

Comparison of Fiber Post Bond Strength to Root Canal Dentin Following Chlorhexidine and Carbodiimide Pretreatment

Abdolrahim Davari¹, Farnaz Farahat², Bitah Ahadi^{3*}

¹Professor, Department of Operative Dentistry, School of Dentistry, Shahid Sadoughi University of Medical Sciences, Yazd, Iran

²Associate Professor, Department of Operative Dentistry, School of Dentistry, Shahid Sadoughi University of Medical Sciences, Yazd, Iran

³Postgraduate Student, Department of Operative Dentistry, School of Dentistry, Shahid Sadoughi University of Medical Sciences, Yazd, Iran

Received: 21 April 2025, Accepted: 15 June 2025

Background: Fiber post placement is a common practice for restoring endodontically treated teeth with weakened roots. The use of matrix metalloproteinase (MMP) inhibitors has been suggested to enhance the bond strength between fiber posts and root canal dentin. This study aimed to compare the push-out bond strength of fiber posts after root canal pretreatment with chlorhexidine and carbodiimide.

Methods and Materials: Forty-five intact extracted, human single-rooted teeth (incisors, canines, and premolars) were collected. All specimens were similar in terms of root length and diameter. Teeth were sectioned from the cemento-enamel junction (CEJ). The roots were instrumented using the crown-down technique and obturated using the lateral condensation technique. The post space was prepared by removing root canal filling materials with Gates Glidden drills and Peeso reamers. Specimens were randomly divided into three equal groups according to the applied surface pretreatment technique (n=15): 1) control: no pretreatment, 2) pretreatment with chlorhexidine 0.2% for 60 seconds, 3) pretreatment with carbodiimide 0.3 M for 60 seconds. Fiber posts were cemented into the canals using a self-adhesive resin cement (DMG-PermaCem 2.0). Push-out bond strength of the specimens was assessed using a universal testing machine with a cylindrical cross head with a speed of 0.5 mm/min. Bond strength values were compared between the groups using the Kruskal-Wallis test. P-value<0.05 was considered statistically significant.

Results: The push-out bond strength of the chlorhexidine and carbodiimide groups was 2.72 ± 1.86 MPa and 4.91 ± 6.17 MPa, respectively. No statistically significant differences were observed between the push-out bond strength values of fiber posts to root canal dentin in different pretreatment groups (P=0.33).

Conclusion: Pretreatment of root canal surfaces with carbodiimide or chlorhexidine did not significantly affect the immediate push-out bond strength of fiber posts to root canal dentin.

Keywords: Adhesives, Chlorhexidine, Carbodiimide, Dental Bonding, Fiber Post, Tooth Root

*Corresponding Authors: Bitahahadi7535@gmail.com

➤ Please cite this paper as: Davari A, Farahat F, Ahadi B. Comparison of Fiber Post Bond Strength to Root Canal Dentin Following Chlorhexidine and Carbodiimide Pretreatment. *J Mashhad Dent Sch* 2025; 49(2):172-83.

➤ DOI: [10.22038/jmds.2025.26188](https://doi.org/10.22038/jmds.2025.26188)



مقایسه‌ی استحکام باند push-out فایرپست به کانال ریشه پس از آماده‌سازی ریشه با کلرگزیدین و کربودی‌ایمید

عبدالرحیم داوری^۱، فرناز فراحت^۲، بیتا احدی^{۳*}

^۱ استاد، گروه دندانپزشکی ترمیمی، دانشکده دندانپزشکی، دانشگاه علوم پزشکی شهید صدوقی، یزد، ایران
^۲ دانشیار، گروه دندانپزشکی ترمیمی، دانشکده دندانپزشکی، دانشگاه علوم پزشکی شهید صدوقی، یزد، ایران
^۳ دستیار تخصصی، گروه دندانپزشکی ترمیمی، دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی شهید صدوقی، یزد، ایران

تاریخ ارائه مقاله: ۱۴۰۴/۰۲/۰۱ - تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۳/۲۵

چکیده

مقدمه: پست‌های فایر در بازسازی دندان‌های درمان اندو شده با ساختارهای تضعیف شده کاربرد دارند. استفاده از عوامل پیشگیری از ماتریکس متالوپروتئینازها در بهبود استحکام باند این پست‌ها به عاج کانال ریشه توصیه شده است. تحقیق حاضر با هدف مقایسه‌ی استحکام باند push-out فایر پست به کانال ریشه پس از آماده‌سازی ریشه با کربودی‌ایمید و کلرگزیدین انجام شد.

مواد و روش‌ها: تعداد ۴۵ دندان تک ریشه سالم و کشیده شده ی انسانی با طول و قطر مشابه (شامل اینسایزور، کانین و پرمولار) انتخاب شدند. تاج دندانها از زیر CEJ برش داده شد و آماده سازی ریشه با تکنیک Crown-down انجام و به روش تراکم لترال پر شد. فضای پست با گیتس و پیزو آماده سازی شد. در تمام کانال‌ها از فایر پست Q.P (Reforpost Glass Fiber) استفاده شد. نمونه ها بر اساس آماده سازی سطحی ریشه به طور رندوم به سه دسته مساوی تقسیم شدند ($n=15$): ۱) گروه کنترل ۲) آماده سازی سطحی ریشه با کلرگزیدین ۲٪ به مدت ۶۰ ثانیه ۳) آماده سازی سطحی ریشه با محلول کربودی‌ایمید ۰/۳ مول به مدت ۶۰ ثانیه. برای اتصال فایرپست به عاج کانال‌ها هم از سمان رزینی سلف ادهزیو DMG (DMG - PermaCem2.0) استفاده شد. استحکام باند push-out نمونه‌ها در دستگاه یونیورسال با کراس هد استوانه ای صاف با سرعت ثابت ۵/۰ میلی متر بر دقیقه در جهت اپیکوسرویکال و برحسب مگاپاسکال اندازه گیری و داده‌ها با آزمون Kruskal-wallis آنالیز شد.

یافته ها: استحکام باند push-out گروه‌های کلرگزیدین و کربودی‌ایمید به ترتیب $2/72 \pm 1/86$ مگاپاسکال و $4/91 \pm 6/17$ مگاپاسکال بود. تفاوت‌های معنی‌داری از نظر مقادیر استحکام باند push-out فایرپست‌ها به عاج کانال‌های ریشه در گروه‌های مورد بررسی دیده نشد ($p=0/33$).
نتیجه گیری: استفاده از کربودی‌ایمید ۰/۳ مول و کلرگزیدین ۲٪ برای پیش‌آماده سازی سطوح کانال‌های ریشه اثرات قابل ملاحظه ای در افزایش استحکام باند فوری فایرپست‌ها نداشته است.

کلمات کلیدی: ادهزیو، کلرگزیدین، کربودی‌ایمید، دنتال باندینگ، فایرپست، ریشه دندان

مجله دانشکده دندانپزشکی مشهد / سال ۱۴۰۴ / دوره ۴۹ / شماره ۲: ۸۳-۱۷۲.

مقدمه

دندان‌های تحت درمان ریشه، اغلب بخش عمده‌ای از ساختار خود را از دست داده و نیازمند تقویت بیشتر جهت افزایش استحکام و گیر ترمیم‌ها هستند.^(۱) در موقعیت‌های مختلف بالینی، دندان‌های فاقد پالپ با پست ساختگی (custom-made) یا پست پیش‌ساخته (تیتانیوم، استینلس استیل، فایرگلاس و زیرکونیا) ترمیم می‌شوند. از میان آنها، پست فایرگلاس، بیشترین کاربردها را دارد، زیرا به آماده‌سازی داخل ریشه‌ای با تهاجم کمتری نیاز داشته و کل فرآیند هم در یک جلسه انجام می‌شود.^(۲) فایرپست‌ها غالباً از یک رزین اپوکسی پلیمری تقویت شده با فیبرهای کربن، کوارتز، زیرکونیا، گلاس یا سیلیکا با درجه‌ی تبدیل بالا و با ساختار کراس‌لینک ساخته می‌شوند. این فیبرها موازی محور طولی جهت‌گیری شده و ۳۰ تا ۵۰ درصد ساختار فایرپست را تشکیل می‌دهند. درجه‌ی بالاتر پلیمریزاسیون با عوامل باندینگ به دلیل ساختار ترانسلوسنت، زیست‌سازگاری و مقاومت به کروژن و زیبایی بیشتر از خصوصیات برجسته‌ی فایرپست‌ها هستند. فایرپست با داشتن ضریب الاستیک مشابه عاج در مقایسه با پست فلزی احتمال کمتری برای شکستگی ریشه‌ی تضعیف شده دارد.^(۳) فایرپست‌هایی که با سمان‌های رزینی سمان می‌شوند، می‌توانند نیروها را در امتداد دندان توزیع کرده و مقاومت در برابر شکست دندانهای درمان ریشه شده را بهبود دهند.^(۴) همزمان، اتصال ناکافی بین فایرپست و کانال ریشه، سبب ایجاد شکاف در ناحیه‌ی حدفاصل و سست شدن یا از دست رفتن پست می‌شود که دلیل اصلی شکست این ترمیم‌ها نیز می‌باشد.^(۵)

استحکام باند عاج ریشه‌ای به دلیل لایه‌ی اسمیر ثانویه، کیورینگ دشوار و استرس پلیمریزاسیون بالا، از عاج تاجی کمتر است. تخریب باند میان رزین و عاج در عاج تاجی

هم ثابت شده است.^(۶) از طرف دیگر، اچ کردن عاج، سبب اکسپوز و فعال شدن ماتریکس متالوپروتئینازها می‌شود. ماتریکس متالوپروتئینازهای ۲، ۸ و ۹ (MMP-2، MMP-8 و MMP-9) در عاج تاجی و ریشه‌ای وجود داشته و نیز مسئول تخریب کلاژن اکسپوز شده در حد فاصل عاج و رزین هستند. مهارکننده‌های ماتریکس متالوپروتئینازها نیز برای ایجاد ثبات در لایه‌ی هیبریدی استفاده شده‌اند.^(۷)

اغلب آزمایشات طراحی شده برای تقویت دوام باند عاجی از طریق مهار آنزیم با کاربرد کلرگزیدین انجام شده‌اند. کلرگزیدین عامل آنتی‌میکروبیال قوی و مهارکننده‌ی غیراختصاصی ماتریکس متالوپروتئینازها بوده و از تخریب باند عاجی ممانعت کرده و سبب مهار مؤثر MMP-2، MMP-8، MMP-9 و نیز سیستمین کاتپسین می‌شود. اخیراً یک عامل کراس‌لینک کلاژن منحصر به فرد با حداقل سمیت سلولی در درمان‌های دندانپزشکی با نام کربودی‌ایمید (carbodiimide) محبوبیت یافته است. کربودی‌ایمید جدیدترین پروتئین کراس‌لینک غیراختصاصی است که باند‌های آمیدی بین گروه‌های آمینی و کربوکسیل بر روی مولکول کلاژن برقرار کرده و توانایی غیرفعال‌سازی سایت‌های کاتالیتیک ماتریکس متالوپروتئینازها را دارد.^(۸)

یکی از روش‌های عملی افزایش استحکام باند طولانی‌مدت، کاربرد ماده‌ی کربودی‌ایمید است. کربودی‌ایمید ایزومر باثباتی است که از طریق تغییر شکل سه‌بعدی ماتریکس پروتئینازها، بخش کاتالیتیک آنها را غیرفعال می‌کند. برخی مطالعات درباره‌ی اثرات کاربرد کربودی‌ایمید بر عاج تاجی اچ شده و نیز درباره‌ی اثرات آن در ترمیم‌های گلاس آینومر تقویت شده با رزین انجام شده‌اند.^(۹)

تحقیق حاضر با هدف مقایسه‌ی اثرات دو روش آماده‌سازی سطح عاج ریشه‌ای با کربودی‌ایمید و کلرگزیدین در

خشک کردن کانال‌های آماده شده با paper point (Meta Biomed, Chungbuk, Korea) مناسب، کانال‌های ریشه با روش تراکم جانبی و با گوتا‌پرکای تیر (Gutta Percha Points, Suredent Corporation, Kyeonggi-do, Korea) و سیلر (Cheongju, Korea) پر شدند. گوتا‌پرکا با سیلر پوشیده شده و درون کانال ریشه قرار داده شد تا به طول کارکرد برسد. بخش کروئالی گوتا‌پرکا با استفاده از پروب داغ حذف شد. متعاقب آن، کانال‌های ریشه‌ی پر شده به مدت ۷۲ ساعت در انکوباتور با دمای 37°C نگه داشته شدند. پس از آن، آماده‌سازی فضای پست با استفاده از گیتس و پیرو (Mani, Tochigi, Japan) طوری انجام شد که ۴ تا ۵ میلی متر گوتا‌پرکا در انتهای اپیکال کانال باقی بماند. کانال‌های ریشه با محلول سالین شستشو داده شده و با پوینت‌های کاغذی خشک شدند. در این تحقیق، از فایبر پست آنجلوس (Reforpost Glass Fiber Brazil) استفاده شده و برای اتصال فایبر پست به عاج کانال‌های ریشه در تمام دندان‌ها هم از سمان رزینی سلف ادهزیو دوال کیور (DMG Germany PermaCem2.0) استفاده شد. ریشه‌های مورد بررسی طبق روش آماده‌سازی سطح پست، در ۳ گروه ۱۵ تایی تقسیم شدند.

گروه اول (گروه کنترل): در این گروه، عاج ریشه‌ای آماده‌سازی سطحی نشد.

گروه دوم: در این گروه، برای آماده‌سازی عاج ریشه‌ای و پس از حذف آب و رطوبت توسط میکروبراش از روی سطح عاج، پیش‌درمانی با محلول کربودی‌ایمید ۰/۳ مول (Sigma Aldrich. St Louis MO, USA) به مدت ۶۰ ثانیه انجام شد و محلول اضافی با میکروبراش از سطح حذف شد و رطوبت سطحی بر روی آن باقی گذاشته شد.

مقادیر استحکام باند push-out فایبرپست‌ها به کانال ریشه در شرایط آزمایشگاهی انجام شد.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق، تعداد ۴۵ دندان کشیده شده، بدون پوشیدگی و تک‌ریشه‌ای با طول و قطر ریشه‌ای مشابه (شامل سنترال ماگزایلا، کانین ماگزایلا و مندیبل و پره مولر ماگزایلا و مندیبل) انتخاب و تحقیق بر روی آنها انجام شد. دندان‌ها با کمک اسکیلر از هرگونه رسوبات جرم و بافت نرم، پاک شده و تا زمان انجام آزمایشات در محلول تیمول ۰/۱ درصد و در دمای اتاق (25°C)، نگهداری شدند.

متعاقب شستشوی ۵ دقیقه‌ای دندان‌ها با استفاده از آب و برای حذف محلول تیمول، تاج آنها با هندپیس با سرعت بالا و فرز الماسی فیشور بلند (تیزکاوان، تهران، ایران) به همراه کاربرد اسپری آب از ۱ میلی‌متر انسیزالی‌تر از CEJ قطع گردید. اپکس دندان‌ها با استفاده از کامپوزیت فلو Denfil (Vericum Laboratories, Ltd, Anyang, Korea) سیل گردید تا از مواد پرکننده‌ی کانال درون ریشه نگهداری شده، سیل اپیکالی برقرار شده و از استانداردسازی نمونه‌ها حین انجام مراحل مختلف آماده‌سازی اطمینان حاصل شود. سپس، با استفاده از K فایل (NIC; Shenzhen Superline Technology Co. Ltd, Shanghai, China) شماره‌ی ۱۵، طول کارکرد کانال‌های ریشه به میزان ۱mm کوتاه‌تر از اپیکال فورامن تعیین شد. آماده‌سازی کانال‌های ریشه‌ی دندان‌ها با روش crown-down و با اندوموتور روتاری انجام شد. کانال‌های ریشه با سرنگ حاوی محلول سالین فیزیولوژیک (شرکت داروسازی شهید قاضی، ایران) در هر تعویض فایل شسته شده و بعد از پاک‌سازی، با استفاده از ۵ میلی‌لیتر هیپوکلریت سدیم ۰/۵ درصد به مدت ۱ دقیقه و با آب مقطر (کیما تهران، ایران) شستشو شدند. پس از

تبعیت از توزیع نرمال با استفاده از آزمون Kolmogorov-Smirnov بررسی و عدم تبعیت آنها از توزیع نرمال تأیید گردید. با توجه به این موضوع، برای آزمون تفاوت‌های مقادیر استحکام باند push-out فایرپست‌ها به کانال ریشه در گروه‌ها از آزمون ناپارامتری Kruskal-wallis استفاده شد. سطح معنی‌داری در این تحقیق ۰/۰۵ در نظر گرفته شد.

یافته‌ها

از میان نمونه‌ها، تعداد ۷ نمونه دچار شکست شده بودند و در نهایت، ۳۸ نمونه در گروه‌ها تخصیص داده شدند. داده‌های مقادیر استحکام باند push-out گروه‌های مختلف در ابتدا از نظر تبعیت از توزیع نرمال با استفاده از آزمون Kolmogorov-Smirnov بررسی شد و طبق نتایج این آزمون، تبعیت داده‌ها از توزیع نرمال رد شد ($p=0/001$). شاخص‌های پراکندگی مرکزی مقادیر استحکام باند push-out فایرپست‌ها به کانال‌های ریشه پس از آماده‌سازی ریشه با کربودی‌ایمید، کلرگزیدین و نرمال سالین در جدول ۱ ارائه شده است. در گروه نرمال سالین؛ میانه‌ی استحکام باند push-out فایرپست‌ها برابر ۲/۳۸ مگاپاسکال، در گروه با کاربرد ۱-اتیل-۳-(۳-دی متیل آمینو پروپیل) کربودی‌ایمید (EDC)، برابر ۲/۵۵ مگاپاسکال، و در گروه با کاربرد کلرگزیدین، معادل ۱/۹۱ مگاپاسکال برآورد گردید. آزمون Kruskal-wallis نشان داد تفاوت‌های معنی‌داری از نظر مقادیر استحکام باند push-out فایرپست‌ها به کانال‌های ریشه در گروه‌های مختلف آماده‌سازی فایرپست‌ها وجود نداشته است ($p=0/33$). (جدول ۱)

گروه سوم: در این گروه و پس از حذف آب و رطوبت با میکروبراش از روی سطح عاج، پیش‌درمانی با محلول کلرگزیدین ۲٪ (CHX, USA Dent Ultra Consepsis) به مدت ۶۰ ثانیه و با استفاده از میکروبراش با حرکات جارویی انجام شد. اضافات محلول توسط میکروبراش از سطح حذف شد و رطوبت سطحی باقی ماند.

در تمام کانال‌های آماده شده به صورت مشابه، سمان رزینی سلف ادهزیو دوال کیور تزریق شده و فایرپست شماره ۱ در درون کانال‌ها قرار داده شد. با استفاده از منبع نور LED (LITEX 696, Dent America, Taiwan) با شدت 1200 mW/cm^2 ، کیورینگ نمونه‌ها به مدت ۱۰ ثانیه انجام شد. تمام نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در آب مقطر با دمای 37°C نگهداری شدند. نمونه‌ها در بلوک‌های پلی‌استر مانت شده و مقطعی با ضخامت ۱/۵ میلی‌متر از قسمت میانی ریشه با استفاده از دستگاه (T201 A Mecatome; Presi, France) برش داده شد. برای انجام آزمون استحکام باند، مقاطع تهیه شده براساس الگوی آزمون push-out توسط دستگاه آزمون تست یونیورسال (Zwick/ Roell, Germany) تست شدند. نیرو توسط پیستون استوانه‌ای استیل ضدزنگ با قطر متناسب با کانال و در سرعت ۰/۵ میلی‌متر بر دقیقه در جهت اپیکوسرویکال اعمال گردید. بالاترین مقدار نیرو در محل و در زمان دبانند شدن کامپوزیت برحسب نیوتن ثبت گردید. نیروی به دست آمده به نیوتن بر مساحت سطح مقطع تقسیم شده و مقادیر استحکام باند push-out برحسب مگاپاسکال گزارش شد. نمونه‌ها با میکروسکوپ سه‌بعدی ارزیابی شدند.

داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار statistical package for social sciences (SPSS 25.0) تجزیه و تحلیل شد. برای این کار، شاخص‌های پراکندگی مرکزی مقادیر استحکام باند push-out فایرپست‌ها به کانال ریشه، در گروه‌های مختلف از نظر

جدول ۱. شاخص‌های پراکندگی و مرکزی استحکام باند push-out فایرپست‌ها به کانال‌های ریشه پس از آماده‌سازی ریشه با نرمال

سالمین (کنترل)، کربودی‌ایمید و کلرگزیدین						
گروه‌ها	میانگین	انحراف معیار	میانه	دامنه میان چارکی	حداقل	حداکثر
کنترل	۴/۹۹	۵/۸۳	۲/۳۸	۴/۷۷	۰/۷۳	۲۱/۰۳
کربودی‌ایمید	۴/۹۱	۶/۱۷	۲/۵۵	۳/۳۱	۱/۵۱	۲۴/۶۵
کلرگزیدین	۲/۷۲	۱/۸۶	۱/۹۱	۳/۶۳	۱/۰۱	۶/۴۳
P-value = ۰/۳۳						
آزمون کروسکال-والیس						

بحث

تخریب طولانی مدت ناحیه‌ی حد فاصل ادهزیو شایع‌ترین دلیل شکست رستوریشن‌ها است، زیرا باند عاج و کامپوزیت رزین به طور مستمر تحت چالش‌های گرمایی و مکانیکی قرار دارد.^(۱۰) خصوصیات سوبسترای عاجی مانند هتروژن بودن ساختاری و مورفولوژی، رطوبت ناشی از آگزودای مایعات عاجی و تخریب کلاژن به واسطه‌ی آنزیم‌ها در عاج ریشه سبب کاهش باند در طول زمان می‌شود.^(۱۱) لذا، بررسی نتایج کاربرد عوامل آماده‌سازی عاج در راستای افزایش استحکام باند فایرپست چسبانده شده به کانال‌های ریشه اهمیت دارد. تحقیق حاضر با هدف مقایسه‌ی اثرات دو روش آماده‌سازی سطح عاج ریشه‌ای با کربودی‌ایمید و کلرگزیدین در مقادیر استحکام باند push-out فایرپست‌ها به کانال ریشه انجام شد.

کاهش استحکام باند در طول زمان به دلیل نفوذ آب در لایه‌ی هیبریدی یا تخریب فیبریل‌های کلاژن اینفیلتره نشده توسط ادهزیو در انتهای لایه‌ی هیبرید روی می‌دهد. لذا، حفاظت از یکپارچگی ماتریکس کلاژن برای تقویت دوام باند به عاج ضروری است.^(۷) این تخریب‌ها به آنزیم‌های MMP در ماتریکس عاجی نسبت داده می‌شود که به طور فیزیولوژیک غیرفعال بوده ولی از طریق تغییرات pH ایجاد شده با اسید اچینگ، مونومرهای اسیدی در ادهزیوهای

دندانی یا چالش‌های پوسیدگی فعال می‌شوند. فعالیت کلاژنولیتیک MMPs توسط مهارکننده‌های غیر اختصاصی نظیر کلرگزیدین مهار می‌شود. کلرگزیدین یک آنزیم آنتی‌میکروبیال قوی است که به طور مؤثری MMP-9، MMP-8 و MMP-2 و سیستمین کاتپسین را مهار می‌کند.^(۱۲) البته در تحقیق حاضر، تفاوت‌های معنی‌داری از نظر مقادیر استحکام باند فایرپست‌ها به کانال ریشه در روش‌های پیش‌درمانی با کلرگزیدین، کربودی‌ایمید با گروه کنترل دیده نشد.

در این تحقیق، کمترین مقادیر استحکام باند در آماده‌سازی با کلرگزیدین ۲٪ به مدت ۱ دقیقه به ثبت رسید که حتی در مقایسه با گروه کنترل بدون آماده‌سازی هم کمتر بوده است.

با هر ترکیبی باند به پست به طور قابل توجهی بالاتر از باند به عاج خواهد بود. اغلب مطالعات درباره‌ی تست‌های push-out و pull-out نشان داده‌اند که شکست‌ها به صورت تپییک در ایتترفیس عاج رخ می‌دهد تا ایتترفیس پست.^(۱۳) در تحقیق حاضر، ارزیابی بر روی روش آماده‌سازی سطح عاج دندان انجام شده بود که سبب ارتقای استحکام باند می‌شود.

همانند تحقیق حاضر، در تحقیق Ricci و همکاران^(۱۴)، مقادیر استحکام باند فوری عاج اسیداچ شده و پیش‌درمانی

مطالعات بر روی اثرات کلرگزیدین در مقادیر استحکام باند فایرپست‌ها به عاج ریشه تأثیرگذار هستند. در تحقیق حاضر، کمترین مقادیر استحکام باند push-out در گروه پیش‌درمانی با کلرگزیدین گزارش گردید. در بررسی Ghazvehi و همکاران^(۲۱)، مقادیر استحکام باند push-out بیشتری در گروه پیش‌درمانی با کلرگزیدین دیده شد ولی کاربرد آن اثرات معنی‌داری در استحکام باند پست‌های فایر به عاج رادیکولار نداشته است.

یک مرور سیستماتیک جدید درباره‌ی نقش کلرگزیدین به عنوان عامل پیشگیری از MMP در باندینگ به عاج نشان دهنده‌ی اثرات غیرمعنی‌دار آن در استحکام باند فوری رزین-عاج بوده ولی در دوره‌های پیرسازی (aging) ۶، ۱۲ و ۲۴ ماهه، استحکام باند بیشتری در گروه کلرگزیدین نسبت به گروه کنترل مشاهده گردید.^(۱۰) در نتیجه، نبود اثرات معنی‌دار کلرگزیدین در استحکام باند push-out فایرپست‌ها احتمالاً به دلیل دوره‌ی طولانی نگهداری نمونه‌ها بوده است. همزمان، برخی مباحث درباره‌ی اثرات پیرسازی مصنوعی وجود دارد، چرا که مدارک قطعی از خستگی به واسطه‌ی استرس‌های دمایی وجود ندارد.^(۲۲) شاید روش‌های دیگر مانند غوطه‌وری در بزاق مصنوعی به مدت مشخص نتایج واقعی‌تری به دنبال داشته باشد که این موضوع مستلزم ارزیابی‌های بیشتری است.^(۲۳)

در سال‌های اخیر، کاربرد عوامل کراس‌لینک مانند کربودی‌ایمید به عنوان یک روش بیولوژیک مهندسی بافت برای تقویت استحکام باند فایرپست‌ها به عاج کانال‌های ریشه مورد توجه قرار گرفته است. عوامل کراس‌لینک ترکیب سه‌بعدی ناحیه‌ی کاتالیتیک MMPs را تغییر داده یا بار منفی گروه‌های کربوکسیل یونیزه را به بار مثبت گروه‌های آمیدی تغییر و MMPs را غیرفعال می‌کنند.^(۲۴) از آنجا که MMPs در عاج هیچ تکثیری ندارند، غیرفعال‌سازی

شده با کلرگزیدین با گروه پیش‌درمانی نشده مشابه همدیگر بوده است. کلرگزیدین مولکولی بزرگ با جرم مولکولی بالا نسبت به برخی اجزای مونومری سیستم‌های ادهزیو مانند HEMA و Bis-GMA بوده و نفوذ مونومر را به داخل عاج دیمینالیزه به طور منفی تحت تأثیر قرار نمی‌دهد. Breschi و همکاران^(۱۵)، گزارش کردند در صورت کاربرد کلرگزیدین بر روی لایه‌ی عاجی اچ شده در قبل از جایگذاری ادهزیو، استحکام باند و دوام ترمیم ادهزیو دندانی نسبت به گروه کنترل حفظ می‌شود. اثربخشی کلرگزیدین از طریق محبوس شدن در ناحیه‌ی حدفاصل باند توجیه می‌شود که امکان حذف آن توسط مایع عاجی از طریق تشکیل رزین تگ‌ها که توبول‌ها را مسدود می‌کند، به حداقل کاهش می‌یابد. با وجود توانایی کلرگزیدین برای مهار MMPs و سیستمین کاتسین‌ها، این عامل می‌تواند در عرض ۲۴-۱۸ ماه از لایه‌ی هیبرید شسته شود.^(۱۶)

همزمان، کاربرد ۵ دقیقه‌ای ژل کلرگزیدین ۲٪ روی عاج رادیکولار اسید-اچ شده، سبب حفظ استحکام باند در پست‌های فایر چسبانده شده با کامپوزیت رزین به فضای پست متعاقب بارگذاری‌های دوره‌ای یا بعد از ۱۲ ماه نگهداری در آب شده است.^(۱۷،۱۸) همچنین، شستشوی ۱ دقیقه‌ای با کلرگزیدین ۲٪ در یک تحقیق تأثیری در حفظ مقادیر استحکام باند پست‌های فایر چسبانده شده بعد از ۱۲ ماه نگهداری در بزاق مصنوعی نداشت، حال آنکه باندینگ مرطوب اتانول در این باره، مؤثرتر بوده است.^(۱۹) این تفاوت در نتایج با روش‌های مختلف کاربرد کلرگزیدین یا کنترل ناکافی رطوبت در فضای پست ارتباط دارد.^(۲۰)

غلظت کلرگزیدین، نوع و ترکیبات سیستم ادهزیو، سوبسترای عاجی (کرونال و رادیکولار، سالم و پوسیده) و عوامل مرتبط با پروتکل اجرایی تحقیق همگی در نتایج

کراسلینک‌ها بدون حضور گروه‌های واکنشی باقیمانده روی می‌دهند.^(۲۶،۲۷) این پدیده عملکرد بهتر کربودی‌ایمید در شرایط pH خنثی را توجیه می‌کند.

طبق نتایج تحقیق حاضر، کاربرد کربودی‌ایمید اثرات معنی‌داری در استحکام باند فوری پست‌های فایبر به کانال ریشه نداشته است. کاهش کمیت شبکه‌ی کلاژنی اکسپوز شده به دلیل مشکلات برداشت لایه‌ی اسمیر ثانویه در فضاهای پست و تخریب شبکه‌ی کلاژن در دندان‌های با سابقه‌ی دریافت درمان‌های اندو می‌تواند اثرات حداقل پیش‌درمانی با کربودی‌ایمید در استحکام باند push-out پست‌های فایبر به عاج کانال‌های ریشه را توجیه کند.^(۲۸) یافته‌های تحقیق حاضر با نتایج مطالعات Comba و همکاران^(۲۹) و نیز Shafiei و همکاران^(۳۳) همخوانی دارد که این محققان اثرات مشخص و معنی‌داری از کاربرد کربودی‌ایمید برای پیش‌درمانی عاج کانال‌های ریشه در استحکام باند push-out فوری فایبرپست‌ها در موارد سمان پست‌ها با عوامل لوتینگ رزینی و سیستم ادهزیو اچ-شستشو گزارش نکردند. با این حال، Mazzoni و همکاران^(۳۰)، متعاقب پیش‌درمانی با کربودی‌ایمید به مدت ۱ دقیقه و پروسه‌ی باندینگ با دو سیستم باندینگ سلف-اچ و اچ-شستشو، تقویت دوام و یکپارچگی ساختاری ناحیه‌ی حدفاصل عاج-رزین با کربودی‌ایمید در کاربرد هر دو ادهزیو را گزارش کردند.

در بررسی Davari و همکاران^(۸)، کلرگزیدین ۲٪ و کربودی‌ایمید ۰/۳ مول به مدت ۶۰ ثانیه برای پیش‌درمانی سطح عاج به کار رفته و گزارش شد این عوامل اثرات آشکاری بر استحکام باند فوری نداشته ولی در ۶ ماه بعد، کاربرد کربودی‌ایمید سبب ثبات استحکام باند و کاربرد کلرگزیدین سبب کاهش استحکام باند شده بود. این یافته‌ها در تحقیق حاضر نیز دیده شد. از طرف دیگر،

آنها با عوامل کراسلینک باید در طول مدت زمان زیادی روی داده و حتی احتمال دارد نسبت به عوامل پیشگیری از MMPها نیز مؤثرتر باشد.^(۱۵)

در تحقیق حاضر، کاربرد کربودی‌ایمید ۰/۳ مول به مدت ۱ دقیقه برای آماده‌سازی عاج ریشه‌ای، نتایجی در حد گروه کنترل بدون آماده‌سازی و یا کاربرد محلول کلرگزیدین ۲٪ نشان داد. با این حال، مقادیر استحکام باند push-out فایبرپست‌ها به عاج کانال ریشه به میزان غیرمعنی‌داری بیشتر از گروه‌های دیگر بوده است.

کربودی‌ایمید در کاهش تخریب کلاژن عاجی و حفظ استحکام باند عاجی در طول زمان مؤثر است. کراسلینک کلاژن عاجی با کربودی‌ایمید میزان تخریب را کاهش داده و خصوصیات مکانیکی آن را تقویت می‌کند. این فرآیند از طریق فعال‌سازی گروه‌های کربوکسیل از گلوتامیک اسید و اسپارتیک اسید در پروتئین‌ها عمل کرده و پس از آن، از طریق کراسلینک اسیدهای آمینه، باندهای پپتیدی جدید و باثباتی ایجاد کرده و سبب کاهش حرکت مولکولی و سرکوب فعالیت آنزیمی می‌شود. کربودی‌ایمید باند پپتید-کووالانسی بین پروتئین‌ها ایجاد کرده و سبب کاهش جابجایی‌های مولکولی مورد نیاز برای فعالیت کلاژنولیتیک آنزیم‌ها می‌گردد.^(۱۳) مکانیسم پیشگیری پروتئاز از طریق کربودی‌ایمید به واسطه‌ی فعال‌سازی گروه کربوکسیل گلوتامیک (glutamic) و اسیدهای اسپارتیک واقع در مولکول‌های کلاژن و در نواحی فعال ماتریکس متالوپروتئینازها روی می‌دهد.^(۲۵) در نتیجه، pH پائین عاج اچ شده بعد از فرآیند اسید-اچینگ سبب سرکوب یونیزاسیون گروه کربوکسیل فعال شده با کربودی‌ایمید شده و کارایی آن را کاهش می‌دهد. با این حال، در pH خنثی، کربودی‌ایمید ثبات بیشتری داشته و گروه‌های کربوکسیلیک به صورت کامل یونیزه و به طور منفی شارژ شده و

Shafiei و همکاران^(۲۳)، اثرات کربودی‌ایمید در ثبات باندینگ پست‌های فایر به عاج ریشه متعاقب کاربرد سمان‌های رزینی را بررسی و اعلام کردند پیش‌آماده‌سازی با کربودی‌ایمید تأثیری در استحکام باند فوری نمونه‌ها ندارد. علاوه بر این، Ghazvehi و همکاران^(۲۱)، در بررسی اثرات کربودی‌ایمید و کلرگزیدین در استحکام باند push-out پست‌های فایر به عاج رادیکولار اعلام کردند کاربرد کلرگزیدین و کربودی‌ایمید اثرات معنی‌داری در استحکام باند پست‌های فایر به عاج رادیکولار نداشته است. این مشاهدات با نتایج تحقیق حاضر همخوانی دارد.

در گزارش Comba و همکاران^(۲۹)، نیز مشخص شد کاربرد کربودی‌ایمید اثرات مشخصی در استحکام باند ۲۴ ساعته‌ی فایرپست‌ها به کانال ریشه نداشته ولی کاربرد آن سبب بهبود استحکام باند فایر پست در ۱ سال نگهداری شده بود.

از طرف دیگر، Assisa و همکاران^(۳۱)، اثرات کربودی‌ایمید و چیتوزان در فعالیت آنزیمی و استحکام باند سمان‌های کامپوزیتی به عاج ریشه را بررسی و اعلام کردند کاربرد کربودی‌ایمید سبب افزایش استحکام باند و پیشگیری آنزیمی در موارد استفاده از RelyX U200 شده ولی تأثیری در اعداد استحکام باند در استفاده از سمان Panavia F2.0 نداشته است. این یافته‌ها بیانگر اثرات مشخص نوع سمان در مقادیر استحکام در پیش‌درمانی با عوامل کراس‌لینک است. Josic و همکاران^(۳۲)، هم گزارش کردند کاربرد کربودی‌ایمید فقط در حفظ مقادیر استحکام باند push-out متعاقب پیرسازی مصنوعی مؤثر بوده است. به دلیل عدم انجام پیرسازی مصنوعی در تحقیق حاضر، نتایج دو مطالعه با همدیگر متفاوت است.

برخلاف کلرگزیدین که تنها باند الکترواستاتیک با عاج برقرار می‌کند، کربودی‌ایمید در راستای ایجاد باند

کووالانسی با عاج واکنش نشان می‌دهد. در واقع، کلرگزیدین یون‌های کلسیم و زینک را بر روی نواحی فعال آنزیم چلاته کرده و آنها را مهار می‌کند. عوامل کراس‌لینک نظیر کربودی‌ایمید از طریق ایجاد کراس‌لینک در زنجیره‌های کلاژن آن را سفت کرده و در نتیجه، ساختار کلاژن در برابر باز شدن مقاوم‌تر می‌شود. عوامل کراس‌لینک، همچنین، پروتئازها را کراس‌لینک کرده و به طور مستقیم با عملکرد آنها تداخل ایجاد می‌کنند.^(۳۳) این عوامل کراس‌لینک‌های متعددی بین اسیدهای آمینه در داخل سایت‌های کاتالیتیک آنزیم‌ها ایجاد کرده و به طور غیرقابل برگشت، ساختار سه بعدی آنها و نیز انعطاف پذیری ناحیه‌ی کاتالیتیک شیارمانند آنها را تغییر و از پیوستن به سوبسترای کلاژنی تیپ ۱ جلوگیری می‌کنند. به دلیل اینکه MMPs در عاج محیطی turn-over نمی‌شوند، غیرفعال‌سازی آنها با عوامل کراس‌لینک مانند کربودی‌ایمید باید برای مدت طولانی باقی مانده و نیز ممکن است پس از گذشت زمان بسیار مؤثرتر از مهارکننده‌هایی مانند کلرگزیدین باشد.^(۳۴) این موضوع نیازمند بررسی‌های بیشتری است.

مکانیسم پیشگیری از متالوپروتئینازها توسط کلرگزیدین از طریق باندینگ الکترواستاتیک قابل فروپاشی به کلاژن صورت می‌گیرد که این مکانیسم خاصیت انحلال آن در آب را بهبود بخشیده و سبب انتشار آهسته‌ی آن از ماتریکس کلاژن شده و در نهایت سبب از بین رفتن فعالیت پیشگیری متالوپروتئیناز در ماه‌های بعدی می‌شود.^(۱۶،۲۵) این ترند متفاوت از مکانیسم عملکردی کربودی‌ایمید است که مانع سلامت پپتیدهای کلاژن از طریق متالوپروتئینازها شده و ضمن غیرفعال‌سازی ناحیه‌ی کاتالیک پروتئازها باند پپتیدی جدیدی ایجاد کرده و در نهایت دوام باند را افزایش می‌دهد.^(۲۳) این پدیده‌ها سبب گزارش مقادیر متفاوتی از

ادهزیو را تحت تأثیر منفی قرار می‌دهند.^(۳۳) در این شرایط، ادهزیو به عنوان یک غشاء نفوذپذیر عمل کرده و حرکت آب را تسهیل و تخریب و نشت ترکیبات رزینی را تسریع می‌کند.^(۳۹)

ماهیت اسیدی و آب‌دوست نسبتاً بالای سمان‌های سلف-ادهزیو احتمالاً با جذب آب و تخریب هیدرولیتیک ناحیه‌ی حدفاصل عاج رادیکولار و سمان سلف-ادهزیو در دوره‌ی زمانی نگهداری مرتبط می‌باشد.^(۴۰) از آنجایی که ماده‌ی کربودی‌ایمید هنوز وارد بازار دندانپزشکی نشده و تأثیر کلرگزیدین همچنان در حال بررسی است؛ پیشنهاد می‌شود مطالعاتی بر روی این مواد و سایر MMP ها با بررسی انواع شونده‌های کانال و سیلرها و نسل‌های مختلف باندینگ و سمان‌ها و همچنین با در نظر گرفتن چرخه‌های ترموسیکلینگ و خستگی انجام شود.

نتیجه‌گیری

استفاده از کربودی‌ایمید ۰/۳ مول و کلرگزیدین ۲٪ برای پیش‌آماده‌سازی سطوح کانال‌های ریشه هنگام استفاده از سمان رزینی سلف ادهزیو اثرات مشخصی در افزایش استحکام باند push-out فایرپست‌ها نداشته است.

تشکر و قدردانی

این مقاله برگرفته از پایان‌نامه دانشجویی با شماره ۲۶۲ دوره تخصص دانشکده دندانپزشکی دانشگاه علوم پزشکی یزد و با همکاری آزمایشگاه مواد دندانی دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی انجام شد. بدینوسیله از هر دو دانشگاه جهت همکاری با این تحقیق تقدیر و تشکر میگردد.

استحکام باند push-out فایرپست‌ها در آماده‌سازی با دو عامل کلرگزیدین و کربودی‌ایمید شده است.

به دلیل فعالیت کربودی‌ایمید در غیرفعال‌سازی متالوپروتئینازها، کاربرد آن عموماً بعد از اسید اچینگ عاج انجام می‌شود.^(۳۵) در موارد کاربرد سمان سلف-ادهزیو، به نظر می‌رسد کربودی‌ایمید نتایج بهینه و کافی به همراه ندارد، چرا که حمله‌ی اسیدی به صورت جداگانه انجام نمی‌شود. با این حال، مشخص شده کاربرد کربودی‌ایمید اثرات مثبتی در استحکام باند پست به دیواره‌ی کانال ریشه دارد، حتی اگر سمان سلف-ادهزیو هم مورد استفاده قرار بگیرد.^(۳۶) از طرف دیگر، کربودی‌ایمید توانایی تأثیرگذاری در فرآیند تخریب رزین را نداشته و این پیش‌درمانی یک مرحله‌ی اضافی برای پروسه‌ی سمان کردن ایجاد می‌کند. شاید بتوان کربودی‌ایمید را در درون ترکیبات ادهزیوها به کار برده و با این کار chair time را کاهش داد. کارایی کاربرد کربودی‌ایمید در مقادیر استحکام باند فایرپست‌ها به عاج کانال‌های ریشه ممکن است به ماهیت ادهزیو نیز بستگی داشته باشد.^(۳۷)

در این تحقیق، در تمام نمونه‌ها از سمان سلف-ادهزیو استفاده شد. سمان سلف-ادهزیو دارای مونومر متاکریلاتی فسفری MDP (فسفات دی‌هیدروژن ۱۰-متاکریلوکسی‌دسیل) با توانایی باند شیمیایی با هیدروکسی‌آپاتیت است. انقباض پائین سمان‌های سلف-ادهزیو در فضای محدود ریشه به همراه فاکتور C بالا احتمالاً خاصیت مثبتی خواهد بود.^(۳۸) عوامل لوتینگ سلف-ادهزیو، همچنین، حساسیت تکنیکی کمتری نسبت به روش‌هایی مانند اچ-شستشو دارند.

علاوه بر تخریب کلاژن، جذب آب و هیدرولیز مونومرهای رزینی-یونی آب‌دوست در ترکیب ادهزیوها ثبات ناحیه‌ی

تضاد منافع

تضاد منافی وجود ندارد.

منابع

1. Rezaei-Soufi L, Tapak L, Forouzande M, Fekrazad R. Effects of motion direction and power of Er,Cr:YSGG laser on pull-out bond strength of fiber post to root dentin in endodontically-treated single-canal premolar teeth. *Biomater Res* 2019;23(1):1-8.
2. Özcan M, Volpato CAM. Current perspectives on dental adhesion (3): Adhesion to intraradicular dentin: Concepts and applications. *Jpn Dent Sci Rev* 2020;56(1):216-23.
3. Davoudi A, Mosharraf R, Akhavan A, Zarei F, Pourarz S, Iravani S. Effect of laser irradiation on push-out bond strength of dental fiber posts to composite resin core buildups: A systematic review and meta-analysis. *Photodiagn Photodyn Ther* 2019;184:27-92.
4. Saberi EA, Bijari S, Gholami F, Farahi F, Bamri A. Comparison of the frequency of dentinal cracks after apical resection in roots with cast post and fiber post. *J Mashhad Dent Sch* 2022;46(3):271-8.
5. Niu D, Xie J, Liu C, Ni S, Liu H. The influence of different treatments on fiber post and root canal to bond strength of fiber post. *J Adhesion Sci Technol* 2021;35(9):928-40.
6. Serafino C, Gallina G, Cumbo E, Ferrari M. Surface debris of canal walls after post space preparation in endodontically treated teeth: A scanning electron microscopic study. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2004; 97(3):381-7.
7. Frassetto A, Breschi L, Turco G, Marchesi G, Di Lenarda R, Tay FR, et al. Mechanisms of degradation of the hybrid layer in adhesive dentistry and therapeutic agents to improve bond durability - A literature review. *Dent Mater* 2016;32(2):e41-e53.
8. Davari A, Daneshkazemi A, Frahat F, Kohestani F. Effect of different synthetic matrix metalloproteinase inhibitors on composite-dentin microtensile bond strength durability. *J Dent Med* 2019;32(1):40-51.
9. Shafiei F, Firouzmandi M, Zamanpour M. The effect of two cross-linking agents on dentin bond strength of resin-modified glass ionomer. *Eur J Dent* 2017;11(04):486-90.
10. Kiuru O, Sinervo J, Vahanikkila H, Anttonen V, Tjaderhane L. MMP Inhibitors and dentin bonding: Systematic review and meta-analysis. *Int J Dent* 2021;2021:9949699.
11. De Munck J, Van Meerbeek B, Yoshida Y, Inoue S, Vargas M, Suzuki K, et al. Four-year water degradation of total-etch adhesives bonded to dentin. *J Dent Res* 2003;82:136-40.
12. Carvalho RM, Chersoni S, Frankenberger R, Pashley DH, Prati C, Tay FR. A challenge to the conventional wisdom that simultaneous etching and resin infiltration always occurs in self-etch adhesives. *Biomaterials* 2005;26(9):1035-42.
13. Pest LB, Cavali G, Bertani P, Gagliani M. Adhesive post endodontic restorations with fiber posts: Push-out tests and SEM observations. *Dent Mater* 2002;18:596-602.
14. Ricci HA, Sanabe ME, de Souza Costa CA, Pashley DH, Hebling J. Chlorhexidine increases the longevity of in vivo resin-dentin bonds. *Eur J Oral Sci* 2010;118(4):411-6.
15. Breschi L, Mazzoni A, Nato F, Carrilho M, Visintini E, Tjaderhane L, et al. Chlorhexidine stabilizes the adhesive interface: A 2-year in vitro study. *Dent Mater* 2010; 26(4):320-5.
16. Dutra-Correa M, Saraceni CH, Ciaramicoli MT, Kiyan VH, Queiroz CS. Effect of chlorhexidine on the 18-month clinical performance of two adhesives. *J Adhes Dent* 2013; 15(3):287-92.
17. Cecchin D, Giacomini M, Farina AP, Bhering CL, Mesquita MF, Ferraz CC. Effect of chlorhexidine and ethanol on push-out bond strength of fiber posts under cyclic loading. *J Adhes Dent* 2014; 16:87-92.
18. Cecchin D, de Almeida JFA, Gomes BPFA, Zaia AA, Ferraz CCR. Influence of chlorhexidine and ethanol on the bond strength and durability of the adhesion of the fiber posts to root dentin using a total etching adhesive system. *J Endod* 2011; 37:1310-5.
19. Ekambaram M, Yiu CKY, Matinlinna JP, Chang JWW, Tay FR, King NM. Effect of chlorhexidine and ethanol-wet bonding with a hydrophobic adhesive to intraradicular dentine. *J Dent* 2014; 42:872-82.
20. Tay FR, Loushine RJ, Lambrechts P, Weller RN, Pashley DH. Geometric factors affecting dentin bonding in root canals: A theoretical modeling approach. *J Endod* 2005;31:584-9.

21. Ghazvehi K, Saffarpour A, Habibzadeh S. Effect of pretreatment with matrix metalloproteinase inhibitors on the durability of bond strength of fiber posts to radicular dentin. *Clin Exp Dent Res* 2022;8(4):893-9.
22. Gale MS, Darvell BW. Thermal cycling procedures for laboratory testing of dental restorations. *J Dent* 1999;27(2):89-99.
23. Shafiei F, Yousefipour B, Mohammadi-Bassir M. Effect of carbodiimide on bonding durability of adhesive-cemented fiber posts in root canals. *Oper Dent* 2016;41(4):432-40.
24. Busenlehner LS, Armstrong RN. Insights into enzyme structure and dynamics elucidated by amide H/D exchange mass spectrometry. *Arch Biochem Biophys* 2005;433(1):34-46.
25. Scheffel DL, Bianchi L, Soares DG, Basso FG, Sabatini C, De Souza Costa CA, et al. Transdental cytotoxicity of carbodiimide (EDC) and glutaraldehyde on odontoblast-like cells. *Oper Dent* 2015;40:44-54.
26. Seseogullari-Dirihan R, Mutluay MM, Tjaderhane L, Breschi L, Pashley DH, Tezvergil-Mutluay A. Effect of pH on dentin protease inactivation by carbodiimide. *Eur J Oral Sci* 2017;125:288-93.
27. Scheffel DL, Delgado CC, Soares DG, Basso FG, De Souza Costa CA, Pashley DH, et al. Increased durability of resin-dentin bonds following cross-linking treatment. *Oper Dent* 2015;40:533-9.
28. Ferrari M, Mason PN, Goracci C, Pashley DH, Tay FR. Collagen degradation in endodontically treated teeth after clinical function. *J Dent Res* 2004;83:414-9.
29. Comba A, Scotti N, Mazzoni A, Maravic T, Cunha SR, Tempesta RM, et al. Carbodiimide inactivation of matrix metalloproteinases in radicular dentine. *J Dent* 2019;82:56-62.
30. Mazzoni A, Scaffa P, Carrilho M, Tjaderhane L, Di Lenarda R, Polimeni A, et al. Effects of etch-and-rinse and self-etch adhesives on dentin MMP-2 and MMP-9. *J Dent Res* 2013;92(1):82-6.
31. Assisa HC, do Nascimento GC, Roperto R, Sousa-Netod MD, Lopes-Olhee FC. Can carbodiimide (EDC) and chitosan cross-linking agents affect the longevity of fiberglass posts luted with different types of composite cements to root dentin? *J Adhes Dent* 2023;25:39-50.
32. Josic U, Mazzitelli C, Maravic T, Comba A, Cadenaro M, Radovic I, et al. The effect of carbodiimide on push-out bond strength of fiber posts and endogenous enzymatic activity. *BMC Oral Health* 2023;23(1):399.
33. Zhang Z, Beitzel D, Majd H, Mutluay M, Tezvergil-Mutluay A, Tay FR, et al. Effect of carbodiimide on the fatigue crack growth resistance of resin-dentin bonds. *Dent Mater* 2016; 32(2):211-22.
34. Mazzoni A, Tjaderhane L, Checchi V, Di Lenarda R, Salo T, Tay FR, et al. Role of dentin MMPs in caries progression and bond stability. *J Dent Res* 2015;94(2):241-51.
35. Breschi L, Martin P, Mazzoni A, Nato F, Carrilho M, Tjaderhane L, et al. Use of a specific MMP inhibitor (Galardin) for preservation of hybrid layer. *Dent Mater* 2010; 26:571-8.
36. Singh S, Nagpal R, Tyagi SP, Manuja N. Effect of EDTA conditioning and carbodiimide pretreatment on the bonding performance of all-in-one self-etch adhesives. *Int J Dent* 2015;2015:141890.
37. Mazzoni A, Angeloni V, Apolonio FM, Scotti N, Tjaderhane L, Tezvergil-Mutluay A, et al. Effect of carbodiimide (EDC) on the bond stability of etch-and-rinse adhesive Systems. *Dent Mater J* 2013;29(10):1040-7.
38. Sarkis-Onofre R, Skupien JA, Cenci MS, Moraes RR, Pereira-Cenci T. The role of resin cement on bond strength of glass-fiber posts luted into root canals. *Oper Dent* 2014;39(1) e31-e44.
39. Ito S, Hashimoto M, Wadgaonkar B, Svizero N, Carvalho RM, Yiu C, et al. Effects of resin hydrophilicity on water sorption and changes in modulus of elasticity. *J Biomed Mater Res* 2005;26(33):6449-59.
40. Luhrs AK, De Munck J, Geurtsen W, Van Meerbeek B. Does inhibition of proteolytic activity improve adhesive luting? *Eur J Oral Sci* 2013;121(2):121-31.