روش آزمایش برشی صفحه‌ای می‌تواند سیستم‌های پیوند ضعیف و قوی را مشخص کرده [۱۸] و ایده‌آل‌ترین روش برای جمع‌آوری اطلاعات برای ارزیابی چسبندگی فلز - پرسنل باشد [۱۳]. یک روش دقیق برای مشخص کردن میزان اتصال پرسنل به فلز، بررسی اتصال در سطح اتمی است که با روش SEM/EDS ( Scanning Electron Microscope / Energy Dispersive Spectroscopy ) برای آنالیز خصوصیات تابشی پرتو ایکس اتم‌های سیلیسیوم انجام می‌شود [۱۹ و ۲۰].

مطالعات نشان داده‌اند که مقادیر نسبی سیلیسیوم با پرسنل باقی‌مانده بر سطح فلز ارتباط دارند و این روش برای تعیین مقدار پرسنل باقی‌مانده بر روی فلز پس از شکست اتصال آنها ارزشمند است [۱۹ و ۲۰].

هدف از این مطالعه، ارزیابی استحکام اتصال پرسنل به سه آلیاژ نابل، بیس‌متال حاوی بریلیم و بیس‌متال فاقد بریلیم با روش آنالیز SEM/EDS بود.

## مواد و روش‌ها

این مطالعه، یک مطالعه تجربی بدون جهت بود که بر روی ۱۸ نمونه از سه نوع آلیاژ نابل بگوستار (Bego, Bremen-Germany)، بیس‌متال حاوی بریلیم رکسیلیوم ۳ (Jeneric Gold-Conn) و بیس‌متال فاقد بریلیم و بیرون ۹۹ (Bego, Bremen-Germany) انجام شد. شش نمونه از هر آلیاژ طبق دستور کارخانه به شکل مربع با ابعاد ۱۰×۱۰×۱ میلی‌متر آماده گردید. سپس نمونه‌های هر گروه به صورت همزمان برای مشاهده زیر میکروسکوپ الکترونی EDAX (Mckinley Scientific NJ) با بزرگ‌نمایی ۵۰× روی میزک مخصوص دستگاه قرار گرفته و درصد اتمی عنصر سیلیسیوم در سطح نمونه‌های فلزی مشخص شد. برای تعیین محل دقیق و استاندارد کردن ابعاد پرسنل، دایره‌ای به قطر ۶ و ضخامت یک میلی‌متر از موم ورقه‌ای (Dentsply, Surrey-England, KT) در مرکز هر نمونه فلزی قرار داده شد و ایندکسی با ماده قالب‌گیری پلی‌ونیل سایلوکسان با قوام پوتی (RAPID Coltene AG-Altstatten-Switzerland) تهیه گردید.



شکل ۱: آماده‌سازی نمونه‌ها برای پرس‌گذاری

## نتایج

برای آنالیز آماری اطلاعات به دست آمده از آزمون واریانس یک‌طرفه استفاده گردید که نتایج این آزمون بیانگر تفاوت معنی‌دار بین میانگین‌های شاخص AFAP در سه گروه مورد مطالعه بود ( $P < 0.001$ ) (جدول ۱).

**جدول ۱:** میانگین، انحراف معیار و حدود اطمینان برای گروه‌های مورد مطالعه AFAP

نوع آلیاژ	میانگین	حد اطمینان ۹۵٪
بگوستار	$0.970 \pm 0.070$	۰/۸۹۵-۱/۰۴۵
رکسیلیوم ۳	$0.452 \pm 0.135$	۰/۳۱۱-۰/۵۹۵
ویرون ۹۹	$0.171 \pm 0.036$	۰/۱۳۳-۰/۲۱۰

برای مقایسه گروه‌ها با یکدیگر، از تست تکمیلی LSD استفاده شد که نتایج این تست نیز بیانگر تفاوت معنی‌دار بین سه نوع آلیاژ از نظر شاخص AFAP بود ( $P < 0.001$ ) (جدول ۲). بیشترین میزان شاخص AFAP به ترتیب مربوط به آلیاژ نابل بگوستار، آلیاژ بیس‌متال دارای بریلیوم رکسیلیوم ۳ و آلیاژ بیس‌متال بدون بریلیوم ویرون ۹۹ بود.

**جدول ۲:** تست تکمیلی LCD

گروه‌ها	تفاوت میانگین‌ها <sup>†</sup>	خطای استاندارد	مقدار P
Begostar+Rexillium	۰/۵۱۷۱۷	$5/2455 \times 10^{-2}$	۰/۰۰۱
Begostar+Wiron 99	۰/۷۷۹۸۸۳	$5/2455 \times 10^{-2}$	۰/۰۰۱
Rexillium+Wiron 99	۰/۲۸۱۶۷	$5/2455 \times 10^{-2}$	۰/۰۰۱

<sup>†</sup> تفاوت میانگین‌ها در سطح ۰/۰۵ معنی‌دار بود

ایندکس پس از برش در قطر برداشته شد و موم کاملاً از روی نمونه‌ها تمیز گردید (شکل ۱). نمونه‌ها به روش اولتراسونیک در آب مقطر تمیز و سپس با اکسید آلومینیوم ۵۰ میکرومتر سندبلاست گردیدند. با استفاده از ایندکس، پرس‌ن اپک ( Vita VMK95 Bad Sacking-Vita Zahnfarbrik) طی دو مرحله بر روی نمونه‌ها قرار داده و طبق دستور کارخانه پخته شد. نمونه‌ها مجدداً برای بررسی درصد اتمی سیلیسیوم، در دستگاه میکروسکوپ الکترونی با دقت قرار داده شدند. سپس پرس‌ن گذاری کامل نمونه‌ها با استفاده از ایندکس انجام گرفت.

نمونه‌ها برای شکسته شدن در دستگاه تست یونیورسال (Zwick Testing Machines Ltd-Leomister-Herefordshire) با سرعت کراس‌هد ۵/ میلی‌متر در دقیقه، تحت نیروی برشی صفحه‌ای قرار گرفتند. سومین مشاهده میکروسکوپ الکترونی پس از شکست نمونه‌ها انجام شد. مقادیر پرس‌ن متصل به فلز با استفاده از فرمول  $AFAP = Si_d - Si_m / Si_p - Si_m$  محاسبه گردید. در این فرمول، مقدار درصد اتمی سیلیسیوم موجود روی سطح فلز پیش از افزودن پرس‌ن،  $Si_d$  مقدار درصد اتمی سیلیسیوم موجود روی سطح پس از شکست پرس‌ن و  $Si_p$  مقدار درصد اتمی سیلیسیوم موجود روی سطح اولین لایه پرس‌ن پخته شده می‌باشد.

نتایج به دست آمده شاخص AFAP برای بررسی قدرت اتصال پرس‌ن به آلیاژهای مورد بررسی با استفاده از آزمون آماری واریانس یک طرفه با حدود اطمینان ۹۵ درصد و تست تکمیلی LSD آنالیز شد.

## بحث

در این تحقیق، میزان استحکام اتصال پرسنل ویتا به سه آلیاژ نابل بگوستار، بیس متال دارای بریلیوم رکیلیوم ۳ و بیس متال بدون بریلیوم و پرون ۹۹ مورد بررسی و مقایسه قرار گرفت. شکل و ابعاد نمونه‌های آلیاژی و پرسنل، مشابه آزمایش‌های رایج اتصال پرسنل به آلیاژ تهیه و تمام مراحل سیلندرگذاری، کستینگ و پرسنل‌گذاری طبق دستور کارخانه انجام گردید. برای استاندارد کردن روش، کلیه مراحل تهیه نمونه توسط یک تکنیسین و ارزیابی با میکروسکوپ الکترونی هم توسط یک فرد انجام شد.

یکی از مسائل مهم در بحث اتصال پرسنل به فلز، تعریف واژه اتصال می‌باشد. واژه اتصال که در تحقیقات دندان پزشکی مورد استفاده قرار می‌گیرد، شامل اتصال شیمیایی و مکانیکی می‌باشد. در این مطالعه، برای اتصال مکانیکی، سندبلاست با ذرات اکسید آلومینیوم ۵۰ میکرومتر که حداکثر خشونت سطحی لازم را ایجاد می‌کند [۲۱] و برای ایجاد اتصال شیمیایی، از روش رایج در آماده‌سازی سطح آلیاژ برای افزودن پرسنل یعنی گاززدایی براساس دستور کارخانه استفاده شد [۲۲ و ۲۳]. عموماً اکسیدهایی که آرام‌تر تشکیل می‌شوند، چسبندگی اکسید-آلیاژ خوبی را فراهم می‌کنند که آلیاژهای حاوی بریلیوم دارای چنین اکسیدهایی هستند [۱۹ و ۱]. در مطالعه حاضر نیز، استحکام اتصال پرسنل به فلز در آلیاژ حاوی بریلیوم رکیلیوم ۳ نسبت به آلیاژ فاقد بریلیوم و پرون ۹۹ بطور مشخصی بالاتر بود.

مطالعات مختلف نشان داده‌اند که بهترین روش اندازه‌گیری استحکام اتصال پرسنل به فلز، تعیین میزان استرس‌های برشی است [۱۱، ۲۴ و ۲۵] و شبیه‌سازی رایانه‌ای روش‌های مختلف آزمایش، نشان‌دهنده این است که احتمالاً روش آزمایش برشی-صفحه‌ای، بهترین روش در توصیف مقاومت در برابر استرس‌های وارد بر سطح می‌باشد [۱۶ و ۲۴]. در مطالعه حاضر، برای تعیین استحکام اتصال پرسنل به نمونه‌های آلیاژ، از آزمایش برشی صفحه‌ای استفاده گردید.

تحقیقات مختلف نشان می‌دهند که بین مقادیر نسبی سیلیسیوم و پرسنل باقی‌مانده بر سطح فلز پس از شکست، ارتباط وجود دارد و روش آنالیز SEM/EDS روشی ارزشمند برای تعیین مقدار پرسنل باقی‌مانده بر سطح فلز است [۸، ۱۹ و ۲۰].

با مقایسه آلیاژ نابل بگوستار، آلیاژ بیس متال حاوی بریلیوم رکیلیوم ۳ و آلیاژ بیس متال بدون بریلیوم و پرون ۹۹ در مطالعه حاضر، بیشترین میزان قدرت اتصال در آلیاژ نابل به دست آمد. بین دو گروه آلیاژ بیس متال هم نمونه دارای بریلیوم قدرت اتصال بیشتری در مقایسه با گروه بدون بریلیوم نشان داد که با یافته‌های مطالعات گذشته مطابقت دارد [۱۹ و ۶].

چسبندگی بهتر متال-سرامیک با حضور لایه ضخیم‌تر پرسنل روی سطح نمونه بعد از شکست مشخص می‌شود که در گروه آلیاژ نابل دیده شد و نشان‌دهنده بروز شکست پیوسته در لایه پرسنل به جای وقوع شکست در محل تماس پرسنل-فلز بود.

نتایج این مطالعه همچنین نشان‌دهنده بهبود چسبندگی پرسنل به گروه آلیاژ حاوی بریلیوم رکیلیوم ۳ نسبت به گروه آلیاژ فاقد بریلیوم و پرون ۹۹ بود. نقش مثبت بریلیوم در اتصال پرسنل به فلز در مطالعه حاضر در توافق با مطالعات گذشته است [۱۴ و ۱۵]. بریلیوم تشکیل اکسیدهای حقیقی را تشدید می‌کند که این اکسیدها می‌توانند باعث افزایش مقاومت اتصال سرامیک به فلز شوند [۳ و ۱۵]. این نتیجه در تناقض با یافته‌های دیگران است [۷، ۱۵ و ۲۰] که می‌توان علت را در تفاوت روش آزمایش و یا ترکیب آلیاژ مورد استفاده یافت.

نوع شکست ایجاد شده در نمونه‌های بیس متال نیز با آلیاژ نابل بگوستار متفاوت بود و اغلب به صورت شکست در لایه اکسید فلز-پرسنل مشاهده شد که معمولاً این شکست در آلیاژهای بیس متال اتفاق می‌افتد [۱]. در این نمونه‌ها، میزان سیلیسیوم قبل از شکست پرسنل (در لایه اپک) بسیار بالاتر از میزان آن پس از شکست بود که نشان‌دهنده وقوع شکست چسبنده در حد فاصل پرسنل-فلز می‌باشد. در بین دو نمونه آلیاژ بیس متال، درصد اتمی سیلیسیوم در آلیاژ رکیلیوم سه پس از شکست نسبت به آلیاژ و پرون ۹۹، حدود دو برابر بود که نشانگر چسبندگی بهتر پرسنل به آلیاژ رکیلیوم سه است.

در مطالعه‌ای که استحکام اتصال پرسنل به آلیاژ تیتانیوم و تیتانیوم خالص و آلیاژ نابل با کمک روش آنالیز SEM/EDS بررسی شده است، بیشترین میزان شاخص AFAP در گروه آلیاژ نابل به دست آمد [۶] که با نتایج مطالعه حاضر مطابقت دارد.

دست آمده است [۱۷، ۱۸، ۲۱ تا ۲۳] که با نتایج مطالعه حاضر مطابقت دارند.

### نتیجه گیری

شاخص AFAP در گروه آلیاژ نابل بالاتر از گروه آلیاژهای بیس متال و در گروه آلیاژ بیس متال حاوی بریلیوم بالاتر از گروه بیس متال بدون بریلیوم به دست آمد. بیشترین میزان استحکام اتصال پرسنل به فلز به ترتیب مربوط به آلیاژ نابل، آلیاژ بیس متال دارای بریلیوم و آلیاژ بیس متال بدون بریلیوم بود.

در تحقیقی دیگر، با مقایسه اتصال فلز- پرسنل در آلیاژ نابل و آلیاژهای بیس متال (نیکل- کروم حاوی و فاقد بریلیوم) با روش اسپکترومتری پرتو ایکس، نتایج مشابهی به دست آمده به نحوی که بیشترین میزان قدرت اتصال به ترتیب مربوط به آلیاژ نیکل- کروم- بریلیوم و آلیاژ نیکل- کروم بوده است [۱۹].

عموما موفقیت به دست آمده در استفاده از آلیاژهای بیس متال متفاوت گزارش شده است. در بعضی مطالعات، مشکلات بیشتری هنگام افزودن پرسنل به آلیاژهای بیس متال نسبت به آلیاژهای نابل گزارش شده که استحکام اتصال این آلیاژها به پرسنل با استفاده از روش های مختلف بررسی، کمتر از آلیاژهای نابل به

### منابع

1. McLean JW. The science and art of dental ceramics. 1<sup>st</sup> ed. Chicago: Quintessence Co. 1980.
۲. نوربخش م. در ترجمه: مبانی پروتزهای ثابت. شیلینبرگ ه، هوبو س، وایتست ل، جاکوبی ر، براکت س (مؤلفین). چاپ سوم. تهران: نور دانش. ۱۳۸۱. صفحات: ۴۵۷-۸.
3. Bezzon OL, Ribeiro RF, Rolb JM, Crosara S. Castability and resistance of ceramometal bonding in Ni-Cr and Ni-Cr-Be alloys. J Prosthet dent 2001; 85(3): 299-304.
4. Preston JD, Berger R. Some laboratory variables affecting ceramo metal alloy. Dent Clin North Am 1997; 21(4): 717-28.
5. Ringle RD, Fairhurst CW, Anusavice KJ. Microstructures in non-precious alloys near the porcelain-metal interaction zone. J Dent Res 1979; 58(10): 1987-93.
6. Sadeg A, Cai Z, Woody RD, Miller AW. Effect of interfacial variables on ceramic adherence to cast and machined commercially pure titanium. J Prosthet Dent 2003; 90(1): 10-17.
7. Bezzon OL, Pedrazzi H, Zaniquelli O, da Silva TB. Effect of casting technique on surface roughness and consequent mass loss after polishing of Ni-Cr and Co-Cr base metal alloys: a comparative study with titanium. J Prosthet Dent 2004; 92(3): 274-7.
8. Papazoglou E, Brantley WA, Carr AB, Johnston WM. Porcelain adherence to high-palladium alloys. J Prosthet Dent 1993; 70(5): 386-94.
9. Suansuwan N, Swain MV. New approach for evaluating metal-porcelain interfacial bonding. Int J Prosthodont 1999; 12(6): 547-52.
10. Anusavice KJ, Dehoff PH, Fairhurst CW. Comparative evaluation of ceramic-metal bond tests using finite element stress analysis. J Dent Res 1980; 59(3): 608-13.
11. Moffa JP, Lugassy AA, Guckers AD, Gettleman L. An evaluation of nonprecious alloys for use with porcelain veneers, part 1: physical properties. J Prosthet Dent 1973; 30(4): 424-31.
12. Koji K. Bond strength between nonprecious metal alloy and porcelain, part 1: bond strength with press condensing method (author's transl). Shika R, Koqaku Zasshi 1976; 17(38): 112-19.
13. McLean JW. Dental ceramic, proceeding of the first international symposium on ceramic. 1<sup>st</sup> ed. Chicago: Quintessence Co. 1983.
14. Moffa JP, Jenkins WA, Ellison JA, Hamilton JC. A clinical evaluation of two base metal alloys and a gold alloy for use in fixed prosthodontics: a five-year study. J Prosthet Dent 1984; 52(4): 491-500.
15. O'Connor RP, Mackert JR, Myers ML, Parry EE. Castability, opaque masking and porcelain bonding of 17 Porcelain-fused-to-metal alloys. J Prosthet Dent 1996; 75(4): 367-74.
16. Civijan S, Huget EF, de Simon LB, Reisinger PJ. Determination of apparent bond strength of alloy-porcelain systems. J Dent Res 1974; 53: 240.
17. Susz CP, Meger JM, Payan J, Stoian M, Sanchez J. Effect of the treatments preceding porcelain backing on the strength of ceramic-metal bond. SSO Schweiz Monatsschr Zahnheilkd 1980; 90(5): 393-404.
18. Chong MP, Beech DR. A simple shear test to evaluate the bond strength of ceramic fused to metal. Aust Dent J 1980; 25(6): 357-61.

19. Ringle RD, Mackert JR, Fairhurst CW. An x-ray spectrometric technique for measuring porcelain metal adherence. *J Dent Res* 1983; 62(8): 933-6.
20. McKert JR, Ringle RD, Parry EE, Evans AL, Fairhurst CW. The relationship between oxide adherence and porcelain-metal bonding. *J Dent Res* 1988; 67(2): 474-8.
21. Lubovich RP, Goodkind RJ. Bond strength studies of precious, semiprecious and nonprecious ceramic-metal alloys with two porcelains. *J Prosthet Dent* 1977; 37(3): 288-99.
22. McLean JW, Sced IR. Bonding of dental porcelain to metal. (Pts 1,2). The gold alloy porcelain bond. *J Br Ceram Soc* 1973; 72(5): 229-35.
23. Quinones EE, Vermilyea SG, Griswold WH. Apparent bond Strength of nonnoble alloy-procelain combinations. *J Prosthet Dent* 1985; 54(3): 359-61.
24. de Hoff PH, Anusavice KJ, Hathcock PW. An evaluation of four-point flexure test metal-ceramic bond strength. *J Dent Res* 1982; 61(9): 1066-9.
25. de Melo RM, Travassos AC, Neisser MP. Shear bond strengths of a ceramic system to alternative metal alloys. *J Prosthet Dent* 2005; 93(1): 64-9.