Original Article

Journal of Isfahan Dental School

2024; 20(3): 231-38

The Effect of Preparing the Endocrown with and Without Rounding the Internal Angle on the Distribution of Forces Using Finite Element Analysis

Ehsan Ghasemi[1]
Shayan Ghasemi[2]

1. Associate Professor, Dental Material Research Center, Department of Prosthodontics, School of Dentistry, Isfahan University of Medical Sciences, Isfahan, Iran
2. **Corresponding Author:** Postgraduate Student, Department of Prosthodontics, Dental Implants Research Center, Dental Research Institute, School of Dentistry, Isfahan University of Medical Sciences, Isfahan, Iran.
Email: shayan7495@gmail.com

Abstract

Introduction: The design and preparation of dental restorations significantly affect the clinical success of endocrowns. However, there is limited information regarding the biomechanical impact of the geometry and shape of endocrown preparations. Therefore, this study aimed to investigate the preparation of endocrowns with a butt joint design, with and without rounded internal angles, on the distribution of forces using finite element analysis (FEA).

Materials & Methods: To evaluate force distribution, two three-dimensional finite element (FE) models were created: one with a butt joint finish line and rounded internal angles (Model 1) and one without rounded angles (Model 2). By inputting these data into software and applying loading conditions, outputs including all stresses and displacements were obtained. In both 3D models, the amount of remaining tissue and the type of restorative material used were identical; lithium disilicate was selected as the restorative material in both models. Tests for elastic strain, stress, and overall deformation were conducted on the models using this software.

Results: The deformation in Model 1 was measured at 5.27 micrometers, while in Model 2, it was 6.88 micrometers. The stress levels were 46.6 megapascals in Model 1 and 127.87 megapascals in Model 2. The strain values were 0.0014475 for Model 1 and 0.004171 for Model 2, revealing a significant difference in biomechanical behavior between the two preparation types.

Conclusion: The geometry and shape of the preparation influence the biomechanical behavior of restorations. The endocrown preparations of Model 1 and Model 2 demonstrate different biomechanical behaviors, with Model 1 being more efficient, producing stress levels approximately one-third lower under equal force conditions.

Key words: Dental crowns; Biomechanics; Finite element analysis.

Received: 22.05.2024 **Revised**: 25.08.2024 **Accepted:** 29.10.2024

How to cite: Ghasemi E, Ghasemi Sh. The effect of preparing the endocrown with and without rounding the internal angle on the distribution of forces using finite element analysis. J Isfahan Dent Sch 2024; 20(3): 231-38.

مقاله اصیل پژوهشی

مجله دانشکده دندان‌پزشکی اصفهان
۱۴۰۳: ۲۰(۳): ۲۳۱ تا ۲۳۸

اثر آماده‌سازی اندوکراون با و بدون گرد شدن زاویه‌ی داخلی بر میزان پخش نیروها با استفاده از آنالیز اجزاء محدود

احسان قاسمی[۱]
شایان قاسمی[۲]

۱. دانشیار، مرکز تحقیقات مواد دندانی، بخش پروتزهای دندانی، دانشکده‌ی دندان‌پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، اصفهان، ایران
۲. **نویسنده مسؤول:** دستیار تخصصی، بخش پروتزهای دندانی، مرکز تحقیقات ایمپلنت‌های دندانی، مرکز تحقیقات دندانی، دانشکده‌ی دندان‌پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، اصفهان، ایران .
Email: shayan7495@gmail.com

چکیده

مقدمه: طراحی و آماده‌سازی ترمیم‌های دندانی بر موفقیت بالینی ترمیم‌های اندوکرون تأثیر می‌گذارد، ولی با این وجود اطلاعات کمی درباره‌ی تأثیر بیومکانیکی هندسه و شکل تراش ترمیم‌های اندوکراون وجود دارد. از این‌رو این مطالعه با هدف بررسی آماده‌سازی تراش اندوکراون با و بدون گرد شدن زاویه‌ی داخلی بر میزان پخش نیروها با استفاده از آنالیز اجزاء محدود انجام شد.

مواد و روش‌ها: این مطالعه در سال ۱۴۰۳ در شهر اصفهان انجام شد. برای ارزیابی پخش نیرو دو مدل سه بعدی اجزاء محدود FE (Finite element) یکی با تراش فینیش‌لاین بات-جوینت با گردشدن زاویه‌ی داخلی (مدل ۱) و دیگری بدون گرد شدن زاویه (مدل ۲) در همه‌ی لاین‌انگل‌های داخلی طراحی شد. در دو مدل سه‌بعدی طراحی شده، مقدار نسج باقی‌مانده و همچنین نوع ماده‌ی رستوریشن مورد استفاده یکسان بود. تست‌های استرین الاستیک، استرس و همچنین دفورمیشن کلی، با این نرم‌افزار بر روی مدل‌ها انجام شد.

یافته‌ها: میزان دفورمیتی در مدل ۱ برابر با ۵/۲۷ میکرومتر و در مدل ۲ برابر با، ۶/۸۸ میکرومتر بود. همچنین میزان استرس در مدل ۱ برابر با ۴۶/۶ مگاپاسکال و در مدل ۲ برابر با ۱۲۷/۸۷ مگاپاسکال و میزان استرین در مدل ۱ برابر با ۰/۰۰۱۴۴۷۵ و در مدل ۲ برابر با ۰/۰۰۴۱۷۱ بود و تفاوت بین دو نوع تراش مورد بررسی از نظر رفتار بیومکانیکی مشاهده شد.

نتیجه‌گیری: تراش اندوکراون به صورت مدل ۱ و مدل ۲ از نظر رفتار بیومکانیکی متفاوت هستند و مدل ۱ نسبت به مدل ۲ کارآمدتر و از نظر استرس مقداری نزدیک به یک سوم در نیروی برابر ایجاد می‌کند.

کلید واژه‌ها: روکش‌های دندانی؛ بیومکانیک؛ آنالیز المان محدود.

تاریخ ارسال: ۱۴۰۳/۰۳/۰۲ تاریخ اصلاح: ۱۴۰۳/۰۶/۰۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۷/۰۸

استناد به مقاله: قاسمی احسان، قاسمی شایان. اثر آماده‌سازی اندوکراون با و بدون گرد شدن زاویه‌ی داخلی بر میزان پخش نیروها با استفاده از آنالیز اجزاء محدود. مجله دانشکده دندانپزشکی اصفهان. ۱۴۰۳؛ ۲۰(۳): ۲۳۱-۲۳۸.

مقدمه

بازسازی بافت کرونال آسیب‌دیده و بازیابی مقاومت به شکست در دندان‌های درمان ریشه شده، به دلیل آماده‌سازی حفره یک چالش همیشگی در دندان‌پزشکی ترمیمی است (۱، ۲). برداشتن ساختار دندان به منظور آماده‌سازی حفرات، میزان خمش و شکست کاسپ‌ها را چه با بارگذاری دوره‌ای و چه با بارگذاری مداوم افزایش می‌دهد و بازسازی کاسپ‌ها را در زمان حذف نیرو به تأخیر می‌اندازد. بنابراین از دست رفتن یکپارچگی ساختار دندان آن را مستعد شکست تاج و میکرولیکیج مارژین ترمیم خواهد کرد (۱).

بارسازی دندان های خلفی اندو شده و مقدار و نوع آماده‌سازی برای رسیدن به زیبایی و فانکشن یک امر چالش‌برانگیز است. همچنین در رستوریشن و آماده‌سازی باید آماده‌سازی محافظه‌کارانه برای حفظ حداکثر ساختار ممکن در نظر باشد (۳-۵).

در روش‌های سنتی، برداشت بافت داخل ریشه و ساخت پست و کور یک روش معمول برای بازسازی دندان‌های خلفی اندو شده بود که این روش معایبی مانند برداشت مقدار زیادی از نسج سالم دندان را در برداشت (۶، ۷).

اخیراً اندوکراون‌ها یکی از جایگزین‌های مدرن برای بازسازی دندان‌های خلفی اندو شده است. اندوکراون یک استراتژی ترکیبی از رستوریشن‌های داخل تاجی (آنلی و اینلی) و روکش کامل خارج تاجیست که در دندان‌های اندو شده با مقدار کم نسج باقیمانده قادر به بازسازی زیبایی و فانکشن است (۸).

اندوکراون توسط bidl و mormann در سال ۱۹۹۹، به عنوان یک رستوریشن برای دندان غیر زنده که از پالپ چمبر به عنوان گیر بهره می‌برد، معرفی شد (۹).

درمان اندوکراون شامل یک ترمیم یکپارچه است که انکوریج آن در پالپ چمبر رخ می‌دهد. مزیت اصلی اندوکراون در این است که به منظور آماده‌سازی نیازی به برداشتن عاج ریشه نیست. آماده‌سازی کراون کامل منجر به تراش بیشتر دندان، زمان بالینی طولانی‌تر و هزینه‌های لابراتواری در مقایسه با آماده‌سازی‌های دندانی دریافت‌کننده ترمیم اندوکراون می‌شود (۱۰).

Hayes و همکاران (۱۱) و Dartora و همکاران (۱۲) نشان دادند که آماذه‌سازی عمیق‌تر پالپ چمبر مقاومت شکست را افزایش می‌دهد ولی Zhu و همکاران نشان دادند برای آماده‌ساری پالپ چمبر باید از فرم آناتومیکال پیروی شود (۱۳). Einhorn و همکاران، نشان دادند که فینیش لاین شولدر با دیواره‌ی آگزیالی (فرول) مقاومت به شکست را بیشتر می‌کند ولی مطالعه‌ای به بررسی زوایای داخلی پالپ چمبر و تأثیر آن نپرداخته است (۱۴).

هدف این مطالعه، بررسی اثر گرد کردن زوایای داخلی پالپ چمبر بر توزیع استرس و استرین و دفورمیشن در دندان‌های درمان شده با اندوکراون می‌باشد.

مواد و روش‌ها

این مطالعه در سال ۱۴۰۳ در شهر اصفهان انجام شد. در این مطالعه دندان مولر مندیبل اندو شده توسط نرم‌افزار Simulia Abaqus 2023 در رایانه شبیه‌سازی شدند. بر اساس داده‌های CBCT، مدل توموگرافی سه بعدی دندان مولر مندیبل در نرم‌افزار AMIRA تهیه و سپس طراحی دندان در نرم‌افزار Solidworks (Ver. 2019) انجام شد.

سپس مدل طراحی شده به فرمت STEP203 تبدیل شده و جهت آنالیز به نرم‌افزار Ansys (Ver. 2015) منتقل شد. روش اجزاء محدود، یک روش کامپیوتری برای آنالیز استرس است که به وسیله‌ی آن می‌توان استرس‌ها و همچنین جابجایی‌ها را در مدل ایجاد شده مورد بررسی قرار داد (۱۰). این آنالیز از سیستم‌های پیچیده‌ای از نقاط به نام node استفاده شد که شبکه‌ای به نام mesh را ایجاد می‌نمایند. قبل از ایجاد شبکه، می‌بایست خصوصیات مکانیکی مواد مختلف موجود در مدل برای نرم‌افزار مشخص شود. این خصوصیات شامل ضریب الاستیسیتی و ضریب پواسون می‌باشد. در شبکه‌بندی، حجم‌ها به قسمت‌های کوچک‌تر به نام Element تقسیم می‌گردد. هر

Element از تعدادی Node تشکیل شد (۱۵). برای ارزیابی پخش نیرو دو مدل سه بعدی اجزاء محدود (FE) یکی با تراش فینیش‌لاین بات-جوینت با گرد شدن زاویه‌ی داخلی (مدل ۱) و دیگری بدون گرد شدن زاویه‌ی داخلی (مدل ۲) طراحی شد که با وارد کردن این داده‌ها به نرم‌افزار و همچنین بارگذاری ۷۰۰ نیوتونی به صورت لقمه‌ای، خروجی‌ای شامل تمام استرس‌ها و همچنین جابه‌جایی‌ها (Deformation) به دست آمد (۱۰). در دو مدل سه‌بعدی طراحی شده، مقدار نسج باقی‌مانده و همچنین نوع ماده‌ی رستوریشن مورد استفاده یکسان بود، در هر دو مدل لیتیوم دی‌سیلیکات به عنوان ماده رستوریتیو انتخاب شد چرا که این ماده پیش‌آگهی کلینیکی طولانی‌مدت مناسبی را چه به عنوان روکش خلفی و چه به عنوان روکش قدامی داشته است (۱۶). تست‌های استرین الاستیک معادل (Equivalent elastic strain)، استرس von-Mises معادل و همچنین دفورمیشن کلی، با این نرم‌افزار بر روی مدل‌ها انجام شد.

یافته‌ها

مقادیر حداکثر برای تست های دفورمیتی، استرس معادل von Mises و Equivalent elastic strain در دو تراش بات-جوینت با زاویه و دیگری بدون زاویه در همه لاین انگل‌های خارجی اندازه‌گیری و مقایسه شد و به صورت خلاصه در شکل‌های زیر ارائه شده است. بر اساس جدول ۱، میزان دفورمیتی، استرین الاستیک و استرس در مدل با گرد شدن زاویه‌ی داخلی به مراتب بهتر از بدون زاویه بود (شکل ۱).

بحث

در این مطالعه، حالت تغییر یافته‌ی آماده‌سازی با گرد کردن زاویه‌ی داخلی پالپ چمبر صورت گرفت که باعث کاهش توزیع استرس، کاهش استرین و دفورمیشن نسبت به حالت بدون گرد کردن زاویه‌ی داخلی شد.

دندان‌هایی که تحت درمان ریشه قرار گرفته‌اند، خطر شکستگی بالایی دارند. دو عامل تمرکز استرس و میزان استرس می‌تواند باعث شکستگی شود و به طور بالقوه باعث ایجاد ترک می‌شود. در مطالعاتی که به بررسی مقاومت به شکست دندان پرداخته، گزارش شده است که بین ناحیه‌ی تمرکز استرس و محل شکستگی روی دندان رابطه وجود دارد.

تغییر شکل می‌تواند الاستیک باشد که در آن ماده توانایی بازگشت به اندازه و شکل اولیه خود را دارد یا غیرکشسان و تغییرات به صورت دائمی باشد (۱۵، ۱۶).

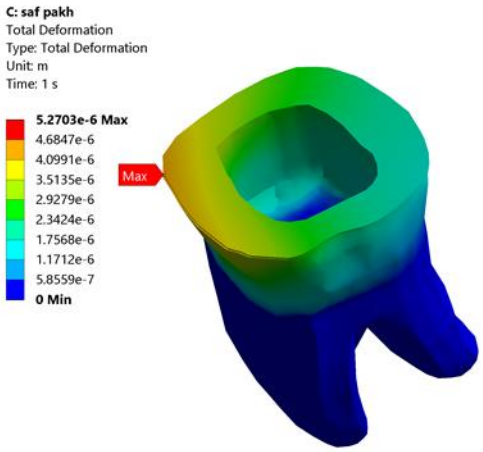
در تغییر شکل الاستیک، کرنش تجربه شده توسط ماده به صورت خطی با تنش اعمال شده مرتبط است و این پدیده با قانون هوک توضیح داده شده است. تغییر شکل، تنش و کرنشی که در یک ماده پس از برخورد با یک بار بیومکانیکی رخ می‌دهد، می‌تواند شکست ایجاد کند که از طریق شبیه‌سازی FEA (Finite element analysis) مشاهده می‌شود. بنابراین، مقاومت در برابر شکست و توزیع تنش در داخل طرح را می‌توان مشاهده کرد و همچنین نقطه شروع شکست در یک سازه یا ماده پیش‌بینی کرد. از این‌رو مطالعه‌ی حاضر به بررسی اثر آماده‌سازی تراش اندوکراون به صورت بات جوینت با گرد شدن و بدون گرد شدن زاویه‌ی داخلی بر میزان پخش نیروها با استفاده از آنالیز اجزاء محدود پرداخت.

بر اساس نتایج مطالعه‌ی حاضر، میزان خواص بیومکانیکی در نمونه‌های مدل ۱ به مراتب بهتر از مدل ۲ بود؛ به بیان دیگر فرم تراش، عامل مؤثری در بهبود خواص بیومکانیکی دندان می‌باشد.

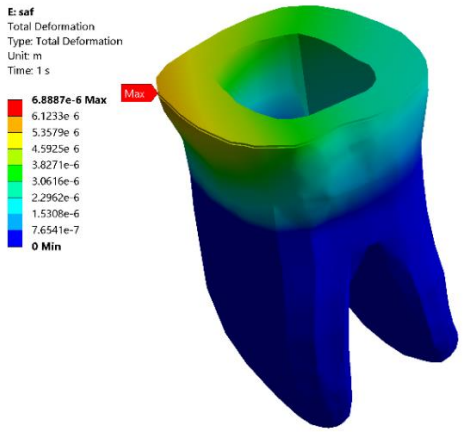
جدول ۱. بررسی نیروی وارد شده به دو مدل تراش فینیش‌لاین بات-جوینت با و بدون گرد شدن زاویه‌ی داخلی

تست	مدل ۱		مدل ۲	
	مینیمم	ماکزیمم	مینیمم	ماکزیمم
Deformity	۰/۵۸mm	۵/۲۷ mm	۰/۷۶mm	۶/۸۸ mm
Strain	۰/۰۰۰۳۲۱۷۹	۰/۰۰۲۸۹۶۱	۰/۴۶۳۴۵۰۰۰	۰/۰۰۴۱۷۱

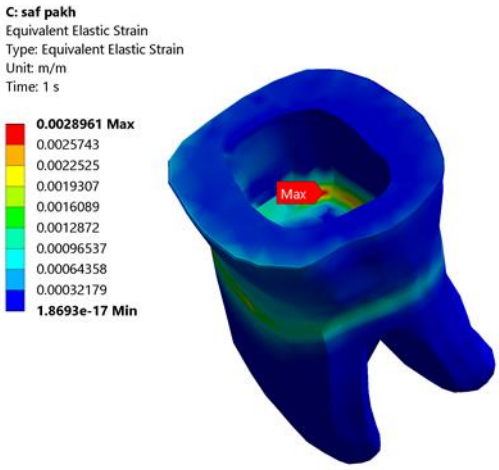
Stress	۵/۱۸MP	۴۶/۶۹MP	۱۴/۲۰ MP	۱۲۷/۸۷ MP



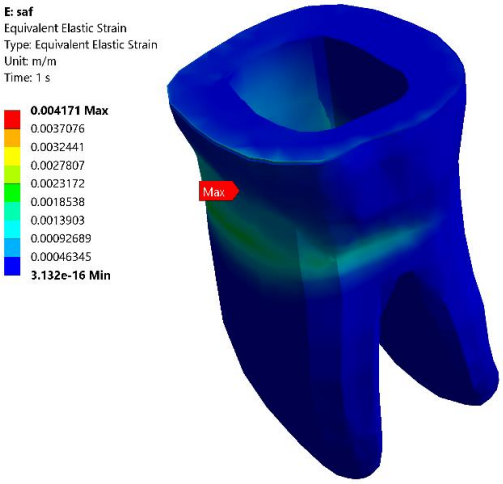
تست دفورمیتی مدلبا زاویه



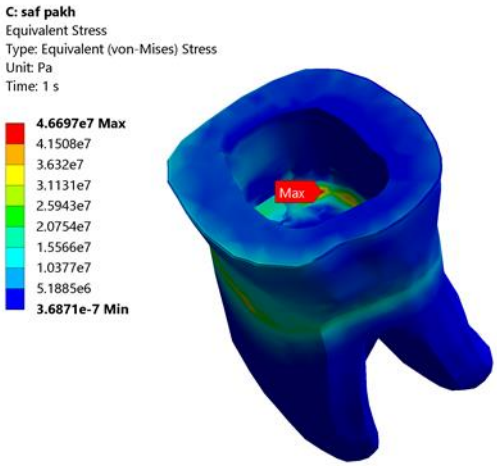
تست دفورمیتی مدل بدون زاویه



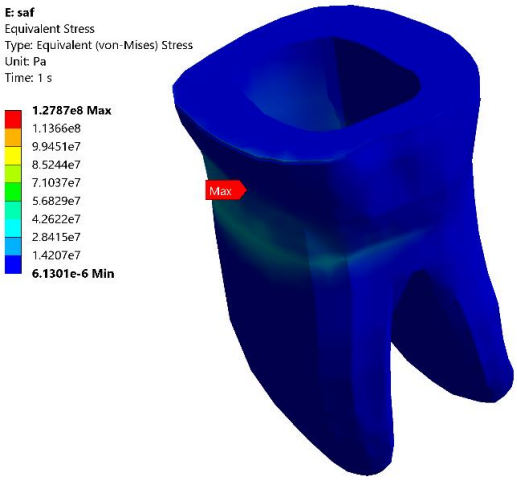
تست Strain مدل با زاویه



تست Strain مدل بدون زاویه



تست Stress مدل با زاویه



تست Stress مدل بدون زاویه

شکل ۱: ؟؟؟؟؟؟؟؟

برخی مطالعات نشان دادند که آماده‌سازی پالپ چمبر عمیق‌تر، سطح مقطع باندینگ را افزایش می‌دهد و توزیع تنش بهبود می‌یابد (۹) همچنین پالپ چمبر عمیق در سمنتیشن اندوکراون‌ها در دندان‌های به شدت تخریب شده کمک کننده است (۱۷). می‌توان یافته‌های مطالعه‌ی حاضر را با این استدلال توجیه کرد که با گرد کردن زاویه‌ی داخلی بدلیل افزایش وسعت ناحیه‌ی اعمال نیرو، استرس وارده کاهش می‌یابد.

Gaintantzopoulou و El-Damanhoury گزارش کردند که اکستنشن بیشتر داخل تاجی اندوکراون باعث کاهش نشست اندوکراون وافزایش گپ داخلی و مارجینال می‌شود (۱۷).

در آماده‌سازی اندوکراون واگرایی ۶ درجه بین دیواره‌های آگزیالی است که نشست راحت را تأمین می‌کند واگرایی بیشتر ممکن است بسته به حالت طبیعی پالپ چمبر اجتناب‌ناپذیر باشد که در این موارد نگرانی‌هایی در مورد فیتنس و ریتنشن اندوکراون وجود دارد (۱۸). آماده‌سازی گرد شدگی زاویه‌ی داخلی ممکن است باعث واگرایی بیشتر بین دیواره‌های آگزیالی شود.

در برخی مطالعات، حالت‌های تغییر یافته‌ی پالپ چمبر نیز مورد بررسی قرار گرفت. بر طبق مطالعه‌ی Ghoul و همکاران افزودن دو groove داخل تاجی در پالپ چمبر باعث افزایش مقاومت شکست و کاهش توزیع استرس در مقایسه با روش سنتی می شود (۱۹). اگرچه بیشتر شکست‌ها ئر این گروه شدید بودند ولی در بارهای فراتر از بارهای جویدن اتفاق افتادند. که بر طبق این مطالعه می‌توان چنین استدلال کرد که افزایش سطح مقطع ناشی از گرد کردن زاویه داخلی می‌تواند باعث کاهش توزیع استرس شده باشد.

لیتیم دی سیلیکات، جزء بهترین مواد رستوریشن‌های اندوکراون محسوب می‌شود. به خاطر خاصیت باندینگ که در این ماده وجود دارد و اسید اچینگ و باند میکرومکانیکال بین ماده و سمان و دندان، در مقابل جابجایی‌ها مقاومت می‌کند. وقتی باندینگ ایجاد شد، استرس اکلوزال را حین جویدن به دیواره‌های پالپ چمبرمنتقل می‌کند. هر چه اکستنشن اندوکراون بیشتر باشد، سطح بیشتری برای باندینگ ایجاد می‌شود و همچنین توزیع استرس بهبود می‌یابد (۲۰، ۲۱).

وقتی اندوکراون از سرامیک بر پایه‌ی زیرکونیا با مدول الاستیک (حدود ۲۴۰ گیگاپاسکال)، که خیلی بیشتر از مدول الاستیک مینای دندان است، ساخته می‌شود دفورمیشن آن در نیروهای برابر به طور واضحی کمتر از دفورمیشن در اندوکراون‌های لیتیم دی سیلیکات است. به هر حال با افزایش مدول الاستیک، انتقال نیرو به ساختار باقیمانده دندان افزایش می‌یابد، که ممکن است باعث شکست دندان شود (۱۳). با توجه به مطالعه‌ی حاضر، استفاده از زیرکونیا احتمالاً باعث افزایش توزیع استرس در نسج باقیمانده دندان می‌شود.

برطبق مطالعات تمرکز استرس، در نواحی با زاویه‌های تیز و شکل‌های نامعمول بیشتر است که نواحی را بیشتر مستعد شکست می‌کند (۱۴، ۲۲) که در تأیید نتایج مطالعه‌ی حاضر می‌باشد که در آن گرد کردن زوایای داخلی باعث کاهش محسوس در توزیع استرس می‌شود و در نهایت می‌تواند باعث کاهش شکست در رستوریشن و دندان شود.

با در نظر گرفتن عملکرد، اندوکراون‌های آماده‌سازی شده با گرد شدن زاویه‌ی داخلی (مدل ۱) نسبت به تراش بدون گرد شدن زاویه‌ی داخلی (مدل ۲) کارآمدتر است.

محدودیت‌های مطالعه شامل آنالیز اجزاء محدود بودن مطالعه، که نمی‌تواند همه‌ی شرایط داخل دهان را بازسازی کند. در این مطالعات مواد هوموژنوس و ایزوتروپیک در نظر گرفته می‌شوند و نقص و حبابی در آنها نیست که در شرایط کلینیکال اینگونه نیست. انجام مطالعات آزمایشگاهی و کلینیکال برای این موضوع پیشنهاد می‌شود.

در این مطالعه حالت تغییر یافته‌ی آماده‌سازی با گرد کردن زاویه‌ی داخلی پالپ چمبر صورت گرفت که باعث

کاهش توزیع استرس، کاهش استرین و دفورمیشن نسبت به حالت بدون گرد کردن زاویه‌ی داخلی شد.

نتیجه‌گیری

نوع هندسه و شکل تراش بر رفتار بیومکانیکی ترمیم‌ها اثر می‌گذارد و تراش اندوکراون به صورت بات جوینت و با یا بدون گرد شدن زاویه‌های داخلی از نظر رفتار بیومکانیکی متفاوت هستند و گرد شدن زاویه‌های داخلی نسبت به تراش دیگر توزیع استرس بهتری داشته و توزیع استرس را تقریباً به یک سوم مقدار اولیه می‌رساند.

سپاسگزاری

بدین‌وسیله از مرکز تحقیقات ایمپلنت دانشکده‌ی دندان‌پزشکی اصفهان به جهت حمایت مالی سپاسگزاری می‌شود.

References

1. Hasan I, Frentzen M, Utz KH, Hoyer D, Langenbach A, Bourauel C. Finite element analysis of adhesive endo-crowns of molars at different height levels of buccally applied load. J Dent Biomech 2012; 3: 1758736012455421.
2. Kassis C, Khoury P, Mehanna CZ, Baba NZ, Bou Chebel F, Daou M, et al. Effect of inlays, onlays and endocrown cavity design preparation on fracture resistance and fracture mode of endodontically treated teeth: an in vitro study. J Prosthodont 2021; 30(7): 625–31.
3. Botto B, Ernesto, Baron, Rosario, Luis J. Endocrowns: A retrospective patient series study, in an 8-to-19-year period. Odontoestomatología 2016; 18(28): 45-56
4. Carlos RB, Nainan MT, Pradhan S, Sharma R, Benjamin S, Rose R. Case report restoration of endodontically treated molars using all ceramic endocrowns. Case reports in dentistry. Case Rep Dent2013; 2013: 210763.
5. Ertuk BK, Yigit D, Saridag S, Avcu E. Fracture strengths of endocrown restorations fabricated with different preparation depths and CAD/CAM materials. Dent Mater J 2018; 37(2): 256-65
6. Sedrez-Porto JA, de Oliveira da Rosa WL, da Silva AF, Aldrighi ME, Pereira-Cenci T. Endocrown Restorations: A Systematic Review and Meta-Analysis. J Dent 2016; 52: 8-14.
7. Rocca GT, Rizcalla N, Krejci I. Fiber-reinforced resin coating for endocrown preparations: a technical report. Oper Dent 2013; 38(3): 242-8.
8. Shah RJ, Lagdive S, Verma V, Shah S, Saini S. Rehabilitating endodontically treated mandibular molar having inadequate coronal length with “Endocrown” - a neoteric clinical approach. IOSR Journal of Dental and Medical Sciences 2017; 16(1): 29-33.
9. Amal S, Nair MG, Sreeja J, Babu A, Ajas A. Endocrown - An Overlooked Alternative. Arch of Dent and Med Res 2016; 2(1): 34-38.
10. Tribst JP, Dal Piva AM, Madruga CF, Valera MC, Borges AL, Bresciani E, de Melo RM. Endocrown restorations: Influence of dental remnant and restorative material on stress distribution. Dent Mater 2018; 34(10): 1466-73.
11. Hayes A, Duvall N, Wajdowicz M, et al. Effect of endocrown pulp chamber extension depth on molar fracture resistance. Oper Dent 2017; 42(3): 327–34.
12. Dartora NR, de Conto Ferreira MB, Moris ICM, Brazao EH, et al. Effect of intracoronal depth of teeth restored with endocrowns on fracture resistance: in vitro and 3-dimensional finite element analysis. J Endod 2018; 44(7): 1179-85.
13. Zhu J, Wang D, Rong Q, et al. Effect of central retainer shape and abduction angle during preparation of teeth on dentin and cement layer stress distributions in endocrown-restored mandibular molars. Dent Mater J 2020; 39(3):464-70.
14. Einhorn M, DuVall N, Wajdowicz M, et al. Preparation ferrule design effect on endocrown failure resistance. J Prosthodont 2019; 28(1): e237-e242.
15. Farah JW, Dennison JB, Powers JM. Effects of design on stress distribution of intracoronal gold restorations. T J Am Dent Assoc 1977; 94(6): 1151-4.
16. Fratila A, Oleksik V, Boitor C, Pascu A, Pirvu B. Numerical study about the strain analysis and the marginal design of dental indirect restorations. Romanian Biotechnological Letters 2012; 17(4): 7474-82.

17. Gaintantzopoulou MD, El-Damanhoury HM. Effect of preparation depth on the marginal and internal adaptation of computer-aided design/computer-assisted manufacture endocrowns Oper Dent 2016; 41(6): 607-16.
18. . Darwish HA, Morsi TS, El Dimeery AG. Internal fit of lithium disilicate and resin nano-ceramic endocrowns with different preparation designs. Future Dental Journal 2017; 3(2): 67–72
19. Ghoul WE, Özcan M, Tribst JPM, Salameh Z. Fracture resistance, failure mode and stress concentration in a modified endocrown design. Biomater Investig Dent 2020; 7(1): 110–9.
20. Kelly JR. Dental ceramics: what is this stuff anyway? J Am Dent Assoc 2008; 139(Suppl): 4S–7S.
21. 5. Biacchi GR, Basting RT. Comparison of fracture strength of endocrowns and glass fiber post-retained conventional crowns. Oper Dent 2012; 37(2): 130–6.
22. Pedrollo Lise D, van Ende A, De Munck J, Umeda Suzuki TY, Cardoso Vieira LC, van Meerbeek B. Biomechanical behavior of endodontically treated premolars using diferent preparation designs and CAD/CAM materials. J Dent 2017; 59: 54–61.