

Fracture Toughness

دکتر تبسم هوشمند*⁺ - دکتر علیرضا کشواد**

*استادیار گروه مواد دندانپزشکی، مرکز تحقیقات دانشکده دندانپزشکی و مرکز تحقیقات علوم و تکنولوژی در پزشکی،

دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی، درمانی تهران

**استادیار گروه آموزشی پروتزهای دندانپزشکی، دانشکده دندانپزشکی دانشگاه شاهد

Title: Fracture toughness of Ideal Macoo resin composite compared with standard ones

Authors: Hooshmand T. Assistant Professor*, Keshvad A. Assistant Professor**

Address: *Department of Dental Materials, Dental Research Center/RCSTIM, Tehran University of Medical Sciences

**Department of Prosthodontics, Faculty of Dentistry, Shahed University

Statement of Problem: Evaluation of fracture properties is a basic principle for true assessment of brittle materials' properties. Resin-based composite materials are being used extensively in today's dentistry. Fracture toughness is considered an important parameter for providing useful information about material's nature, properties and its resistance to fracture.

Purpose: The purpose of this study was to evaluate the fracture toughness of a resin composite produced in the country and to compare it with that of other standard materials.

Materials and Methods: Four types of resin composite materials were used as follow to prepare 60 specimens (n=15 for each group), A) Tetric Ceram (Ivoclar-Vivadent); B) Brilliant (Coltene-Whaledent); C) Spectrum^{TPH} (Dentsply); and D) Ideal Macoo (Ideal Macoo, Iran). Specimens of 5 mm diameter (± 0.1 mm) and 2 mm depth (± 0.1 mm) were prepared in a central notch (90° notch angle) PTFE mold. Then specimens were light cured with two applications of overlapping exposures for a total of 120 s and were stored in distilled water at 37°C for 48 hours, A cylindrical roller of 3 mm diameter was seated inside the V sections and fracture was accomplished in a universal testing machine at a crosshead speed of 0.5 mm/min. Data were analyzed by one-way ANOVA and post-hoc paired Tukey HSD test with $P < 0.05$ as the limit of significance.

Results: The mean K_{IC} and torque to fracture (T) values for each material tested were; A) 3.08 ± 0.42 , 16.99 ± 2.34 , B) 2.88 ± 0.63 , 16.04 ± 1.98 ; C) 3.40 ± 0.53 , 18.75 ± 2.93 and D) 2.87 ± 0.46 , 15.78 ± 2.57 MN/m^{3/2} \pm SD and N/mm \pm SD, respectively. Group C showed significantly the highest mean K_{IC} and T values among groups tested which was significantly higher than that of group B and D ($P < 0.05$). The mean K_{IC} and T values for groups A, B, and D were not significantly different ($P > 0.05$).

Conclusion: From evaluating the fracture properties of materials tested in this study it was concluded that the mean fracture toughness value for Spectrum^{TPH} (Dentsply) was significantly higher than that of Ideal Macoo resin composite material (Ideal Macoo, Iran). The F.T value for Ideal Macoo was considered acceptable as it was not significantly different from that of other resin composite materials tested.

Key Words: Resin composite; Ideal Macoo; Fracture toughness

Journal of Dentistry. Tehran University of Medical Sciences (Vol. 18; No. 2; 2005)

⁺ مؤلف مسؤول؛ آدرس: تهران - خیابان انقلاب اسلامی - خیابان قدس - دانشگاه علوم پزشکی تهران - دانشکده دندانپزشکی - گروه آموزشی مواد دندانپزشکی
تلفن: ۶۴۰۲۶۴۰ داخلی: ۲۲۰۳ دورنگار: ۶۴۰۱۱۳۲

چکیده

بیان مسأله: fracture properties یک پیش‌نیاز اساسی برای ارزیابی خصوصیات یک ماده شکننده می‌باشد. مواد رزین کامپوزیتی کاربرد وسیعی در دندانپزشکی امروزی دارند و جزو مواد شکننده محسوب می‌شوند؛ یکی از مهمترین آزمونهای بررسی fracture properties آزمون fracture toughness (FT) می‌باشد که اطلاعات ارزشمندی در مورد خواص و ماهیت ماده در برابر شکست ارائه می‌دهد.

هدف: مطالعه حاضر با هدف اندازه‌گیری fracture toughness کامپوزیت ایده‌آل ماکو (تولید داخل) و مقایسه آن با نمونه‌های خارجی انجام شد.

روش بررسی: در این مطالعه تجربی، نمونه‌های مواد رزین کامپوزیتی شامل: الف- Tetric Ceram (Ivoclar-Vivadent)، ب- Brilliant (Coltene/Whaledent)، ج- Spectrum^{TPH} (Dentsply) و د- Ideal Macoo (Ideal- Macoo) در مولد مخصوص که یک ناچ به شکل V با زاویه ۹۰ درجه در آن تعبیه شده بود، پک و با light curing به مدت ۱۲۰ ثانیه پلیمریزه شدند (تعداد=۱۵)؛ سپس نمونه‌ها در آب مقطر با دمای ۳۷ درجه سانتیگراد به مدت ۴۸ ساعت قرار گرفتند. آزمون نمونه‌ها در دستگاه Zwick Universal Testing Machine با اعمال نیرو از یک رولر سیلندری شکل روی ناچ تعبیه شده در نمونه‌ها انجام گرفت (۰/۵^{mm}/min). از داده‌های به‌دست آمده میزان FT محاسبه شد (K_{IC} و torque to fracture). برای تحلیل داده‌ها از آزمون آماری One-way ANOVA و آزمون Tukey HSD استفاده شد.

یافته‌ها: مقدار میانگین K_{IC} و torque to fracture برای هر یک از مواد مورد آزمون به ترتیب زیر بود:

الف) ۳/۰۸ ± ۰/۴۲، ۱۶/۹۹ ± ۲/۳۴ (ب) ۲/۸۸ ± ۰/۶۳، ۱۶/۰۴ ± ۱/۹۸
ج) ۳/۴۰ ± ۰/۵۳، ۱۸/۷۵ ± ۲/۹۳ (د) ۲/۸۷ ± ۰/۴۶، ۱۵/۷۸ ± ۲/۵۷ N/mm±SD, MN/m^{3/2}±SD

نتایج آنالیز آماری بیشترین میزان T و K_{IC} را در گروه ج نشان داد که به طور معنی‌داری با گروه‌های ب و د تفاوت داشت (P<۰/۰۵). میانگین T و K_{IC} مربوط به کامپوزیت‌های گروه‌های الف، ب و د از نظر آماری با هم تفاوت معنی‌داری را نشان ندادند (P>۰/۰۵). **نتیجه‌گیری:** با ارزیابی fracture toughness مواد مورد مطالعه در این تحقیق، میزان FT مربوط به رزین کامپوزیت Spectrum^{TPH} (Dentsply) به طور معنی‌داری بیشتر از کامپوزیت ایده‌آل ماکو تولید داخل بود. اما میانگین FT کامپوزیت ایده‌آل ماکو با سایر مواد خارجی مورد آزمون تفاوت معنی‌داری را نشان نداد که می‌توان آن را قابل قبول دانست.

کلید واژه‌ها: رزین کامپوزیت؛ ایده‌آل ماکو؛ چقرمگی

مجله دندانپزشکی دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی، درمانی تهران (دوره ۱۸، شماره ۲، سال ۱۳۸۴)

مقدمه

دندان آمالگام بود ولی امروزه طی ۵-۲۰ سال گذشته از کامپوزیت‌ها نیز در ترمیم دندانهای خلفی استفاده شده است. از کامپوزیت‌ها همچنین برای ساخت کراون‌ها، اینله‌ها، ونیرهای باند شونده به فلز و بریج‌های تقویت‌شده بدون فلز که به طور مستقیم روی دای‌های کامپوزیتی ساخته می‌شوند، استفاده می‌شود. یکی از مهمترین آزمونهای بررسی fracture properties مواد شکننده، اندازه‌گیری fracture toughness (FT) می‌باشد که اطلاعات

بررسی fracture properties یک پیش‌نیاز اساسی برای ارزیابی صحیح خصوصیات یک ماده شکننده (brittle) است. مواد رزین کامپوزیتی کاربرد وسیعی در دندانپزشکی امروزی دارند و جزو مواد شکننده محسوب می‌شوند. کامپوزیت‌ها و گلاس آینومرها جزو مواد هم‌رنگ دندان هستند که در مکانهایی از دهان که مسأله زیبایی اهمیت دارد، کاربرد دارند. در گذشته ماده انتخابی برای پرکردن

مشخصات کامل آنها در جدول ۱، ارائه شده است، عبارت بودند از :

- Tetric Ceram (Ivoclar-Vivadent)
- Coltene Brilliant (Coltene/Whaledent)
- Spectrum^{TPH} (Dentsply)
- Ideal Macco (Ideal Macco, Iran)

لازم به ذکر است مواد فوق از تولیدکنندگان دریافت نگردید و از بازار تهیه شد.

روش انجام آزمون بر اساس روش پیشنهادی Uctasli و همکاران برای ارزیابی FT مواد رزین کامپوزیتی بود (۵). برای تهیه نمونه‌ها ابتدا یک مولد از جنس PTFE (Poly-Tetra Fluoro Ethylene) به شکل دایره دارای یک ناچ V شکل مرکزی تهیه شد. ابعاد مولد به قطر ۵ میلیمتر (± 0.1 mm)، عرض ۲ میلیمتر (± 0.1 mm) و یک ناچ V شکل با زاویه ۹۰ درجه بود.

برای ساخت نمونه‌ها از ۲ عدد بلوک شیشه‌ای استفاده شد که یکی از آنها در زیر مولد قرار گرفت. پس از پک کردن مواد داخل مولد و قراردادن نوار ماتریکس سلولوئیدی شفاف روی آن بلوک دوم روی نمونه قرار گرفت و با فشار انگشت به مدت ۱۵ ثانیه مواد اضافی از مولد خارج شد؛ سپس بلوک دوم برداشته شد؛ در حالی که نوار ماتریکس شفاف روی مولد قرار داشت، به مدت ۱۲۰ ثانیه بدون فاصله با نمونه کیور شد. نمونه‌ها پس از کیورینگ کامل از مولد خارج شدند (شکل ۱) و ضخامت نمونه‌ها و عمق ناچ توسط میکرومتر اندازه‌گیری شد.

جدول ۱- مواد مورد استفاده در تحقیق

Batch Number	کارخانه	نوع ماده
D62228	Ivoclar-Vivadent, Schaan, Liechtenstein	Tetric Ceram
MH116	Coltene/Whaledent Inc., New Jersey, USA	Coltene Brilliant (Dentin)
0208001099	Dentsply/Caulk, Milford, DE, USA	Spectrum ^{TPH}
0104	Ideal Macco, Tehran-Iran	Ideal Macco

ارزشمندی در مورد خواص و ماهیت ماده در برابر شکست ارائه می‌دهد. این آزمون اندازه‌گیری میزان تنش در رأس یک ترک می‌باشد که در آن، مسیر یک ترک درون ماده در وضعیت بی‌ثباتی منتشر می‌شود و در واقع مقاومت ماده در برابر انتشار ترک می‌باشد.

مطالعات بسیاری برای اندازه‌گیری FT مواد دندانی شکننده، بخصوص در مورد کامپوزیت‌ها انجام گرفته و اندازه‌گیری K_{IC} (fracture toughness) در مواد رزین کامپوزیتی با به‌کارگیری انواع آزمون‌ها و نمونه‌هایی به اشکال مختلف گزارش شده است (۱-۴).

یکی از شکل‌های بسیار مفید در محاسبه K_{IC} ، تهیه نمونه به صورت notched disc می‌باشد که می‌تواند با دقت بالا در اندازه‌گیری K_{IC} به کار رود (۵).

اخیراً نوعی ماده رزین کامپوزیتی تولید داخل (ایده‌آل ماکو) به بازار عرضه شده که تاکنون fracture properties آن در مطالعات کلینیکی و لابراتواری با انواع مشابه خارجی خود مقایسه نشده است.

در این تحقیق هدف آن بود که با اندازه‌گیری FT ماده کامپوزیتی ایده‌آل ماکو برای اولین بار، این ماده از این نظر مورد ارزیابی قرار گیرد و با انواع دیگر رزین کامپوزیت‌های خارجی مقایسه گردد.

روش بررسی

در این مطالعه تجربی، از ۴ نوع ماده ترمیمی رزین کامپوزیتی light-cured، ۶۰ نمونه دیسکی شکل دارای ناچ تهیه شد (از هر ماده ۱۵ نمونه). مواد مورد آزمون که

بعد از شکست نمونه، نیروی مسبب شکست، ثبت شد و در فرمول زیر برای محاسبه K_{IC} قرار گرفت (شکل ۳):

$$K_{IC} = \frac{F \cdot \sin \theta \cdot \cos \theta Y_2}{BW^{1/2}} \cdot 0.0316 \text{ (MN/m}^{3/2}\text{)}$$

F: نیرویی که در نقطه شکست ثبت شده بر حسب نیوتن

B: ضخامت نمونه بر حسب میلیمتر

θ : زاویه ناچ V شکل (۹۰ درجه)

W: عرض مؤثر بر حسب میلیمتر (فاصله نقطه تماس

roller با نمونه تا قاعده آن

Y_2 همان stress intensity factor coefficient

برای آزمون کششی است که مقدار عددی آن با محاسبه نسبت a/w (a: طول مؤثر crack و w: عرض مؤثر) که عملکرد (function) آن $f(a/w)$ در استاندارد BS5447:1977 از یک جدول برای آزمون کششی حاصل می‌گردد (۶) و مقدار آن در مطالعه حاضر ۸/۳۴ به دست آمد (شکل ۳).

برای محاسبه T (torque to initiate fracture) از

فرمول زیر استفاده شد (شکل ۴):

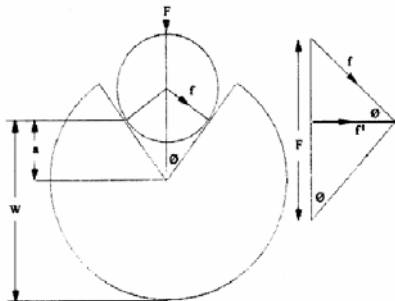
$$T = \frac{FD \times 0.36}{th} \text{ (N/mm)}$$

F: نیرویی که در نقطه شکست ثبت شده بر حسب نیوتن

D: قطر roller بر حسب میلیمتر

h: ارتفاع از رأس ناچ تا قاعده نمونه بر حسب میلیمتر

t: قطر نمونه بر حسب میلیمتر



شکل ۳- نمایشی از نحوه اعمال نیرو برای محاسبه K_{IC}

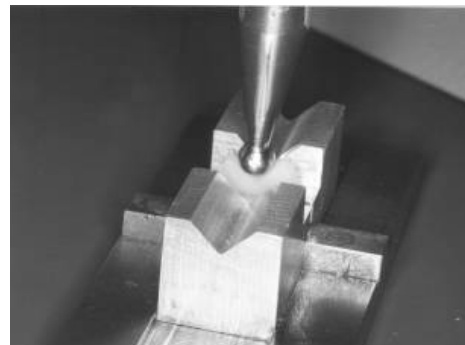
سپس از نمونه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در آب مقطر با دمای ۳۷ درجه سانتیگراد نگهداری شد و یک ساعت قبل از انجام آزمون از آب خارج و برای انجام آزمون به دستگاه Zwick Universal Testing Machine, (Germany) منتقل شدند.

نمونه‌ها توسط یک نگهدارنده ثابت و به صورت کنترل شده، تحت اعمال نیرو قرار گرفتند. وسیله‌ای که برای اعمال نیرو به نمونه‌ها ساخته شد (roller) دارای یک قسمت استوانه‌ای شکل به قطر ۵ میلیمتر بود که یک سر آن در ناچ V شکل قرار گرفت و سر دیگر آن توسط دستگاه نیرو را با سرعت $0.5 \text{ mm}^3/\text{min}$ به عمق ناچ اعمال می‌نمود (شکل ۲).

شکست در دستگاه Universal Testing Machine توسط یک نیروی کششی به روش two-point mode I ایجاد می‌شود. نمونه در دستگاه به صورتی قرار گرفت که کاملاً به طور مرکزی زیر roller قرار گیرد یعنی سر roller کاملاً در مرکز ناچ نیرو را اعمال کند. در این آزمون مقاومت ماده در برابر انتشار ترک (FT) توسط دو شاخص critical stress و torque to initiate fracture (T) intensity factor (K_{IC}) محاسبه شد.

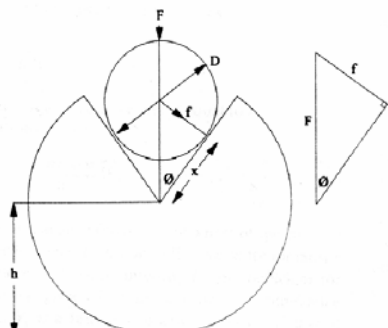


شکل ۱- نمونه‌های رزین کامپوزیتی



شکل ۲- Roller برای اعمال نیرو به نمونه

صورت دو تکه بود و خط شکست از ناحیه رأس ناچ به صورت sharp شروع شد و نمونه را به دو تکه مجزا تقسیم کرد (شکل ۵).



شکل ۴- نمایی از نحوه اعمال نیرو برای محاسبه T



شکل ۵- نحوه شکست نمونه‌ها

اطلاعات جمع‌آوری شده با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS و آزمونهای آماری One-way ANOVA و Tukey- HSD Post-hoc با $P < 0.05$ به عنوان سطح معنی‌داری مورد تحلیل قرار گرفتند.

یافته‌ها

میانگین، انحراف معیار و خطای استاندارد FT (K_{IC}) و T به ترتیب برای ۴ گروه مواد رزین کامپوزیتی مورد آزمون در جدولهای ۲ و ۳ ارائه شده است. طبق نتایج حاصل از آزمون one-way ANOVA و Tukey HSD بیشترین مقادیر میانگین K_{IC} و T مربوط به Spectrum^{TPH} بود که از نظر آماری با مواد رزین کامپوزیتی Ideal Macoo و Brilliant اختلاف معنی‌داری داشت ($P < 0.05$). میانگین K_{IC} و T در کامپوزیت Spectrum^{TPH} با کامپوزیت Tetric Ceram اختلاف معنی‌داری نشان نداد ($P > 0.05$ ؛ همچنین میانگین K_{IC} و T در کامپوزیت ایده‌آل ماکو اختلاف معنی‌داری از نظر آماری با کامپوزیت‌های Brilliant و Tetric Ceram نشان نداد ($P > 0.05$). با مشاهده نحوه شکست در نمونه‌های مورد آزمون مشخص شد که الگوی شکست در تمام نمونه‌ها برای این نوع آزمون (FT) به

جدول ۲- نتایج مربوط به K_{IC} ($MN/m^{3/2}$)

گروه‌ها	تعداد	میانگین و انحراف معیار		خطای معیار	٪۹۵ ضریب اطمینان برای میانگین		حداقل	حداکثر
		میانگین	انحراف معیار		حد تحتانی	حد فوقانی		
Ideal Macoo	۱۵	$0.4686 \pm 2/8767$		۰/۱۲۱۰	۲/۶۱۷۲	۲/۲۱	۳/۶۴	
Tetric Ceram	۱۵	$0.4267 \pm 3/0893$		۰/۱۱۰۲	۲/۸۵۳۱	۲/۳۸	۴/۱۴	
Brilliant	۱۵	$0.6352 \pm 2/8827$		۰/۱۶۴۰	۲/۵۳۰۹	۲/۰۱	۳/۷۱	
Spectrum ^{TPH}	۱۵	$0.5322 \pm 3/4053$		۰/۱۳۷۴	۳/۱۱۰۶	۲/۶۱	۴/۲۴	

جدول ۳- نتایج مربوط به (T) Torque to Fracture (N/mm)

گروه‌ها	تعداد	میانگین و انحراف معیار		خطای معیار	٪۹۵ ضریب اطمینان برای میانگین		حداقل	حداکثر
		میانگین	انحراف معیار		حد تحتانی	حد فوقانی		
Ideal Macoo	۱۵	$2/5772 \pm 15/7873$		۰/۶۶۵۴	۱۴/۳۶۰۱	۱۲/۱۵	۲۰/۰۳	
Tetric Ceram	۱۵	$2/3478 \pm 16/9947$		۰/۶۰۶۲	۱۵/۶۹۴۵	۱۳/۱۱	۲۲/۷۷	
Brilliant	۱۵	$1/9836 \pm 16/0400$		۰/۵۱۲۲	۱۴/۹۴۱۵	۱۲/۰۴	۲۰/۳۵	
Spectrum ^{TPH}	۱۵	$2/9307 \pm 18/7573$		۰/۷۵۶۷	۱۷/۱۳۴۴	۱۴/۳۸	۲۳/۳۷	

بحث و نتیجه گیری

دندانپزشکی امروزی در سالهای اخیر سیری سریع و پیش‌رونده از آمالگام به سوی مواد دندانی هم‌رنگ دندان شامل کامپوزیت‌ها و گلاس آینومرها داشته است و حتی این مواد ترمیمی توانسته‌اند جایگزین پرسن‌های دندانی شوند و در بسیاری موارد از نظر زیبایی با آنها برابری کنند. از آنجا که استحکام مکانیکی عامل بسیار مهمی در موفقیت کلینیکی یک ماده دندانی محسوب می‌شود، محققان مختلف با آزمایش این مواد توسط آزمونهای مختلف و با اندازه‌گیری استحکام مکانیکی سعی کرده‌اند میزان موفقیت کلینیکی هر یک از انواع مواد هم‌رنگ دندان را تخمین بزنند؛ البته انواع مختلف تجاری این مواد نیز با یکدیگر مقایسه شده‌اند (۳-۸). مواد دندانی در موقعیتهای کلینیکی تحت تنش‌های متفاوتی قرار می‌گیرند؛ از جمله تنش‌های کششی، فشاری و برشی؛ ولی بیشترین تنشی که در شرایط کلینیکی به مواد دندانی وارد می‌شود از نوع کششی می‌باشد (۹، ۱۰)؛ بنابراین با ارزشترین آزمونهای مکانیکی که می‌توانند به بهترین نحو، عملکرد کلینیکی ماده شکننده را ارزیابی کنند آزمونهایی هستند که مقاومت ماده را در برابر تنشهای کششی می‌سنجند؛ مانند FT که در این تحقیق توسط اعمال نیروی کششی به صورت two point mode I tensile load صورت گرفت (۵).

ارزیابی میزان FT مواد دندانی شکننده از اهمیت بسزایی برخوردار است و به عقیده Lamon، یک عامل مهم برای ارزیابی مواد دندانی جایگزین‌شونده نسج دندان است (۱۱). برای انجام آزمون FT نیز روشهای متنوعی ارائه شده است (۱-۴).

تئوری آزمون plane strain fracture toughness ارزیابی میزان تجمع تنش در رأس یک ترک می‌باشد (K_{IC}). نمونه‌هایی که حاوی pre-crack هستند با اندازه‌ها و اشکال استاندارد تحت نیرو قرار می‌گیرند تا زمانی که به شکل ماکروسکوپی دچار شکست شوند و این نیرو برای محاسبه

FT به کار می‌رود. تمام سیستم‌های تنش در رأس یک ترک به سه نحو اعمال نیرو تقسیم می‌شوند:

- ۱- کششی یا بازکننده
- ۲- in-plane shear
- ۳- پاره‌کننده (tearing) یا anti-plane shear

مواد دندانی بیشتر تحت اعمال نیروی کششی قرار می‌گیرند (۵).

برای اندازه‌گیری K_{IC} هیچ روش استاندارد برای مواد شکننده وجود ندارد و مطالعاتی که از روشهای مختلف برای اندازه‌گیری K_{IC} استفاده کرده‌اند، محدوده‌ای بین ۱۰ تا ۵۰٪ تفاوت را برای مواد یکسان نشان داده‌اند (۱۲).

روش ارائه شده توسط Uctasli و همکاران که به عنوان «notched disc» نامگذاری شده است، با اعمال نیرو به صورت tow-point mode I tensile قادر است میزان K_{IC} و شاخص جدیدی با نام torque to initiate fracture (T) را محاسبه نماید. (۵). برای انجام این آزمون نیاز به ساخت نمونه با یک pre-crack می‌باشد؛ زیرا این pre-crack می‌تواند نقایص طبیعی و شاری را که در داخل مواد وجود دارد بازسازی کند؛ چنین نقایصی در دهان می‌تواند در اثر خستگی ناشی از جویدن و سایر عملکردهای دهانی ایجاد شوند و این شکل خاص نمونه با یک قسمت V شکل می‌تواند این نقایص را شبیه‌سازی کند؛ همچنین دلیل تعبیه ناچ در نمونه دستیابی به مکان تجمع تنش در انتهای ناچ است تا ایجاد انتشار ترک را در نمونه توسط roller تسهیل کند. ناچ کاملاً در مرکز نمونه تعبیه شده و کاملاً صاف و بدون تضاریس می‌باشد تا بتواند نیرو را به طور کاملاً مساوی در دو طرف ناچ پخش کند.

شکست در دستگاه Universal Testing Machine توسط یک نیروی کششی به روش two-point mode I ایجاد می‌شود. roller استوانه‌ای شکل برای اعمال نیروی خارجی و تسهیل ایجاد یک نیروی بازکننده به روش

است: $\text{Spectrum}^{\text{TPH}}$: درصد وزنی فیلر: ۷۷٪ اندازه ذرات فیلر: $5-0.4 \mu\text{m}$

Tetric Ceram : درصد وزنی فیلر: ۷۹٪ اندازه ذرات فیلر: $3-0.4 \mu\text{m}$

Brilliant : درصد وزنی فیلر: ۷۸٪ اندازه ذرات فیلر: $2.8-0.4 \mu\text{m}$

Ideal Macoo : درصد وزنی فیلر: ۷۷/۸٪ اندازه ذرات فیلر: $3-0.2 \mu\text{m}$

علت بالاترین میزان FT به دست آمده در کامپوزیت $\text{Spectrum}^{\text{TPH}}$ در تحقیق حاضر می‌تواند به دلیل بالاتر بودن اندازه ذرات فیلر آن باشد. هرچند میان این کامپوزیت و Tetric Ceram که اندازه ذرات کوچکتری دارد، اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد.

در تحقیق دیگری نیز که توسط Shortall و همکاران در سال ۲۰۰۱ به روش notched disc انجام شد، گزارش شد که با افزایش میزان فیلر FT افزایش می‌یابد؛ در این تحقیق نیز دو کامپوزیت Tetric Ceram و $\text{Spectrum}^{\text{TPH}}$ با یکدیگر مقایسه شدند و اختلاف معنی‌داری را در مقاومت به شکست نشان ندادند (۱۵).

در مطالعه دیگری گزارش شد که بین K_{IC} در کامپوزیت میکروفیلد با درصد وزنی فیلر کمتر و انواع دیگر کامپوزیت با فیلر بالا اختلاف معنی‌داری وجود ندارد (۱۶) که با نتیجه به دست آمده از مطالعات گذشته مغایر می‌باشد؛ بنابراین به نظر می‌رسد تحقیقات بیشتر در زمینه رابطه میان درصد وزنی فیلر، اندازه ذرات و میزان FT ضروری باشد.

تاکنون کامپوزیت ایده‌آل ماکو که تولید داخل می‌باشد با استفاده از هیچ یک از روشهای اندازه‌گیری آزمون FT و با هیچ‌یک از مواد رزین کامپوزیتی مشابه استاندارد خارجی مقایسه نشده است. نتایج مطالعه حاضر نشان داد میزان FT کامپوزیت ایده‌آل ماکو با داشتن اندازه ذرات و درصد وزنی

two-point به کار می‌رود. این تماس در نقطه‌ای باعث انتشار نیرو به طریقی می‌شود که نمونه به دو تکه می‌شکند. این طرح قادر است توضیح دهد که چگونه نیروی افزایش یابنده‌ای که به یک نمونه وارد می‌شود می‌تواند باعث تولید و انتشار ترک شود تا جایی که نمونه کاملاً بشکند و نیز به خوبی قابلیت مقاومت ماده در برابر انتشار ترک یا FT (K_{IC}) را نشان دهد. مقایسه مقادیر K_{IC} و T نشان داده که نتایج حاصل از این نوع آزمون با روشهای متفاوت دیگر آزمون FT که نمونه دارای زاویه ناچ ۹۰ درجه است، مشابه است (۵)؛ بنابراین در این تحقیق نیز از این طرح ساده برای اندازه‌گیری FT استفاده شد.

همانطور که نتایج تحلیل آماری ANOVA نشان داد، بیشترین مقادیر K_{IC} و T مربوط به $\text{Spectrum}^{\text{TPH}}$ بود که از نظر آماری با مواد رزین کامپوزیتی Ideal Macoo و Brilliant اختلاف معنی‌داری را نشان داد.

در مورد بررسی کامپوزیت ایده‌آل ماکو که هدف اصلی این مطالعه بود، نتایج نشان داد میانگین K_{IC} و T در کامپوزیت Ideal Macoo از نظر آماری اختلاف معنی‌داری با کامپوزیت‌های Tetric Ceram و Brilliant نداشت.

گزارش شده است که میزان فیلر، اندازه فیلر و واکنش فیلر- ماتریکس بشدت روی fracture properties مواد رزین کامپوزیتی تأثیر می‌گذارند. طبق نتایج حاصل از این مطالعه کامپوزیت‌های condensable که میزان فیلر بالایی دارند، نسبت به انواع دیگر کامپوزیت‌ها میزان K_{IC} بالاتری را نشان دادند و نتیجه‌گیری شد که افزایش میزان فیلر می‌تواند FT را به میزان ۳۰-۵۰٪ افزایش دهد (۷).

مطالعات دیگر نیز رابطه میزان فیلر و افزایش flexure strength و FT را تأیید کرده‌اند (۱۳، ۱۴).

در تحقیق حاضر میزان فیلر مواد رزین کامپوزیتی مورد مطالعه، تقریباً مشابه بود. درصد وزنی و اندازه فیلر موجود در هر یک از کامپوزیت‌های مورد استفاده در تحقیق به شرح زیر

خارجی قابل قبول بررسی گردد. به کارخانه تولیدکننده کامپوزیت ایده‌آل ماکو توصیه می‌شود اطلاعات و داده‌های کاملتری در مورد نوع، میزان و درصد وزنی و حجمی فیلر و اندازه فیلر موجود در این کامپوزیت ارائه دهد.

فیلر تقریباً مشابه با کامپوزیت‌های Tetric Ceram و Brilliant اختلاف معنی‌داری با این کامپوزیت‌ها نداشت. پیشنهاد می‌شود کامپوزیت تولید داخل ایده‌آل ماکو از نظر سایر خواص نیز مورد ارزیابی کیفی قرار گیرد و قابلیت استفاده کلینیکی آن در مقایسه با انواع رزین کامپوزیت‌های

منابع:

- 1- Fujishima A, Ferracane JL. Comparisons of four modes of fracture toughness testing for dental composites. *Dent Mater* 1996; 12:38-43.
- 2- Bonilla ED, Mardirossian G, Caputo AA. Fracture toughness of posterior resin composite. *Quintessence Int* 2001; 32: 206-10.
- 3- Medina Tirado JI, Nagy WW, Dhuru VB, Ziebert AJ. The effect of thermocycling on the fracture toughness and hardness of core buildup materials. *J Prosthet Dent*. 2001; 86(5): 474-80.
- 4- Scherrer SS, Botsis J, Studer M, Pini M, Wiskott HW, Belser UC. Fracture toughness of aged dental composites in combined mode I and mode II loading. *J Biomed Mater Res* 2000; 530: 362-70.
- 5- Uctasli S, Harrington E, Wilson HJ. The fracture resistance of dental materials. *J Oral Rehabil* 1995; 22:877-86.
- 6- British Standard 5447 Methods for Plane Strain Fracture Toughness (K_{IC}) Testing. British Standards Institution, London (1977).
- 7- Manhart J, Kuinzelmann KH, Chen HY, Wickel R. Mechanical properties and wear behavior of light-cured packable composite resins. *Dent Mater* 2000;14:33-40.
- 8- Kelsey WP, Latta MA, Shaddy RS, Stanislav CM. Physical properties of three packable resin-composite restorative materials. *Oper Dent*. 2000; 25(4): 331-35.
- 9- Ban S, Anusavice KJ. Influence of test method on failure stress of brittle materials. *J Dent Res* 1990;12: 1791-99.
- 10- Ferracane JL, Antonia RC, Matsumoto H. Variables affecting the fracture toughness of dental composites. *J Dent Res* 1987; 66: 1140-45.
- 11- Lamon J. Statistical analysis of bending strength for brittle solids: A multiaxial fracture problem. *J Am Ceram Soc* 1993; 66:177-82.
- 12- Kovarik RE, Erigle JW, Fairhurst CW. Effects of specimen geometry on the measurement of fracture toughness. *Dent Mater* 1991; 7: 166-69.
- 13- Bonilla E D, Mahrokh Y, Caputo AA. Fracture toughness of nine flowable resin composites. *J Prosthet Dent* 2003; 89: 261-67.
- 14- Zhao D, Botsis J, Drummond JL. Fracture studies of selected dental restorative composites. *Dent Mater* 1997; 13: 198- 207.
- 15- Shortall AC, Uctasli S, Marquis PM. Fracture resistance of anterior, posterior and universal light activated composite restoratives. *Oper Dent* 2001; 26: 87-96.
- 16- Kovarik RE, Ergle JW. Fracture toughness of posterior composite resins fabricated by incremental layering. *J Prosthet Dent* 1993; 69(6):557-60.