تأثير شكل تحضير السطح الطاحن على مقاومة الكسر لتيجان الزيركونيا المصنعة بتقنية ال CAD/CAM

عبد الحميد المقداد* **إياد سويد****

الملخص

خلفية البحث وهدفه: نتيجة زيادة المتطلبات التجميلية والسعي الحثيث للوصول إلى الأفضل في النواحي الوظيفية والتجميلية على حدٍ سواء، ومع التطور المستمر في المواد الجديدة في طب الأسنان ،كثرت الترميمات الخزفية الخالية من المعدن كبدائل عن التعويضات الخزفية المعدنية فكان منها الخزف الزجاجي والخزف المشرب بالزجاج والخزف البلوري لكنها بقيت تستخدم بحذر في الجسور والتعويضات الخلفية بسبب هشاشتها وضعف مقاومتها للانكسار مقارنة مع المعدن.

هدف البحث لمقارنة تأثير نمط تحضير السطح الطاحن على مقاومة الانكسار لتيجان الزركونيا المصنعة بتقنية CAD/CAM.

المواد والطرق: تكونت عينة البحث من 40 تاجاً خزفياً من الزركونيا مقسمة على المجموعات التالية:

المجموعةA: تيجان تقليدية (ثنائية الطبقة) والسطح الطاحن للدعامات المعدنية ذو شكل تشريحي.

المجموعةB: تيجان وحيدة المرحلة والسطح الطاحن للدعامات المعدنية ذو شكل تشريحي.

المجموعةC: تيجان وحيدة المرحلة والسطح الطاحن للدعامات المعدنية ذو شكل مستوٍ.

المجموعةD: تيجان وحيدة المرحلة والسطح الطاحن للدعامات المعدنية ذو شكل مستوٍ يحوي ميزاب أنسي وحشي بعمق 0.5 ملم.

ثم تمت طباعة الدعامات المعدنية بواسطة الطابعة الليزرية للمعادن وبعد إلصاق التيجان تمت دراسة مقاومة الانكسار بواسطة جهاز الاختبارات الميكانيكية العام. ثم تمت الدراسة الإحصائية.

النتائج: أظهرت النتائج تحقيق تيجان الزيركونيا وحيدة المرحلة مقاومة أكبر للكسر مقارنة مع التيجان ثنائية الطبقة في حال تحضير السطح الطاحن للدعامات بشكل تشريحي بينما لا يوجد أي تأثير لنمط تحضير السطح الطاحن على مقاومة الكسر عند استخدام تيجان الزيركونيا وحيدة الطبقة.

الكلمات المفتاحية: تيجان الزركونيا ،CAD/CAM ،مقاومة الانكسار.

* طالب ماجستير، قسم تعويضات الأسنان الثابتة، كلية طب الأسنان، جامعة دمشق.

** أستاذ في قسم تعويضات الأسنان الثابتة، كلية طب الأسنان، جامعة دمشق.

The Effect of Occlusal Surface Preparation patterns on Fracture Resistance of Zirconia Crowns Made by CAD\CAM System

Abdulhamid AL Mokdad* **Eyad Swed****

Abstract

Backgroun & Aim: Because of the increase in cosmetic demands and the relentless pursuit to reach the best in both functional and cosmetic aspects, and with the continuous development of new materials in dentistry, metal-free ceramic restorations abounded as alternatives to PFM prostheses.They contain glass-ceramic, crystalline ceramic , but it is still used carefully in bridges and posterior prostheses due to its brittleness and low fracture resistance compared to metal.

The aim of this research: occlusal surface preparation patterns on the fracture resistance of zirconia crowns manufactured by cad-cam technique.

Materials and methods: The research sample consisted of 40 zirconia ceramic crowns divided into the following groups:

Group A: traditional crowns (Bi-layered) and metal abutments with anatomical occlusal surface.

Group B: monolithic zirconia crowns and metal abutments with anatomical occlusal surface.

Group C: monolithic zirconia crowns and metal abutments with flat occlusal surface.

Group D: monolithic zirconia crowns and metal abutments with flat occlusal surface. contain a 0.5 mm mesiodistal groove.

Metal abutments were then fabricated using a metal laser printer and after crowns cementation, the fracture resistance was studied by the general mechanical testing instrument then the Statistical analysis was done.

Results: the results showed that the monolithic zirconia crowns showed higher fracture resistance in comparison with traditional crowns when the abutments' occlusal surfaces were prepared in an anatomical shape.

occlusal surface preparation patterns didn't affect the fracture resistance when using single-layer zirconia crowns.

Keywords: zirconia crowns, CAD/CAM, fracture resistance

*M aster's Student, Department of Fixed Prosthodontics, Faculty of Dentistry, Damascus University.

**P rofessor in the Department of Fixed Prosthodontics, Faculty of Dentistry, Damascus University.

المقدمة introduction:

اكتشف الزركون على يد العالم الألماني Martin Heinrich Klaproth عام 1789 م عندما كان يقوم بأبحاث على بعض الأحجار الكريمة التي تتطلب درجات حرارة مرتفعة. (Piconi and Maccauro 1999) بدأت الأبحاث حول إمكانية استخدام الزركونيا كمادة متقبلة حيوياً في عام 1969(Aboushelib 2010) حيث تم استخدامه في الاستبدال الكلي لمفاصل الفخذ (Juntavee and Kornrum 2020)أما في طب الأسنان فقد استخدم لأول مرة في أوائل عام 1990 م فصنعت منه الترميمات التاجية الجذرية، والزرعات ودعاماتها ،والحاصرات التقويمية ،وقلنسوات التيجان وهياكل الجسور.(Conrad, Seong et al. 2007).

جاء الاهتمام بالزركون كمادة حيوية في طب الأسنان من خلال تقبلها الحيوي وعدم سميتها فهي لا تنحل في الماء كما أن قابليتها لالتصاق الجراثيم عليها قليلة جداً وكما أن ظلاليتها الشعاعية جيدة. (Zarone, Russo et al. 2011) فالزركون مادة ذات بنية بلورية مكونة من أكاسيد بدون أي مكون زجاجي شديد الصلابة وخواصه الميكانيكية مشابهة جداً للترميمات المعدنية (Aboushelib 2010) ولونه مشابه للون الأسنان الطبيعية .أطلق عليه أيضاً الخزف الصلب نظراً لمتانته العالية مقارنةً بأنواع الخزف الأخرى (Manicone, Iommetti et al. 2007)

البنية البلورية للزركونيا: (Denry and Kelly 2008) يتواجد الزركونيا بثلاثة أشكال تبعاً لدرجة الحرارة:

1- الطور أحادي الميل (monoclinic) m: بنية موشورية بستة وجوه كل منها عبارة عن متوازي أضلاع ،تظهر هذه البنية بدرجة حرارة الغرفة وتبقى ثابتة حتى درجة 1170 م ،تملك هذه البنية أقل خواص ميكانيكية.

2- الطور المربع (tetragonal) T:

بنية موشورية وجوهها الجانبية بشكل مستطيلات ،تظهر هذه البنية في درجات حرارة ما بين 1170-2370 م ،تمتلك هذه البنية الخواص الميكانيكية الأكثر قبولاً.

3- الطور المكعب (cubic) C:

بنية مكعبية الشكل تكون الزركونيا النقي ، تظهر في درجات الحرارة الأعلى من 2370 م. المركبات المصنوعة من أكسيد الزركونيوم النقي لن تكون مستقرة بسبب التحول في شكل البلورات مما ينجم عنه زيادة حجم الجزيئات وزيادة التوتر بداخله.

يمكن الحصول على استقرار الطور الرابع من الزركونيا وضبط التحولات بين أشكال بلوراته الثلاثة في درجة حرارة الغرفة بإضافة كميات صغيرة من أكاسيد التثبيت مثل أكسيد الستريوم (y2o3) أو أكسيد الكالسيوم أو أكسيد السيريوم (ceo2) ،مما يسمح بإنتاج الزركونيا المستقرة وهذه الطريقة اكتشفها Ruff في أواخر عام 1929 م.(Pilathadka and Vahalová 2007)

أنواع الزركونيا في طب الأسنان:

1- Yttria _Tetragonal Zirconia Poly 3Y-TZP (Crystals): (Yin, Lee et al. 2019)

مادة خزفية تتشكل بتكلس بلورات بشكل متراص دون وجود مادة بينية تربط بينها تكون خالية من الهواء فتعطي مركب متعدد البلورات ،حيث يتألف التركيب المجهري لها من جزيئات صغيرة متساوية يتروح حجمها بين 0.2-0.5 ميكرون.

إن إضافة ال yttria إلى الزركونيا ينتج عنه استقرار المركب وإعطاؤه خواص مرغوبة أكثر ،فإضافة 3-5 مول وزناً من أكسيد yttria إلى البنية المربعية للزركونيا ينتج عنه بنية نانو بلورية ناعمة مما يسرع عملية إعادة البلورة ،وإن التمدد الحجمي الحاصل بسرعة الذي يرافق هذا التحول يوقف تشكل الصدوع ويزيد قوة المركب حيث يمتلك

3Y-TZP أفضل الخواص الميكانيكية متفوقاً على جميع المواد الخزفية الموجودة حيث يمتلك قوة كسر تصل ل 900 ميغا باسكال ومقاومة للضغط 2000 ميغا باسكال ومقاومة التواء 1200 ميغا باسكال (Aboushelib 2010)،مما جعل من هذا المركب مناسب للتطبيقات السريرية في طب الأسنان فهو يمتلك معامل انكسار عال ومعامل امتصاص منخفض وظلالية شعاعية ودرجة انصهار عالية وناقلية حرارة منخفضة. (Denry and Kelly 2008)

2- ZTA (zirconia Toughened Alumina): يمكن تثبيت الزركونيا مع قالب من الألومينا سميت الزركونيا بالانسيرام الزركوني InCeram Zirconia أو الزركونيا المرتشحة بالزجاج المقواة بالألومينا Glass infiltrated zirconia Toughened Alumina (ZTA) ،يمكن أن يعالج بطريقة slip casting أو بطريقة soft machining ،وأحد أهم خصائصها هو عدم تقلصها وانكماشها أثناء التلبيد ،لكن كثرة مساميتها مقارنة مع جعل خواصها الميكانيكية أقل مقارنة مع 3Y-TZP.

3- Mg-PSZ (Mangnesia partially stabilized zirconia):

كما يمكن تثبيت الزركونيا عن طريق إضافة أكسيد المغنيزيوم للزركونيا بنسبة حجمية 8-10 مول وزناً لكنه لم يثبت نجاحاً كبيراً نظراً لمساميته العالية وحجم جزيئاته الكبير 6-30 ميكرون وحاجته لدرجات حرارة عالية للتلبيد تتراوح بين 1680-1800 م ومثال عليها M -Denzir. (Denry and Kelly 2008)

متانة التحول ومقاومة تشكل الصدوع:

إن أحد أهم خصائص الزركون الميكانيكية هو قدرته على إيقاف انتشار الكسور والصدوع وهذا ما يسمى بمتانة التحول (transformation toughening) ،حيث أن الكسر أو الصدع يسبب قوة ضغط موضعية حول وعند حواف الصدع مما يحث الزركونيا على التحول من الشكل الرباعي إلى الشكل أحادي الميل مما يولد زيادة حجمية 3-5% محولةً قوى الشد المحيطة بالصدع إلى قوى ضغط تقاوم الصدع وتعمل على إيقاف انتشاره ،يدعى هذا التحول بالتحول الصلب (t-m). (Juntavee and Kornrum 2020)

كما يؤثر حجم الجزيئات الخزفية على متانة التحول فمن أجل الحصول على بنية بلورية مربعة مستقرة بدرجة حرارة الغرفة يجب أن يكون حجم الجزيئات الخزفية أقل من 0.8 ميكرون ،كما أن حجم الجزيئات الخزفية مرتبط بتركيز نسبة yttria فزيادة نسبتها وزيادة درجة الحرارة يزيد الشفوفية. (Schriwer, Skjold et al. 2017)

تصنيع قوالب الزركون:

يوجد ثلاثة أنواع رئيسية من الزركونيا والتي تستعمل في طب الأسنان وتتميز بأنها متماثلة كيميائياً فميا بينها إلا أنها تختلف عن بعضها البعض بالخواص الفيزيائية كالمسامية والقساوة والكثافة ،وهذه الأنواع هي:

1- الزركون الملبد بشكل كامل:

عن طريق تطبيق حرارة وضغط عاليين في أجهزة باهظة الثمن حيث يتألف من بنية صلبة كثيفة متعددة البلورات وذات مسامية قليلة مما يساهم سريرياً في زيادة مقاومة الانكسار كما يجعل عملية التفريز أكثر استهلاكاً لأجهزة التفريز وبالتالي أكثر كلفة. يتم تفريزه بنسبة 1:1(AL- AMLEH, Lyons et al. 2010) ،تفريز الزركونيا الملبدة بشكل كامل يؤثر على خواصها الميكانيكية وبالتالي وضعت كل شركة معايير خاصة لعملية التلبيد للحصول على الخواص النهائية للزركون،وتتراوح عادة درجة التلبيد بين1350-1550 م. (Silva, Sailer et al. 2010)

أنظمة CAD/CAM التي تستخدم هذا النوع من التفريز:
1- Denzir, Cadesthetics, Skelleftea, Sweden
2-DC-Zircon,DCS Dntal AG,Allschwil,Switzerland

2–الزركون الملبد بشكل جزئي.

3– الزركون غير الملبد.

يعتبر النوعين الثاني والثالث موحدان نتيجة عملية الإنتاج والتصنيع المتماثلة. يعتبر الزركون غير الملبد هو المسيطر سريرياً نتيجة سهولة تفريزه ورخص ثمنه ،يفرز بأبعاد أكبر من الأبعاد المطلوبة بنسبة (25–20)% بسبب التقلص الذي يحصل خلال مرحلة التلبيد (AL-AMLEH, Lyons et al. 2010)،حيث أن تلبيد الزركونيا بعد تفريزها يجعل الخواص الميكانيكية أفضل.

أنظمة CAD/CAM التي تستخدم هذا النوع من التفريز:
1- CERCON (Dentsply Friadent, Mannheim, Germany)
2- LAVA (3M,ESPE, Seefeld, Germany)
3- PROCERA (Nobel, Biocare, Gothenburg, Sweden)
4- ETKON (Straumann, Basel, Switzerland)
5- CEREC (Sirona, Bensheim, Germany)

التلبيد: هو عملية تسخين الزركونيا في فرن خاص لزيادة قساوتها وتقلصها وتحول بلوراتها إلى الشكل رباعي الأضلاع.

إن التقلص التالي للتلبيد يحدث نتيجة مرور المادة خلال التلبيد بعد مراحل هي الانتشار الحجمي ثم الانتشار السطحي ثم المرحلة الغازية والذي تترافق بزيادة كثافة المادة ونقص في كتلتها الحجمية ،حيث يتم تعويض التقلص الحاصل بطريقتين:

1– تصنيع الهيكل بشكل أكبر من الحجم الطبيعي بنفس نسبة التقلص التي ستحصل عند التلبيد كما في أغلب الأنظمة.

2– هي التقنية المعتمدة من قبل شركة وحيدة هي شركة Nobel Biocare باستخدام نظام Procera ،حيث يتم مسح النموذج الجبسي للدعامات المحضرة بنفس نسبة التقلص التي ستحصل عند التلبيد وذلك باستخدام نظام حاسوبي متوافر في المركز المعتمد من قبل الشركة المصنعة.

قامت بعض الشركات المنتجة لأنظمة الخزف الخالي المقوى بالزركون بتطوير أنظمة خالية من التقلص الحاصل خلال التلبيد كما في نظام Everest التابع لشركة Kavo ،حيث يتألف هذا النظام من مركب الزيركونيوم سيليساييد الذي يتكون من اتحاد أوكسيد الزركونيوم وأوكسيد السيليكون ومركب السيلوكسان متعدد الميتيل حيث يحدث تمدد حجمي بأحد المكونات خلال عملية التلبيد مما يعوض التقلص الحجمي الحاصل.

تصاميم التيجان الخزفية الكاملة: (Bakitian, Seweryniak et al. 2018)

1– التقليدي (ثنائي الطبقات) Bi-layered:
يتكون التاج من طبقتين:
طبقة القلنسوة والتي تغطي الدعامة مباشرة وتكون مصنوعة من خزف ذو مقاومة ميكانيكية مرتفعة مثل ثنائي سيليكات الليثيوم أو أكسيد الزركونيوم. (Conrad, Seong et al. 2007)

طبقة الخزف المغطي وهي التي تعطي شكل التعويض النهائي وتكون مصنوعة من مواد ذات شفافية وجمالية عالية ومقاومة ميكانيكية منخفضة أي تتكون من الخزف الزجاجي مضافاً له اللوسيت أو أكسيد الألمنيوم أو فلور الأباتيت. (Conrad, Seong et al. 2007)
إن سبب تغطية هيكل الزيركون بالخزف في التصميم التقليدي هو الخصائص البصرية الضعيفة لمادة الزيركون لذلك تحتاج لان تغطى بمادة خزفية ذات جمالية عالية.
يتم دمج الخزف ذو القوة المنخفضة مع القلنسوة الزركونية ذات القوة الأعلى للحصول على القوة مع نتائج جمالية أفضل حيث تستعمل (Pilathadka and Vahalová

2007)،ولكن في هذا التصميم توجد مشكلة سريرية شائعة وهي كسر الخزف المغطي.

2- وحيد المرحلة Monolithic :

يتمتع التصميم وحيد الطبقة بشعبية متزايدة على مدى العقد الماضي لأنه يعتقد أنه يتحمل الجهود العالية أثناء الوظيفة دون التعرض لخطر كسر قشرة الخزف المغطي. ومن أجل التغلب على ضعف الخواص البصرية تم تطوير زركونيا ذات شفافية عالية من أجل التيجان وحيدة المرحلة Monolithic Translucent Zirconia.

في الآونة الأخيرة كانت هناك محاولات ملحوظة لصنع زركونيا عالية الشفافية وحيدة المرحلة لاستخدامها في الحالات السريرية التجميلية ومع ذلك فإن الشفافية المكتسبة التي تكون دون العبث بقوة المادة محدودة للغاية ولا يمكن الحصول على شفافية فوق مستوى معين دون فقدان الخصائص الميكانيكية للمادة إلى حد ما. هذا الجيل من الزركونيا نادرة البيانات السريرية ويتم استخدامها بحذر بسبب الخواص الميكانيكية المنخفضة.

3- وحيد المرحلة المغطى بخزف من الدهليزي Semimonolithic:

إن تاج وحيد المرحلة مغطى بخزف من الناحية الدهليزية يمكن أن يكون طريقة للتغلب على مشكلة كسر الخزف المغطي أو محدودية جمال تاج الزركونيا وحيدة المرحلة. (Nakamura, Nakano et al. 2020)

بهذه الطريقة يمكن ابعاد الخزف عن السطوح المعرضة للجهود العالية.

هذا التصميم أصبح شائعاً اليوم ولكن لا يوصى به من قبل الشركات المصنعة وبالتالي يستخدم دون دعم الشركات المصنعة.

مزايا الخزف الزركوني:

1- يسمح نظام الزركونيا بالتحضير بخطوط انهاء مختلفة وبناحية تجميلية جيدة. (Özkurt and Kazazoğlu 2010)

2- تحجب لون السن اذا كان متلونا أو في حال كان التعويض على قلب معدني. (Manicone, Iommetti et al. 2007)

3- ظهور الهيكل الزركوني شعاعياً وبالتالي يمكن ضبط انطباق الحواف حتى عندما يكون التحضير ضمن الميزاب اللثوي.(Welander, Abrahamsson et al. 2008)

4- خيارات الإلصاق كثيرة. (Bindl, Lüthy et al. 2006)

5- قلة تراكم اللويحة الجرثومية.

6_قدرتها على منع انتشار الصدوع.

7_ الانطباق الحفافي مقبول سريرياً في حالات التيجان المفردة والجسور الطويلة.

8- خصائص ميكانيكية جيدة ومقاومة عالية للانكسار مقارنة بالأنواع الأخرى من الخزف. (Yin, Lee et al. 2019)

9- تلاؤم حيوي جيد. (McLaren and Giordano 2005)

مساوئ الخزف الزركوني:

1- تعتبر الهياكل الزركونية ظليلة لذلك فهي ذات شفافية قليلة. (Goodacre, Campagni et al. 2001)

2- غالية الثمن مقارنة مع التعويضات المعدنية غير الثمينة و تتطلب أجهزة مكلفة. (Manicone, Iommetti et al. 2007)

3- تعتبر علاقة القشرة الخزفية مع الهيكل الزركوني نقطة الضعف في مقاومة هذه التعويضات للانكسار. (Yin, Lee et al. 2019)

4- ظهور الهيكل الزركوني شعاعياً يمنع ظهور النسج السنية التي يغطيها وبالتالي لا يمكن فحص السن المرممة

شعاعياً.(Goodacre, Campagni et al. 2001)

تصميم القلنسوات الزركونية والخزف المغطي:

لا شك أن التعويضات الخزفية الخالية من المعدن تتمتع بجمالية عالية مقارنة مع التعويضات الخزفية المعدنية مما ساهم في التطور الكبير للمواد الخزفية لزيادة مقاومتها للانكسار.

يعتبر تصدع الخزف في التيجان الخزفية وحيدة الطبقة أو تشظي الخزف المغطي في التيجان ذات القلنسوة الزركونية أكثر الاختلاطات السريرية في تعويضات المنطقة الخلفية، حيث يعتمد النجاح السريري للتعويضات الزركونية على الخصائص الميكانيكية للمادة.

إن القصافة هي أهم مساوئ الخزف المغطي وخصوصاً تحت القوى الإطباقية العالية لذلك يجب تصميم القلنسوات بثخانة غير متجانسة وبشكل يساير الشكل التشريحي للدعامة وبالتالي تكون سماكة الخزف المغطي موحدة ومتجانسة مما يقلل احتمالية التشظي ويزيد من متانة و ديمومة التعويض. (Kokubo, Tsumita et al. 2011) (Rosentritt, Steiger et al. 2009)

نتيجة الخواص البصرية الضعيفة للزركونيا وأثر الرطوبة الضار عليها يجب تغطية القلنسوات الزركونية بخزف ذو معامل تمدد حراري مشابه لمعامل التمدد الحراري لخزف القلنسوة. (Zarone, Russo et al. 2011) (AL-AMLEH, Lyons et al. 2010)

تعتبر سماكة 0.5 ملم للقلنسوة الزركونية هي السماكة المثالية من أجل الحصول على كافة الخواص الميكانيكية المطلوبة للتعويض.

الاستطبابات السريرية لأوكسيد الزركونيوم:

1- أوتاد جذرية :

حيث تملك الأوتاد الجذرية المصنوعة من الزركون فائدة تجميلية مقارنة مع الأوتاد الجذرية المعدنية تحت التعويضات الخزفية الصرفة . إضافة لذلك يتميز الزركون بتأمين الناحية الحيوية بحيث لا يتعرض جذر السن للتآكل نتيجة التيارات الغلفانية .(Koutayas and Kern 19

2- دعامات الزرعات :

تم تقديم الزركون كدعامات للزرعات السنية بسبب مقاومتها العالية للانكسار وتستطب في مناطق الانحسار اللثوي أما من الناحية الحيوية فقد تبين شفاء النسج حول الزرعات الزركونية يحدث بشكل جيد بالإضافة إلى أن تجمع اللويحة والتصاقها على سطح الزركون أقل من سطح التيتانيوم .=23

3- الزرعات السنية :

لكونها مادة خاملة فهي أكسيد معدني غير قابل للامتصاص ولخصائصها الميكانيكية المميزة وتقبلها الحيوي الجيد وفي الجسور المدعومة بالزرعات السنية .=24

4- هياكل للتيجان والجسور:

عندما تكون الناحية التجميلية ملحة في مكان معرض لقوى كبيرة بحيث أن التعويض المعدني الخزفي لا يفي بالناحية التجميلية المطلوبة والأنظمة الخزفية الصرفة الأخرى غير قادرة على تحمل القوى كما هو الحال في المنطقة الخلفية . تراوحت مقاومة الكسر لتيجان الزركونيا في منطقة الأرحاء (4114-2135) نيوتن تبعا لثخانة الهيكل الزركوني ونوع الخزف المغطي المستخدم في حين تراوحت مقاومة الكسر لجسور الزركونيا (1192-2131) نيوتن .=16

5- الحاصرات التقويمية :

وذلك لأنها أكثر جمالية من الحاصرات المعدنية كما أنها تتميز بقوى ارتباط مقبولة سريراً مع إمكانية استخدامها مع الأقواس السلكية .=26

مضادات استطباب الخزف الزيركوني :

1- عدم كفاءتها في الجسور الطويلة أكثر من خمس وحدات رغم أن بعض الشركات تدعي إمكانية صنع جسر واحد يعوض عن قوس سني كامل من الخزف الزركوني .

2- في الحالات التي تتطلب مقاومة كبيرة للانكسار حيث

يمكن أن تف الأنظمة الخزفية الصرفة الأكثر جمالية بالغرض .(Cristache, Burlibasa et al. 2011)

طرق تصنيع الهيكل الزركوني :

1- طريقة التصنيع أو التفريز اليدوي MAD/MAM : هي طريقة معقدة تشبه نسخ المفاتيح يتم فيها صنع القلسنوة من الشمع أو الراتنج ثم يوضع النموذج المصنوع في ألة التفريز حيث للألة ذراعين الأول موجود في الجهة اليسرى للجهاز يلامس النموذج الشمعي والثاني موجود في الجهة اليمنى له يحوي رأس قاطعاً من الكارباید يلامس قالب الزركونيا الملبدة بشكل غير كامل وبالتالي يكون الشكل الناتج للقلنسوة الزركونية نسخة طبق الأصل عن القلنسوة الشمعية وأكبر منها ب 20-15% حجماً وذلك لتعويض التقلص الذي يحصل أثناء التلبيد ثم يتم غمر التعويض قبل عملية التلبيد في محلول اللون المراد لمدة ثانيتين ليتشبع التعويض باللون المطلوب ويصل لعمق 0.2 ملم ضمن التعويض ، تتميز هذه الطريقة بالتكلفة المنخفضة حيث الوسائل المستخدمة بدائية نوعا ما وكما أنها تمكن المخبري من اجراء تصحيح لبعض الأخطاء في الدعامات المحضرة من خلال التعديل ع النموذج الشمعي .

2- **طريقة التصميم بواسطة الحاسب الالي CAD/CAM :**

إن استخدام التكنولوجيا في طب الأسنان الحديث فجر ثورة في أساليب وتقنيات المعالجة لما تقدمه من جودة في النتائج واختصاراً للوقت حيث قدمت هذه التقنيات أحددث الطرق في طب الأسنان الترميمي والتعويضات الثابتة واعتمد فيها الكميرا ثلاثية الأبعاد والحاسب للحصول على التعويض النهائي .

هدف البحث Aim of the study:

يهدف هذا البحث إلى مقارنة تأثير نمط تحضير السطح الطاحن على مقاومة الانكسار لتيجان الزركونيا المصنعة بتقنية CAD/CAM.

2. **مواد البحث وطرائقه materials and methods:**

تكونت عينة البحث من 40 تاجاً خزفياً من الزركونيا مقسمة على المجموعات التالية:

المجموعة الأولى تتكون تيجانها من القلنسوات الزركونية وطبق فوقها الخزف المغطي بطريقة الطبقات Layring Technique. والمجموعات الثلاثة التالية تتكون من التيجان الزركونية وحيدة الطبقة مقسمة بالتساوي وفقاً لشكل تحضير السطح الطاحن للدعامة.

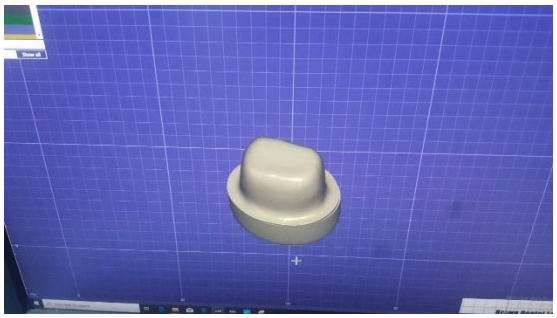
توزع عينة البحث تبعاً للمجموعات:

المجموعة A: السطح الطاحن للدعامات المعدنية ذو شكل تشريحي والتيجان تتكون من قلنسوة زركونية

وفوقها طبقة من الخزف المغطي.

المجموعة B: السطح الطاحن للدعامات المعدنية ذو شكل تشريحي والتيجان هي تيجان زركونيا وحيدة الطبقة.

المجموعة C: السطح الطاحن للدعامات المعدنية ذو شكل مستوٍ والتيجان هي تيجان زركونيا وحيدة الطبقة.



المجموعة D: السطح الطاحن للدعامات المعدنية ذو شكل مستوٍ يحوي ميزاب أنسي وحشي بعمق 0.5 ملم والتيجان هي تيجان زركونيا وحيدة الطبقة.

تم تصميم الدعامات المعدنية حاسوبياً وفقاً للمجموعات سابقة الذكر وفقاً للمعايير الخاصة لاستقبال الترميمات الخزفية الكاملة مما يؤمن إمكانية مقارنة نتائج البحث وتم:

تصميم الجدران المحورية بشكل تحضير بمقدار 1.2 ملم لكل الدعامات.

توحيد خط الانهاء بشكل شبه كتف بعرض 1 ملم لكل الدعامات.

توحيد ميلان الجدران المحورية 8 درجات لكل الدعامات.

ثم تمت طباعة الدعامات المعدنية بواسطة الطابعة الليزرية للمعادن حيث تعتبر أدق بشكل كبير من الطرق التقليدية لصب المعدن وكما تقلل الوقت والتكاليف.

طريقة العمل:

تجهيز العينة:

تم طباعة 40 دعامة معدنية بواسطة الطابعة الليزرية للمعادن وذلك بعد تصميميها حاسوبياً من أجل استقبال تيجان خزفية بالكامل.

ترقيم العينة:

أعطيت المجموعة الأولى والتي تمت تسميتها بالمجموعة Aالتي يكون فيها تحضير السطح الطاحن للدعامات المعدنية بشكل تشريحي تقليدي والتي تتكون تيجانها من القلنسوات الزركونية وفوقها الخزف المغطي بطريقة الطبقات الأرقام(1-10).

أعطيت المجموعة الثانية والتي تمت تسميتها بالمجموعة B التي يكون فيها تحضير السطح الطاحن للدعامات المعدنية بشكل تشريحي تقليدي والتي تتكون تيجانها من تيجان زركونية وحيدة الطبقة بدون وجود خزف مغطي الأرقام (11-20).

أعطيت المجموعة الثالثة والتي تمت تسميتها بالمجموعة C التي يكون فيها تحضير السطح الطاحن للدعامات المعدنية بشكل مستوي والتي تتكون تيجانها من تيجان زركونية وحيدة الطبقة بدون خزف مغطي الأرقام (21-30).

أعطيت المجموعة الرابعة والتي تمت تسميتها بالمجموعة Dالتي يكون فيها تحضير السطح الطاحن للدعامات المعدنية بشكل مستوي يحوي ميزاب أنسي وحشي والتي تتكون تيجانها من تيجان زركونية وحيدة الطبقة بدون وجود خزف مغطي الأرقام (31-40).

تم الترقيم (1–40) على الدعامات المعدنية عن طريق

تصميم الأرقام وطباعتها مع الدعامات بواسطة الطابعة الليزرية للمعادن وذلك من أجل سهولة العمل.

تصنيع القلنسوات الزركونية لتيجان المجموعة A:

تم مسح كل من الدعامات المعدنية للمجموعة A من (1-10) بواسطة جهاز ZD.scan.

وبعد إتمام عملية المسح تم تحديد منطقة الحواف ومحاور الادخال للتيجان الزركونية قبل تصميم القلنسوات.

ثم تم تصميم القلنسوات الزركونية لتيجان المجموعة A بسماكة 0.5 ملم.

ثم تم التفريز بواسطة جهاز ZD.mill باستعمال رؤوس مختلفة من أجل تحري الدقة.

ثم تم ادخال القلنسوات إلى فرن التلبيد بدرجة حرارة 1200 لمدة 7 ساعات.

تصنيع الخزف المغطي لتيجان المجموعة A:

تم صنع الخزف المغطي بسماكة موحدة 1 ملم و ذلك لإلغاء تدخل هذا العامل بنتائج البحث.

تصنيع التيجان الزركونية للمجموعات B.C.D:

تم مسح كل من الدعامات المعدنية للمجموعات B.C.D من (11-40) بواسطة جهاز ZD.scan.

وبعد إتمام عملية المسح تم تحديد منطقة الحواف ومحاور الادخال للتيجان الزركونية قبل تصميم التيجان.

ثم تم تتصميم التيجان الزركونية وفق المعايير المحددة سابقاً.

ثم تم التفريز بواسطة جهاز ZD.mill باستعمال رؤوس مختلفة من أجل تحري الدقة.

ثم تم ادخال القلنسوات إلى فرن التلبيد بدرجة حرارة 1200 لمدة 7 ساعات.

إلصاق التيجان الزركونية على الدعامات المعدنية:

تم إلصاق التيجان الزركونية المصنعة وفق نظام CAD/CAM على الدعامات المعدنية المصنعة بواسطة الطابعة الليزرية للمعادن باستخدام الاسمنت الزجاجي

الشاردي GIC من شركة 3M وفقاً لتعليمات الشركة المصنعة وذلك باستخدام ملزمة الإلصاق لتوحيد قوة الضغط بوزن (5 كغ).

وبعد إزالة الزائد أصبحت العينات جاهزة لإجراء الاختبارات الميكانيكية.

.

إجراء الاختبار الميكانيكي:

تم وضع شريط لاصق حول كل عينة لمنع تطاير الخزف المتشظي أثناء إجراء الاختبار.

تم تطبيق قوة ضغط عمودية في مركز التاج بسرعة 0.5 ملم/د بواسطة جهاز الاختبارات الميكانيكية العام وتم تسجيل القوة اللازمة لحدوث الكسر في التاج بالنيوتن.

وصف العينة:

تكونت عينة البحث من 40 تاجاً خزفياً من الزركونيا المصنعة وفق نظام CAD/CAM على الدعامات المعدنية المصنعة بواسطة الطابعة الليزرية للمعادن مقسمة على المجموعات التالية :المجموعة (A) تتكون تيجانها من القلنسوات الزركونية وطبق فوقها الخزف المغطي بطريقة الطبقات Layring Technique . والمجموعات (B.C.D) تتكون من التيجان الزركونية وحيدة الطبقة مقسمة بالتساوي وفقا لشكل تحضير السطح الطاحن للدعامة.

الدراسة الإحصائية:

تم جمع البيانات وتسجيلها على برنامج Excel من شركة Microsoft. ومن ثم أُجريت الاختبارات الإحصائية باستخدام برنامج SPSS v.25 (IBM, USA) مع اعتماد مستوى الدلالة 0.05.

استخدم اختبار Shapiro-Wilk لتحديد طبيعة توزع البيانات في مجموعات الدراسة. وتم استخدام الاختبار الموافق.

المجموعة	قيمة الاختبار	درجات الحرية	قيمة P
المجموعة A	0.845	10	0.051
المجموعة B	0.929	10	0.434
المجموعة C	0.887	10	0.158
المجموعة D	0.964	10	0.833

استخدم اختبار تحليل التباين الأحادي (One-Way ANOVA) مع المقارنات الثنائية باختبار Tuckey لدراسة الاختلاف في مقاومة قوى الكسر بين مجموعات الدراسة.

كانت جميع بيانات مجموعات الدراسة ذات توزع طبيعي حسب اختبار Shapiro-Wilk ($p > 0.05$).

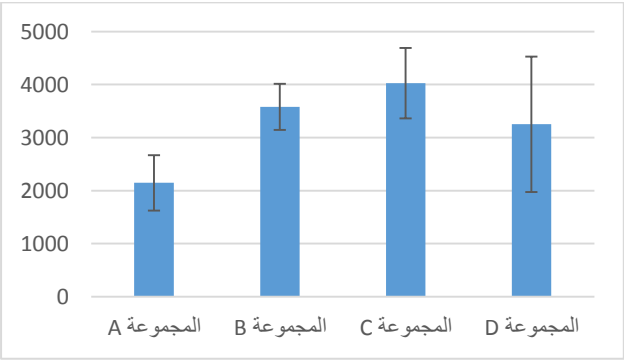
جدول () نتائج اختبار Shapiro-Wilk لتحديد طبيعة توزع البيانات

القيم المذكورة هي المتوسط الحسابي ± الانحراف المعياري ما لم يذكر سوى ذلك. تزايدت مقاومة قوى الكسر في مجموعة التيجان المصنوعة من كور زيركون مع خزف مغطي فوق الدعامات ذات السطح الإطباقي التشريحي (المجموعة A) 2146.8 ± 521.7 نيوتن إلى مجموعة التيجان المصنوعة من زيركون وحيد الطبقة فوق الدعامات ذات السطح الإطباقي الذي يحوي ميزاب أنسي وحشي (المجموعة D) 3251.5 ± 0.4 نيوتن إلى مجموعة التيجان المصنوعة من زيركون وحيد الطبقة فوق الدعامات ذات السطح الإطباقي التشريحي (المجموعة B) 3578.9 ± 434.6 نيوتن إلى مجموعة التيجان المصنوعة من زيركون وحيد الطبقة فوق الدعامات ذات السطح الإطباقي المستوي (المجموعة C) 4026.9 ± 665.1 نيوتن وقد كان هناك فرق جوهري إحصائيًا بين المجموعات ($p < 0.001$).

وأظهرت المقارنات الثنائية أن مقاومة قوى الكسر في المجموعة A كانت أقل بشكل جوهري إحصائيًا منها في كلٍّ من المجموعة B بمقدار 1432.1 نيوتن ($p = 0.002$) والمجموعة C بمقدار 1880.1 نيوتن ($p < 0.001$) والمجموعة D بمقدار 1104.7 نيوتن ($p = 0.019$)،ولم يكن هناك أي فروق جوهرية إحصائيًا بين المجموعات B و C و D ($p > 0.05$).

جدول الإحصاء الوصفي لمقاومة قوى الكسر في مجموعات الدراسة

المجموعة	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	أدنى قيمة	أعلى قيمة	مجال الثقة 95% للمتوسط		P
					الحد الأدنى	الحد الأعلى	
المجموعة A	2146.8	521.7	1520	3252	1773.6	2520	.000
المجموعة B	3578.9	434.6	2975	4266	3268	3889.8	
المجموعة C	4026.9	665.1	3056	5041	3551.1	4502.7	
المجموعة D	3251.5	1278.3	1350	5772	2337	4166	



مخطط المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية لمقاومة قوى الكسر في مجموعات الدراسة

جدول المقارنات الثنائية لمقاومة قوى الكسر بين مجموعات الدراسة

المجموعة		الفرق بين المتوسطين	P	مجال الثقة 95% لفرق المتوسطين	
				الحد الأدنى	الحد الأعلى
المجموعة A	المجموعة B	-1432.1	0.002	-2391.4	-472.8
	المجموعة C	-1880.1	0.000	-2839.4	-920.8
	المجموعة D	-1104.7	0.019	-2064.0	-145.4
المجموعة B	المجموعة C	-448.0	0.595	-1407.3	511.3
	المجموعة D	327.4	0.795	-631.9	1286.7
المجموعة C	المجموعة D	775.4	0.149	-183.9	1734.7

المناقشة:

مناقشة المواد والطرائق:

تم إجراء هذا البحث بهدف دراسة تأثير اختلاف نمط تحضير السطح الطاحن على مقاومة الكسر لتيجان الزركونيا وحيدة الطبقة المصنعة بتقنية CAD/CAM. تم تصميم الدعامات المعدنية حاسوبياً وفقا للمعايير الخاصة لاستقبال الترميمات الخزفية الكاملة مما يؤمن إمكانية مقارنة نتائج البحث وذلك لتوحيد تصميم تحضير الجدران المحورية ب 1.2 ملم وشبه الكتف بعرض 1 ملم ودرجة ميلان الجدران 8 درجات وألغيت بذلك مشكلة اختلاف التحضير وما لذلك من أثر على نتائج البحث.(Rosentritt, Steiger et al. 2009)

تم صنع الدعامات من المعدن بواسطة الطابعة الليزرية للمعادن بدلاً من الأسنان الطبيعية حيث تمتلك تيجان الزركونيا MZC مقاومة كسر تصل ل 10 كيلو نيوتن عند سماكة إطباقية للتيجان 1.5 ملم ومع ذلك حدث كسر عند استخدام الأسنان الطبيعية كدعامات كما في دراسة strub. (Strub and Beschnidt 1998)

يفضل استخدام الدعامات المعدنية لتحملها قوى الكسر المطبقة على التيجان بشكل أفضل بكثير من استخدام الدعامات المصنعة من PMMA والتي سببت استبعاد عينات بسبب كسر في الدعامة قبل كسر التيجان كما في دراسة Jang. (Jang, Kim et al. 2011)

تتميز الدعامات المعدنية بمعامل مرونة 193 غيغا باسكال وهو أكبر من مثيله في الأسنان الطبيعية (50-8)غيغا باسكال حيث أن لمعامل مرونة الدعامات تأثيراً على قوة تحمل التيجان الزركونية للكسر. (Beuer, Stimmelmayr et al. 2012)

تم استخدام خزف الزركونيا لتميزه بخواصه الميكانيكية العالية وثباته اللوني الجيد وناقليته المنخفضة للحرارة وظلاليته الشعاعية الجيدة.(Manicone, Iommetti et al. 2007) تتميز الزركونيا بأنها من المواد الكتيمة التي تخفي ما تحتها وخصوصاً عند استخدامها للتعويض فوق الزرعات أو عند تلون الدعامات أو وجود الحشوات المعدنية أو القلوب والأوتاد المصبوبة.(Habibi, Dawid et al. 2020) أما الخزف المغطي فهو معد للتطبيق على سطح القلنسوات

الزركونية بحيث يلائم معامل التمدد الحراري للزركونيا كما في تعليمات الشركة المصنعة.

تم تصميم القنسوات لتيجان المجموعة A بتقنية ال CAD/CAM وذلك لتوحيد سماكة القلنسوات ب 0.5 ملم.

تم تطبيق الخزف المغطي في تيجان المجموعة A بسماكة متجانسة لنفي تأثير سماكة طبقة الخزف المغطي على مقاومة الكسر حيث أن زيادة سماكة الخزف المغطي تزيد من مقاومة الكسر للتيجان الخزفية الكاملة وكما يعتبر الخزف المغطي ضرورياً لتأمين الناحية الجمالية للتيجان الخزفية الكاملة.(Stawarczyk, Özcan et al. 2011)

تم إلصاق جميع التيجان الزركونية بواسطة الاسمنت الزجاجي الشاردي حيث يتمتع بخواص ميكانيكية ممتازة وخصوصاً عند استخدامه مع التيجان الزركونية حيث لايوجد تأثير لنوع الاسمنت المستخدم على مقاومة الكسر لتيجان الزركونية.(Nakamura, Mouhat et al. 2016)

تم استخدام ملزمة الإلصاق لتوحيد القوة المطبقة ونفي أي أخطاء أثناء الإلصاق.

من أجل زيادة ديمومة التيجان الزركونية يجب تصميمها بحيث تكون العلاقات الاطباقية متوازنة والسماكات الاطباقية مضبوطة بشكل دقيق حيث نميل لتقليل سماكة التيجان الزركونية مع المحافظة على تحمل كاف للقوى الاطباقية وخصوصاً في الأرحاء لذلك تم اختيار عينات البحث على شكل دعامات لأرحاء أولى سفلية.(Dejak, Młotkowski et al. 2012)

ثم تمت طباعة الدعامات المعدنية بواسطة الطابعة الليزرية للمعادن حيث تعتبر أدق بشكل كبير من الطرق التقليدية لصب المعدن وكما تقلل الوقت والتكاليف(Bae, Hong et al. 2020) (Revilla-León and Özcan 2017)

إن إضافة ميزاب اطباقي أنسي وحشي على السطح الإطباقي لدعامات المجموعة D يساهم بزيادة مساحة سطح الدعامات مما يزيد من ثبات التيجان. (Nakamura, Harada et al. 2015)

مناقشة النتائج:

مناقشة نتائج الدراسة الميكانيكية :

وجد أن قيمة متوسط القوى المطبقة على تيجان المجموعة Bقد زادت عن مثيلتها في تيجان المجموعة A كما نلاحظ أن قيمة متوسط القوى المطبقة على تيجان المجموعة D قد زادت عن مثيلتها في تيجان المجموعة B والتي زادت عن مثيلتها في تيجان المجموعة C.

حيث نلاحظ أن مقاومة الكسر لتيجان المجموعة (A) كانت أقل من باقي المجموعات ولكن بعد إجراء الدراسة الإحصائية لتأثير نمط تحضير السطح الطاحن على مقاومة الانكسار عند استخدام التيجان الزركونيا وحيدة المرحلة تبين أن هذه الفروق غير دالة وبالتالي فإن مقاومة الكسر للتيجان عند تطبيق قوة ضغط عمودية في المجموعات الثلاثة (B-C-D) متشابهة.

أما عند إجراء الدراسة الإحصائية بين المجموعتين (B−A) تبين وجود فروق ذات دلالة إحصائية بين المجموعتين وبالتالي فان مقاومة الكسر للتيجان الزركونية وحيدة المرحلة تكون أكبر من التيجان الزركونية ثنائية الطبقة ويعود ذلك لاستخدام الخزف المغطي في تيجان المجموعة (A).

ضمن حدود هذه الدراسة اختلفنا مع TSUYUKI وزملاؤه عام 2018 أن لنمط تحضير السطح الطاحن تأثيراً على مقاومة الانكسار لتيجان الزركونيا وحيدة المرحلة فقد وجدوا أن إضافة ميزاب أنسي وحشي على السطح الطاحن للدعامات ينقص مقاومتها للكسر فيما لم نجد تأثيراً لذلك وقد يعود سبب الاختلاف لاختلاف سماكة التيجان

الزركونية في المنطقة الاطباقية التي طبقت عليها قوة الكسر أما في دراستنا فتم توحيد سماكة التيجان في المنطقة الاطباقية.

اتفقنا مع *Sorrentino* وزملاؤه في أن التيجان الزركونية وحيدة الطور المصنعة بتقنية CAD/CAM تتحمل القوى الاطباقية بسماكات منخفضة حيث درس مقاومة الكسر للتيجان الزركونية بسماكات منخفضة(0.5-1-1.5-2) وكانت النتيجة أن سماكة 0.5 ملم كافية لتحمل القوى الاطباقية لكنه لم يجد تأثير لسماكة التيجان على مقاومة الانكسار.

اختلفنا مع Carlos في دراسته حول تحمل القوى الاطباقية بين الزركون وحيد الطبقة والزركون ثنائي الطبقة حيث لم يجد أية فروق بينهما من ناحية مقاومة الانكسار ويعزى ذلك لاستخدامه عينات من جسور مؤلفة من 3 قطع وليس دعامات مفردة.

الاستنتاجات:

حققت تيجان الزيركونيا وحيدة المرحلة مقاومة أكبر للكسر مقارنة مع التيجان ثنائية الطبقة في حال تحضير السطح الطاحن للدعامات بشكل تشريحي.

لم يؤثر نمط تحضير السطح الطاحن على مقاومة الكسر عند استخدام تيجان الزيركونيا وحيدة الطبقة.

التوصيات:

نوصي باستخدام تيجان الزركون وحيدة المرحلة بغض النظر عن نمط تحضير السطح الطاحن في المناطق التي تتركز فيها جهود إطباقية قد تؤدي لتكسر الخزف.

نوصي بإجراء دراسات لتقييم مقاومة انكسار تيجان الزركون بسماكات مختلفة وفق نمط تحضير السطح الطاح.

Reerences

1. Aboushelib, M. N. (2010). "Long term fatigue behavior of zirconia based dental ceramics." Materials **3**(5): 2975-2985.
2. AL-AMLEH, B., K. Lyons and M. Swain (2010). "Clinical trials in zirconia: a systematic review." Journal of oral rehabilitation **37**(8): 641-652.
3. Bae, S., M.-H. Hong, H. Lee, C.-H. Lee, M. Hong, J. Lee and D.-H. Lee (2020). "Reliability of metal 3D printing with respect to the marginal fit of fixed dental prostheses: A systematic review and meta-analysis." Materials **13**(21): 4781.
4. Bakitian, F., P. Seweryniak, E. Papia, C. Larsson and P. V. von Steyern (2018). "Effect of different semimonolithic designs on fracture resistance and fracture mode of translucent and high-translucent zirconia crowns." Clinical, cosmetic and investigational dentistry **10**: 51.
5. Beuer, F., M. Stimmelmayr, J.-F. Gueth, D. Edelhoff and M. Naumann (2012). "In vitro performance of full-contour zirconia single crowns." Dental materials **28**(4): 449-456.
6. Bindl, A., H. Lüthy and W. Mörmann (2006). "Thin-wall ceramic CAD/CAM crown copings: strength and fracture pattern." Journal of oral rehabilitation **33**(7): 520-528.
7. Conrad, H. J., W.-J. Seong and I. J. Pesun (2007). "Current ceramic materials and systems with clinical recommendations: a systematic review." The Journal of prosthetic dentistry **98**(5): 389-404.
8. Dejak, B., A. Młotkowski and C. Langot (2012). "Three-dimensional finite element analysis of molars with thin-walled prosthetic crowns made of various materials." Dental Materials **28**(4): 433-441.
9. Denry, I. and J. R. Kelly (2008). "State of the art of zirconia for dental applications." Dental materials **24**(3): 299-307.
10. Goodacre, C. J., W. V. Campagni and S. A. Aquilino (2001). "Tooth preparations for complete crowns: an art form based on scientific principles." The Journal of prosthetic dentistry **85**(4): 363-376.
11. Habibi, Y., M. T. Dawid, M. Waldecker, P. Rammelsberg and W. Bömicke (2020). "Three-year clinical performance of monolithic and partially veneered zirconia ceramic fixed partial dentures." Journal of Esthetic and Restorative Dentistry **32**(4): 395-402.
12. Jang, G., H. Kim, H. Choe and M. Son (2011). "Fracture strength and mechanism of dental ceramic crown with zirconia thickness." Procedia Engineering **10**: 1556-1560.
13. Juntavee, N. and S. Kornrum (2020). "Effect of Marginal Designs on Fracture Strength of High Translucency Monolithic Zirconia Crowns." International Journal of Dentistry **2020**.
14. Kokubo, Y., M. Tsumita, T. Kano and S. Fukushima (2011). "The influence of zirconia coping designs on the fracture load of all-ceramic molar crowns." Dental Materials Journal **30**(3): 281-285.
15. Manicone, P. F., P. R. Iommetti and L. Raffaelli (2007). "An overview of zirconia ceramics: basic properties and clinical applications." Journal of dentistry **35**(11): 819-826.
16. McLaren, E. A. and R. A. Giordano (2005). "Zirconia-based ceramics: material properties, esthetics and layering techniques of a new veneering porcelain, VM9." Quintessence Dent Technol **28**: 99-111.
17. Nakamura, K., A. Harada, R. Inagaki, T. Kanno, Y. Niwano, P. Milleding and U. Örtengren (2015). "Fracture resistance of monolithic zirconia molar crowns with reduced thickness." Acta Odontologica Scandinavica **73**(8): 602-608.
18. Nakamura, K., M. Mouhat, J. M. Nergård, S. J. Lægreid, T. Kanno, P. Milleding and U. Örtengren (2016). "Effect of cements on fracture resistance of monolithic zirconia crowns." Acta biomaterialia odontologica Scandinavica **2**(1): 12-19.
19. Nakamura, T., Y. Nakano, H. Usami, S. Okamura, K. Wakabayashi and H. Yatani (2020). "In vitro investigation of fracture load and aging resistance of high-speed sintered monolithic tooth-borne zirconia crowns." Journal of prosthodontic research **64**(2): 182-187.
20. Özkurt, Z. and E. Kazazoğlu (2010). "Clinical success of zirconia in dental applications." Journal of Prosthodontics: Implant, Esthetic and Reconstructive Dentistry **19**(1): 64-68.
21. Piconi, C. and G. Maccauro (1999). "Zirconia as a ceramic biomaterial." Biomaterials **20**(1): 1-25.
22. Pilathadka, S. and D. Vahalová (2007). "Contemporary All-ceramic Materials-Part 1." ACTA MEDICA-HRADEC KRALOVE- **50**(2): 101.

23. Revilla-León, M. and M. Özcan (2017). "Additive manufacturing technologies used for 3D metal printing in dentistry." Current Oral Health Reports **4**(3): 201-208.
24. Rosentritt, M., D. Steiger, M. Behr, G. Handel and C. Kolbeck (2009). "Influence of substructure design and spacer settings on the in vitro performance of molar zirconia crowns." Journal of dentistry **37**(12): 978-983.
25. Schriwer, C., A. Skjold, N. R. Gjerdet and M. Øilo (2017). "Monolithic zirconia dental crowns. Internal fit, margin quality, fracture mode and load at fracture." Dental materials **33**(9): 1012-1020.
26. Silva, N. R., I. Sailer, Y. Zhang, P. G. Coelho, P. C. Guess, A. Zembic and R. J. Kohal (2010). "Performance of zirconia for dental healthcare." Materials **3**(2): 863-896.
27. Stawarczyk, B., M. Özcan, M. Roos, A. Trottmann, I. Sailer and C. H. Hämmerle (2011). "Load-bearing capacity and failure types of anterior zirconia crowns veneered with overpressing and layering techniques." Dental Materials **27**(10): 1045-1053.
28. Strub, J. R. and S. M. Beschnidt (1998). "Fracture strength of 5 different all-ceramic crown systems." International Journal of Prosthodontics **11**(6).
29. Welander, M., I. Abrahamsson and T. Berglundh (2008). "The mucosal barrier at implant abutments of different materials." Clinical oral implants research **19**(7): 635-641.
30. Yin, R., M.-H. Lee, T.-S. Bae and K.-Y. Song (2019). "Effect of finishing condition on fracture strength of monolithic zirconia crowns." Dental materials journal **38**(2): 203-210.
31. Zarone, F., S. Russo and R. Sorrentino (2011). "From porcelain-fused-to-metal to zirconia: clinical and experimental considerations." Dental materials **27**(1): 83-96.