

تأثیر فیبر و نوع کامپوزیت در استحکام خمشی سه نوع رزین کامپوزیتی تقویت شده با فیبر

دکتر رامین مشرف^۱ - دکتر فرناز برجیان^۲ - دکتر هانیه محمدی^۲ - دکتر سپیده ترکان^۳

۱- دانشیار گروه آموزشی پروتزهای دندانی و مرکز تحقیقات دندانپزشکی پروفیسور ترابی نژاد دانشکده دندانپزشکی دانشگاه علوم پزشکی اصفهان

۲- دندانپزشک

۳- دستیار تخصصی گروه آموزشی ارتودنسی دانشکده دندانپزشکی دانشگاه علوم پزشکی شیراز

چکیده

زمینه و هدف: یکی از روشهای افزایش استحکام خمشی رستوریشن‌های غیرمستقیم کامپوزیتی، تقویت با فیبر است. ترکیب کامپوزیت پوشاننده نیز نقش مهمی در استحکام خمشی این گونه ترمیمها دارد. هدف از این مطالعه، بررسی تأثیر استفاده از فیبر در استحکام خمشی سه نوع رزین کامپوزیتی تقویت شده می‌باشد.

روش بررسی: در این مطالعه تجربی - آزمایشگاهی از سه نوع کامپوزیت تقویت شده با فیبر (گرادیا، سیگنوم، بل گلاس)، ۷۲ نمونه مکعب مستطیلی (۲۵×۲۵×۳ میلی‌متر) توسط یک مولد پلکسی گلاس شکاف دار ساخته شد. در مورد هر نوع کامپوزیت، دو گروه نمونه با فیبر و بدون فیبر (گروه شاهد) تهیه و پس از نگهداری در دمای ۳۷ درجه به مدت ۴۸ ساعت، تحت آزمون خمش سه نقطه‌ای با نیروی بیست نیوتن با سرعت یک میلی‌متر در دقیقه قرار گرفت. بعد از محاسبه استحکام خمشی نمونه‌ها، برای مقایسه داده‌ها از آزمونهای ANOVA دوطرفه و Tukey و t-test در سطح اطمینان ۰/۰۵ استفاده شد.

یافته‌ها: میانگین استحکام خمشی در گروه گرادیا با فیبر برابر ۱۵۰/۱۴ مگاپاسکال و در گروه سیگنوم بدون فیبر معادل ۶۰/۵۳ مگاپاسکال بود. تفاوت آماری بین میانگین استحکام خمشی تمام نمونه‌ها معنی‌دار بود. ($P < 0/001$)

نتیجه‌گیری: بر اساس شرایط آزمایشگاهی این بررسی مشخص شد که تقویت با فیبر به نحو مشخصی سبب تقویت استحکام خمشی در نمونه‌های کامپوزیتی تقویت شده با فیبر می‌شود و نوع کامپوزیت پوشاننده ممکن است عامل مؤثری در افزایش استحکام خمشی نمونه‌های کامپوزیتی تقویت شده با فیبر باشد.

کلید واژه‌ها: رزین‌های کامپوزیتی - استحکام خمشی - فیبر - خمش.

پذیرش مقاله: ۱۳۸۹/۸/۳

اصلاح نهایی: ۱۳۸۹/۵/۱۳

وصول مقاله: ۱۳۸۹/۱/۱۴

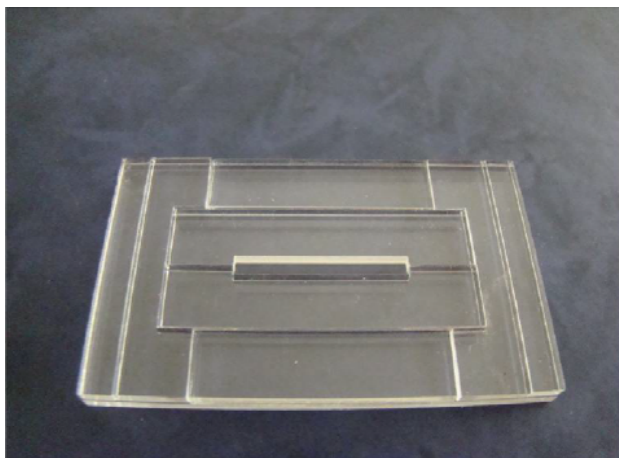
نویسنده مسئول: دکتر رامین مشرف، گروه آموزشی پروتزهای دندانی و مرکز تحقیقات دندانپزشکی پروفیسور ترابی نژاد دانشگاه علوم پزشکی اصفهان
e.mail:mosharraf@dnt.mui.ac.ir

مقدمه

خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خود، ترکیبی از خصوصیات را پیدا می‌کنند که به تنهایی نمی‌توانند آنها را ایجاد کنند. (۶-۷)

خصوصیات مکانیکی رزین‌های کامپوزیتی تقویت شده با فیبر به طرق مختلف تحت تأثیر قرار می‌گیرند و عوامل مؤثر بر استحکام آنها عبارتند از: موقعیت، تعداد و اتصال فیبرها به ماتریکس کامپوزیتی، خصوصیات فیبرها، خصوصیات و جذب آب ماتریکس کامپوزیتی. (۷)، متغیرهای زیادی بر ویژگیهای کلینیکی ترمیمهای کامپوزیتی تقویت شده با فیبر

پروتزهای پارسیل ثابتی که از رزین‌های کامپوزیتی تقویت شده با فیبر (FRC) تهیه می‌شوند جانشینان خوبی برای پروتزهای پارسیل ثابت سرامیک فلز هستند. (۱-۴)، در سه دهه گذشته تحقیقات زیادی در مورد رزین‌های کامپوزیتی تقویت‌شده با فیبر و کاربردهای مختلف آنها در دندانپزشکی انجام شده است. (۵)، کامپوزیت‌های تقویت شده با فیبر شامل فیبرهای دارای استحکام و ضریب کشسانی بالا هستند که در یک ماتریکس کامپوزیتی قرار داده می‌شوند. در این حالت هم فیبرها و هم ماتریکس کامپوزیتی در عین حفظ



شکل ۱: مولد شکافدار پلکسی گلاس

شاهد از فیبر استفاده نشد. در ابتدا یک لایه یک میلی‌متری از کامپوزیت مورد استفاده در کف مولد قرار داده و متراکم و به مدت چهل ثانیه با دستگاه لایت کیور دستی (Monitex 'Bluex, GT1200', Monitex Industrial Co., Taiwan) LED کیور شد. عمل تابش از دو سمت راست و چپ نیز به مدت چهل ثانیه تکرار گردید. تمام تابشهای نوری در هوای آزاد انجام شد تا اتصال لایه‌های مختلف کامپوزیت به دلیل وجود oxygen inhibition layer امکان پذیر باشد. (۲۰) پس از آن لایه دیگری از کامپوزیت بر روی لایه اول قرار داده و سطح آن با یک لایه پلکسی گلاس پوشانده شد و به همان صورت سه بار از جهات مختلف تحت تابش نور قرار گرفت.

گروههای آزمون پس از قرار دادن یک لایه یک میلی‌متری از کامپوزیت و تابش نور از سه جهت مختلف مشابه گروههای شاهد، یک برش ۲۵ میلی‌متری از فیبر تقویت کننده از نوع پلی اتیلن (Fiber-braid, NSI Dental PTY., New south wells, Australia) با رزین باندینگ هر یک از سیستم‌های کامپوزیتی مورد استفاده آغشته شد و بر روی لایه کامپوزیتی اول گذاشته و به مدت بیست ثانیه کیور گردید. فیبر مورد استفاده از جمله فیبرهای غیر آغشته (Non-impregnated) محسوب می‌شود. لایه نهایی کامپوزیت بر

تأثیر می‌گذارند. ترکیب کامپوزیت پوشاننده، نقش مهمی در خصوصیات خمشی ترمیم‌های کامپوزیتی تقویت شده با فیبر دارد. (۸)، علاوه بر این، رزین ادهزیو یا ماده باندینگی که برای آغشته کردن فیبرها به کار می‌رود، نیز نقش مهمی در استحکام خمشی این گونه ترمیمها دارد. (۹)

بسیاری از محققان بر این عقیده‌اند که تقویت این ترمیمها با فیبر تنها در صورتی موفق خواهد بود که نیروی وارد بر ترمیم بتواند از ماتریکس کامپوزیتی به فیبر انتقال یابد. اگر اتصال فیبر با ماتریکس در برخی نواحی به خوبی انجام نشده باشد در همان نواحی حبابهایی به وجود خواهد آمد که سبب افزایش جذب آب و در نتیجه کاهش خصوصیات مکانیکی ترمیم‌های کامپوزیتی تقویت شده با فیبر می‌شود. (۱۰-۱۹)، در بسیاری از تحقیقات تأثیر استفاده از فیبر بر افزایش استحکام خمشی ترمیم‌های کامپوزیتی تقویت شده با فیبر مورد بررسی قرار گرفته است اما در مورد تأثیر نوع کامپوزیت پوشاننده کمتر پژوهشی در دسترس می‌باشد. (۲۰-۲۶)، در برخی از مطالعات ادعا شده که نوع و ترکیب کامپوزیت پوشاننده ممکن است نقش تعیین کننده تری در خصوصیات خمشی کامپوزیت‌های تقویت شده با فیبر داشته باشد که حتی در برخی موارد ممکن است از کاربرد فیبرها نیز مؤثرتر باشد. (۲۷-۲۹)

هدف از این مطالعه، بررسی تأثیر استفاده از فیبر و نوع کامپوزیت پوشاننده در استحکام خمشی سه نوع رزین کامپوزیتی تقویت شده، بوده است.

روش بررسی

در این مطالعه تجربی از نوع آزمایشگاهی، یک مولد شکافدار پلکسی گلاس با حجم داخلی $3 \times 2 \times 25$ میلی‌متر به گونه‌ای ساخته شد که میله‌های مکعب مستطیلی کامپوزیتی را بتوان در داخل آن تهیه و سپس به راحتی از داخل آن خارج کرد. (شکل ۱)، هفتاد و دو نمونه از سه نوع کامپوزیت مورد استفاده (جدول ۱) تهیه گردید به صورتی که از هر کامپوزیت دو گروه در دسترس بود. در تهیه این گروه‌های

جدول ۱: کامپوزیت های مورد استفاده در مطالعه حاضر

شرایط تابش نور	کارخانه سازنده	کامپوزیت مورد استفاده
به مدت بیست دقیقه در دمای ۱۲۵ درجه و فشار شصت PSI در Belle Glass HP Curing Unit	Belle Glass HP, Kerr/Sybron, Orange, Calif. USA	بل گلاس
به مدت بیست دقیقه در Signum HiLite power تحت تابش ۲۰۰-۵۰۰ نانومتر	Signum; Heraeus Kulzer GmbH, Wehrheim, Germany	سیگنوم
به مدت بیست دقیقه در Labolight; GC Corp تحت تابش ۲۰۰-۵۰۰ نانومتر	Gradia; GC Corp, Tokyo, Japan	گرادیا

مگاپاسکال تبدیل گردید. (۱۴)، در این فرمول F نیرو، L طول، b عرض و d ضخامت نمونه‌ها می‌باشد. نتایج حاصل به کمک یک نرم افزار آماری SPSS ویرایش ۱۱/۵ و آزمونهای ANOVA دو طرفه و Tukey و t-test با در نظر گرفتن سطح معناداری ۰/۰۵ مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند.

یافته‌ها

میانگین استحکام خمشی شش گروه آزمایشی در جدول ۲ آورده شده است. همان‌گونه که در جدول دیده می‌شود میانگین استحکام خمشی در گروه گرادیا با فیبر برابر ۱۵۰/۱۴ مگاپاسکال از سایر گروهها بیشتر است و در گروه سیگنوم بدون فیبر کمترین میزان معادل ۶۱/۸۴ مگاپاسکال و در حد کمترین میزان است.

نتایج آزمون آنالیز واریانس دوطرفه نشان داد که بین تمام گروهها تفاوت آماری معنی‌داری وجود دارد و اثر متقابل نیز معنی‌دار است. ($P < 0/001$) در گروههای بدون فیبر، کامپوزیت بل گلاس و در گروههای دارای فیبر، کامپوزیت گرادیا بیشترین استحکام خمشی را دارا بودند.

برای یافتن موارد اختلاف از آزمون تکمیلی Tukey استفاده شد و مشخص گردید که از نظر نوع کامپوزیت پوشاننده بجز بین گروه گرادیا و بل‌گلاس ($P = 0/085$) بین بقیه گروههای کامپوزیتی تفاوت آماری معنی‌داری وجود دارد. ($P < 0/001$)

روی فیبر قرار داده شد و پس از پوشاندن سطح آن با یک لایه پلکسی گلاس به همان صورت گروه شاهد سه بار از جهات مختلف تحت تابش نور قرار گرفت. شدت تابش نور با دستگاه لایت کیور دستی به کمک رادیومتر (Optilux Radiometer Model 100, Kerr Sybron, Danbury, CA, USA) اندازه‌گیری و مشخص شد که در حد هفتصد میلی وات بر سانتی‌مترمربع می‌باشد. در نهایت نمونه‌ها به مدت لازم در دستگاه تابش نور (بر اساس هر سیستم کامپوزیتی) قرار گرفتند. پس از خروج نمونه‌ها از مولد شکاف‌دار اضافه‌های آنها توسط دیسک کاغذی حذف شد و ابعاد آنها با کولیس دیجیتال (Electronic Digital Caliper, Minova Co., Osaka, Japan) با دقت ۰/۰۱ میلی‌متر اندازه‌گیری و نمونه‌های غیر استاندارد از مطالعه حذف و با نمونه‌های جدید جایگزین شدند. نمونه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در آب مقطر ۳۷ درجه نگهداری شدند و یک ساعت پس از خروج از این محیط (برای برگشتن دمای آنها به دمای محیط) در دمای اتاق تحت آزمایش قرار گرفتند. آزمون خمش سه نقطه‌ای بر روی پایه‌هایی با فاصله بیست میلی‌متر و با نیروی بیست نیوتن با سرعت یک میلی‌متر در دقیقه و با کمک دستگاه Universal Testing (TLCLO, Dartec series, England) انجام شد. نیروی دستگاه بر وسط نمونه‌ها که قبلاً نشانه‌گذاری شده بودند، وارد و بیشترین نیروی دستگاه در موقع شکست (N) ثبت و به کمک فرمول $S = 3FL/2bd^2$ به

جدول ۲: میانگین استحکام خمشی نمونه های موجود در گروه های آزمایشی (مگاپاسکال)

فیبر	کامپوزیت	میانگین	انحراف معیار
با فیبر	سیگنوم	۷۷/۲۰۳	۹/۲۷
	بل گلاس	۱۲۸/۵۵۰	۱۵/۲۸
	گرادیا	۱۵۰/۱۴۳	۱۰/۵۲
بدون فیبر	سیگنوم	۶۱/۸۴۱	۱۰/۱۶
	بل گلاس	۱۰۸/۹۶۳	۲۱/۳۸
	گرادیا	۱۰۲/۷۰۱	۵/۳۱

در آنها ممکن است به صورت طولی یا عرضی دچار شکست شوند. این شکست ممکن است در ماتریکس کامپوزیتی، حد فاصل ماتریکس و فیبر و یا در داخل خود فیبر اتفاق بیفتد. (۱۴)، در بررسی حاضر تمام شکستها در ماتریکس کامپوزیتی و یا در حد فاصل ماتریکس و فیبر اتفاق افتاد.

در برخی از مطالعات مشخص شده که استحکام خمشی ترمیمهای کامپوزیتی با کاهش درصد حجمی فیبرها نسبت به حجم کلی ترمیم افزایش می یابد و به این ترتیب توصیه می گردد که فیبرهای پلی اتیلنی بر خلاف فیبرهای گلاس در سمت کششی (دور از محل اعمال نیرو) قرار داده شوند. (۲۰)، البته توجه به این نکته ضروری است که قرار دادن کامل این فیبرها در سمت کششی می تواند منجر به افزایش تضررهای سطحی ترمیم و در نتیجه افزایش تجمع پلاک شود. (۲۵)، در این مطالعه و برخی مطالعات مشابه، به همین دلیل و نیز به دلیل دشواری در ساخت چنین نمونه های باریکی، فیبرها در وسط نمونه ها قرار داده شده اند. (۲۱-۲۲) از آنجا که در تمام گروه های مورد بررسی چنین وضعیتی ایجاد شد این امر نمی توانسته بر مقایسه گروه های این پژوهش با یکدیگر خللی وارد کند.

در این بررسی نیز همانند برخی مطالعات دیگر، مشخص گردید که استفاده از فیبر سبب افزایش معنی دار استحکام

با انجام t-test مشخص شد که در تمام گروه ها، استفاده از فیبر سبب افزایش معنی دار استحکام خمشی شده است. ($P < 0.001$)

تمام شکستها در ماتریکس کامپوزیتی و یا در حد فاصل ماتریکس و فیبر اتفاق افتاد. البته به دلیل کوچک بودن نمونه ها امکان تفکیک بین شکستهایی که در ماتریکس کامپوزیتی و در حد فاصل ماتریکس و فیبر روی داده بودند وجود نداشت اما با اطمینان می توان گفت که هیچ گونه شکستی در خود فیبر دیده نشد.

بحث

در این بررسی آزمایشگاهی استحکام خمشی نمونه های میله ای شکل کامپوزیتی از سه نوع کامپوزیت تقویت شده رایج در ایران در دو گروه دارای فیبر و بدون فیبر اندازه گیری شدند. در چنین بررسیهایی از آزمون خمش سه نقطه ای استفاده می شود. در مواد ایزوتروپیک نتایج این تست از نظریه های میله ساده (Simple beam theory) پیروی می کند اما در مورد مواد غیر ایزوتروپیک همچون کامپوزیت های تقویت شده با فیبر توجه به خمش بدون در نظر گرفتن نیروهای برشی امکان پذیر نیست. نحوه شکستن میله های کامپوزیتی تقویت شده با فیبر بسیار پیچیده است. این میله ها در اثر نیروهای خمشی و در اثر کشش حاصل

خمشی نمونه‌های کامپوزیتی می‌شود (۲۱، ۲۶-۲۷) با این حال Ellakwa (۲۷) در اظهار نظر پُر چالشی ادعا کرده که نوع و ترکیب کامپوزیت پوشاننده ممکن است نقش تعیین کننده‌تری در خصوصیات خمشی کامپوزیت‌های تقویت شده با فیبر داشته باشد که حتی در برخی موارد ممکن است از کاربرد فیبرها نیز مؤثرتر باشد. حتی در یک مطالعه مشخص شد که چسبندگی سطحی و تطابق ضرایب کشسانی بین فیبرهای تقویت کننده و کامپوزیت پوشاننده مهمترین عامل در افزایش استحکام خمشی نمونه‌های کامپوزیتی تقویت شده با فیبر است. (۲۸)، با توجه به وجود اختلاف معنی‌دار بین تمامی گروه‌های مورد بررسی در مطالعه حاضر می‌توان گفت که نتایج بررسی حاضر نیز نتایج بررسی Ellakwa و همکاران (۲۷) را تأیید می‌کند. از جمله مطالعات دیگری که نتایج بررسی Ellakwa و همکاران (۲۷) را تأیید می‌نماید می‌توان به بررسی مروری Van Heumen و همکاران (۲۹) اشاره کرد. در این بررسی نتیجه‌گیری شده که استفاده از فیبر تنها در شرایط خاصی می‌تواند سبب افزایش استحکام خمشی نمونه‌های کامپوزیتی تقویت شده با فیبر شود و در افزایش استحکام خمشی نمونه‌های کامپوزیتی تقویت شده با فیبر نحوه قرارگیری فیبرهای تقویت کننده (مهندسی فیبرها) مهمتر از نوع فیبرهای مورد استفاده می‌باشد. در این مقاله مروری اذعان گردیده که در کمتر مقاله‌ای انواع مختلف تجاری کامپوزیت‌های تقویت شده با فیبر با یکدیگر مقایسه شده‌اند. (۲۹)

از آنجا که در این بررسی در گروه‌های بدون فیبر کامپوزیت بل گلاس و در گروه‌های دارای فیبر کامپوزیت گرادیا بیشترین استحکام خمشی را دارا بودند، می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد که استحکام خمشی کامپوزیت بل گلاس به طور خالص بیشتر از بقیه گروه‌ها بوده اما اتصال و سازگاری میان کامپوزیت گرادیا و فیبرهای تقویت کننده بیشتر بوده است. اهمیت این امر به این دلیل است که در بیشتر مقالات گفته می‌شود که ظرفیت تحمل بار (load bearing capacity) بیشتر از آنکه به میزان و حجم

فیبر مورد استفاده در این بررسی از نوع فیبرهای غیر آغشته (Non-impregnated) محسوب می‌شود. Pfiefer (۱۹) عقیده دارد که فیبرهای غیر آغشته تأثیر بیشتری در افزایش استحکام خمشی کامپوزیت‌های تقویت شده دارند، در صورتی که Ellakwa و همکاران (۲۷) تفاوت بین فیبرهای آغشته و غیرآغشته را منحصر به نمونه‌های بار شکل می‌دانند و عقیده دارند در نمونه‌های پیچیده‌تر مثلاً در بریج‌های کامپوزیتی که به شکل دندانهای طبیعی ساخته شده‌اند تفاوتی بین این دو نوع فیبر دیده نمی‌شود. بر این اساس و از آنجا که در مطالعه حاضر از نمونه‌های بار شکل استفاده شده می‌توان گفت که در صورت استفاده از فیبرهای آغشته انتظار می‌رفت استحکام خمشی نمونه‌های کامپوزیتی از نظر عددی بیشتر بوده باشد. البته این امر خلی در مقایسه نمونه‌ها در گروه‌های سه‌گانه به وجود نمی‌آورد.

با توجه به محدودیتهای این مطالعه (استفاده از نمونه‌های میله‌ای شکل، کاربرد فیبرهای غیرآغشته و...) پیشنهاد می‌شود در آینده این بررسی با انجام تست روی دندانهای طبیعی خارج شده و یا تهیه نمونه‌هایی که به شرایط بالینی نزدیکتر باشند انجام گردد. همچنین پیشنهاد می‌شود با استفاده از ترموسایکلینگ و بارگذاریهای دینامیک نتایج مقایسه شوند.

نتیجه‌گیری

بر اساس شرایط آزمایشگاهی این بررسی مشخص شد که تقویت با فیبر به نحو مشخصی سبب تقویت استحکام خمشی در نمونه‌های کامپوزیتی تقویت شده با فیبر می‌شود و نوع کامپوزیت پوشاننده هم می‌تواند عامل مؤثری در افزایش استحکام خمشی نمونه‌های کامپوزیتی تقویت شده با فیبر باشد.

REFERENCES

1. Butterworth C, Ellakwa AE, Shortall A. Fiber-reinforced composites in restorative dentistry. *Dent Update*. 2003 Jul-Aug; 30(6):300-6.
2. Vallittu PK, Sevelius C. Resin-bonded, glass fiber-reinforced composite fixed partial dentures: A clinical study. *J Prosthet Dent*. 2000 Oct; 84(4):413-8.
3. Goehring TN, Peters OA, Lutz F. Marginal adaptation of inlay-retained adhesive fixed partial dentures after mechanical and thermal stress: an in vitro study. *J Prosthet Dent*. 2001 Jul;86(1):81-92.
4. Ferilich MA, Karmaker AC, Burstone CJ, Goldberg AJ. Development and clinical applications of a light-polymerized fiber-reinforced composite. *J Prosthet Dent*. 1998 Sep;80(3):311-8.
5. Kilfoil BM, Hesby RA, Pelleu GB Jr. The tensile strength of a composite resin reinforced with carbon fibers. *J Prosthet Dent*. 1983 Jul; 50(1):40-3.
6. Mallick PK. Fiber-reinforced composites. Materials, manufacturing, and designs. 2nd ed. New York: Marcel Dekker; 1993, 1.
7. Al-Darwish M, Hurley RK, Drummond JL. Flexure strength evaluation of a laboratory-processed fiber-reinforced composite resin. *J Prosthet Dent*. 2007 May;97(5):266-70.
8. Ellakwa AE, Shortall AC, Shehata MK, Marquis PM. The influence of fiber placement and position on the efficiency of reinforcement of fiber reinforced composite bridgework. *J Oral Rehabil*. 2001 Aug; 28(8):785-91.
9. Ellakwa AE, Shortall AC, Shehata MK, Marquis PM. Influence of bonding agent composition on flexural properties of an Ultra-High Molecular Weight Polyethylene Fiber-Reinforced Composite. *Oper Dent*. 2002 Mar-Apr; 27(2):184-91.
10. Song HY, Yi YJ, Cho LR, Park DY. Effects of two preparation designs and pontic distance on bending and fracture strength of fiber-reinforced composite inlay fixed partial dentures. *J Prosthet Dent*. 2003 Oct; 90(4):347-53.
11. Vallittu PK, Ruyter IE, Ekstrand K. Effect of water storage on the flexural properties of E-glass and silica fiber acrylic resin composite. *Int J Prosthodont*. 1998 Jul-Aug; 11(4):340-50.
12. Goldberg AJ, Burstone CJ. The use of continuous fiber reinforcement in dentistry. *Dent Mater*. 1992 May; 8(3):197-202.
13. Vallittu PK. Some aspects of the tensile strength of unidirectional glass fiber-polymethyl-methacrylate composite used in dentures. *J Oral Rehabil*. 1998 Feb; 25(2):100-5.
14. Behr M, Rosentritt M, Leibrock A, Schneider-Feyrer S, Handel G. In vitro study of fracture strength and marginal adaptation of fiber-reinforced adhesive fixed partial inlay dentures. *J Dent*. 1999 Feb;27(2):163-8.
15. Miettinen VA, Narva K, Vallittu PK. Water sorption, solubility and effect of post-curing of glass fiber reinforced polymers. *Biomaterials* 1999 Jul; 20(13):1187-94.
16. Ladizesky NH, Chow TW. The effect of interface adhesion, water immersion and anatomical notches on the mechanical properties of denture base resins reinforced with continuous high performance polyethylene fibers. *Aust Dent J*. 1992 Aug;37(4):277-89.
17. Soderholm KJM, Roberts MJ. Influence of water exposure on the tensile strength of composites. *J Dent Res*. 1990 Dec;69(12):1812-6.

18. Soderholm KJM, Zigan M, Ragan M, Fischlschweiger W, Bergman M. Hydrolytic degradation of dental composites. *J Dent Res*. 1984 Oct;63(10):1248-54.
19. Pfeiffer P, Grube L. In vitro resistance of reinforced interim fixed partial dentures. *J Prosthet Dent*. 2003 Feb;89(2):170-4.
20. Lassila LVJ, Vallittu PK. The effect of fiber position and polymerization condition on the flexural properties of fiber-reinforced composite. *J Contemp Dent Pract*. 2004 May; 15:5(2):14-26.
21. Ellakwa AE, Shortall AC, Marquis PM. Influence of different techniques of laboratory construction on the fracture resistance of fiber reinforced composite (FRC) bridges. *J Contemp Dent Pract*. 2004 Nov; 15:5(4):1-13.
22. Ellakwa AE, Shortall AC, Marquis PM. Influence of fiber position on the flexural properties and strain energy of a fiber-reinforced composite. *J Oral Rehabil*. 2003 Jul;30(7):679-82.
23. Ellakwa AE, Shortall AC, Marquis PM. Influence of fiber type and wetting agent on the flexural properties of an indirect fiber reinforced composite. *J Prosthet Dent*. 2002 Nov; 88(5):485-90.
24. Dyer SR, Sorensen JA, Lassila VJL, Vallittu PK. Damage mechanics and load failure of fiber reinforced composite fixed partial dentures. *Dent Mater*. 2005 Dec;21(12):1104-10.
25. Hamza TA, Rosenstiel SF, Elhosary MM, Ibraheem RM. The effect of fiber reinforcement on the fracture toughness and flexural strength of provisional restorative resins. *J Prosthet Dent*. 2004 Mar;91(3):258-64.
26. Segerstrom S, Meric G, Knarvang T, Ruyter IE. Evaluation of two matrix materials intended for fiber-reinforced polymers. *Eur J Oral Sci*. 2005 Oct; 113(5):422-8.
27. Ellakwa A, Shortall A, Shehata M, Marquis P. Influence of veneering composite composition on the efficacy of fiber-reinforced restorations (FRR). *Oper Dent*. 2001 Sep-Oct;26(5):467-75.
28. Bae JM, Kim KN, Hattori M, Hasegawa K, Yoshinari M, Kawada E, et al. Fatigue strengths of particulate filler composites reinforced with fibers. *Dent Mater J*. 2004 Jun; 23(2):166-74.
29. Van Heumen CC, Kreulen CM, Bronkhorst EM, Lesaffre E, Creugers NH. Fiber-reinforced dental composites in beam testing. *Dent Mater*. 2008 Nov; 24(11):1435-43.