

Laboratory Investigation of Fracture Resistance in Endodontically Treated Premolars with Cervical Defects Restored with Short Fiber Reinforced Composites

Farnaz Farahat¹, Abdolrahim Davari², Maede Khoshdel^{3*}

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

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

³Post-graduate Student, Department of Operative Dentistry, School of Dentistry, Shahid Sadoughi University of Medical Sciences, Yazd, Iran

Received: 8 June 2025, Accepted: 15 September 2025

Background: Restoring endodontically treated maxillary premolars, especially in the presence of a cervical lesion, can be a challenge. In such cases, short fiber reinforced composites (SFRC) may be effective. This study aimed to evaluate the effect of composite type on the fracture strength of endodontically treated premolars with cervical defects.

Methods and Materials: A total of 50 human maxillary premolars were collected for this study. At first, 3 specimens were selected as negative controls. Then, standard mesio-occluso-distal (MOD) cavities and cervical defects were prepared on the buccal surfaces of the remaining specimens. After root canal treatment, 3 specimens were left unrestored and served as the positive control group. The remaining specimens were divided into four equal groups (n=11) according to the type of composite, i.e. SFRC (everX Flow, GC) and conventional (G-aenial Posterior, GC) composites used to restore MOD and cervical cavities. After restoration, the compressive strength was tested using a universal testing machine with a crosshead speed of 1mm/min while the fracture patterns were assessed under an optical microscope. Fracture strength values were subjected to one-way analysis of variance (ANOVA) and Tukey post hoc tests while the fracture patterns were analyzed by Chi-square test. The significance level was set at P<0.05.

Results: Fracture strength values in the group where both MOD cavities and cervical lesions were restored with SFRC composite, were significantly higher than in the group where MOD cavities were restored with conventional composite (P=0.018). No other significant differences were observed between the groups. Regarding fracture patterns, no significant differences were found among the groups.

Conclusion: According to the obtained results, using SFRC for restoring cervical lesions, can enhance the fracture resistance of endodontically treated maxillary premolars and teeth restored with SFRC exhibited more restorable fractures compared to other groups.

Keywords: Fiber reinforced composite, Fracture strength, Resin composite

***Corresponding Authors:** maedekhoshdel190@gmail.com

➤ **Please cite this paper as:** Farahat F, Davari A, Khoshdel M. Laboratory investigation of fracture resistance in endodontically treated premolars with cervical defects restored with short fiber reinforced composites. *J Mashhad Dent Sch* 2025; 49(3):328-42.

➤ **DOI:** [10.22038/jmds.2025.26659](https://doi.org/10.22038/jmds.2025.26659)



بررسی آزمایشگاهی میزان استحکام شکست دندان‌های پرمولر درمان ریشه شده دارای نقص سرویکالی و ترمیم شده با کامپوزیت های تقویت شده با الیاف کوتاه

فرناز فراغت^۱، عبدالرحیم داوری^۲، مائده خوشدل^{۳*}

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

تاریخ ارائه مقاله: ۱۴۰۳/۰۳/۱۸ - تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۶/۲۴

چکیده

مقدمه: ترمیم دندان های پرمولر درمان ریشه شده، به خصوص در حضور یک ضایعه ی سرویکالی، یک چالش در دندان پزشکی ترمیمی محسوب می شود. استفاده از کامپوزیت های تقویت شده با الیاف کوتاه (Short Fiber Reinforced composite : SFRC)، می تواند بر مقاومت شکست این دندان ها موثر باشد. بنابراین، تحقیق حاضر با هدف تعیین اثرات نوع کامپوزیت بر استحکام شکست پرمولرهای درمان ریشه شده با نقص سرویکالی انجام شد.

مواد و روش ها: در این تحقیق تجربی آزمایشگاهی، حفرات میو-اکلوزال-دیستال و سرویکالی استاندارد روی ۴۷ دندان پره مولر بالای کشیده شده انسانی تراشیده شدند. پس از انجام درمان ریشه، دندان ها بر حسب نوع کامپوزیت (SFRC Flowable یا کامپوزیت کانونشنال) به کار رفته در حفرات میو-اکلوزال-دیستال و سرویکالی، به ۴ گروه (N=۱۱) تقسیم گردیدند. همچنین برای هر یک از گروه های کنترل مثبت و منفی ۳ نمونه در نظر گرفته شد. پس از ترمیم، تست استحکام فشاری با دستگاه آزمون یونیورسال و سرعت 1mm/min انجام شد و الگوهای شکست با میکروسکوپ نوری تعیین شدند. مقادیر استحکام شکست با آزمون آنالیز واریانس یک طرفه و مقایسه های چندگانه Tukey و الگوهای شکست هم با آزمون chi-square آنالیز شدند. سطح معنی داری آماری ۰/۰۵ در نظر گرفته شد.

یافته ها: مقادیر استحکام شکست در گروه ترمیم حفرات میو-اکلوزال-دیستال و ضایعات سرویکالی با کامپوزیت SFRC، به صورت معنی داری بیشتر از گروه ترمیم حفره ی میو-اکلوزال-دیستال با کامپوزیت SFRC و ضایعات سرویکالی با کامپوزیت کانونشنال بود (p value=۰/۰۱۸). در سایر موارد تفاوت های معنی داری بین گروه ها دیده نشد. از نظر فراوانی نوع شکست، تفاوت معنی داری بین گروه ها مشاهده نگردید.

نتیجه گیری: کاربرد SFRC، به خصوص در حفره سرویکالی می تواند مقاومت به شکست دندان را افزایش دهد. همچنین دندان های ترمیم شده با SFRC، شکست های قابل ترمیم بیشتری نسبت به سایر گروه ها داشتند.

کلمات کلیدی: کامپوزیت تقویت شده با فایبر، استحکام شکست، کامپوزیت رزین

مجله دانشکده دندانپزشکی مشهد / سال ۱۴۰۴ / دوره ۴۹ / شماره ۳: ۳۲۸-۴۲

* مؤلف مسئول، نشانی: دانشکده دندانپزشکی، دانشگاه علوم پزشکی شهید صدوقی، یزد، ایران

E-mail: maedekhoshdel190@gmail.com

مقدمه

ترمیم دندان‌های درمان ریشه شده، به خصوص پرمولرها یکی از چالش‌های اساسی در دندانپزشکی ترمیمی است. در این دندان‌ها ساختار دندان به دلیل پوسیدگی، آماده‌سازی حفرات دسترسی و flaring کانال تضعیف شده و نبود رطوبت در عاج سبب کاهش انعطاف‌پذیری و افزایش احتمال شکست می‌شود.^(۱،۲)

از طرف دیگر، تهیه‌ی حفرات مزیو-اکلوژال-دیستال (MOD) در پرمولرهای فک بالا سبب کاهش سفتی کاسپی دندان به میزان ۶۳٪ می‌گردد.^(۳) شرایط وقتی سخت‌تر می‌شود که ضایعات سرویکالی هم وجود داشته باشند. ترکیبی از نیروهای فشاری و برشی بر پرمولرهای فک بالا اعمال شده و استعداد آنها برای شکست را افزایش می‌دهد. لذا، تقویت دندان‌های پرمولر درمان ریشه شده برای افزایش میزان مقاومت در برابر شکست آنها اهمیت زیادی دارد.^(۴)

به دلیل زیبایی کامپوزیت‌ها و وجود برخی دیدگاه‌ها درباره‌ی عدم زیست‌سازگاری آمالگام، کامپوزیت‌های دندان‌ی در دهه‌های گذشته به تدریج جایگزین آمالگام شدند.^(۵) رستوریشن‌های کامپوزیتی عملکرد بالینی خوبی در حفرات خلفی با سایز متوسط و کوچک داشته و میزان شکست سالانه‌ی آنها هم حدود ۱-۳٪ گزارش شده است.^(۶،۷)

بقای رستوریشن‌های خلفی کامپوزیتی هم ارتباط معنی‌داری با سایز رستوریشن‌ها دارد، طوری که میزان شکست رستوریشن‌های یک سطحی به طور سالانه ۰/۹۵ درصد و درباره‌ی رستوریشن‌های چهار یا چندسطحی معادل ۹/۴۳ درصد بوده است.^(۸) رستوریشن‌های بزرگ‌تر، استعداد بیشتری برای شکست و کاهش زمان کارکرد دارند.^(۹)

استعداد بیشتر رستوریشن‌های کامپوزیتی بزرگ برای شکست با چقرمگی شکست پائین ماده‌ی کامپوزیتی و فاکتورهای مرتبط با بیمار نظیر براکسیزم ارتباط دارد.^(۱۰) از طرف دیگر، دلایل شکست رستوریشن‌های کامپوزیتی در سال‌های اخیر از پوسیدگی‌های ثانویه و سایش به شکستگی رستوریشن، شکست دندان‌ها و درمان‌های اندودنتیک تغییر یافته است.^(۱۱)

دو مشکل اساسی مواد کامپوزیت رزین‌ها، انقباض پلیمریزاسیون و استرس‌های مرتبط و نیز استحکام شکست ناکافی نسبت به عاج است.^(۱۲) استحکام شکست ناکافی در رستوریشن‌های وسیع مستقیم (مانند حفرات MOD عمیق) به دلیل حجم بالای کاربرد ماده بیشتر قابل توجه است.^(۱۳) برخی روش‌ها برای ساپورت ساختار دندان‌ی باقیمانده و بهبود دوام رستوریشن‌های خلفی بزرگ پیشنهاد شده‌اند. یکی از آنها، کاربرد کامپوزیت‌های با دوام و تقویت شده با فایبر به عنوان کور (core) در زیر لایه‌ی مقاوم به سایش (کامپوزیت‌های کانونشنال) است که به عنوان رستوریشن‌های کامپوزیتی دولایه‌ای شناخته می‌شوند.^(۱۴،۱۵)

فرمولاسیون اولیه کامپوزیت‌های تقویت شده با الیاف کوتاه (short fiber reinforced composites: SFRC) به صورت packable بوده ولی نسخه‌ی flowable آنها (EverX Flow, GC, Flowable, Tokyo, Japan) با هدف تطابق راحت‌تر در حفرات بزرگ‌تر و فضا‌های محدود مانند کانال‌های ریشه معرفی شد.^(۱۶) این ماده ترکیبی از ماتریکس رزینی، الیاف شیشه‌ای قرار گرفته به صورت تصادفی و فیلرهای ذره‌ای معدنی است. ماتریکس رزین آنها هم حاوی بیسفنول-دی گلیسیدیل-دی متاکریلات (bis-GMA)، تری‌اتیلن گلیکول دی‌متاکریلات و پلی‌متیل متاکریلات است که یک ماتریکس شبکه‌ای پلیمری نیمه

۲) نوع کامپوزیت تأثیری بر الگوی شکست دندان های پرمولر اندو شده و دارای نقص سرویکالی ندارد.

مواد و روش ها

در این تحقیق تجربی آزمایشگاهی، از دندان پرمولر فک بالا که به دلایل پریدنتال یا ارتودنسی کشیده شده بودند، استفاده شد. معیارهای انتخاب دندان، عدم وجود پوسیدگی، ترک، درمان های قبلی ریشه ی دندان، پست یا روکش، تحلیل ریشه و کانال های جانبی آشکار بوده است. ابتدا برای برداشتن بافت نرم پوشش دهنده سطح ریشه در دندان های پرمولر تازه کشیده شده، از دستگاه اولتراسونیک استفاده شد. سپس، جهت ضد عفونی، نمونه ها به مدت ۲۴ ساعت در محلول کلرامین T ۰/۵ درصد قرار گرفتند. دندان ها در طول ۸ هفته پس از کشیدن دندان مورد استفاده قرار گرفتند.

برای شبیه سازی لیگامان پریدنتال، سطح ریشه ی هر دندان با استفاده از یک لایه موم (poly wax، ترکیه) پوشانده شد. برای شبیه سازی سطح استخوان هم، نمونه ها در رزین متاکریلات قرار داده شدند؛ به طوری که رزین ۲ میلی متر اپیکال تر از (CEJ) قرار گیرد.

بر روی دندان ها، یک حفره ی استاندارد MOD با استفاده از فرز الماسی فیشر ۰۰۸ (تیزکاوان - ایران) و همراه با کاربرد خنک کننده ی آب و هوا تراش داده شد، طوری که عرض باکولینگوال ایسموس اکلوزال یک سوم و عرض باکس پروگزیمال، دو سوم پهنای باکوپالاتال تاج باشد. کف جینجیوال ۱mm بالاتر از محل اتصال سمان به مینا (CEJ) و تمام زوایای داخلی گرد و حاشیه های سطح حفره به میزان ۹۰ درجه آماده سازی شدند. همچنین، در سطح باکال دندان ها حفره ی با ابعاد ۳×۳mm و عمق

نفوذی را تشکیل داده و خواص باندینگ را بهبود و سبب افزایش مقاومت رستوریشن می گردد.^(۱۷)

مطالعات مختلفی خصوصیات مکانیکی این کامپوزیت ها و تأثیر آنها بر استحکام شکست دندان ها را بررسی کرده اند. Garoushi و همکاران^(۱۸)، نشان دادند حفرات عمیق MOD با کاربرد SFRC در رستوریشن های مستقیم کامپوزیت، تقویت شده و در این رستوریشن ها، الگوهای شکست هم در اغلب موارد مناسب بوده اند. همچنین در مطالعه ی Sáry و همکاران^(۱۹)، نشان داده شد که SFRC ها قابلیت کاربرد به عنوان رستوریشن های کامل برای تقویت دندان هایی با ساختار تضعیف شده را دارند.

با وجودی که اغلب مطالعات درباره ی کامپوزیت های SFRC بیانگر افزایش میزان مقاومت به شکست ترمیم ها بوده ولی در کل، دندان های خلفی درمان ریشه شده به علت از دست دادن ریج مارجینال، مستعد شکست هستند. همچنین، اثر ضایعات سرویکالی و ترمیم این ضایعات بر مقاومت به شکست دندان های خلفی اندو شده مشخص نمی باشد.^(۲۰) به نظر می رسد زمانی که ضایعات سرویکالی با رزین کامپوزیت ترمیم شود، مقاومت به شکست دندان با دندان دست نخورده یکی باشد. تا به حال، هیچ بررسی درباره ی اثرات کامپوزیت های SFRC در دندان های اندو شده با ضایعات سرویکالی انجام نشده است. بنابراین، تحقیق حاضر با هدف تعیین اثرات نوع کامپوزیت بر مقادیر استحکام شکست دندان های پرمولر اندو شده ی دارای نقص سرویکالی انجام شد.

فرضیه ی صفر مطالعه شامل موارد زیر بود:

۱) نوع کامپوزیت تأثیری بر استحکام شکست دندان های پرمولر اندو شده و دارای نقص سرویکالی ندارد.

جدول ۱. مشخصات مواد مورد استفاده

Batch number	اجزای تشکیل دهنده	کارخانه و کشور سازنده	نوع ماده	
2312271	methacrylate monomers, pre-polymerized fillers, inorganic filler (Silica – Fluoroaluminosilicate), inorganic filler (Fumed silica), Pigments, catalysts	GC Japan	Conventional (G-aenial Posterior)	کامپوزیت
2402071	Organic resin matrix (Bis-MEPP, TEGDMA and UDMA. The fillers are a mix of short E-glass fibers and particle fillers, mostly barium glass) and inorganic glass fibers and filler particles	GC Japan	SFRC flowable (everX Flow)	
2400012664	Bis GMA-Ethanol-2-hydroxyethyl Methacrylate – 10-methacryloxydecyl dihydrogen phosphate	BISCO USA	All-Bond	باندینگ

در گروه اول، حفره‌ی MOD و حفره سرویکالی با استفاده از کامپوزیت SFRC ترمیم شد.

در گروه دوم، حفره‌ی MOD با کامپوزیت SFRC و ضایعه‌ی سرویکالی با کامپوزیت کانونشنال ترمیم شد.

در گروه سوم، حفره‌ی MOD و حفره سرویکالی با کامپوزیت کانونشنال ترمیم گردید.

در گروه چهارم، حفره‌ی MOD با کامپوزیت کانونشنال و حفره‌ی سرویکالی با کامپوزیت SFRC ترمیم شد.

برای ترمیم حفرات MOD، ابتدا نوار ماتریکس تافل مایر بسته شده و ادهزیو یونیورسال (All Bound Bisco، آمریکا) طبق دستورالعمل کارخانه‌ی سازنده به مدت ۲۰ ثانیه با کاربرد دستگاه لایت کیور Dentamerica (ساخت کشور تایوان) با شدت 800 mW/cm^2 کیور شد. برای این کار، نوک لایت کیور در تماس نزدیک (۱-۲ mm) با سطح دندان قرار گرفته بود.

۲mm تراش داده شد، بدین صورت مارجین اکلوزالی حفره‌ی این دیفکت‌ها ۴mm بالای CEJ و مارجین جینجیوالی آنها ۱mm بالاتر از CEJ قرار گرفت. پس از تکمیل آماده‌سازی حفره‌ی MOD و سرویکال، آماده‌سازی حفره‌ی دسترسی جهت انجام درمان ریشه با فرز الماسی گرد و خنک کننده‌ی آب انجام شد. بعد از تمیز کردن و فرم‌دهی، آبچوریشن کانال‌ها با کمک گوتا‌پرکای Dia (Dent Plus، کره جنوبی) و سیلر Master Dent (Dentonix، آمریکا) انجام شد. گوتا‌پرکا تا سطح اوریفیس بریده شده، دندان‌ها ۱ هفته در انکوباتور در دمای 37°C و رطوبت نسبی ۱۰۰٪ نگهداری شدند.

مواد مورد استفاده و مشخصات آنها در جدول ۱ آورده شده است.

نمونه‌ها (۴۴ نمونه) براساس روش ترمیم و به طور تصادفی به ۴ گروه (n=۱۱) تقسیم‌بندی شدند:



شکل ۱. نحوه ی قرار گیری نمونه ها در ماشین تست یونیورسال

ترمیم حفرات سرویکال با کامپوزیت SFRC (گروه‌های اول و چهارم) هم به این صورت بود که بعد از کاربرد ادهزیو روی سطح حفره، ابتدا در ۱mm از عمق حفره کامپوزیت SFRC قرار داده شده و به مدت ۴۰ ثانیه از سمت باکال کیور گردید. برای ۱mm نهایی هم، کامپوزیت کانونشنال (G-aenial Posterior, GC, ژاپن) قرار داده شده و ۴۰ ثانیه از سمت باکال کیور شد.

بعد از انجام ترمیم، فینیش و پالیش نمونه‌ها با استفاده از فرزهای ریزدانه‌ی (Vedent, Poland) و مولت پالیش (Komet, Switzerland) و خمیر پالیش آلومینیوم اکساید (Kenda, Germany) انجام شد.

در نهایت، نمونه‌های ترمیم شده، یک هفته در آب مقطر با دمای ۳۷°C نگهداری شدند. سپس تست استحکام فشاری با دستگاه آزمون یونیورسال (CH-8224, Walter+Bai Co, Lohringen, Switzerland) با سرعت

در حفرات MOD که با استفاده از کامپوزیت‌های SFRC ترمیم می شدند (گروه‌های اول و دوم)، ابتدا دیواره‌های پروگزیمالی با کامپوزیت کانونشنال (G-aenial Posterior, ژاپن، رنگ A2) شکل داده شد و هر یک ۴۰ ثانیه کیور گردید. پس از آن، حفره‌ی موجود با استفاده از کامپوزیت SFRC flowable (G-aenial Posterior, ژاپن) و با استفاده از تکنیک bulk-fill بازسازی شد. این ماده با توجه به آناتومی عاج به صورت تک لایه‌ای تا ۱ میلی‌متری مانده به سطح اکلوزال قرار داده شد و ۴۰ ثانیه از سطح اکلوزال کیور شد. آخرین لایه‌ی اکلوزال (۱mm باقی مانده از حفره) با کامپوزیت کانونشنال (G-aenial Posterior) ترمیم گردید.

در حفرات MOD که با کامپوزیت کانونشنال ترمیم می شدند (گروه‌های سوم و چهارم)، ابتدا دیواره‌های پروگزیمالی با کامپوزیت کانونشنال (G-aenial Posterior) شکل داده شد و به مدت ۴۰ ثانیه کیور شدند. حفره‌ی باقیمانده با استفاده از کامپوزیت کانونشنال و با تکنیک oblique incremental بازسازی گردید. این کامپوزیت ها ، به صورت لایه‌های ۲ میلی‌متری قرار گرفته و هر یک از لایه‌ها از سطح اکلوزال به مدت ۴۰ ثانیه کیور شدند.

بعد از تکمیل ترمیم حفره‌ی اکلوزالی، نوار ماتریکس باز شده و پس از آن، حفره‌ی سرویکالی ترمیم گردید. روش کاربرد باندینگ در حفره‌ی سرویکال مشابه حفره‌ی اکلوزال بود. ترمیم حفرات سرویکال با کامپوزیت کانونشنال (گروه‌های دوم و سوم) به این صورت بود که بعد از کاربرد ادهزیو روی سطح، حفره به صورت oblique incremental با استفاده از کامپوزیت کانونشنال (G-aenial Posterior, ژاپن) ترمیم و هر لایه به مدت ۴۰ ثانیه کیور گردید.

گردید. شاخص‌های پراکندگی مرکزی مقادیر استحکام شکست گروه‌های با کاربرد کامپوزیت‌های کانونشنال و SFRC برای ترمیم حفرات MOD و ضایعات سرویکال محاسبه شد. مقایسات آماری انواع الگوهای شکست با آزمون chi-square و درباره‌ی مقادیر استحکام شکست با آزمون آنالیز واریانس یک‌طرفه انجام شد. سطح معنی‌داری در این تحقیق برابر ۰/۰۵ در نظر گرفته شد.

یافته‌ها

مقادیر استحکام شکست در گروه‌های مورد مطالعه در جدول ۲ ارائه شده است. طبق نتایج تحقیق، در گروه‌های ترمیم شده با کامپوزیت (گروه‌های یک تا چهار)، بیشترین و کمترین میانگین استحکام شکست به ترتیب مربوط به گروه‌های ۲ و ۱ بوده است. برای بررسی نرمال بودن داده‌های استحکام شکست از آزمون Kolmogorov-Smirnov استفاده شد و با توجه به $p\text{-value} = ۰/۲$ فرض نرمال بودن داده‌ها پذیرفته شد. لذا، جهت آنالیز آماری از آزمون‌های پارامتریک استفاده گردید.

۱mm/min انجام شد؛ به طوریکه محل اعمال نیرو بر روی شیب کاسپ‌های باکال و لینگوال باشد. برای این کار، نمونه‌ها به صورت عمودی روی پایه‌ی دستگاه قرار داده شد و تا زمان ایجاد شکست تحت نیروی فشاری قرار گرفتند. میزان نیرویی که سبب شکست نمونه‌ها می‌شد، برحسب نیوتن ثبت و به عنوان مقدار مقاومت به شکست در نظر گرفته شد. مانند تصویر ۱ نمونه‌ها طوری قرار گرفتند که بازوی دستگاه با هر دو کاسپ در تماس باشد.

برای تعیین طرح شکست، نمونه‌ها در زیر یک میکروسکوپ نوری با بزرگنمایی $20\times$ (Wild M420؛ Switzerland، Wild Heerbrugg) بررسی شده و شکست بالاتر از CEJ، قابل ترمیم و شکستگی زیر CEJ غیرقابل ترمیم در نظر گرفته شد. تمام مراحل توسط یک اپراتور انجام شد.

داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار (SPSS 25.0) تجزیه و تحلیل شد. برای این کار، فراوانی و درصد شکست‌های قابل ترمیم و غیرقابل ترمیم در گروه‌ها محاسبه و گزارش

جدول ۲. مقادیر استحکام شکست و فراوانی الگوی شکست در گروه‌های مورد مطالعه (گروه اول تا چهارم)

نوع شکست		میزان استحکام شکست (N) انحراف معیار میانگین	ترمیم حفره‌ی سرویکالی	ترمیم حفره‌ی MOD	تعداد	گروه
غیر قابل ترمیم	قابل ترمیم					
درصد (تعداد)	درصد (تعداد)					
۱۸/۲٪ (۲)	۸۱/۸٪ (۹)	۱۰۰۱/۷۰±۱۳/۸۹	SFRC	SFRC	۱۱	گروه ۱
۷۲/۷٪ (۸)	۲۷/۳٪ (۳)	۶۵۷/۶۳±۷۶/۳۲	Conventional	SFRC	۱۱	گروه ۲
۵۴/۵٪ (۶)	۴۵/۵٪ (۵)	۸۱۴/۹۷±۶۹/۷۱	Conventional	Conventional	۱۱	گروه ۳
۷۲/۷٪ (۸)	۲۷/۳٪ (۳)	۸۵۲/۹۴±۲۱/۴۰	SFRC	Conventional	۱۱	گروه ۴



شکل ۳. شکست قابل ترمیم زیر میکروسکوپ نوری با بزرگنمایی ۲۰ برابر



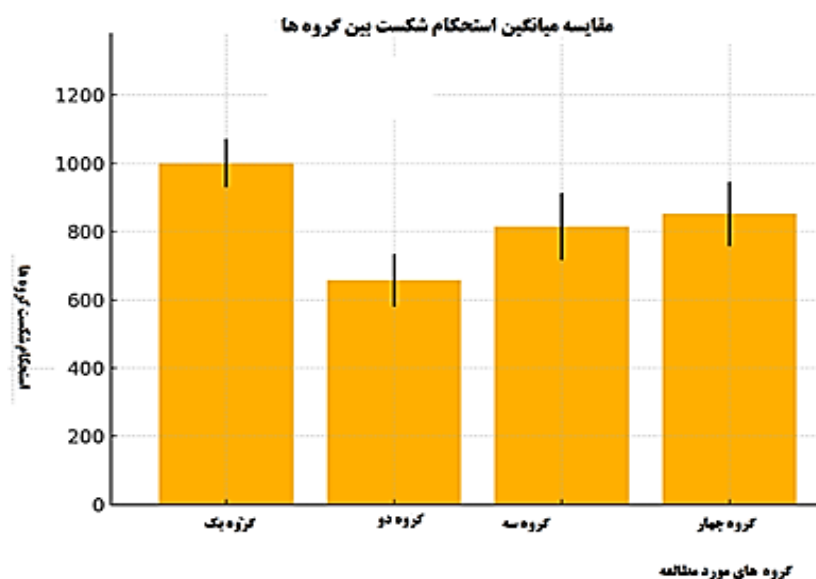
شکل ۲. شکست غیر قابل ترمیم زیر میکروسکوپ نوری با بزرگنمایی ۲۰ برابر

در تصویر شماره ۲ و ۳، الگوی شکست غیر قابل ترمیم و قابل ترمیم در زیر میکروسکپ نوری مشاهده می شود. در نمودار یک و دو به ترتیب مقایسه ی استحکام شکست و الگوی شکست مشاهده می شود.

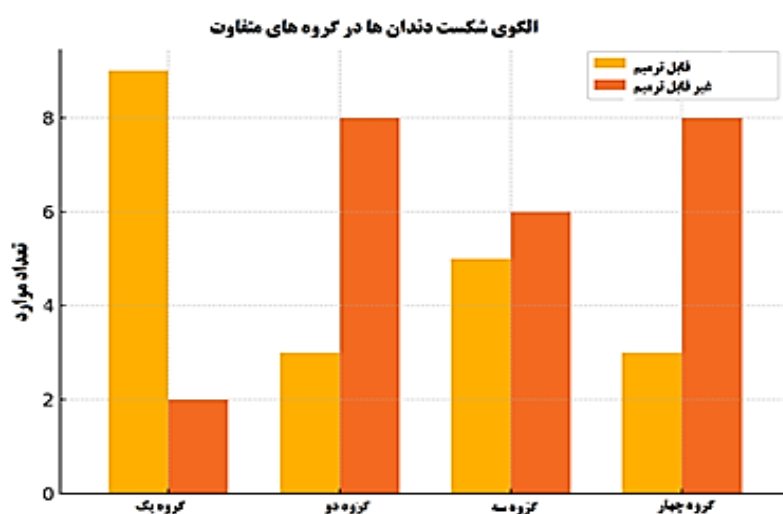
برای مقایسه ی بین گروه ها از آزمون تحلیل واریانس یک طرفه (one-way ANOVA) استفاده شد و طبق نتایج تحقیق مشخص شد که بین گروه های مورد مطالعه تفاوت آماری معناداری از نظر استحکام شکست وجود داشته است ($p\text{-value}=0/001$). برای مقایسه ی دو به دو گروه ها از آزمون Tukey HSD استفاده شد و بر اساس نتایج این آزمون، تنها بین گروه های یک و دو ($0/018=p\text{-value}$) و سایر گروه ها تفاوت معنادار آماری وجود نداشت.

در مورد فراوانی و درصد الگوی شکست، همان طور که در جدول آمده است، بالاترین میزان الگوی شکست قابل ترمیم در گروه ۱ و بیشترین میزان الگوی شکست غیر قابل ترمیم در گروه های ۲ و ۴ دیده شد.

برای مقایسه ی الگوی شکست بین گروه های مورد مطالعه از آزمون (Chi-Square) استفاده شد. نتایج نشان داد که تفاوت آماری معناداری بین گروه های مورد مطالعه وجود نداشت ($p\text{-value} = 0/15$).



نمودار ۱. مقایسه‌ی میانگین استحکام شکست بین گروه‌های مطالعه



نمودار ۲. مقایسه‌ی الگوی شکست در گروه‌های مختلف مطالعه

بحث

می‌گردد. از طرفی دندان‌های پرمولر زیر گروه استثنایی از دندان‌های خلفی درمان ریشه شده هستند چراکه این دندان‌ها تحت تاثیر مجموعه‌ای از استرس‌های فشاری و برشی قرار می‌گیرند. در نتیجه، دستیابی به یک تکنیک مناسب آماده‌سازی دندان و ماده‌ی ایده‌آل برای جلوگیری از شکست دندان و تقویت آنها اهمیت دارد. در چنین

بازسازی دندان‌های با سابقه‌ی درمان اندو یک چالش می‌باشد. درمان ریشه موجب حذف بخش قابل‌توجهی از بافت سخت دندان می‌شود که در کنار تخریب ناشی از پوسیدگی، حفرات کلاس II (به ویژه MOD) و ضایعات سرویکالی، منجر به تضعیف ساختار باقیمانده دندان

شرایطی، انتخاب ماده ترمیمی مناسب می‌تواند نقش کلیدی در افزایش مقاومت به شکست، توزیع مناسب تنش و پیشگیری از شکست‌های غیرقابل ترمیم ایفا کند.

این مطالعه با هدف بررسی تأثیر استفاده از کامپوزیت تقویت‌شده با فایبر کوتاه (SFRC) در دندان‌های پرمولر درمان ریشه شده و دارای ضایعه سرویکالی، بر استحکام شکست و الگوی شکست دندان‌ها طراحی شد.

استحکام شکست یکی از خصوصیات اساسی برای تعیین دوام و کارکرد رستوریشن‌ها می‌باشد. تحقیقاتی درباره‌ی موضوع ظرفیت تحمل نیرو توسط رستوریشن‌ها انجام شده است. در شرایط بالینی، ظرفیت تحمل نیرو ارتباط زیادی با کیفیت و کمیت ساختار دندان‌ی باقیمانده دارد. در این تحقیق، از دندان‌های پرمولر فک بالای کشیده شده‌ی انسانی برای تعیین استحکام شکست رستوریشن‌ها استفاده شد. استفاده از دندان‌های انسانی در تحقیقات آزمایشگاهی امکان شبیه‌سازی پارامترهای مکانیکی و بقای مجموعه‌ی دندان-رستوریشن را فراهم می‌سازد. در شرایط استفاده از دندان‌های کشیده شده‌ی انسانی، مقادیر ظرفیت تحمل نیرو در مقایسه با شرایط استفاده از مدل‌های استاندارد و مصنوعی بسیار کمتر خواهد بود. همچنین اگر شکست روی دهد، الگوی شکست قابلیت ترمیم دندان را تعیین کرده و از این جهت، الگوی شکست عامل مؤثری است.

مقاومت در برابر شکست با روش و سرعت اعمال نیرو حین انجام تست مرتبط است. کاربرد نیرو در جهت محور طولی دندان باعث می‌شود نیروها به صورت یکنواخت پخش شوند. در این تحقیق، نیرو به صورت عمودی و با یک سرعت ثابت منتقل گردید. سرعت بارگذاری هم بر استحکام شکست و نوع شکست موثر می‌باشد. در تحقیق حاضر، سرعت بارگذاری در تمام دندان‌ها برابر ۱mm/min

تعیین شد و نیروها هم تا جایی وارد شدند که نمونه دچار شکست شود. مقادیر استحکام فشاری و نوع شکست‌ها در آزمایش‌های استحکام، تابعی از سرعت بارگذاری بوده و مقدار آن به سرعت کشش نیز بستگی دارد. به بیان دیگر، هر قدر سرعت بارگذاری بیشتر باشد، استحکام فشاری ثبت شده هم بالاتر خواهد بود. بنابراین، برای مقایسه‌ی مقاومت شکست نمونه‌های مختلف لازم است سرعت بارگذاری در تمام آنها یکسان باشد.^(۲۱)

در این تحقیق، از کامپوزیت SFRC flowable (everX GC, Flow) (ژاپن) استفاده شد که ساختار منحصر به فرد و محتوای فیبر بالایی دارد. از طرف دیگر، نوع flowable حاوی ۲۵ درصد وزنی الیاف و در نوع packable این نسبت تنها ۹ درصد وزنی است. کاربرد SFRC flowable نتایج مناسبی در ترمیم‌های مستقیم در شرایط بالینی به همراه داشته است.

طبق نتایج تحقیق، بیشترین مقادیر استحکام شکست، پس از گروه کنترل منفی، در گروه اول یعنی در ترمیم حفره‌ی MOD و ضایعه‌ی سرویکالی با کامپوزیت SFRC گزارش گردید. از طرف دیگر، گروه دوم یعنی رستوریشن‌های با ترمیم حفره‌ی MOD با کامپوزیت SFRC و ضایعه‌ی سرویکالی با کامپوزیت کانونشنال در مقایسه با گروه‌های دیگر مقادیر استحکام شکست کمتری نشان داد.

تفاوت آماری معنادار بین گروه ۱ و گروه ۲ مشاهده شد. لذا فرضیه اول تحقیق رد گردید.

کاربرد کامپوزیت‌های با فایبر کوتاه (SFRC) در بازسازی دندان‌های با ساختار تضعیف شده به دلیل درمان‌های ریشه، مورد توجه قرار گرفته است. در کامپوزیت‌های SFRC، فایبرها به طور تصادفی قرار گرفته و توانایی استحکام‌بخشی در جهات مختلف را دارند. این مواد اغلب برای جایگزینی عاج به کار می‌روند، چرا که روش تهیه‌ی

آنها آسان بوده و از آنها می‌توان برای بازسازی سریع دندان‌های با ساختار تضعیف شده استفاده کرد.^(۲۲)

Sáry و همکاران^(۱۹)، عملکرد مکانیکی رستوریشن‌های وسیع ساخته شده از کامپوزیت SFRC بدون پوشش را بررسی و نشان دادند کاربرد کامپوزیت‌های SFRC سبب بهبود پتانسیل تحمل استرس رستوریشن‌ها شده و این کامپوزیت‌ها قابلیت کاربرد به عنوان رستوریشن‌های کامل برای تقویت دندان‌های با ساختار تضعیف شده را دارند. همچنین، Jakab و همکاران^(۲۰)، استحکام شکست حفرات MOD کلاس II بازسازی شده با روش‌های مختلف را بررسی و نشان دادند حفرات ترمیم شده با کامپوزیت رزین تقویت شده با فایبر کوتاه استحکام شکست بیشتری نسبت به گروه‌های ترمیم شده با کامپوزیت رزین مستقیم دارند. طبق برآورد Tempesta و همکاران^(۲۳)، هم کاربرد کامپوزیت تقویت شده با فایبر سبب بهبود مقادیر استحکام شکست شده بود. این پدیده سبب توزیع دوباره نیروهای اکلوزال در رستوریشن‌ها شده و پیچ خوردگی ترک‌ها را به دنبال دارد که همگی سبب کاهش شدت استرس‌ها و پیشگیری از رشد سریع ترک‌ها می‌شوند. Mangoush و همکاران^(۲۴) و نیز Bijelic-Donova و همکاران^(۲۵)، هم توصیه کردند SFRC باید در نواحی با استرس‌های بیشتر مورد استفاده قرار بگیرند تا چقرمگی شکست را افزایش داده و نیز مقاومت رستوریشن‌های بیومیمتیک را در برابر شکست و پیدایش ترک افزایش دهند.

در تحقیق Nagata و همکاران^(۲۶)، هم مشخص شد کامپوزیت‌های SFRC بدون توجه به نوع طراحی حفره دسترسی، استحکام شکست دندان‌های پرمولر فک پایین درمان ریشه شده را افزایش می‌دهند. اما در مطالعه ی Shilpa-Jain و همکاران^(۲۷)، که خواص مکانیکی و

ساختاری کامپوزیت های دندان‌ی تقویت شده با الیاف کوتاه انجام شد، مشخص گردید که مقاومت خمشی نهایی این کامپوزیت ها تفاوت چشمگیری با کامپوزیت های کانونشنال ندارند. گرچه این کامپوزیت ها مزیت هایی در برابر توقف ترک دارند، اما لزوماً از نظر مقاومت نهایی، بالاتر نیستند.

تفاوت در نوع، آناتومی و مورفولوژی دندان‌ها، نوع ماده‌ی باندینگ و کامپوزیت مورد استفاده، روش پلیمریزاسیون و میزان ساختار دندان‌ی باقیمانده پس از تراش از جمله فاکتورهای موثر بر مقاومت به شکست دندان‌ها بوده و می‌توانند در نتایج تحقیقات مختلف تأثیرگذار باشند.

در مطالعه حاضر استحکام شکست گروه یک به طور معناداری بالاتر از گروه دو بود. در هر دو گروه، حفره MOD با SFRC ترمیم شده بود، اما نوع ترمیم ضایعه سرویکالی در گروه ۱، SFRC و در گروه ۲، کامپوزیت کانونشنال بود. در مقایسه ی گروه ۳ و ۴ که حفره ی MOD با کامپوزیت کانونشنال ترمیم شده بود، نیز مشاهده شد که استحکام شکست گروه ۴ (ترمیم ضایعه ی سرویکال با SFRC) بیشتر از گروه سه (ترمیم ضایعه ی سرویکال با کانونشنال) بود. هرچند این تفاوت از نظر آماری معنادار نبود. بنابراین می توان نتیجه گرفت که در مطالعه ی حاضر احتمالاً، نوع کامپوزیت به کاررفته در ضایعه ی سرویکالی نسبت به نوع کامپوزیت حفره ی MOD، تأثیر بیشتری در استحکام شکست دندان های پرمولر درمان ریشه شده، ایفا کرده است.

همان طور که اشاره شد در مطالعه حاضر نوع شکست نمونه ها هم بررسی گردید و به دو دسته ی قابل ترمیم (شکستگی بالاتر از CEJ) و غیر قابل ترمیم (شکستگی زیر CEJ) تقسیم شد. شکستگی های بالای CEJ به راحتی با تکنیک های ترمیمی، ترمیم می

نسبت به سایر گروه‌ها ثبت شد و دلیل آن با مقادیر فایبر موجود در ماده مرتبط دانسته شد.

از طرفی برخی محققان از رستوریشن‌های SFRC به عنوان بیس بالک در حفرات MOD وسیع استفاده کرده و نشان داده‌اند ترمیم دندان‌های با ساختارهای تضعیف شده با استفاده از SFRC و کامپوزیت‌های کانونشنال نسبت به کاربرد کامپوزیت‌های کانونشنال برتری دارد.^(۳۱،۳۲)

کامپوزیت‌های فاقد فایبرهای تقویتی، چقرمگی شکست کافی نداشته و به دلیل مقادیر کمتر چقرمگی شکست در آنها نسبت به رستوریشن‌های SFRC، توانایی توقف پیدایش ترک در آنها محدود است. در نتیجه، کاربرد آنها سبب تسریع در پیدایش ترک می‌شود. در این شرایط، استرس‌های ناحیه‌ی حدفصل ترک-فیلر که دلیل اساسی شکست‌های فاجعه‌بار در رستوریشن‌های کامپوزیتی یا شکست‌های قابل ترمیم در رستوریشن‌های تقویت شده با فایبر هستند، تشدید می‌گردد.^(۳۳،۳۴)

الگو و موقعیت شکست رستوریشن به توانایی دندان‌ها برای توزیع انرژی اعمال شده از طریق تروما به طور مساوی در کل بدنه‌ی دندان بستگی دارد. در نتیجه، میزان تنش‌های اعمال شده نیز کاهش پیدا می‌کند. هنگامی که دندان‌ها به دلیل آسیب‌های قبلی تضعیف می‌شوند، انرژی بارگذاری شده از طریق نیروهای جویدن یا تروما به آسانی منتقل شده و در ناحیه‌ی ریشه متمرکز می‌شود. در این شرایط و در صورتی که شکست به دلیل تمرکز نیروها در ناحیه‌ی خاصی از دندان روی دهد، خط شکستگی به ناحیه‌ی ریشه منتقل می‌گردد.^(۳۵) تاکنون، مطالعه‌ی الگوی شکست دندان‌های درمان ریشه شده‌ی دارای حفرات سرویکالی را بررسی نکرده است. اما بر اساس نتایج مطالعه‌ی حاضر به نظر می‌رسد در صورتی که هر دو حفرة با SFRC ترمیم شود، الگوی شکست مناسبی به

گردند و بنابراین مطلوب در نظر گرفته می‌شوند. با این حال، شکستگی‌های عمیق‌تر از این، نامطلوب هستند، زیرا نمی‌توانند به راحتی ترمیم شوند و ممکن است نیاز به مداخلات درمانی بیشتری مانند افزایش طول تاج و forced-eruption ارتودنسی داشته باشند و در برخی موارد، دندان حتی ممکن است کاندیدای کشیدن باشد.

طبق نتایج تحقیق، هرچند تفاوت آماری معناداری بین الگوی شکست گروه‌ها وجود نداشت، درگروه اول (استفاده از کامپوزیت SFRC برای ترمیم حفرة MOD و ضایعه‌ی سرویکالی) بیشترین فراوانی شکست‌های قابل ترمیم (۸۱/۸٪) دیده شد. پس از آن فراوانی شکست قابل ترمیم بیشتر در گروه سوم (ترمیم هر دو حفرة با کامپوزیت کانونشنال) مشاهده گردید. گروه‌های دوم و چهارم هم درصد الگوی شکست مشابهی نشان داده‌اند. از آنجایی که تفاوت‌های معنی‌داری از جهت تحلیل الگوی شکست در گروه‌های مختلف مورد بررسی دیده نشده، فرضیه‌ی دوم مطالعه پذیرفته شد.

براساس پیشینه‌های تحقیقاتی، کامپوزیت‌های SFRC از نظر الگوهای شکست عملکرد بهتری در توقف و منحرف ساختن پیدایش ترک دارند. البته تمایز بین شکست‌های قابل ترمیم و غیرقابل ترمیم باید طبق مشاهدات میکروسکوپی بصری و ترجیحاً براساس توافق بین دو مشاهده‌گر انجام شود. فایبرهای جذب کننده‌ی انرژی و پخش کننده‌ی استرس در این کامپوزیت‌ها باعث می‌شوند تا ترک‌ها به سمت پیرامون ماده منحرف شده و الگوهای شکست هم به صورت مناسب باشند.^(۲۸،۲۹)

در بررسی Scotti و همکاران^(۳۰)، کامپوزیت‌های SFRC (EverX Posterior) و ماده‌ی CAD/CAM SFRC بررسی و الگوهای شکست مناسب بیشتری در ماده‌ی CAD/CAM

محیط دهان و آنهایی که در دستگاه و تحت اعمال نیروهای کنترل شده رخ می‌دهد، دیده شده است. شرایط دمایی، شیمیایی و استرس‌های فیزیکی محیط دهان در طولانی‌مدت با فرآیند پیرسازی ترمیم می‌تواند اثرات نامناسبی بر نتایج به دست آمده داشته باشند. لذا، ضروری است مطالعات بیشتری در شرایط بازسازی محیط دهان از نظر فیزیکی و اعمال نیروها انجام شود.

نتیجه‌گیری

کاربرد SFRC، به خصوص در حفره سرویکالی می‌تواند مقاومت به شکست دندان را افزایش دهد. دندان‌های ترمیم شده با SFRC، شکست‌های قابل ترمیم بیشتری نسبت به سایر گروه‌ها داشتند.

تشکر و قدردانی

این مقاله برگرفته از پایان‌نامه‌ی تخصصی دانشکده دندان پزشکی دانشگاه علوم پزشکی یزد با شماره‌ی ۲۶۴ بوده و با همکاری آزمایشگاه مواد دندان‌دانی دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی انجام شده است. بدین وسیله از هر دو دانشگاه جهت همکاری با این تحقیق تقدیر و تشکر می‌گردد.

تضاد منافع

تضاد منافی وجود ندارد.

دست می‌آید. در جایگاه بعدی، دندان‌هایی هستند که هر دو حفره با کامپوزیت کانونشنال ترمیم شده‌اند. بنابراین به نظر می‌رسد در صورتی که هر دو حفره با یک نوع ماده ترمیم شود، توزیع استرس و نیروها به صورت بهتری انجام می‌شود. به خصوص اگر این ماده‌ی کامپوزیت تقویت شده با فایبر باشد، شکست‌های غیر قابل ترمیم به حداقل می‌رسد.

نیروهای داخل دهانی از لحاظ بزرگی، سرعت اعمال نیرو و جهت در افراد و سنین مختلف با یکدیگر متفاوت هستند. اما در مطالعات آمده است که در طول عملکرد فیزیولوژیک دندان‌ها، مقدار نیروی اکلوزالی اعمال شده در اغلب موارد از ۶۰۰ نیوتن بالاتر نمی‌رود. در تحقیق حاضر تمام گروه‌های مورد بررسی استحکام شکست بالاتر از این مقدار فیزیولوژیک را داشته‌اند. با وجود برخی تفاوت‌ها در مقادیر استحکام شکست دندان‌های ترمیم شده با کامپوزیت‌های SFRC و کانونشنال، این تفاوت‌ها در شرایط بالینی ممکن است چندان واضح نباشد. البته این احتمال هم وجود دارد که شکست‌های ناشی از خستگی باعث گردد تا در محیط دهان به علت تروما یا جویدن مواد سخت، شکست در مقادیر نیروهای پایین‌تری روی دهد. همچنین در شرایط کلینیکی استحکام شکست به تنهایی نمی‌تواند پیش‌بینی‌کننده‌ی دوام ترمیم‌ها باشد و بهتر است در آینده مطالعه‌ای با هدف تعیین استحکام خستگی ترمیم‌ها انجام شود تا نتایج مطالعه قابل استنادتر باشد.

در این تحقیق، دندان‌ها در مدت زمان نسبتاً کوتاهی پس از ترمیم تحت آزمون مقاومت در برابر شکست قرار گرفتند. تفاوت‌های مشخصی بین شکست‌های رخ داده در

منابع

1. Cobankara FK, Orucoglu H. Effect of a new restoration technique on fracture resistance of endodontically treated teeth. *Dent Traumatol* 2008; 24(2): 214-9.
2. Nagasiri R, Chitmongkolsuk S. Long-term survival of endodontically treated molars without crown coverage: a retrospective cohort study. *J Prosthet Dent* 2005;93(2):164-70.
3. El-Helali R, Dowling AH, McGinley EL, Duncan HF, Fleming GJ. Influence of resin-based composite restoration technique and endodontic access on cuspal deflection and cervical microleakage scores. *J Dent* 2013;41(3):216-22.
4. Oskoe PA, Ajami AA, Navimipour EJ, Oskoe SS, Sadjadi J. The effect of three composite fiber insertion techniques on fracture resistance of root-filled teeth. *J Endod* 2009;35(3):413-6.
5. Roulet JF. Benefits and disadvantages of tooth-coloured alternatives to amalgam. *J Dent* 1997;25:459-73.
6. Demarco FF, Correa MB, Cenci MS. Longevity of posterior composite restorations: not only a matter of materials. *Dent Mater* 2012;28:87-101.
7. Iraj P, Ahmadi G, Esmaeli B, Hashemi SS. Evaluation of the effect of glass fiber inserts along with bulk-fill composite on fracture resistance of endodontically treated premolar teeth. *J Mashhad Dent Sch* 2023; 47(4):371-8.
8. Bernardo M, Luis H, Martin MD. Survival and reasons for failure of amalgam versus composite posterior restorations placed in a randomized clinical trial. *J Am Dent Assoc* 2007;138:775-83.
9. Opdam NJ, Bronkhorst EM, Roeters JM. A retrospective clinical study on longevity of posterior composite and amalgam restorations. *Dent Mater* 2007; 23:2-8.
10. Van Nieuwenhuysen JP, D'Hoore W, Carvalho J. Long-term evaluation of extensive restorations in permanent teeth. *J Dent* 2003;31:395-405.
11. Brunthaler A, Konig F, Lucas T. Longevity of direct resin composite restorations in posterior teeth. *Clin Oral Investig* 2003;7:63-70.
12. Opdam NJ, Bronkhorst EM, Roeters JM. Longevity and reasons for failure of sandwich and total-etch posterior composite resin restorations. *J Adhes Dent* 2007;9:469-75.
13. Sakaguchi R, Ferracane J, Powers J. Craig's Restorative Dental Materials. 14th ed. St. Louis: Elsevier; 2019.P.136.
14. Deliperi S, Alleman D, Rudo D. Stress-reduced direct composites for the restoration of structurally compromised teeth: fiber design according to the "wallpapering" technique. *Oper Dent* 2017;42:233-43.
15. Lassila L, Keulemans F, Säilynoja E, Vallittu PK, Garoushi S. Mechanical properties and fracture behavior of flowable fiber reinforced composite restorations. *Dent Mater* 2018;34(4):598-606.
16. Braga RR, Boaro LC, Kuroe T, Azevedo CL, Singer JM. Influence of cavity dimensions and their derivatives (volume and 'C' factor) on shrinkage stress development and microleakage of composite restorations. *Dent Mater* 2006;22: 818-23.
17. Keulemans F, Garoushi S, Lassila L. Fillings and core-built ups. In: Vallittu P, Özcan M. A Clinical Guide to Principles of Fiber Reinforced Composites (FRCs) in Dentistry. 1st ed. Oxford: Woodhead Publishing; 2017. P. 131-63.
18. Garoushi S, Gargoum A, Vallittu PK. Short fiber-reinforced composite restorations: a review of the current literature. *J Invest Clin Dent* 2018; 9: e12330.
19. Sáry T, Garoushi S, Braunitzer G, Alleman D, Volom A, Fráter M. Fracture behaviour of MOD restorations reinforced by various fiber-reinforced techniques-An in vitro study. *J Mech Behav Biomed Mater* 2019; 98; 348-56.
20. Jakab A, Palkovics D, Szabo VT, Szabo B, Vincze-Bandi E, Braunitzer G, et al. Mechanical performance of extensive restorations made with short fiber-reinforced composites without coverage: a systematic review of in vitro studies. *Polymers (Basel)* 2024; 16(5):590.
21. Tsetsidou V, Mourouzis P, Dionysopoulos D, Pandoleon P, Tolidis K. Fracture resistance of class II MOD cavities restored by direct and indirect techniques and different materials combination. *Polymers* 2023; 15: 3413.

22. Alvanforoush N, Palamara J, Wong RH. Comparison between published clinical success of direct resin composite restorations in vital posterior teeth in 1995–2005 and 2006–2016 periods. *Aust Dent J* 2017; 62: 132–45.
23. Tempesta RM, Saratti CM, Rocca GT, Pasqualini D, Alovise M, Baldi A, et al. Effects of different fiber-reinforced solutions on fracture strength and pattern in endodontically treated molars. *Int J Prosthodont* 2023; 36(5): 603–11.
24. Mangoush E, Garoushi S, Lassila L, Vallittu PK, Säilynoja E. Effect of fiber reinforcement type on the performance of large posterior restorations: A review of in vitro studies. *Polymers* 2021; 13: 3682
25. Bijelic-Donova J, Garoushi S, Vallittu PK, Lassila LV. Mechanical properties, fracture resistance, and fatigue limits of short fiber reinforced dental composite resin. *J Prosthet Dent* 2016; 115: 95–102.
26. Nagata K, Garoushi SK, Vallittu PK, Wakabayashi N, Takahashi H, Lassila LVJ. Fracture behavior of single-structure fiber-reinforced composite restorations. *Acta Biomater Odonto Scandi* 2016; 2: 118–24.
27. Shilpa-Jain DP, Krithikadatta J, Kowsky D, Natanasabapathy V. Effect of cervical lesion centered access cavity restored with short glass fiber reinforced resin composites on fracture resistance in human mandibular premolars- an in vitro study. *J Mech Behav Biomed Mater* 2021; 122: 104654.
28. Davari A, Moghadam M, Davoudi H. Comparison of microleakage in composite C1 II restorations by open sandwich and snowplow technique. *J Mashhad Dent Sch* 2022; 46(2): 93–102.
29. Selvaraj H, Krithikadatta J, Shrivastava D, Onazi MAA, Algarni HA, Munaga S, et al. Systematic review fracture resistance of endodontically treated posterior teeth restored with fiber reinforced composites - a systematic review. *BMC Oral Health* 2023; 23: 566.
30. Scotti N, Coero Borgia FA, Alovise M, Rota R, Pasqualini D, Berutti E. Is fracture resistance of endodontically treated mandibular molars restored with indirect onlay composite restorations influenced by fibre post insertion? *J Dent* 2012; 40: 814–20.
31. Cekic-Nagas I, Egilmez F, Ergun G, Vallittu PK, Lassila LVJ. Load-bearing capacity of novel resin-based fixed dental prosthesis materials. *Dent Mater J* 2018; 37: 49–58.
32. Yasa B, Arslan H, Yasa E, Akcay M, Hatirli H. Effect of novel restorative materials and retention slots on fracture resistance of endodontically-treated teeth. *Acta Odontol Scand* 2016; 74: 96–102.
33. Vahid NA, Manjunath MK. Comparison of fracture resistance of maxillary first premolars with class II Mesio-occluso-distal (MOD) cavities restored with newer resin based composite-An ex vivo study. *Int J Current Res* 2016; 8: 29814–20.
34. Shah S, Shilpa-Jain DP, Velmurugan N, Sooriaprakas C, Krithikadatta J. Performance of fiber reinforced composite as a post-endodontic restoration on different endodontic cavity designs- an in-vitro study. *J Mech Behav Biomed Mater* 2020; 104: 103650
35. Kemaloglu H, Kaval ME, Turkun M, Kurt SM. Effect of novel restoration techniques on the fracture resistance of teeth treated endodontically: An in vitro study. *Dent Mater J* 2015; 34: 618–22