بررسی تاثیر ضخامت های مختلف ماده بر میزان پلیمریزاسیون در کامپوزیت های بالک فیل فلوابل

دکتر کیوان ساعتی،[1] دکتر هاله حشمت[2]، مهندس ناصر ولایی[3]،دکتر طوبی لسان[#4]

۱- استادیار گروه آموزشی دندانپزشکی ترمیمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد دندانپزشکی تهران

۲-عضو مرکز تحقیقات مواد دندانی دانشگاه آزاد اسلامی واحد دندانپزشکی تهران

۳-عضو هیأت علمی مرکز تحقیقات تالاسمی، دانشگاه علوم پزشکی مازندران

۴-دندانپزشک

خلاصه:

سابقه و هدف: محدودیت عمق کیور و تاثیر آن بر میزان پلیمریزاسیون از مشکلات کار با کامپوزیتهای نوری می‌باشد که عامل مهمی در شکست کلینیکی ترمیم‌های کامپوزیتی است. یکی از راههای مقابله با آن استفاده از کامپوزیتهای بالک فیل معرفی شده اما تحقیقات تا کنون به نتیجه هماهنگی دست نیافته‌اند لذا در این تحقیق به بررسی تاثیر ضخامت بر میزان پلیمریزاسیون سه نوع کامپوزیت بالک فیل و هیبرید در سال ۱۳۹۵ پرداختیم.

مواد و روش ها: در این تحقیق تجربی- آزمایشگاهی دو نوع کامپوزیت بالک فیل فلوابل Filtek™ Bulk Fill Flowable ، X-tra Base و گروه شاهد کامپوزیت هیبرید Filtek™ Z250 Universal را در تعداد ۱۰۸ نمونه در مولدهای برنجی دارای حفره ای به ابعاد ۱۰×۴×۲ میلی متر قرار دادیم، پس از ۲۰ ثانیه نوردهی با دستگاه لایت کیور Demi™ Plus کالیبره شده با دستگاه رادیومتر Minamel، ۲۴ ساعت در دستگاه انکوباتور در دمای ۳۷ درجه سانتی گراد نگهداری، سپس ریزسختی آنها در دستگاه سختی سنج Vickers V-TestII به مدت ۱۵ ثانیه تحت نیروی ۳۰۰ گرم، ۳ بار در هر یک از ضخامتهای ۵-۴-۳-۲-۱-۰/۱ میلی متر اندازه گیری و میانگین محاسبه شد. یافته ها با آزمون آماری ANOVA بررسی شدند.

یافته ها: بیشترین ریزسختی مربوط به Filtek™ Z250 Universal در ضخامت ۰/۱ میلی متر به میزان ۰/۸±۹۸/۸ و کمترین آن مربوط به Filtek™ Bulk Fill Flowable در ضخامت ۵ میلی متر به میزان ۰/۷±۳۱/۵ بود که این اختلاف در تمام ضخامتها به لحاظ آماری معنی دار بود. (P<۰/۰۰۱)

نتیجه گیری: به نظر می رسد ریزسختی کامپوزیت Filtek™ Z250 Universal در سطح ترمیم بهتر از سایر کامپوزیت هاست.

کلمات کلیدی: کامپوزیت رزین، ریزسختی، پلی مریزاسیون،Filtek z250، Filtek Flowable

وصول مقاله: ۹۵/۷/۱۷ اصلاح نهایی: ۹۵/۹/۹ پذیرش مقاله: ۹۵/۹/۱۲

مقدمه:

یکی از مشکلات کار با کامپوزیت‌های نوری مربوط به محدودیت و ناکافی بودن عمق کیور و پلیمریزاسیون آنها می‌باشد.[1] میزان پلیمریزاسیون کامپوزیت‌های نوری عامل مهمی در موفقیت کلینیکی ترمیم‌های کامپوزیتی شناخته شده است.[2] راهکارهای مختلفی نظیر روش لایه لایه گذاری ماده، تنظیم مکانیسم نوردهی و استفاده از کامپوزیت‌های بالک فیل برای رفع این مشکل پیشنهاد شده و روش های لابراتواری از قبیل infrared spectrometry ، resonance imaging ، knoop hardness ، vickers hardness برای اندازه‌گیری عمق کیور مواد ترمیمی استفاده شده است.[3,4] مطالعات متعدد نشان داده است که پلیمریزاسیون ناکافی منجر به کاهش خصوصیات فیزیکی ترمیم، مشکلاتی نظیر باقی ماندن مونومرهای پلیمریزه نشده و به تبع آن حساسیت بافت نرم و در آخر کاهش موفقیت ترمیم می‌شود.[5] کامپوزیت‌های بالک فیل در سال ۱۹۹۶ وارد بازار شدند و به علت قابلیت تزریق به داخل حفره و آسانی در جایگذاری، مورد توجه قرار گرفتند. نسل

نویسنده مسئول مکاتبات: دکتر طوبی لسان تلفن: ۸۸۴۶۹۵۸۴ پست الکترونیک: Toubalessan@yahoo.com

جدید آنها تحت عنوان کامپوزیت های بالک فیل فلوابل شناخته شدند که به علت خواص مکانیکی بهتر نه به عنوان لاینر بلکه در ترمیم های خلفی با عمق بیش از ۴ میلیمتر استفاده شدند.[۶]

در کامپوزیت‌های بالک فیل فلوابل، تکنولوژی پیشرفته مونومر سبب کاهش استرس ناشی از انقباض حین پلیمریزاسیون شده و مزایایی از جمله تطابق چشمگیر با حفره را فراهم کرده و از نتایج منفی حساسیت پس از درمان، میکرولیکیج و دباندینگ جلوگیری می کند.[۷-۹] با اینکه در بعضی مطالعات تفاوت چشمگیری در عمق کیور و ریز سختی کامپوزیت های بالک فیل و معمولی دیده نشده است اما هنوز بعد از چندین سال میزان عمق کیور آنها مورد بحث است.[۶،۱۰]

با توجه به کمبود اطلاعات در مورد عمق کیور کافی و دوام کامپوزیت های بالک فیل و تناقض در مورد استفاده از کامپوزیت ها در ضخامت بیش از ۲ میلیمتر، در این تحقیق به مقایسه ی عمق کیور دو نوع کامپوزیت بالک فیل و یک نوع کامپوزیت هیبرید باروش اندازه گیری سختی سنجی ویکرز پرداخته شد.[۳،۴]

مواد و روش ها:

این تحقیق به روش تجربی و از نوع آزمایشگاهی انجام شد که در آن ۱۰۸ نمونه در ۳ گروه ۳۶ تایی به ترتیب زیر آماده شدند.

گروه اول: Filtek™ Bulk Fill Flowable(3M ESPE, USA) ۶ ضخامت ۰/۱-۱-۲-۳-۴-۵ میلی متر در ۶ مولد = ۳۶ نمونه

گروه دوم: X-tra Base(Voco, Germany) : ۶ ضخامت ۰/۱-۱-۲-۳-۴-۵ میلی متر در ۶ مولد = ۳۶ نمونه

گروه سوم: Filtek™ Z250 Universal(3M ESPE, USA : ۶ ضخامت ۰/۱-۱-۲-۳-۴-۵ میلی متر در ۶ مولد = ۳۶ نمونه

روش نمونه گیری به صورت تصادفی بود. برای آماده سازی، نمونه ها در مولدهای برنجی به ابعاد ۱۰×۴×۲ میلی متر قرار گرفت و برای جلوگیری از بلندتر بودن سطح آن در مولد، از یک نوار سلولوئیدی شفاف در سطح استفاده شد. مولد از طرفین توسط پیچ های محکمی(butterfly screw) بسته شد و کامپوزیت از سمت اکسپوز مولد بوسیله دستگاه لایت کیور Demi™ Plus(Kerr, USA) طبق دستور کارخانه سازنده به مدت ۲۰ ثانیه در معرض تابش لایت کیور قرار گرفت.

جدول مشخصات کامپوزیت های استفاده شده مورد مطالعه

Group	Material	Code	Type	Manufacturer increment thickness (mm)	Manufacturer	Shade	Organic matrix	filler	Filler loading % (wt)
Bulk fill composites	X-tra base	XB	Flowable bulk fill	۴	Voco Gmbh Cuxhaven, Germany	Universal	Aliphatic di-methacrylate(UDMA), Bis-EMA	-	۷۵
	Filtek™ Bulk Fill	FBF	Flowable bulk fill	۴	3M ESPE Gmbh, Seefeld, Germany	Universal	Bis-GMA, UDMA, Bis-EMA, Procrylat resins	Zirconia/silica,ytterbium trifluoride	۶۴/۵
Conventional regular composite	Filtek™ Z250 Universal	Z 250	Micro-hybrid composite	۲	3M ESPE Gmbh, Seefeld, Germany	A2	Bis-GMA, UDMA, Bis-EMA	Zirconia,silica	۶۰

همچنین در طی تحقیق، شدت نور دستگاه و ثبات آن بوسیله رادیومتر Minamel (شرکت مهندسی پزشکی مینامل، ایران) چک می شد. سپس بلوک های کامپوزیتی از مولدها خارج شد و به مدت ۲۴ ساعت در دستگاه انکوباتورCO2 (Memmert,Germany) در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد نگهداری شد سپس عمق پلیمریزاسیون بوسیله دستگاه سختی سنجی (Vickers V-Test II(Bareiss, Germany بررسی و میزان پلیمریزاسیون به صورت Blind به این ترتیب سنجیده شد که مولد به میزک دستگاه اندازه گیری ریزسختی منتقل شد و سطح آشکار کامپوزیت با نقطه شروع مرجعی که در دستگاه تعبیه شده در یک امتداد قرار گرفت. انتهای چشمی به گونه ای تنظیم شد تا در ابتدای هر آزمایش در نقطه صفر باشد. دستگاه برای نیروی ثابت ۳۰۰ گرم و زمان ۱۵ ثانیه تنظیم و Indentation ها اعمال شد. شکل Indentation ها هرمی بوده و Line angle بین سطوح آن‌ها یک تصویر دو بعدی ایجاد می‌کرد که شکل کلی لوزی داشت. با قرار گرفتن خط شاخص ثابت در یک انتهای قطر لوزی تشکیل شده و جابجا کردن خط شاخص متحرک به محل انتهای دیگر قطر، اندازه این قطر(d1) با فشردن کلید ثبت شد. عمل مشابه برای قطر دیگر لوزی انجام شد و اندازه آن (d2) ثبت شد. با وارد نمودن این اعداد در input دستگاه عدد Vickers توسط دستگاه محاسبه شد. کوچک تر بودن سطح لوزی تشکیل شده بیانگر سختی بیشتر نمونه کامپوزیتی است. اندازه‌گیری‌ها در بزرگنمایی۴۰× برای تمام نمونه ها صورت گرفت. حرکات Indentation نسبت به نقطه شروع انجام شد به طوری که هر حرکت بعدی در جهتی دور از آخرین Indentation بود تا مانع overlap آن ها شود. اندازه‌گیری از ۰/۱ میلی متری سطح کیور شده نمونه آغاز شد تا از لایه air-inhibited ممانعت کند و در ۵ میلی متری داخل نمونه پایان یافت. به ترتیب در اعماق ۰/۱-۱-۲-۳-۴و۵ میلی متری اندازه گیری انجام شد. تعداد ۳ Indentation در طول هر لایه(عمق) با فواصل ۰/۲ میلی متری ایجاد شد که میانگین این ۳ عدد محاسبه، با آزمون آماری ANOVA آنالیز و گزارش شد.

یافته ها:

در این تحقیق ریزسختی در ۱۰۸ نمونه ۳ نوع کامپوزیت هیبرید Filtek Z250 Universal و کامپوزیت های بالک فیل فلوابل Filtek Bulkfill Flowable و X-tra Base در ۶ ضخامت ۰/۱-۱-۲-۳-۴-۵ میلی متر و در هر گروه ۶ نمونه اندازه گیری و به صورت عددی به دست آمد.

میزان ریزسختی بر حسب نوع کامپوزیت و به تفکیک عمق کیور در جدول ۱ ارائه شده است و نشان میدهد که:

-در کامپوزیت Filtek Z250 Universal : با افزایش عمق کیور میزان ریزسختی کاهش پیدا کرده که در تمام این کاهش ها اختلاف معنی داری وجود داشت. (P<۰/۰۱)، به علاوه حداکثر ضریب تغییرات ۷ و حداقل آن ۱ بود.

جدول ۱- میزان ریزسختی برحسب نوع کامپوزیت به تفکیک عمق کیور

نوع کامپوزیت - عمق کیور / ریز سختی		میزان	C.V
کامپوزیت هیبرید Filtek™ Z250 Universal	۰/۱	۹۸/۸ ± ۳/۸	۳/۸
	۱	۹۳ ± ۲	½
	۲	۹۱/۱ ± ۱	۱
	۳	۸۱ ± ۵/۷	۷
	۴	کیور نشده	----
	۵	کیور نشده	----
کامپوزیت بالک فیل فلوابل Filtek™ Bulk Fill Flowable	۰/۱	۴۴ ± ۲/۴	۵/۴
	۱	۴۱/۶ ± ۰/۸	۱/۹
	۲	۳۹/۵ ± ۱/۷	¾
	۳	۳۷/۴ ± ۱/۷	۴/۵
	۴	۳۶ ± ۱/۲	۳/۳
	۵	۳۱/۵ ± ۰/۷	۲/۲
کامپوزیت بالک فیل فلوابل X-tra Base	۰/۱	۶۸/۱ ± ۱/۵	۷/۵
	۱	۶۱/۸ ± ۵/۳	۸/۶
	۲	۵۸/۳ ± ۴/۶	۷/۹
	۳	۵۶/۲ ± ۲/۵	۴/۴
	۴	۵۳/۷ ± ۱	۱/۹
	۵	۴۴/۹ ± ۲/۳	۵/۱
نتیجه آزمون		P<۰/۰۰۱	

ضمنا محاسبه ریزسختی در دو ضخامت ۴ و ۵ میلی متر به علت کیور نشدن این کامپوزیت قابل اطمینان نبوده و منظور نگردید.

در ضخامت های ۱ تا ۳ میلی متر استاندارد کف به سطح ریزسختی حداقل ۸۲ و حداکثر ۹۴ بود که با افزایش عمق کیور میزان آن کاهش یافت.

در کامپوزیت Filtek Bulkfill Flowable، نیز با افزایش عمق کیور میزان ریزسختی کاهش پیدا کرد به طوری که در عمق کیور ۰/۱ میلی متر میزان ریزسختی ۴۴ و در ضخامت ۵ میلی متر به ۳۱/۵ کاهش پیدا کرد که این کاهش عمق در تمام ضخامت ها به لحاظ آماری معنی دار بود. (P<۰/۰۵)، به علاوه ضریب تغییرات حداکثر ۵ و حداقل ۲ بود.

در عمق کیور ۵ میلی متر میزان کف به سطح ریزسختی ۷۱ درصد و کمتر از استاندارد و در بقیه عمق ها بیشتر از ۸۰ درصد و قابل قبول بود که با افزایش عمق کیور میزان آن کاهش یافت.

در کامپوزیت X-tra Base ، کماکان با افزایش عمق کیور میزان ریزسختی از ۶۸/۱ به ۴۴/۹ کاهش پیدا کرد و این کاهش در تمام ضخامت ها به لحاظ آماری معنادار بود، (P<۰/۰۱) به علاوه ضریب تغییرات در این جا بسیار پایین، حداکثر ۹ و حداقل ۲ بود.

در عمق کیور ۴ و ۵ میلی متر استاندارد کف به سطح ریزسختی زیر ۸۰ درصد و در عمق ۳ و کمتر بالای استاندارد است که با افزایش عمق کیور میزان آن کاهش یافت.

در مقایسه ۳ نوع کامپوزیت:

به طور کلی بیشترین ریزسختی مربوط به کامپوزیت Filtek Z250 Universal سپس کامپوزیت X-tra Base و کمترین میزان ریزسختی مربوط به کامپوزیت Filtek Bulkfill Flowable بود که در تمام ضخامت های ۶ گانه این اختلاف وجود داشت وبه لحاظ آماری نیز معنی دار بود. (P<۰/۰۰۱)

کامپوزیت X-tra Base در مقایسه با کامپوزیت Filtek Bulkfill Flowable اگرچه در هر ضخامت میزان ریزسختی بیشتری داشت اما برخلاف کامپوزیت Filtek Bulkfill Flowable که در ضخامت ۴ میلی متر استاندارد ریزسختی ۸۲ درصد دارد استاندارد ریزسختی آن زیر استاندارد و ۷۹ درصد بود.

بحث:

این تحقیق نشان داد که بیشترین میزان ریزسختی را کامپوزیت Filtek Z250 Universal دارد، سپس X-tra Base و کمترین آن مربوط به کامپوزیت Filtek Bulkfill Flowableبود. به علاوه با افزایش عمق کیور میزان ریزسختی کاهش یافته است.

تحقیقات جابری انصاری و همکارانش در سال ۹۳، Garoushie و همکاران در سال ۲۰۱۵ و Alrahlah و همکاران در سال ۲۰۱۳ همگی مشابه و همسو با تحقیق حاضر بودند و مشاهده شد که عمق کیور کامپوزیت های بالک فیل کافی و قابل قیاس با کامپوزیت های معمولی بود. [۱۱-۱۳]

Alshaliو همکارانش در سال ۲۰۱۳ مطالعه ای به منظور مقایسه میزان تبدیل مونومر به پلیمر (DC) کامپوزیت‌های بالک فیل با کامپوزیت های معمولی در ۲ فاصله زمانی بلافاصله بعد از کیور و ۲۴ ساعت بعد روی ۸ نوع کامپوزیت انجام دادند که دو نمونه از کامپوزیت ها همان کامپوزیت های Filtek Bulkfill Flowableو X-tra Base استفاده شده در تحقیق ماست. در نتیجه به دست آمده DC کامپوزیت X-tra Base بیشتر از Filtek Bulkfill Flowable بود که نتیجه میزان ریز سختی بیشتر آن می باشد و نتیجه ای مشابه مطالعه حاضر است.[۱۴]

در سال ۲۰۱۴ Jang و همکارانش ریزسختی Vickers 6 نوع کامپوزیت از جمله SDR و Venus Bulkfill که فلوابل هستند و Tetric N-Ceram و G-Aenial universal که بالک فیل هستند راتا عمق ۴/۵ میلیمتر اندازه گیری کردند.

Tetric N-Ceramحاوی فیلر و ماتریکس ترنسلوسنت می‌باشد که به عبور نور در میان ماده کمک می کند. با این حال در این تحقیق دیده شد که همه ی کامپوزیت ها به جز Venus Bulk fillو SDR میزان ریز سختی کمی داشتند و کامپوزیت Tetric N-ceram با وجود میزان بالای فیلر، میزان ریزسختی کف به سطح کمتر از حد استاندارد (۸۰ درصد) را نشان داد که میتواند به دلیل تفاوت در نوع دستگاه لایت کیور باشد.[۱۵]

تحقیق دیگری که با تحقیق حاضر مغایرت داشت در سال ۲۰۱۴ توسط Garcia وهمکارانش انجام شد که میزان ریز سختی کف به سطح ۴ نوع کامپوزیت بالک فیل را بررسی کرد. عمق کیور بالای کامپوزیت های بالک فیل را می توان به آغاز گر نوری آنها و ترنسلوسنسی بیشتر آنها نسبت داد. با این حال مشاهده شد Sonicfill که یک کامپوزیت بالک فیل است عمق کیور کمتر از ۴ میلیمتر داشت که نشان می دهد سایز فیلر و محتویات کامپوزیت های نوری باعث کاهش نفوذ نور و تاثیر مستقیم روی عمق کیور دارد. در این تحقیق نسبت ریز سختی همه ی کامپوزیت ها کمتر از حد استاندارد بود و استفاده از این مواد در عمق بیش از ۳ میلیمتر بحث برانگیز و مورد سوال بیان شد.علت این نتیجه را می توان به تشابه آغازگر نوری این نوع کامپوزیت با کامپوزیت های معمولی دانست.[۶]

در این تحقیق از دستگاه لایت کیور Demi Plus شرکت Kerr استفاده شد به این دلیل که از دستگاه های لایت کیور نسل سه است و این دستگاه ها طیف وسیع تری از کامپوزیت ها با آغازگرهای متعدد موجود را پوشش می دهند زیرا طیف وسیع تری از طول موج را گسیل می کنند. همچنین این دستگاه ها نسبت به نسل دوم سبب ایجاد هاردنس بالاتری در عمق کامپوزیت می‌شوند.[۱۶-۱۸]

در این تحقیق از روش سختی سنجی Vickers استفاده شد زیرا در روش Optical microscopy و روش scraping که روش مورد تایید ISO 4049 است، در مقایسه با روش ریزسختی Vickers یا Knoop عمق کیوراندازه گیری شده بیش از حد واقعی است.[۱۹]

مهم ترین ضعف تحقیق ما آزمایشگاهی بودن آن است زیرا شرایط آزمایشگاهی هرگز به طور دقیق و کامل مشابه شرایط کلینیکی و محیط دهان نمی شود و نمی توان در شرایط کلینیکی توقع نتایج کاملا مشابه را داشت.

با این حال آزمایشگاهی بودن این مطالعه یکی از نقاط قوت آن نیز به حساب می آید زیرا عملا انجام کلینیکی تست ویکرز و اندازه گیری ریزسختی بر ترمیم های انجام شده در دهان بیماران امکانپذیر نمی باشد.

در این تحقیق۳ نوع از کامپوزیت هایی که در بازار مواد دندانی بیشتر مطرح هستند و بیشتر توسط دندانپزشکان استفاده می شوند را برای تحقیق انتخاب کردیم و ضخامت هایی بیشتر از عمق کیوری که کارخانه سازنده برای این کامپوزیت ها متصور بوده را مورد آزمایش قرار دادیم. علاوه بر میزان ریزسختی، استاندارد ISO 4049 را نیز وارد مطالعه کرده تا به نتایج نزدیکتری به شرایط کلینیکی دست یابیم. کامپوزیت Filtek Z250 Universal کامپوزیتی میکروهیبرید است که خواص مکانیکال بالاتری نسبت به کامپوزیت های فلوابل دارد، در نتیجه میکروهاردنس بالاتر نسبت به فلوابل ها در هر عمق یافته منطقی و قابل قبولی است و از طرفی به دلیل عدم وجود تکنولوژی پیشرفته ماتریکس که در فلوابل ها به کار رفته این کامپوزیت نهایت عمق کیور مناسب ۳ میلی متر را دارد. در این کامپوزیت ماتریکس حاوی ذرات حاصل از سایش گلاس، کوارتز و سرامیک به عنوان فیلر است که سبب افزایش میکروهاردنس آن نسبت به کامپوزیت های فلوابل می گردد.[۲۰،۲۱]

در کامپوزیت های بالک فیل فلوابل X-tra Base و Filtek Bulkfill Flowable استفاده از تکنولوژی پیشرفته مونومری که مونومر Bis-GMA را بدون گروه هیدروکسیل با اوراتان دی متاکریلات که گروه های فعال شونده با نور با قابلیت کنترل سینتتیک پلیمریزاسیون به آن ضمیمه شده اند ترکیب کرده است که سبب تولید کامپوزیتی با ویسکوزیته کمتر و انقباض پلیمریزاسیون کمتر و استحکام مناسب برای ترمیم های خلفی با قابلیت کیور شدن تا عمق ۴ میلی متر شده است.[۲۲]

نتیجه گیری:

عمق کیور کامپوزیت هایX-tra Base و Filtek Bulkfill Flowable طبق ادعای کارخانه سازنده تا ۴ میلی متر بر اساس استاندارد ISO 4049 قابل قبول است اما پیشنهاد می شود که در حفره های خلفی به صورت لایه های ۴ میلی متری تا ۲ میلی متری سطح به کار روند سپس ۲ میلی متر اکلوزالی ترمیم را با استـفاده از کامپوزیـــــــت های میکروهیبرید کانونشنال مثل گروه شاهد موجود در این مطالعه پر کنند تا علاوه بر تسریع پروسه پر کردن حفره، ترمیم استحکام مناسب در برابر نیروهای اکلوزالی را نیز داشته باشد. مطالعه تاثیر ضخامت های مختلف بر ریزسختی کامپوزیت های بالک فیل پک ابل به عنوان تحقیقات مکمل پیشنهاد می شود. به علاوه مطالعاتی بر میزان میکرولیکیج این کامپوزیت ها نیز پیشنهاد می گردد.

References:

1. Lindberg A, Peutzfeldt A, van Dijken JW. Effect of powerdensity of curing unit, exposure duration, and light guidedistance on composite depth of cure. Clin Oral Investig 2005;9(2):71-6.
2. Da Silva EM, Poskus LT, Guimarães JG, De Araújo Lima Barcellos A, Fellows CE. Influence of light polymerization modes on degree of conversion and crosslink density of dental composites. J Mater Sci Mater Med 2008;19(3):1027-32.
3. Deliperi S, Bardwell DN. An alternative method to reduce polymerization shrinkage in direct posterior composite restorations. J Am Dent Assoc 2002;133(10):1387-98.
4. Moore BK, Platt JA, Borges G, Chu TM, Katsilieri I. Depth of cure of dental resin composites: ISO 4049 depth and microhardness of types of materials and shades. Oper Dent 2008;33(4):408-12.
5. Sideridou ID , Achilias DS.Elution study of unreacted Bis-GMA, TEGDMA, UDMA, and Bis-EMA from light-cured dental resins and resin composites using HPLC. J Biomed Mater Res B Appl Biomater 2005;74(1):617-26
6. Garcia D, Yaman P, Dennison J, Neiva G. Polymerization Shrinkage and Depth Of Cure Of Bulk Fill Flowable Composite Resins . Oper Dent 2014;39(4):441-8.
7. Van Ende A, De Munck J, Van Landuyt KL, Poitevin A, Peumans M, Van Meerbeek B. Bulk-filling of high C-factor posterior cavities: effect on adhesion to cavity-bottom dentin. Dent Mater 2013;29(3):269-77.
8. Roggendorf MJ, Krämer N, Appelt A, Naumann M, Frankenberger R. Marginal quality of flowable 4-mm base vs. conventionally layered resin composite. J Dent 2011;39(10):643-7.
9. Moorthy A, Hogg CH, Dowling AH, Grufferty BF, Benetti AR, Fleming GJ. Cuspal deflection and microleakage in premolar teeth restored with bulk-fill flowable resin-based composite base materials. J Dent 2012;40(6):500-5.
10. Nomoto R, Asada M, McCabe JF , Hirano S. Light exposure required for optimum conversion of light activated resin systems. Dent Mater 2006;22(12) 1135-42.
11. Alrahlah A, Silikas N, Watts DC. Post-cure depth of cure of bulk fill dental resin-composites. Dent Mater 2014;30(2):149-54.
12. Jaberi Ansari Z, Ghassemi A, Vatandoust MT. The Evaluation of polymerization depth in different periods of light-curing[dissertation]. J Dent sch Shahid Beheshti Univ Med Sci.;2004.61.
13. Garoushi S, Vallittu P, Shinya A, Lassila L. Influence of increment thickness on light transmission, degree of conversion and micro hardness of bulk fill composites. Odontology 2016;104(3):291-7.
14. Alshali RZ, Silikas N, Satterthwaite JD. Degree of conversion of bulk-fill compared to conventional resin-composites at two time intervals. Dent Mater 2013;29(9): 213-7.
15. Jang JH, Park SH, Hwang IN. Polymerization shrinkage and depth of cure of bulk-fill resin composites and highly filled flowable resin. Oper Dent 2015;40(2):172-80.
16. Price RB, Felix CA, Andreou P. Third-generation vs a second-generation LED curing light: effect on Knoop microhardness. Compend Contin Educ Dent 2006;27(9):490-6
17. Pelissier B, Jacquot B, Palin WM, Shortall AC. Three generations of LED lights and clinical implications for optimizing their use. 1: from past to present. Dent Update 2011;38(10):660-2
18. Shortall AC, Palin WM, Jacquot B, Pelissier B. Advances in light-curing units: four generations of LED lights and clinical implications for optimizing their use: Part 2. From present to future. Dent Update 2012;39(1):13-7, 20-2.
19. Flury S, Hayoz S, Peutzfeldt A, Husler J, Lussi A. Depth of cure of resin composites: is the ISO 4049 method suitable for bulk fill materials. Dent Mater 2012;28(5):521-8.
20. Shortall AC, Uctasil S, Marquis PM. Fracture resistance of anterior, posterior and universal light activated composite restoratives. Oper Dent 2001;26(1):87-96.
21. Ilie N, Hickel R. Investigation on mechanical behavior of dental composites. Clin Oral Investig 2009;13(4):427-38.
22. Giachetti L, Scaminaci Russo D, Bambi C, Grandini R. A review of polymerization shrinkage stress: current techniques for posterior direct resin restorations. J Contemp Dent Pract 2006;7(4):79-88.