

مقاله اصلی

بررسی مقاومت خمشی ترمیم‌های موقت ساخته شده با فرز و پرینت سه بعدی در مقایسه با روش مرسوم

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۲/۲۲ - تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۶/۰۴

خلاصه

مقدمه: استفاده از رستوریشن‌های موقت در درمان بیماران نیازمند پروتزهای دندان به عنوان یکی از مراحل ضروری مطرح می‌شود. استحکام خمشی به عنوان یک شاخص کلیدی در انتخاب مواد برای رستوریشن‌های موقت، به خصوص در نواحی قدامی و طولانی اهمیت دارد. پژوهش حاضر با هدف بررسی مقاومت خمشی ترمیم‌های موقت ساخته شده با فرز و پرینت سه بعدی در مقایسه با روش مرسوم انجام شد.

روش کار: مدل اصلی رستوریشن موقتی طراحی شده و با استفاده از تکنیک‌های Milling و پرینت سه بعدی تولید شد. نمونه‌های رستوریشن سه‌واحدی پس از ساخت تحت فرآیندهای پس‌پردازش قرار گرفته و در بزاق مصنوعی نگهداری شدند. سپس، نمونه‌ها تحت ترموسایکلینگ قرار گرفته و آزمایش خمش سه نقطه‌ای بر روی آن‌ها انجام شد. نتایج نشان داد که بالاترین میانگین استحکام خمشی مربوط به نمونه‌های پرینت شده با زاویه ۴۵ درجه بوده و از نظر آماری نسبت به دیگر گروه‌ها تفاوت معنی‌داری نشان دادند. در مقابل، رستوریشن‌های تولیدی به روش سنتی کمترین استحکام خمشی را داشتند. داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS24 و آزمون‌های ANOVA و LSD تحلیل شدند.

نتایج: تفاوت معنی‌داری بین گروه‌های مختلف مشاهده شد، به طوری که روش پرینت سه بعدی با زاویه ۴۵ درجه به طور معنی‌داری استحکام خمشی بالاتری نسبت به سایر روش‌ها دارد ($P > 0.05$).

نتیجه‌گیری: این یافته‌ها تأثیر روش‌های مختلف ساخت بر ویژگی‌های مکانیکی رستوریشن‌ها را نشان داده و استفاده از فناوری‌های پیشرفته مانند پرینت سه بعدی را در دندانپزشکی تأکید می‌کند. استفاده از این فناوری‌ها می‌تواند به بهبود عملکرد و دوام رستوریشن‌های موقت کمک کند و کیفیت درمان دندان‌پزشکی را ارتقا دهد.

کلمات کلیدی: رستوریشن‌های موقت، پرینت سه بعدی، پروتزهای دندان، مقاومت خمشی

سید شجاع الدین شایق^۱
محمدرضا ناظم الرعایا^۲
محمد سعید برزگر^۳
زهرا محمدی^{۴*}
محمد قدیری فرد^۵

^۱ استاد گروه پروتزهای دندان، دانشکده دندانپزشکی، دانشگاه شاهد، تهران، ایران

^۲ دانشجوی دکترای تخصصی، گروه پروتزهای دندان، دانشکده دندانپزشکی، دانشگاه شاهد، تهران، ایران

^۳ متخصص پروتزهای دندان

^۴ دانشجوی دکترای تخصصی، گروه پروتزهای دندان، دانشکده دندانپزشکی، دانشگاه شاهد، تهران، ایران (نویسنده

مسئول)

^۵ دانشجوی دکترای تخصصی، گروه پروتزهای دندان، دانشکده دندانپزشکی، دانشگاه شاهد، تهران، ایران

Email:
zahramohammadi74@yahoo.com

مقدمه

مواد برای ساخت رستوریشن‌های موقت تک واحدی و چند واحدی بیشتر رزین پایه هستند. آنها از نظر روش پلیمریزاسیون، ترکیب فیلر و نوع مونومر متفاوت هستند.

این مواد شامل

(polyethyl (PMMA) poly(methyl methacrylate bisphenol A glycidyl polyvinyl(ethylmethacrylate) (PEMA) (methacrylate urethane di-methacrylate resins. bis-acryl resin composites methacrylate می‌باشند (۵،۳،۲).

در طی سالهای اخیر فناوری ساخت کاهشی (**Subtractive Manufacturing**) برای کاربردهای مختلف از جمله رستوریشن‌های موقت ساخته شده با استفاده از تراش دیسک‌هایی بر پایه رزین که در شرایط مطلوب کپور (**Cure**) میشوند، پدید آمده‌اند آنها نه تنها مقاومت مکانیکی بیشتری دارند و از تخلخل در ترمیم جلوگیری میکنند بلکه باعث کاهش زمان درمان میشوند. علاوه بر این روش ساخت افزایشی (**Additive Manufacturing**) یک فناوری جدیدتر در دندانپزشکی است. در این روش داده‌های سه بعدی به وسیله دستگاه در مقاطع عرضی برش خورده و هر لایه به طور مجزا ساخته شده و به لایه زیرین فشرده می‌شود تا شی سه بعدی تولید گردد (۷) روش ساخت افزایشی منجر به صرفه جویی مواد، افزایش دقت می‌شوند (۸).

در انتخاب یک ماده رزین رستوریشن، موقت درمانگر مواد مورد استفاده را بر اساس عواملی انتخاب میکنند که شامل مطلوبیت بالینی (**Clinically Desirability**)، زمان کار مناسب سهولت مخلوط کردن و ترمیم، سازگاری زیستی با پالپ و بافت نرم، ثبات ابعادی در حین ساخت و بعد از آن، رنگ و ثبات آن مطالعات متعددی حاکی از آن است که **PMMA** تراشیده شده با **CAD / CAM** دارای استحکام بالاتری نسبت به **PMMA** سلف کیور و **bis-acrylic** با بدون ترموسایکلین است (۹-۱۱) اما **Karaokutan** و همکاران نشان دادند که مقاومت شکست رزین‌هایی با پایه **Bis-Acryl** و **PMMA** تراشیده شده با **CAD/CAM**

استفاده از رستوریشن‌های موقت یکی از مراحل مهم در درمان تعداد زیادی از بیماران نیازمند پروتزهای دندان می‌باشد. گرچه رستوریشن نهایی ممکن است به سرعت و در عرض چند هفته بعد از تراش دندان گذاشته شود، ولی رستوریشن موقت باید نیازهای مهم بیولوژیک، مکانیک و زیبایی را برآورده کند (۱،۲،۱۳).

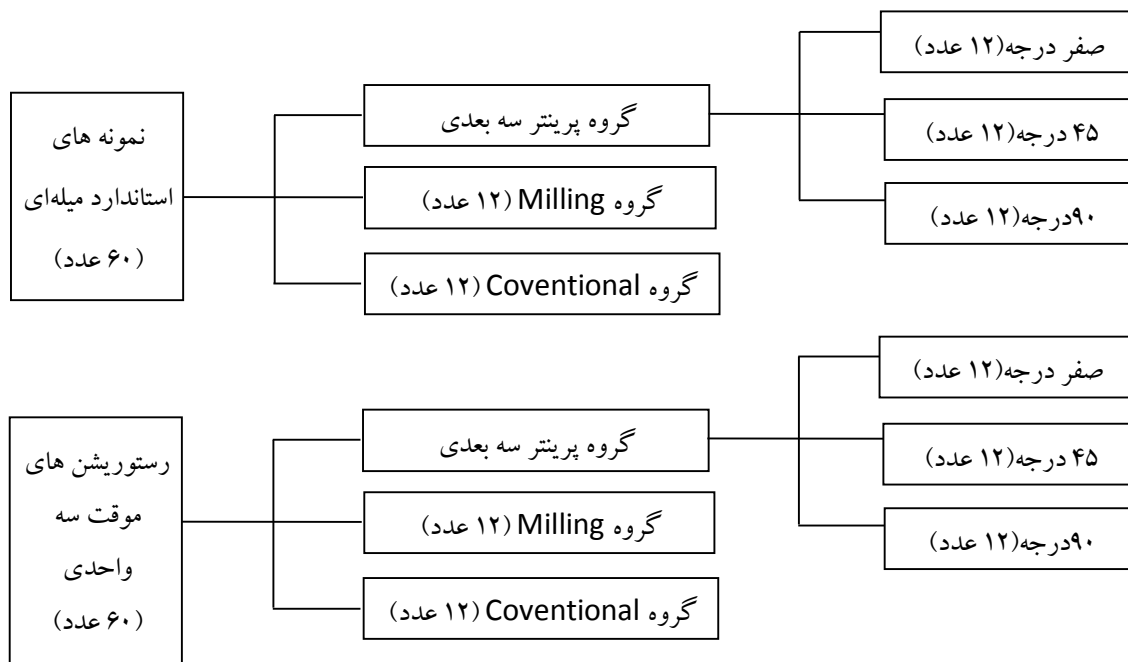
استحکام یکی از شاخص‌های مهم برای انتخاب مواد جهت ساخت رستوریشن‌های موقت است. این شاخص، به خصوص برای رستوریشن‌های ثابت ناحیه قدامی فکین و **long span** مسئله‌ای قابل اهمیت است. (۳،۱۴،۲) روش‌های مختلفی برای بررسی خواص مکانیکی رستوریشن‌ها وجود دارد مانند اندازه گیری استحکام، فشاری، کششی برشی و خمشی. مقاومت به شکست یک ماده به طور مستقیم با استحکام خمشی ارتباط دارد استحکام خمشی بالا برای رستوریشن‌هایی لازم است که تحت تنش‌های جونده قرار می‌گیرند سازمان استاندارد بین المللی (**ISO**) اندازه گیری استحکام خمشی را به منظور غربالگری مواد رزینی توصیه کرده است. استحکام خمشی نسبت به استحکام فشاری کششی به تغییرات جزئی ساختمان مواد حساسیت بیشتری دارد همچنین استحکام خمشی با کارایی بالینی مواد ترمیمی ارتباط بیشتری دارد (۴). بیشترین استرسها در یک رستوریشن موقتی ثابت حین مضع اتفاق می‌افتد. استرس‌های داخلی مشابه استرس‌هایی هستند که در رستوریشن نهایی اتفاق می‌افتد.

استحکام رزین پلی متیل متاکریلات حدوداً یک بیستم آلیاژ بیس متال سرامیک است. بنابراین رستوریشن موقتی با احتمال بیشتری میشکند در برخی موارد استفاده از رستوریشن‌های تقویت شده با فایبر یا رزین گرما پخت کمک کننده می‌باشد (۱). به طور معمول، روشها و مواد مختلفی برای ارائه یک رستوریشن موقت زیبا دارای ساخت آسان و مهمتر از همه دارای مقاومت و سختی بالا معرفی شده‌اند این

روش کار

بر طبق مطالعه **Unkoveskiy** و همکاران (۵۳) ۱۲۰ نمونه برای این مطالعه انتخاب شد که میزان آن در هر زیرگروه طبق جدول زیر است (۲).

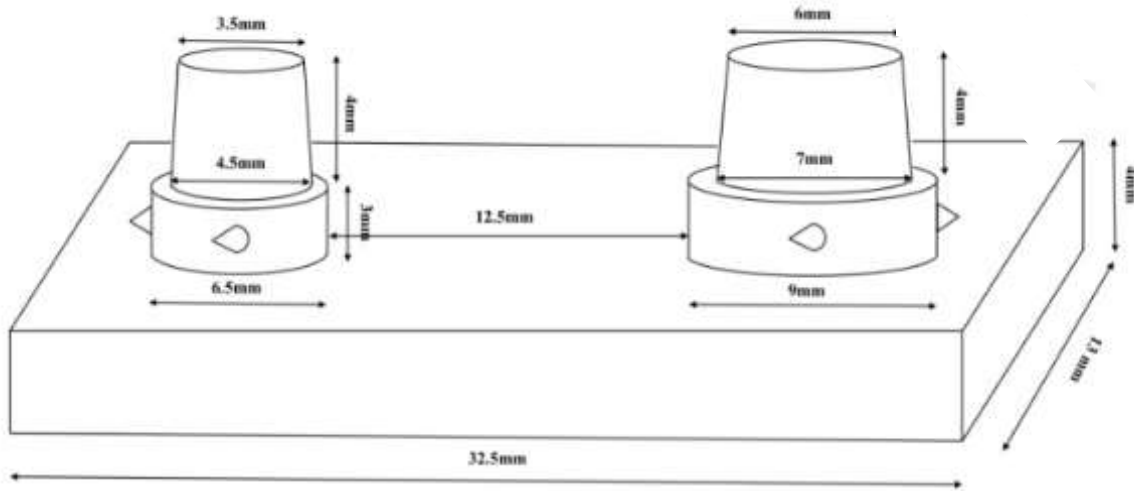
خصوصیات مواد رستوریشن موقت ساخته شده با استفاده از فناوری ساخت افزایشی مقالات محدود وجود دارد (۵). هدف از مطالعه حاضر بررسی استحکام خمشی رستوریشنهای موقت ساخته شده به روش های پرینتر سه بعدی **milling** و معمولی رزین پلی متیل متاکریلات سلف کیور می باشد.



نمودار ۱- گروه بندی مطالعه و تعداد نمونه لازم در هر گروه

جهت این آزمایش طراحی و توسط دستگاه Versamill (5X200; Axsys Dental Solutions) Milling تراشیده شد. خصوصیات طراحی اباتمنت ها به شرح ذیل می باشد (شکل ۱).

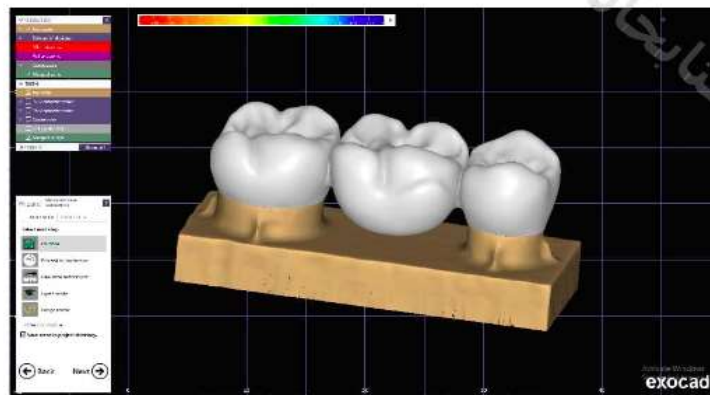
جهت ساخت مدل اصلی رستوریشن موقتی سه واحدی در یک مدل ساخته شده از polymethylmethacrylate (PMMA) در محل دندانهای پرمولر دوم و مولر دوم اباتمنت های اختصاصی



شکل ۱. تصویر شماتیک از مدل طراحی شده ایتمنت های ایمپلنت جهت ساخت رستوریشن موقت سه واحدی متکی بر ایمپلنت

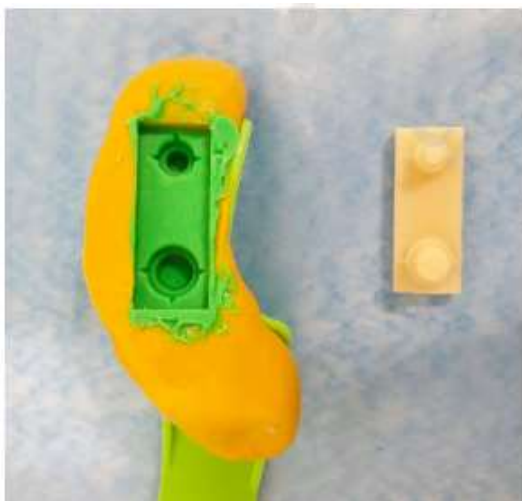
کانکتور با ارتفاع ۶/۳ میلی متر و عرض ۱/۴ میلی متر، در ناحیه کانتکت در نظر گرفته شد. بریج موقت به صورت full anatomic طراحی گردیده (شکل ۲) (۳۳).

مدل اصلی توسط اسکنر لاباتواری Open (Technology, Italy SMART Exocad, Align) با فرمت STL اسکن شدند در نرم افزار طراحی اگزوکد (Technology Darmstadt, Germany) فضای سمان به ضخامت ۳۰ میکرون تعیین شد (شکل ۲) (۲۳) همچنین



شکل ۲. طراحی رستوریشن سه واحدی به صورت فول آناتومیک

قالب پلی وینیل سایلوکسان Panasil Kettenbach
باتریهای قالب گیری پلاستیکی (Stock tray) و به روش
قالب گیری دو مرحله ای پوتی واش از مدل اصلی گرفته شد.
قبل از قالبگیری بر روی تری‌ها چسب مخصوص Panasil
(Adhesive Kettenbach) آغشته شد و زمان داده شد تا
خشک شود. تمام قالبها با همان اپراتور ارزیابی شد (شکل ۳).



قالب‌های پلی وینیل سایلوکسان توسط گچ استون تیپ (IV
(Firok) و با نسبت آب و گچ توصیه شده کارخانه به وسیله
یک وکیوم میکسر (Multivae 4 Degussa, Germany)
ریخته شدند (شکل ۳)

در نهایت رستوریشنهای طراحی شده با استفاده از
دستگاه میلینگ Versamill 5X200; Axsys Dental
Solutions و دیسکهای poly(methyl Ceramill
TEMP; Amann) methacrylate) and
methacrylic acid ester-based cross-linked
(resin GIRRbach, Austria) بر اساس دستورالعمل
شرکت سازنده ساخته شدند. در گروه رستوریشن‌های موقت
ساخته شده به روش پرینت سه بعدی نمونه‌ها توسط پرینتر سه
بعدی (Dream tech LCD135) اما با سه زاویه مختلف
صفر، ۴۵ و ۹۰ درجه نسبت به پلیت پرینتر با استفاده از رزین
لایت کیور (Photec) Photec (technologies, China)
ساخته شدند در زاویه صفر
درجه لایه‌های مختلف به صورت عمود بر محور طولی هر
رستوریشن قرار گرفتند اما در زاویه ۹۰ درجه لایه‌های
مختلف به صورت موازی با محور طولی رستوریشن پرینت
شده قرار داشتند.

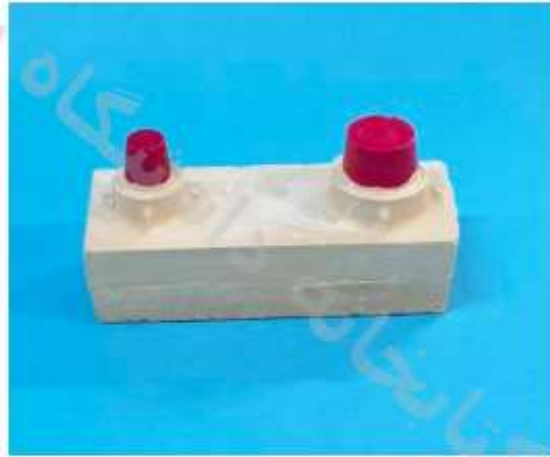
بعد از اتمام پرینت سه بعدی مراحل post
processing طبق دستور کارخانه سازنده رزین مورد
سازنده در این مورد استفاده انجام شد در پایان ۱۲ عدد
رستوریشن موقت سه واحدی در هر گروه ساخته شد.

گروه کانونشال قالبگیری



قرار گرفته شدند. در پایان نمونه‌ها خارج شده و اضافات آکريل توسط فرز آكريل bur برداشته می‌شوند. پالیش نهایی رستوریشنهای موقت توسط کاغذ سمباده به ترتیب با گریت Matador German warriors, (۴۰۰ و ۶۰۰) (Germany) انجام شد. در پایان ۱۲ عدد رستوریشن موقت سه واحدی نیز به این روش ساخته شد.

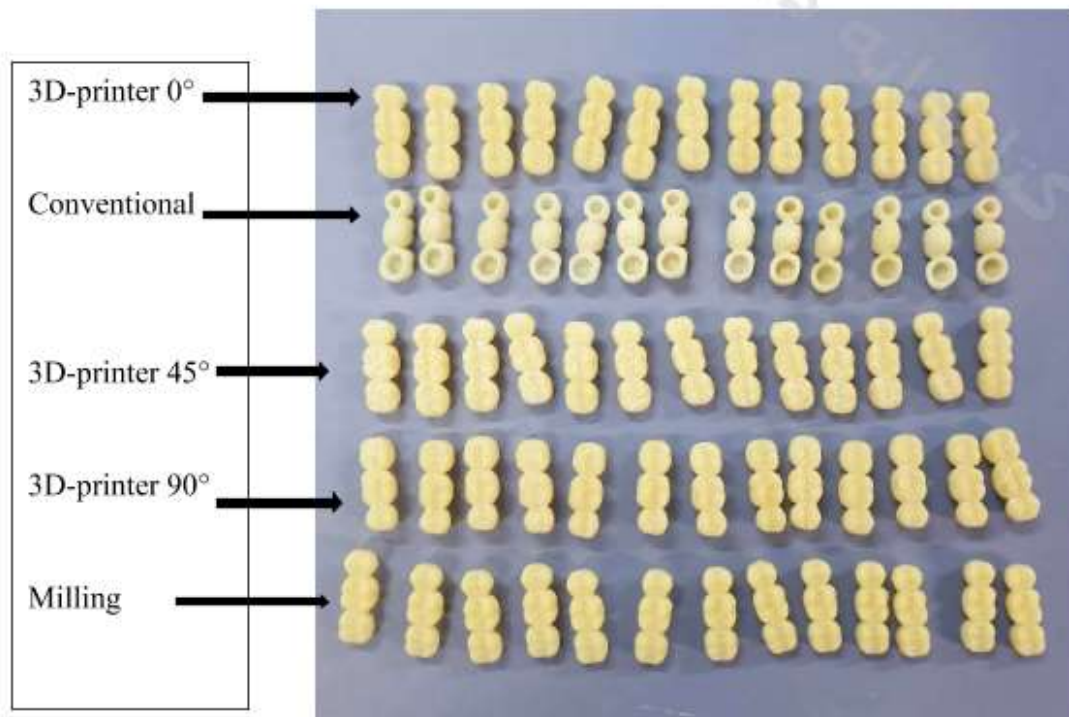
سپس کلیه رستوریشنهای موقتی سه واحدی آماده شده به روشهای Milling پرینتر سه بعدی (صفر، ۱۵ و ۹۰ درجه) و معمولی (مجموعاً ۶۰ عدد به مدت ۱۴ روز در بزاق مصنوعی نگهداری شدند. بعد از آن جهت پروسه aging، تحت ترموسایکلین قرار گرفتند ترموسایکلین تحت ۲۵۰۰ دور حرارتی در حمام آب سرد ۵ درجه سانتی گراد و آب گرم ۶۰ درجه سانتی گراد قرار گرفتند. مدت زمان قرار گیری در هر مخزن آب ۶ ثانیه بود.



سپس بر روی کست کار (working cast) جهت حفظ فضای سمان از ماده (TruFit, George) die spacer Taub Products, USA مرتبه بر روی دایها زده شد که باعث بوجود آمدن ۳۰ میکرون فضا برای سمان می‌شود بر اساس دستورالعمل شرکت سازنده). یکی از رستوریشن موقتی ساخته شده در مرحله قبل (گروه Milling هنگامی که بر روی اباتمنت قرار داشتند با استفاده از پوتی پلی وینیل سایلوکسان (Panasil putty. Kettenbach) ایندکس گرفته شد.

با استفاده از ایندکس گرفته شده با روش-over impression . روکش‌های موقت با استفاده از ماده پلی مثل متاکر بلات سلف کیور GC America Asip IL Unifiast III بر روی گست کار (working) برای تمامی نمونه‌ها ساخته شدند.

بعد از acting اولیه نمونه‌ها در داخل pressure pol در دمای ۴۰ درجه سانتیگراد و در فشار ۲۰ psi برای ۸ دقیقه

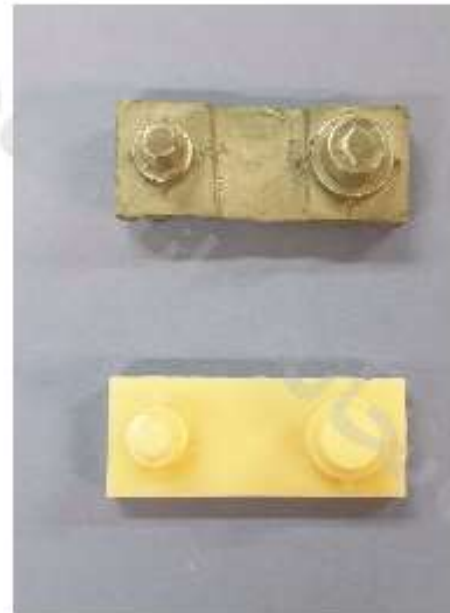


شکل ۳. رستوریشن های موقت سه واحدی ساخته شده به روش های Milling، معمولی و پرینتر سه بعدی (صفر، ۴۵ و ۹۰ درجه)

آزمایش استحکام خمشی سه نقطه ای روی رستوریشن های موقتی سه واحدی

نمونه های آماده شده برای انجام آزمایش خمشی سه نقطه ای با استفاده از دستگاه universal testing machine مورد ارزیابی قرار گرفتند سرعت حرکت این

دستگاه ۱ mm/min باشد. به دلیل اینکه مدل اصلی از جنس PMMA بود و در اثر نیروی وارده از طرق دستگاه دچار شکست میشد ما ابتدا از روی مدل اصلی مدل فلزی ساختم و رستوریشن های سه واحدی بر روی مدل فلزی منطبق گردید.



شکل ۴. مدل اصلی از جنس PMMA و مدل فلزی که در آزمایش استحکام خمشی سه نقطه ای استفاده شد

جهت نیروی وارده عمود قرار خواهند گرفت در زاویه ۹۰ درجه لایه‌های مختلف موازی با جهت نیروی وارده خواهند بود سپس با استفاده از فرمول‌های زیر استحکام خمشی نقطه ای محاسبه شد.

قبل از اعمال حداکثر نیرو، نیروی معادل ۱۰ نیوتن با سرعت ۰,۰۵ mm/min به نمونه‌ها داده شد. در مورد نمونه‌های پرینت سه بعدی که تحت به زاویه شناخته میشوند به این صورت می‌باشد که زاویه صفر درجه لایه‌ها نسبت به

فرمول محاسبه استحکام خمشی سه نقطه ای:

$$\sigma = \frac{3FL}{2wh^2}$$

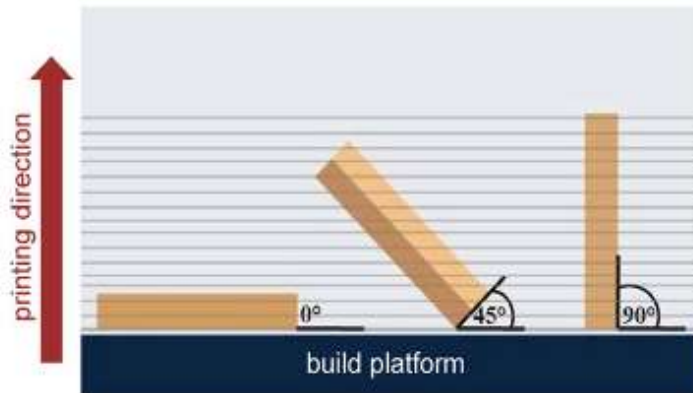
"F1" is load at a select point of the elastic region of the stress-strain plot; "L" — span length of supports; "w" — width of specimen, "h" — height of specimen.



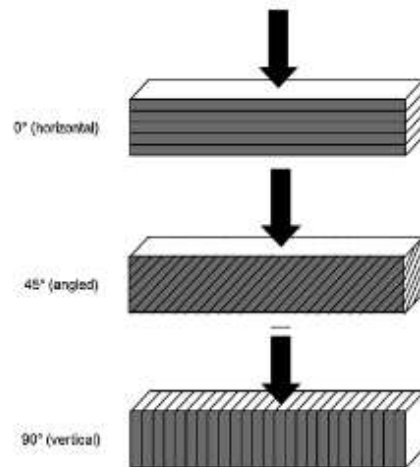
۴۰۴۹ DIN EN ISO میله‌هایی با ابعاد ۳۰ × ۵ × ۵
در نرم افزار CAD طراحی گردید.

در روشی دیگر برای انجام آزمایش استحکام خمشی سه
نقطه‌ای به روش استاندارد

شدند (شکل ۵). لازم به ذکر است که ضخامت لایه ای تمامی نمونه های پرینت سه بعدی شده یکسان بودند بعد از اتمام پرینت سه بعدی مراحل post processing طبق دستور کارخانه سازنده رزین مورد استفاده انجام شد.



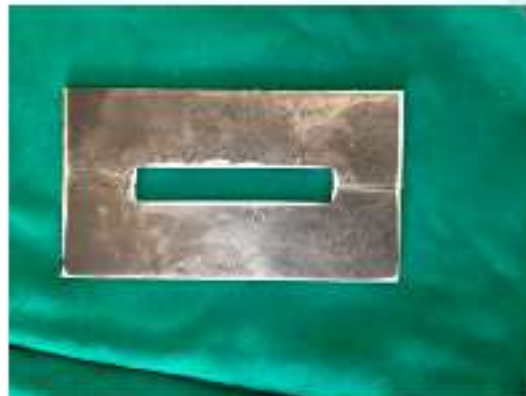
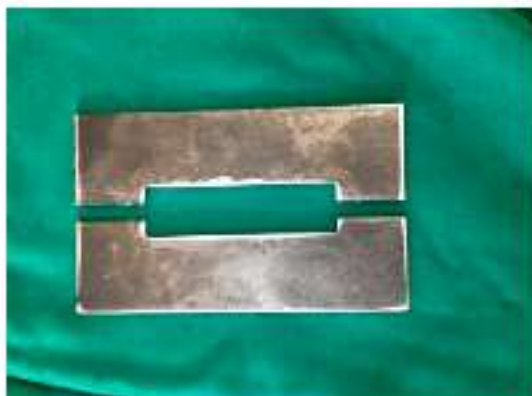
با استفاده از فناوری پرینتر سه بعدی نمونه ها همانند قبل در سه زاویه (صفر، ۴۵ و ۹۰ درجه) با استفاده از پرینتر سه بعدی Dream Tech LCD135 و رزین لایت کبوتر Photoc (technologies) Photos China) پرینت



شکل ۵. تصویر شماتیک میله ای طراحی شده به همراه نحوه قرارگیری لایه های پرینت شده در سه زاویه صفر، ۴۵ و ۹۰ درجه

برای ساخت نمونه ها با استفاده از آکریل PMMA به روش کانونشنال دو عدد بلوک فلزی توخالی با ابعاد داخلی ۵۵ × ۳۰ mm با استفاده از ماشین تراشکاری صنعتی ساخته شدند. به طوریکه دیواره ها موازی بودند و برای سهولت خارج شدن ماده به ۲ قسمت جداگانه به صورت U شکل تقسیم شده بودند.

نمونه های گروه milling با استفاده از طراحی موجود در نرم افزار و با از دستگاه milling (Versamill 5X200; Axsys DentalSolutions) و دیسک هایی (Girrbach, Austria PMMA) ساخته شدند.



شکل ۶. بلوک های فلزی ساخته شده جهت ساخت میله های رزینی PMMA به روش معمولی

آکریلی توسط کاغذ سمباده به ترتیب با گریت ۴۰۰ و ۱۰۰ انجام شد. از هر نمونه آکریلی ۱۲ عدد ساخته شد.

سپس کلیه نمونه های آماده شده به روشهای Milling پرینتر سه بعدی (صفر، ۴۵ و ۹۰ درجه)

و معمولی (مجموعاً ۶۰ عدد) به مدت ۱۴ روز در بزاق مصنوعی نگهداری شدند. بعد از آن جهت پروسه aging تحت ترموسایکلین قرار گرفتند ترموسایکلین تحت ۲۵۰۰ دور حرارتی در در حمام آب سرد ۵ درجه سانتی گراد و آب گرم ۵۵ درجه سانتی گراد قرار گرفتند مدت زمان قرار گیری در هر مخزن آب ثابته بود.

نمونه های آماده شده برای انجام آزمایش خمش سه نقطه ای با استفاده از دستگاه universal

testing machine مورد ارزیابی قرار گرفتند.

سرعت حرکت این دستگاه ۱ mm/min باشد (شکل ۷)

برای ساخت آکریل های رزینی متاکریلات سلف کیور GC America Asip Unifast III طبق دستور العمل کارخانه : ت پودر و مایع اندازه گیری شد. حجم به صورت میلی لیتر و وزن با استفاده از ترازوی دیجیتال اندازه گیری شد. پودر و مایع بعد از مخلوط شدن در داخل ظرف پلاستیکی مخصوص توسط اسپاتول فلزی به درون سرنگ تزریق قرار گرفته شده و به سرعت داخل مولد فلزی تزریق می شوند.

بر روی قسمت فوقانی و تحتانی بلوک فلزی اسب شیشه ای با ابعاد ۶۰ میلیمتر در ۴۰ میلیمتر در ۵ میلیمتر بر روی مولد فلزی قرار گرفته شد و در قسمت فوقانی یک وزنه kg ۵/۱ بر روی اسب شیشه ای قرار گرفته تا قسمت فوقانی آکریل هم تراز با بلوک فلزی در آید. بعد از setting اولیه نمونه ها در داخل pressure pot در دمای ۴۰ درجه سانتیگراد و در فشار ۲۰ psi برای ۸ دقیقه قرار گرفته شدند. در پایان نمونه ها از مولد خارج شده و اضافات آکریل توسط فرز آکریل Bur برداشته میشوند پالیش نهایی بلوکهای



شکل ۷. انجام آزمون خمش سه نقطه ای بر روی نمونه های استاندارد آماده شده

قبل از اعمال حداکثر نیرو نیروی معادل ۱۰ نیوتن با سرعت ۰,۰۵ mm/min به نمونه ها داده شد. سپس با استفاده از فرمول های زیر استحکام خمش سه نقطه ای محاسبه شد. فرمول محاسبه استحکام خمش سه نقطه ای:

$$\sigma = \frac{3FL}{2wh^2}$$

“F1” is load at a select point of the elastic region of the stress-strain plot; “L” — span length of supports; “w” — width of specimen, “h” — height of specimen, “d” — deflection of the specimen at F1.

داده ها پس از جمع آوری وارد نرم افزار آماری SPSS (SPSS24) Inc., Chicago. II, USA در گزارش

روش آماری

صفر، ۴۵ و ۹۰ درجه کاربرد خواهد داشت. در صورت معنی داری تفاوت میانگین در گروهها از آزمونهای Post-Hoc نظیر Tokey جهت مقایسه دو به دو گروههای مورد مطالعه استفاده خواهد شد. در صورت عدم برقراری فرضی نرمالیتی دادهها از روشهای ناپارامتری معادل نظیر کروسکال والیس استفاده خواهد شد.

نتایج

نتایج آزمون شاپیرو-ویک که برای آزمون نرمال بودن توزیع دادههای گروههای مختلف استفاده می شود در جدول زیر نشان داده شده است.

آمار توصیفی دادهها با توجه به نوع متغیرها متغیرهای کمی به صورت میانگین (انحراف معیار) و متغیرهای کیفی به صورت فراوانی (درصد) گزارش خواهند شد. از آزمون آماری Kolmogorov Smimov جهت آزمون توزیع دادهها استفاده خواهد شد از آزمونهای One-way ANOVA جهت مقایسه میانگین متغیرهای استحکام خمشی در گروههای CAD/CAM پرینترهای سه بعدی و و روش معمولی استفاده خواهد شد. همچنین این آزمون برای مقایسه میانگین استحکام خمشی مواد رزینی رستوریشن موفتی ساخته شده به روشهای پرینترهای سه بعدی در سه زاویه،

جدول ۱. نتایج آزمون شاپیرو-ویک برای آزمون نرمال بودن توزیع دادههای گروههای مختلف

Shapiro-Wilk			
	Statistic	df	Sig.
Milling	.۹۲۰	۱۲	.۲۸۲
Conventional	.۸۹۶	۱۲	.۱۴۱
0 degree	.۹۳۲	۱۲	.۴۰۲
45 Degree	.۹۵۶	۱۲	.۷۳۰
90Degree	.۸۷۶	۱۲	.۰۷۷

کمترین میانگین استحکام خمشی مربوط به نمونه های ساخته شده به روش معمولی می باشد (جدول ۲ اختلاف آماری معنی داری بین میانگین استحکام خمشی دو گروه Milling و گروه معمولی مشاهده شد ($p < 0.001$)).

با استفاده از آزمون ANOVA اختلاف آماری معنی داری بین سه گروه صفر، ۴۵ و ۹۰ درجه پرینتر سه بعدی مشاهده شد. در مقایسه درون گروهی با استفاده از آزمون تعقیبی LSD نتایج زیر حاصل شد (جدول ۳).

با توجه به جدول ۱ می توان نتیجه گرفت که سطح معناداری متغیر وابسته در تمامی گروه های Milling

0 Degree, Degree, Conventional 90 و 90 Degree معنی دار نمی باشد که نشان از نرمال بودن توزیع نمرات این گروهها دارد. لذا توزیع داده های کلیه متغیرها در پنج گروه نرمال است و امکان استفاده از آزمون های پارامتریک، تی استودنت و تحلیل واریانس یک طرفه ANOVA (جهت بررسی فرضیه های پژوهش میسر است).

با توجه به جدول ۲ بالاترین میانگین استحکام خمشی مربوط به نمونه های پرینت شده با زاویه ۴۵ درجه می باشد و

جدول ۲. میانگین استحکام خمشی نمونه های میله ای شکل (مگاپاسکال)

	Milling	Conventional	0degree	45degree	90degree
Mean	14.2500	9.1708	11.9883	16.7383	15.5683
Std.Error of Mean	.23283	.32599	.84590	.26100	.20681
Std.Deviation	.80654	1.12926	2.93028	.90413	.71640
Minimum	12.48	7.50	7.95	15.19	13.85

جدول ۳. آزمون تعقیبی LSD جهت مقایسه میانگین استحکام خمشی بین سه زاویه گروه پرینتر سه بعدی

(I)groups	(J)groups	Mean Difference (I-J)	STD.Error	Sig	95% Confidence Interval		
					Lower Bound	Upper Bound	
3D printing	0	45	-4.75000*	.74226	.000	-6.2601	-3.2399
		90	-3.58000*	.74226	.000	-5.0901	-2.0699
	45	0	4.75000*	.74226	.000	3.2399	6.2601
		90	1.17000	.74226	.125	-.3401	2.6801
	90	0	3.58000	.74226	.000	2.0699	5.0901
		45	-1.17000	.74226	.125	-2.6801	.3401

*. The mean difference is significant at the 0.05 level

در مقایسه ای بین گروه های Milling، معمولی و پرینتر سه بعدی صفر درجه، اختلاف آماری معنی داری بین سه گروه مشاهده شد) در ادامه برای مقایسه درون گروهی، از آزمون تعقیبی LSD استفاده شد و نتایج زیر به دست آمد (جدول ۴).

کمترین و بیشترین میانگین استحکام خمشی به ترتیب مربوط به صفر درجه و ۴۵ درجه بود. تنها میانگین استحکام خمشی میله های ساخته شده دو زاویه ۹۰ و ۴۵ درجه، با یکدیگر اختلاف آماری معنی داری نشان ندادند.

جدول ۴. آزمون تعقیبی LSD جهت مقایسه میانگین استحکام خمشی بین سه گروه زاویه صفر درجه پرینتر سه بعدی، معمولی و Milling

(I) group	(J) group	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
milling	Conventional	5.07917*	.76421	.000	3.5244	6.6340
	0 Degree	2.26167*	.76421	.006	.7069	3.8165
Conventional	milling	-5.07917*	.76421	.000	-6.6340	-3.5244
	0 Degree	-2.81750*	.76421	.001	-4.3723	-1.2627
0 Degree	milling	-2.26167*	.76421	.006	-3.8165	-.7069
	Conventional	2.81750*	.76421	.001	1.2627	4.3723

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

بالاتر از گروه معمولی به دست آمده (جدول ۵).
(P=0/001)

همانطور که در جدول مشخص است میانگین استحکام خمشی در گروه صفر درجه به طور معنی داری کمتر از گروه Milling و بیشتر از گروه معمولی بود. همچنین میانگین استحکام خمشی در گروه Milling به طور معنی داری

جدول ۵. آزمون تعقیبی LSD جهت مقایسه میانگین استحکام خمشی بین سه گروه زاویه ۴۵ درجه پرینتر سه بعدی، معمولی و Milling

(I) group	(J) group	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
Milling	Conventional	5.07917*	.39038	.000	4.2849	5.8734
	45 degree	-2.48833*	.39038	.000	-3.2826	-1.6941
Conventional	Milling	-5.07917*	.39038	.000	-5.8734	-4.2849
	45 degree	-7.56750*	.39038	.000	-8.3617	-6.7733
45 degree	Milling	2.48833*	.39038	.000	1.6941	3.2826
	Conventional	7.56750*	.39038	.000	6.7733	8.3617

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

با آزمون تعقیبی LSD مشخص گردید که میانگین استحکام خمشی در گروه پرینتر سه بعدی ۴۵ و ۹۰ درجه به طور معنی داری بالاتر از گروه Milling و معمولی است در مقایسه با پرینتر ۴۵ درجه؛ در مقایسه با پرینتر ۹۰ درجه و میانگین

در مقایسه گروه های معمولی، Milling و پرینتر سه بعدی ۴۵ و ۹۰ درجه اختلاف آماری معنی داری بین میانگین استحکام خمشی سه گروه در هر دو زاویه وجود داشت) ($p < 0/001$) همچنین در مقایسه درون گروهی

استحکام خمشی گروه Milling نیز از گروه معمولی بیشتر می باشد.

جدول ۶. آزمون تعقیبی LSD جهت مقایسه میانگین استحکام خمشی بین سه گروه زاویه ۹۰ درجه پرینتر سه بعدی، معمولی و Milling

(I) group	(J) group	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
Milling	Conventional	5.07917*	.36810	.000	4.3303	5.8281
	90 degree	-1.31833*	.36810	.001	-2.0672	-.5694
Conventional	Milling	-5.07917*	.36810	.000	-5.8281	-4.3303
	90 degree	-6.39750*	.36810	.000	-7.1464	-5.6486
90 degree	Milling	1.31833*	.36810	.001	.5694	2.0672
	Conventional	6.39750*	.36810	.000	5.6486	7.1464

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

بودن توزیع نمرات این گروه ها دارد. لذا توزیع داده های کلیه متغیرها در پنج گروه نرمال است .

با توجه به جدول ۴-۷ می توان نتیجه گرفت که سطح معناداری متغیر وابسته در تمامی گروه های milling، Conventional، 0 Degree، Degree 45 و 90 معنی دار نمی باشد که نشان از نرمال

جدول ۷. میانگین استحکام خمشی رستوریشن های موقتی سه واحدی (مگاپاسکال)

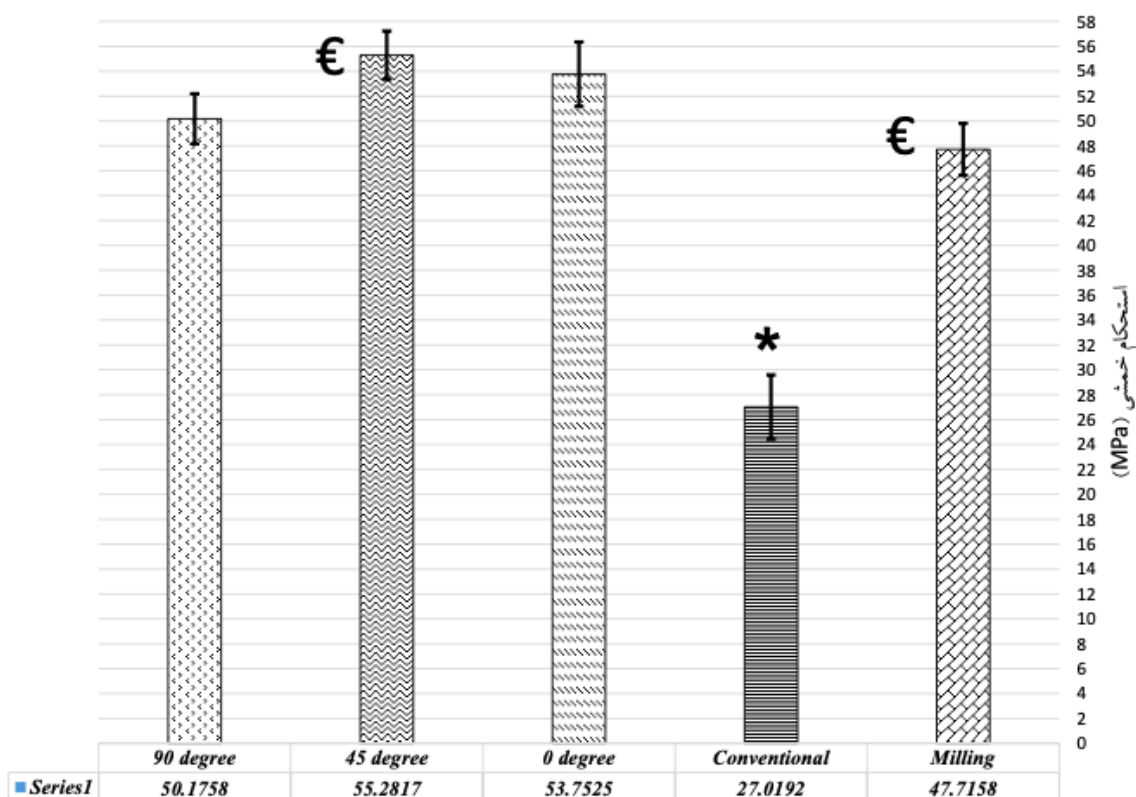
	Milling	Conventional	0 degree	45 degree	90 degree
Mean	47.7158	27.0192	53.7525	55.2817	50.1758
Std. Error of Mean	2.08551	2.57642	2.59120	1.94080	2.00927
Std. Deviation	7.22442	8.92500	8.97618	6.72312	6.96031
Minimum	37.04	14.83	42.97	45.90	38.18
Maximum	59.77	40.02	74.24	68.16	60.48

شد. در مقایسه ای که بین سه زاویه پرینتر سه بعدی انجام شد، مشخص شد که میانگین استحکام خمشی تفاوت آماری معنی داری بین آنها ندارد.

اختلاف آماری معنی داری بین ۵ گروه مورد بررسی مشاهده شد. بیشترین میانگین استحکام خمشی در گروه پرینتر سه بعدی ۴۵ درجه و کمترین در گروه Conventional یافت

وجود داشت ($P < 0/001$) همچنین در مقایسه درون گروهی با آزمون تعقیبی LSD مشخص گردید که میانگین استحکام خمشی رستوریشن های موقت در گروه پرینتر سه بعدی ۴۵ درجه به طور معنی داری بالاتر از گروه Milling و معمولی است. میانگین استحکام خمشی گروه Milling نیز از گروه معمولی در گروه زاویه ۹۰ درجه تنها اختلاف آماری بین دو گروه Milling و پرینتر سه بعدی ۹۰ درجه معنی دار نبود. اما سایر گروه ها اختلاف آماری معنی داری با یکدیگر نشان دادند

در مقایسه بین زاویه صفر درجه پرینتر سه بعدی، Milling و گروه معمولی با آزمون ANOVA میانگین استحکام خمشی اختلاف آماری معنی داری نشان داد. در مقایسه درون گروهی، تنها میانگین استحکام خمشی گروه پرینتر سه بعدی صفر درجه با Milling اختلاف آماری معنی داری نشان نداد. در مقایسه گروه های معمولی، Milling و پرینتر سه بعدی ۴۵ و ۹۰ درجه اختلاف آماری معنی داری بین میانگین استحکام خمشی سه گروه در هر دو زاویه ۴۵ و ۹۰ درجه



میانگین استحکام خمشی (خطای استاندارد) رستوریشن های موقت سه واحدی ساخته شده به روش های Milling، معمولی و پرینتر سه بعدی (صفر، ۴۵ و ۹۰ درجه)

* وجود اختلاف آماری معنی دار بین سه زاویه پرینتر سه بعدی و milling در مقایسه با گروه معمولی وجود دارد ($P < 0/001$).

€ وجود اختلاف آماری معنی دار بین پرینتر سه بعدی ۴۵ درجه در مقایسه با Milling ($P = 0/02$).

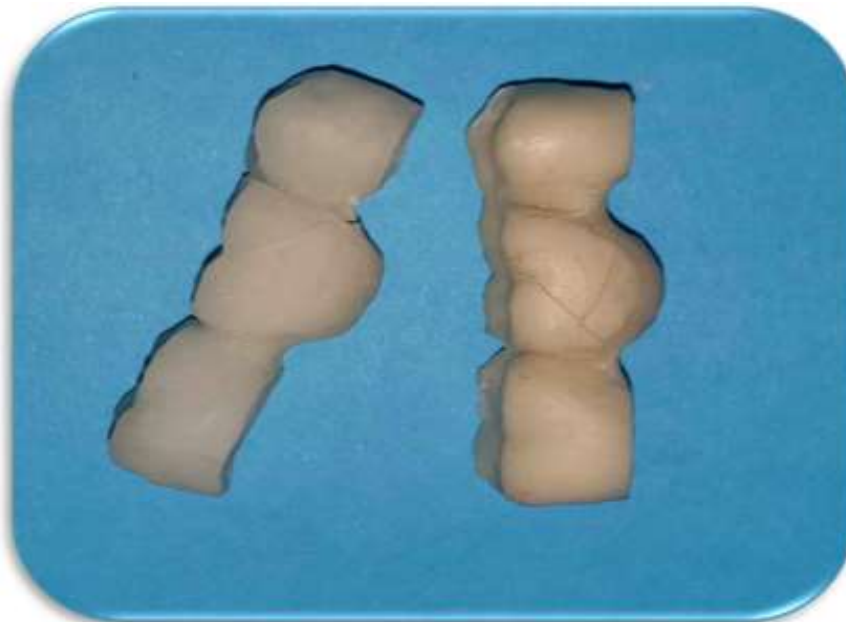
آنها بیشتر به صورت ایجاد ترک در ماده بود. اما نمونه های حاصل از گروه های پرینتر سه بعدی الگوی شکست متفاوتی

همه نمونه های گروه Milling و گروه معمولی از ناحیه پونتیگ شکسته شده بودند. شکستگی

داشتند. در این نمونه‌ها شکست کامل در هر قسمت از رستوریشن موقت اتفاق افتاده بود.



تصاویر رستوریشن های موقت گروه Milling پس از آزمون استحکام خمشی و نحوه شکست



تصاویر رستوریشن های موقت گروه معمولی پس از آزمون استحکام خمشی و نحوه شکست



تصویر رستوریشن های موقت گروه پریتتر سه بعدی صفر درجه پس از آزمون استحکام خمشی و نحوه شکست



تصویر رستوریشن های موقت گروه پریتتر سه بعدی 15 درجه پس از آزمون استحکام خمشی و نحوه شکست



تصویر رستوریشن های موقت گروه پرینتر سه بعدی ۹۰ درجه پس از آزمون استحکام خمشی و نحوه شکست

بحث و نتیجه گیری

در این مطالعه ما به بررسی استحکام خمشی در رستوریشن های موقت سه واحدی و همچنین نمونه های استاندارد ی که با پرینتر سه بعدی، دستگاه milling و روش معمولی ساخته شده بودند، پرداختیم.

ویژگی های مواد را می توان با ارزیابی مجموعه ای از آزمایش های گوناگون مورد بررسی قرار داد.

این آزمایش ها شامل استحکام تراکمی، کششی قطری و خمشی می باشد. گرچه اندازه گیری استحکام مواد ترمیمی توسط تعداد زیادی از محققان برای ارزیابی ویژگی های استحکام مواد مورد استفاده قرار گرفته است. اما در سال های اخیر تمایل به استفاده از آزمایش های استحکام خمشی است که به عنوان یک روش مناسب جهت سنجش استحکام مواد مورد بررسی قرار گرفته است. **Unkovskiy** و همکاران . بیشترین استحکام خمشی در زاویه ۹۰ درجه و کمترین آن در

زاویه صفر گزارش کردند. آن ها عنوان کردند که به دلیل موازی بودن لایه ها در نمونه های ۹۰ درجه با جهت نیرو در تست خمش سه نقطه ای، انتظار داشتند کمترین استحکام خمشی را در بین سه زاویه صفر، ۴۵ و ۹۰ درجه مشاهده کنند، که همچنین چیزی مشاهده نشد. آن ها علت این اتفاق را به استحکام باند لایه های مختلف مرتبط دانستند. در مطالعه ما میانگین استحکام خمشی در میله ها در گروه پرینتر سه بعدی ۴۵، ۹۰ و صفر درجه کاهش یافت که مغایر یافته های **Unkovskiy** و همکاران می باشد. هرچند آنها از پرینتر سه بعدی **SLA** و رزین ساخت سرجیکال گاید استفاده کرده بودند.

Alharbi و همکاران (۱۷) بر روی دو زاویه صفر و ۹۰ درجه با استفاده از پرینتر **SLA** و رزین **Temporis** مطالعه خود را انجام دادند. آن ها گزارش دادند که استحکام فشاری در زاویه صفر به طور معنی داری کمتر از

استحکام خمشی بین پرینتر سه بعدی **SLA** و **DLP**، تفاوت آماری معنی داری مشاهده نکردند. همچنین اختلاف آماری معنی داری بین نمونه های **DLP** و **Milling** مشاهده نشد. اما پرینتر سه بعدی **SLA** به طور معنی داری بالاتر از **Milling** بود. در بررسی استحکام خمشی نمونه های حاصل از پرینتر سه بعدی **FDM**، رستوریشن های سه واحدی آنقدر دچار خمش شدند که با بیس جیک فلزی تماس پیدا کردند. بنابراین استحکام خمشی این نوع پرینتر قابل ارزیابی نبود (۸). در مطالعه ما با وجود بالاتر بودن استحکام خمشی گروه پرینترهای سه بعدی از **Milling** اما این اختلاف تنها در رستوریشن های ساخته شده تحت زاویه ۴۵ درجه بود در حالی که تمامی نمونه های پرینترهای سه بعدی مطالعه **Park** و همکاران تحت زاویه ۳۰ درجه ساخته شده بودند (۸). لازم به ذکر است که در مطالعه ما از پرینتر سه بعدی با فناوری **LCD** استفاده شد.

(Unifast Trad PMMA) و همکاران گزارش کردند که در گروه معمولی **Reeponmaha** استحکام شکست به طور معنی داری پایین تر از گروه رزین **bis-acryl-based**، گروه **Milling**، پرینتر سه بعدی بود. در این مطالعه استحکام شکست در پرینتر سه بعدی بیشتر از **Milling** بود. همچنین گروه رزین **bis-acryl-based** بیشتر از **Milling** پرینتر سه بعدی بود. اما تفاوت آماری معنی داری بین **Milling**، پرینتر سه بعدی و رزین **bis-acryl-based** مشاهده نشد. آن ها در این مطالعه از روکش تک دندان استفاده کرده بودند. نتایج مطالعه **Reeponmaha** و همکاران [۴۹] در راستای یافته های ما می باشد.

مطالعه **Shenoy** و همکاران بیان میکند که انواع **Milling** بالاترین استحکام خمشی را دارند.

زاویه ۹۰ درجه میباشد. ماهیت **Incremental** بودن لایه ها در فناوری ساخت افزایشی، انتشار ترک را آغاز می کند و منجر به فروپاشی جسم پرینت شده می گردد. باندی که بین لایه های مختلف وجود دارد از خود لایه ها ضعیف تر است. دلیل این اتفاق به مقدار تنش های باقی مانده و تخلخل های جمع شده در طی پلیمریزاسیون و انقباض ماده ارتباط دارد و همکاران گزارش کردند که نمونه هایی که با زاویه صفر پرینت شده بودند پس از آزمون استحکام فشار، دچار کاهش ارتفاع و افزایش عرض در ناحیه وسط شده بودند **barreling effect** (۱۷). به نظر می رسد در مطالعه ما باید این موضوع بررسی گردد.

Digholkar و همکاران (۵) دریافتند که استحکام خمشی در نمونه های حاصل از پرینتر سه بعدی به طور معنی داری کمتر از **Milling** و **PMMA** معمولی می باشد **Tahayeri**.

پژوهشگران نشان دادند که حداکثر استرس قابل تحمل برای رستوریشن های ساخته شده توسط پرینتر سه بعدی قابل قیاس با رزین **bis-acryl** به روش معمولی است. اما در مطالعه ما استحکام خمشی نمونه های حاصل از پرینتر سه بعدی به طور معنی داری بالاتر از گروه های **Milling** معمولی بود.

Digholkar و همکاران (۵) کمتر بودن استحکام خمشی در نمونه های حاصل از پرینتر سه بعدی در مطالعه خود را مرتبط با انقباض طی پروسه ساخت، **postcuring** و به دلیل حداقل ضخامت لایه ها دانستند. علاوه بر این، تبدیل داده ها و دستکاری هنگام تبدیل به فرمت **STL** نیز می تواند منجر به برخی تغییرات شود.

در مطالعه **Park** و همکاران (۸) استحکام خمشی نمونه های تولید شده توسط پرینتر های سه بعدی به طور معنی داری بالاتر از گروه **Milling** معمولی بود. آن ها در مطالعه خود سه نوع پرینتر استفاده کردند. در مقایسه

Naveen و همکاران و **Scherrer** و همکاران گزارش دادند، در صورتی که رستوریشن توسط یک جسم با الاستیک مدولوس بالا (بعنوان مثال جیک فلزی در تست رستوریشن سه واحدی) ساپورت شود، منجر به افزایش چغرمگی نمونه های مورد آزمایش می شوند. سمان کردن با توزیع یکنواخت نیرو باعث افزایش مقاومت رستوریشن در برابر نیروی خارجی می شود. به همین دلایل در مطالعه ما ارزیابی استحکام شکست رستوریشن های موقت سه واحدی بدون سمان کردن انجام گرفت تا استحکام رستوریشن به تنهایی ارزیابی شود.

استحکام خمشی ممکن است هنگامی که رزین توسط یک حلال احاطه شده است تغییر کند. استفاده از فایبر، مقاومت کششی یا مقاومت در برابر سایش را بهبود می بخشد و باعث ایجاد خواص ناهمسانگرد (**anisotropic**) می گردد.

رزین پلی متیل متاکریلات به علت خصوصیات مانند زیبایی قابل قبول، کاربرد آسان و ترمیم راحت، رایجترین ماده برای ساخت پروتزهای موقت بوده است، این ماده دو عیب عمده دارد: یکی استحکام خمشی اندک و دیگری استحکام ضربه ای کم که هر دو منجر به شکست ماده می شوند. نیروهای ضربه ای و نیروی خمشی به طور عمده حین جویدن به عللی همچون اکلوزن نامناسب و نیروی پارافانکشن در طولانی مدت باعث خستگی و در نهایت ایجاد شکستگی در اکریل می شوند برای بهبود استحکام و قدرت فیزیکی بیشتر این رزین ها راه های متفاوتی پیشنهاد شده است. این راهکارها شامل تغییر شکل محل اتصال به کار بردن فایبر فلزی و کاربرد الیاف آرامید و کربن می باشد. با این وجود این راهکارها اکثراً با صرف هزینه و زمان بیشتر و همچنین مشکل زیبایی همراه است همچنین از آنجا که کاربرد این روش های جدید در کشور ما چندان مرسوم نمی باشد و در

در مطالعه **park** و همکاران که به مقایسه استحکام خمشی در این سه روش پرداخته است گزارش میکند بالاترین استحکام خمشی مربوط به پرینت **DLP** یا **SLA** است که برابر با گروه **milling** می باشد و بالاتر از روش های کانونشنال است.

در سیستماتیک ریوویی که در سال ۲۰۲۲ توسط **jain** و همکاران انجام شده است گزارش می کند که استحکام خمشی و سایر خصوصیات مکانیکی انواع پرینت شونده از انواع **conventional milling** بهتر است. در بهتر شدن خصوصیات مکانیکی انواع پرینت شونده تکنیک پرینت و زاویه حین پرینت شدن (ترجیحاً ۹۰ درجه) موثر است.

در مطالعه **ellakany** و همکاران بر خلاف مطالعه ما گزارش شد که در گروه های **milling** بالاترین استحکام خمشی نسبت به انواع پرینت شونده و **conventional** وجود دارد که علت آن میتواند استفاده از بلوک های ساخته شده تحت فشار و دمای بالا باشد. (*) هم چنین طبق این مطالعه بیشتر شکست ها در ناحیه کانکتور رخ می دهد به جز گروه پرینت شونده با **SLA** که این شکست تا ناحیه پونتیک هم ادامه داشت.

در مطالعه ما شکست در گروه معمولی و **Milling** در ناحیه پونتیک مشاهده شد. اما در گروه پرینتر سه بعدی در محل های مختلف شکست رخ می داد. در حالی که **Park** و همکاران (۸) گزارش کردند که در تمامی گروه ها به جز **FDM**، شکست در ناحیه کانکتور و پونتیک رخ می دهد. این یافته با نتایج مطالعاتی که استحکام خمشی پروتزهای سه یا چهار واحدی را آزمایش کرده اند هم راستا می باشد از این لحاظ، در هنگام طراحی و ساخت پروتز سه واحدی، ایجاد کانکتور با اندازه مناسب و قوی مهم است تا احتمال شکستگی کاهش یابد.

کلینیک هنوز هم از روش های قدیمی و رزین های اکریلی معمولی برای ساخت پروتز های موقت استفاده می شود، به نظر می رسد استفاده از رزین هایی که دارای استحکام بیشتری هستند برای این امر منطقی به نظر می رسد.

در مقایسه بین PMMA سلف کیور و گرما سخت، انواع گرما سخت دارای ثبات بیشتر، ذاتاً قوی تر، پایداری بیشتری دارد و در برابر تجزیه پلیمر نسبت به رزین اتوپلیمر شده مقاومت بیشتری دارد به بررسی بلوک های PMMA که در سیستم های Milling استفاده می شود پرداخته و استفاده از آنها را جهت ساخت رستوریشن های موقت در دندانپزشکی پیشنهاد داده است زمانی که PMMA تحت شرایط صنعتی ساخته می شود، باعث تولید موادی می شود که تراکم بالایی داشته و خصوصیات مکانیکی و زیست سازگارپذیری از خود نشان دهند. حضور فیلر در بلوک های PMMA باعث افزایش استحکام آنها می شود (۸۱). موردی دیگر که می توان درباره علت بهبود خصوصیات مکانیکی بلوک های PMMA اشاره کرد، حضور cross-linked حداکثری به دلیل شرایط مطلوب طی پلیمریزاسیون در بلوک های PMMA می باشد.

نتیجه گیری

با در نظر گرفتن محدودیت های این مطالعه می توان موارد زیر را نام برد:

۱- میانگین استحکام خمشی در نمونه های استاندارد به ترتیب در گروه پرینتر سه بعدی ۴۵ و ۹۰ درجه، دستگاه Milling، پرینتر صفر درجه و گروه معمولی کاهش یافت.

۲- استحکام خمشی در نمونه های استاندارد گروه های پرینتر سه بعدی و milling به طور معنی داری بالاتر از گروه معمولی بود. آماری معنی داری بین میانگین استحکام خمشی سه زاویه گروه پرینتر سه بعدی وجود داشت. میانگین استحکام خمشی در گروه پرینتر سه بعدی به طور معنی داری بالاتر از Milling بود.

۳- میانگین استحکام خمشی در رستوریشن های موقت سه واحدی به ترتیب در گروه پرینتر سه بعدی ۴۵ درجه، ۹۰ درجه، صفر درجه، دستگاه Milling و گروه معمولی کاهش یافت.

۴- استحکام خمشی در رستوریشن های سه واحدی گروه های پرینتر سه بعدی و milling به طور معنی داری بالاتر از گروه معمولی بود. اختلاف آماری معنی داری بین میانگین استحکام خمشی سه زاویه گروه پرینتر سه بعدی وجود نداشت. میانگین استحکام خمشی تنها در گروه پرینتر سه بعدی ۴۵ درجه به طور معنی داری بالاتر از Milling بود.

تشکر و قدردانی

پژوهشگران مطالعه حاضر بر خود لازم می دانند از تمامی افراد یاری رسان در این کمال قدردانی را داشته باشند.

تعارض منافع

بنابر اظهار نویسندگان مقاله حاضر فاقد هرگونه تعارض منافع بوده است.

References

1. Koumjian JH, Nimmo A. Evaluation of fracture resistance of resins used for provisional restorations. *J Prosthet Dent.* 1990 Dec 1;64(6):654–7.
2. Haselton DR, Diaz-Arnold AM, Vargas MA. Flexural strength of provisional crown and fixed partial denture resins. *J Prosthet Dent.* 2002 Feb;87(2):225–8.
3. Rosenstiel SF, Land MF, Walter RD. Contemporary fixed prosthodontics. SIXTH. Elsevier; 2023. 439–480 p.
4. Nejatidanesh F, Momeni G, Savabi O. Flexural Strength of Interim Resin Materials for Fixed Prosthodontics. *Journal of Prosthodontics.* 2009 Aug 1;18(6):507–11.
5. Saffarpour M, Jaffari M, Mohammadi Savadroudbari M, Beigi M. Comparison of flexural strength of different composite restoratives using the three-point bending test. *Original Article JQUMS.* 2016;19(6):50–6.
6. Rosenstiel SF, Land MF, Walter RD. Contemporary fixed prosthodontics. 2023;439–80.
7. van Noort R. The future of dental devices is digital. *Dental Materials.* 2012 Jan;28(1):3–12.
8. Alghazzawi TF. Advancements in CAD/CAM technology: Options for practical implementation. *J Prosthodont Res.* 2016 Apr 1;60(2):72–84.
9. Park SM, Park JM, Kim SK, Heo SJ, Koak JY. Flexural Strength of 3D-Printing Resin Materials for Provisional Fixed Dental Prostheses. *Materials (Basel).* 2020 Sep 1;13(18).
10. Alp G, Murat S, Yilmaz B. Comparison of Flexural Strength of Different CAD/CAM PMMA-Based Polymers. *Journal of Prosthodontics.* 2019 Feb 1;28(2):e491–5.
11. Rayyan MM, Aboushelib M, Sayed NM, Ibrahim A, Jimbo R. Comparison of interim restorations fabricated by CAD/CAM with those fabricated manually. *J Prosthet Dent.* 2015 Sep;114(3):414–9.
12. Yao J, Li J, Wang Y, Huang H. Comparison of the flexural strength and marginal accuracy of traditional and CAD/CAM interim materials before and after thermal cycling. *J Prosthet Dent.* 2014 Sep;112(3):649–57.
13. Karaokutan I, Sayin G, Kara O. *In vitro* study of fracture strength of provisional crown materials. *J Adv Prosthodont.* 2015;7(1):27.
14. Digholkar S, Madhav VNV, Palaskar J. Evaluation of the flexural strength and microhardness of provisional crown and bridge materials fabricated by different methods. *Journal of Indian Prosthodontist Society.* 2016 Oct 1;16(4):328–34.
15. Unkovskiy A, Bui PHB, Schille C, Geis-Gerstorfer J, Huettig F, Spintzyk S. Objects build orientation, positioning, and curing influence dimensional accuracy and flexural properties of stereolithographically printed resin. *Dental Materials.* 2018 Dec;34(12):e324–33.
16. Park GS, Kim SK, Heo SJ, Koak JY, Seo DG. Effects of Printing Parameters on the Fit of Implant-Supported 3D Printing Resin Prosthetics. *Materials.* 2019 Aug 9;12(16):2533.
17. Svanborg P, Skjerven H, Carlsson P, Eliasson A, Karlsson S, Örtorp A. Marginal and Internal Fit of Cobalt-Chromium Fixed Dental Prostheses Generated from Digital and Conventional Impressions. *Int J Dent.* 2014;2014:1–9.
18. Kadiyala KK, Badisa MK, Anne G, Anche SC, Chiramana S, Muvva SB, et al. Evaluation of Flexural Strength of Thermocycled Interim Resin Materials Used in Prosthetic Rehabilitation- An In-vitro Study. *J Clin Diagn Res.* 2016 Sep;10(9):ZC91–5.
19. Mehrpour H, Farjood E, Giti R, Barfi Ghasrdashti A, Heidari H. Evaluation of the Flexural Strength of Interim Restorative Materials in Fixed Prosthodontics. *J Dent (Shiraz).* 2016 Sep;17(3):201–6.

20. Idrissi H Al, Annamma LM, Sharaf D, Jaghsi A Al, Abutayyem H. Comparative Evaluation of Flexural Strength of Four Different Types of Provisional Restoration Materials: An In Vitro Pilot Study. *Children*. 2023 Feb 15;10(2):380.
21. Alharbi N, Osman R, Wismeijer D. Effects of build direction on the mechanical properties of 3D-printed complete coverage interim dental restorations. *J Prosthet Dent*. 2016 Jun;115(6):760-7.
22. Dimitrov D, Schreve K, de Beer N. Advances in three dimensional printing – state of the art and future perspectives. *Rapid Prototyp J*. 2006 May 1;12(3):136-47.
23. Tahayeri A, Morgan M, Fugolin AP, Bompolaki D, Athirasala A, Pfeifer CS, et al. 3D printed versus conventionally cured provisional crown and bridge dental materials. *Dental Materials*. 2018 Feb;34(2):192-200.
24. Hazeveld A, Huddleston Slater JJR, Ren Y. Accuracy and reproducibility of dental replica models reconstructed by different rapid prototyping techniques. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2014 Jan;145(1):108-15.
25. Reepomaha T, Angwaravong O, Angwarawong T. Comparison of fracture strength after thermo-mechanical aging between provisional crowns made with CAD/CAM and conventional method. *J Adv Prosthodont*. 2020 Aug;12(4):218-24.
26. Shenoy A, Rajaraman V, Maiti S. Comparative analysis of various temporary computer-aided design/computer-aided manufacturing polymethyl methacrylate crown materials based on color stability, flexural strength, and surface roughness: An in vitro study. *J Adv Pharm Technol Res*. 2022 Nov;13(Suppl 1):S130-5.
27. Jain S, Sayed ME, Shetty M, Alqahtani SM, Al Wadei MHD, Gupta SG, et al. Physical and Mechanical Properties of 3D-Printed Provisional Crowns and Fixed Dental Prosthesis Resins Compared to CAD/CAM Milled and Conventional Provisional Resins: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Polymers (Basel)*. 2022 Jun 30;14(13):2691.
28. Ellakany P, Fouda SM, AlGhamdi MA, Aly NM. Comparison of the color stability and surface roughness of 3-unit provisional fixed partial dentures fabricated by milling, conventional and different 3D printing fabrication techniques. *J Dent*. 2023 Apr;131:104458.
29. Partiyani A, Osman E, Rayyan MM, Aboushelib M, Ibrahim A, Jimbo R. Fracture resistance of three-unit zirconia fixed partial denture with modified framework. *Odontology*. 2017 Jan 15;105(1):62-7.
30. Tinschert J, Natt G, Mautsch W, Augthun M, Spiekermann H. Fracture resistance of lithium disilicate-, alumina-, and zirconia-based three-unit fixed partial dentures: a laboratory study. *Int J Prosthodont*. 2001;14(3):231-8.
31. Rismanchian M, Shafiei S, Nourbakhshian F, Davoudi A. Flexural strengths of implant-supported zirconia based bridges in posterior regions. *J Adv Prosthodont*. 2014 Oct;6(5):346-50.
32. Dittmer MP, Kohorst P, Borchers L, Stiesch-Scholz M. Finite element analysis of a four-unit all-ceramic fixed partial denture. *Acta Biomater*. 2009 May;5(4):1349-55.
33. Naveen KS, Singh JP, Viswambaran M, Dhiman RK. Evaluation of flexural strength of resin interim restorations impregnated with various types of silane treated and untreated glass fibres. *Med J Armed Forces India*. 2015 Dec;71(Suppl 2):S293-8.
34. Scherrer SS, de Rijk WG. The fracture resistance of all-ceramic crowns on supporting structures with different elastic moduli. *Int J Prosthodont*. 1993;6(5):462-7.
35. Väyrynen VOE, Tanner J, Vallittu PK. The anisotropy of the flexural properties of an occlusal device material processed by stereolithography. *J Prosthet Dent*. 2016 Nov;116(5):811-7.

36. Golbidi F, Mousavi T. Transverse Strength of Repaired Denture Base Material with Wire and Two Auto Polymerized Acrylic Resin. Vol. 4, Journal of Dentistry. 2007.
37. Lang R, Rosentritt M, Behr M, Handel G. Fracture resistance of PMMA and resin matrix composite-based interim FPD materials. *Int J Prosthodont*. 2003;16(4):381-4.
38. Akova T, Ozkomur A, Uysal H. Effect of food-simulating liquids on the mechanical properties of provisional restorative materials. *Dental Materials*. 2006 Dec;22(12):1130-4.
39. Balkenhol M, Köhler H, Orbach K, Wöstmann B. Fracture toughness of cross-linked and non-cross-linked temporary crown and fixed partial denture materials. *Dental Materials*. 2009 Jul;25(7):917-28.
40. Binkley CJ, Irvin PT. Reinforced heat-processed acrylic resin provisional restorations. *J Prosthet Dent*. 1987 Jun;57(6):689-93.
41. Rekow ED. Dental CAD/CAM systems. *The Journal of the American Dental Association*. 2006 Sep;137:5S-6S.
42. Güth JF, e Silva JSA, Beuer F F, Edelhoff D. Enhancing the predictability of complex rehabilitation with a removable CAD/CAM-fabricated long-term provisional prosthesis: A clinical report. *J Prosthet Dent*. 2012 Jan;107(1):1-6.
43. Edelhoff D, Beuer F, Schweiger J, Brix O, Stimmelmayer M, Guth JF. CAD/CAM-generated high-density polymer restorations for the pretreatment of complex cases: a case report. *Quintessence Int*. 2012 Jun;43(6):457-67.
44. Gujjari A, Bhatnagar V, Basavaraju R. Color stability and flexural strength of poly (methyl methacrylate) and bis-acrylic composite based provisional crown and bridge auto-polymerizing resins exposed to beverages and food dye: An in vitro study. *Indian Journal of Dental Research*. 2013;24(2):172.
45. Alt V, Hannig M, Wöstmann B, Balkenhol M. Fracture strength of temporary fixed partial dentures: CAD/CAM versus directly fabricated restorations. *Dental Materials*. 2011 Apr;27(4):339-47

*Original Article***Investigation of flexural strength of temporary restorations fabricated by milling and 3D- printing compared to the conventional method**

Received: 11/05/2024 - Accepted: 26/08/2024

Sayed Shojaedin Shayegh¹
Mohammad Reza Nazemalroaya²
Mohammad Saeid Barzegar³
Zahra Mohammadi^{4*}
Mohammad Ghadirifard⁵

¹ Professor, Department of Prosthodontics, Faculty of Dentistry, Shahed University, Tehran, Iran.

² Post Graduate student, Department of Prosthodontics, Faculty of Dentistry, Shahed University, Tehran, Iran

³ Prosthodontist

⁴ Post Graduate student, Department of Prosthodontics, Faculty of Dentistry, Shahed University, Tehran, Iran (Corresponding Author)

⁵ PhD student, Dental Prosthetics Department, Faculty of Dentistry, Shahid University, Tehran, Iran

Email:

zahramohammadi74@yahoo.com

Abstract

Introduction: The use of temporary restorations in the treatment of patients who need dental prostheses is considered as one of the necessary steps. Flexural strength is important as a key indicator in the selection of materials for temporary restorations, especially in the anterior and long areas. The present study was conducted with the aim of investigating the bending strength of temporary restorations made with milling and 3D printing in comparison with the conventional method.

Methods: The main model of the temporary restoration was designed and produced using milling and 3D printing techniques. Three-unit restoration samples were subjected to post-processing processes after fabrication and preserved in artificial saliva. Then, the samples were subjected to thermocycling and the three-point bending test was performed on them. The results showed that the highest average bending strength was related to the samples printed with an angle of 45 degrees, and statistically, they showed a significant difference compared to other groups. On the other hand, the restorations produced by the traditional method had the lowest bending strength. Data were analyzed using SPSS24 statistical software and ANOVA and LSD tests.

Results: A significant difference was observed between different groups, so that the 3D printer method with an angle of 45 degrees has significantly higher bending strength than other methods ($P < 0.05$).

Conclusion: These findings show the effect of different manufacturing methods on the mechanical properties of restorations and emphasize the use of advanced technologies such as 3D printing in dentistry. The use of these technologies can help improve the performance and durability of temporary restorations and improve the quality of dental treatment.

Keywords: Temporary Restorations, 3D Printing, Dental Prostheses, Bending Strength