

In Vitro Evaluation of Shear Bond Strength with OrthGuide Computer-Aided Indirect Bonding Variables: Tray Design Versions and Composite Texture

Dr. Shadi Mowad^{*}
Hasan Al-Daher^{**}

(Received 3 / 9 / 2024. Accepted 19 / 11 / 2024)

□ ABSTRACT □

Objective: This laboratory study aims to conduct a comparison between two indirect adhesive methods that share modern computer-assisted design and manufacturing with regard to measuring the ability of orthodontic brackets to resist shear forces applied to them during the treatment period, in addition to investigating the existence of a correlation between the quality of the adhesive used and its ability to reach the top resistant to the aforementioned forces.

Materials and Methods: The research sample consisted of 60 newly extracted upper premolars that were distributed into 4 groups according to the method of designing the orthodontic bracket molds and the type of adhesive material used in them. American mini master 0.022 MBT brackets were affixed to all of them using 3D printed resin holders and trays of Thermally plasticized polyvinyl siloxane, using two types of light curing composites and dual curing ones. Then, the resistance of these adhesive brackets to shear forces was tested through a set of appropriate laboratory tests.

Results: The results of this study showed that the greatest value of resistance to shear bond strength was in the group of brackets affixed via 3D printed resin holders and light cured composite, while there were no significant differences between the rest of the groups.

Conclusions: Bonding metal orthodontic brackets using 3D-printed holders produced sufficient bond strengths to meet clinical needs. Also, brackets bonded to thermoplastic trays did not show adequate strength when it tested, even with the use of two types of adhesive materials in the study.

Keywords: 3D printed resin trays, Transparent thermoplastic holders, Dual curing composite, Shear bond strength.

Copyright  :Tishreen University journal-Syria The authors retain the copyright under a CC BY-NC-SA 04

^{*} Assistant Professor - Department of Orthodontics, Faculty of Dentistry, Tishreen University, Latakia, Syria.

^{**} MD Student - Department of Orthodontics, Faculty of Dentistry, Tishreen University, Latakia, Syria.

تقييم مخبري لقوى القص في الإلصاق التقويمي غير المباشر المنجز بمساعدة الحاسب طبقاً لمتغيرات تصميم القالب وقوام الراتنج المستخدم

د. شادي معوض*

حسن الظاهر**

(تاريخ الإيداع 3 / 9 / 2024. قبل للنشر في 19 / 11 / 2024)

□ ملخص □

الهدف: تهدف هذه الدراسة المخبرية إلى إجراء مقارنة بين وسيلتي إلصاق غير مباشر تشتركان في حدثتهما تصميمياً وتصنيعاً بمساعدة حاسوبية فيما يتعلق بقياس قدرة الحاصرات التقويمية على مقاومة قوى القص المطبقة عليها إبان فترة المعالجة بالإضافة إلى تحري وجود ارتباط بين نوعية اللاصق المستخدم وقدرته على الوصول لأعلى مقاومة للقوى المذكورة.

المواد والطرائق: تألفت عينة البحث من 60 ضاحكة علوية مقلوعة حديثاً تم توزيعها إلى 4 مجموعات تبعاً لطريقة تصميم قوالب إلصاق الحاصرات التقويمية ونوع مادة الإلصاق المستخدمة فيه.. ألصقت عليها جميعاً حاصرات من طراز American mini master 0.022 MBT بواسطة قوالب من الريزين المطبوع ثلاثي الأبعاد وحوامل من البولي فينيل سيلوكسان الملدن حرارياً ، وذلك باستخدام نوعين من الكومبوزيت الضوئي والثنائي التصلب.. ومن ثم تم اختبار مقاومة تلك الحاصرات الملصقة لقوى القص عبر مجموعة من الاختبارات المعملية الملائمة.

النتائج: أظهرت نتائج هذه الدراسة أن أكبر قيمة لمقاومة قوى القص كانت في مجموعة الحاصرات الملصقة عبر النواقل الريزينية المطبوعة ثلاثية الأبعاد والكومبوزيت الضوئي التصلب ، فيما لم يكن هناك فروق معنوية ذات أهمية بين باقي المجموعات.

الاستنتاجات: أدى إلصاق الحاصرات التقويمية المعدنية باستخدام النواقل المطبوعة ثلاثية الأبعاد إلى إنتاج قوى ارتباط كافية لتلبية الاحتياجات السريرية.. كما لم تبد الحاصرات الملصقة بواسطة الصفائح الملدنة حرارياً قوى ملائمة عند اختبارها حتى مع استخدام نوعين من مواد الإلصاق في الدراسة.

الكلمات المفتاحية: القوالب الريزينية المطبوعة ثلاثية الأبعاد، حوامل الإلصاق الشفافة الملدنة حرارياً، الكومبوزيت ثنائي التصلب، قوى القص.



حقوق النشر: مجلة جامعة تشرين- سورية، يحتفظ المؤلفون بحقوق النشر بموجب الترخيص CC BY-NC-SA 04

* مدرس - قسم تقويم الأسنان والفكين، كلية طب الأسنان، جامعة تشرين، اللاذقية، سوريا.

** طالب ماجستير - قسم تقويم الأسنان والفكين، كلية طب الأسنان، جامعة تشرين، اللاذقية، سوريا.

مقدمة:

تعتبر التقنية الموصوفة ضمن الأدبيات الطبية بـ "الإلصاق غير المباشر" بديلاً ناجعاً للأسلوب التقليدي لوضع الحاصرات، حيث تزايدت شعبيتها في السنوات الأخر القلائل نظراً لكونها توفر مزيجاً فريداً من الدقة والكفاءة؛ كما أنها تحسن فعالية الإجراء بالخاصة، وتقلل من عدد المراحل الفنية والوقت الإكلينيكي الفعلي على الكرسي السني، مما يساهم في نهاية المطاف بتعزيز راحة المريض والممارس على حد سواء [1].

* تاريخياً، وُصف الإلصاق غير المباشر لأول مرة عام 1973 من قبل "Silverman" و "Cohen"، وذلك على أنه طريقة يتم فيها تطبيق مجموعة من الحاصرات على المثال الجبسي بشكل قابل للإزالة نحو موقع مختار من قبل المقوم [2]؛

منذ ذلك الحين - أي الوقت الذي كان فيه هذا النمط من الإلصاق يعتمد بشكل مباشر على الجهود الصرفة للقوى البشرية، ابتداءً من صب الأمثلة الجبسية، مروراً بالضبط المسبق لأماكن الحاصرات على المثال، وصولاً لصناعة الصفيحة المضاعفة التي ستتقل الحاصرات لمواقعها [3]، حصلت قفزات متسارعة في هذا المجال أحالت العامل البشري بكل ما يعتريه من قصور، أحالته إلى الإشراف على البرنامج الحاسوبي وتوجيهه على أبعد تقدير [4]؛ فتسجيل الطباعات ونسخها سلبياً تم استبداله بما يعرف بالـ Intraoral Scanning، وتحديد محاور الأسنان ومقادير تزويها أصبح مهمة الـ Ortho Analysers بكافة إصداراتها، وصناعة صفائح النقل عبر جهاز الفاكيوم صار من مهام الطابعات ثلاثية الأبعاد [5]. باختصار، إن عصر الذكاء الصناعي قد حل بلا شك !

• عموماً، أحدث تطور تقنيات الإلصاق وتنوعها على مدار العقدين الأخيرين تطوراً مهماً في الممارسة السنية، حيث شكل الاستخدام الكبير للمواد اللاصقة واحداً من أكثر التطورات المفيدة في طب الأسنان الوقائي والترميمي [6]، حيث يلعب الإلصاق دوراً مهماً في تقويم الأسنان ولاسيما من حيث تثبيت الحاصرات على الأسنان، حيث يتضمن هذا الإجراء ربط سطحين صلبين بواسطة طبقة من المادة اللاصقة، وهنا تلعب صفات السطح المستقبل وخصائص المادة اللاصقة دوراً مهماً في تحقيق هذا الارتباط [6]، إذ تتحكم العديد من العوامل في تحقيق التصاق مثالي [6] مثل نظافة السطح وطريقة تكييف المادة اللاصقة وقدرتها على الترطيب، بالإضافة إلى التصليب الجيد لها.

• يذكر أن حوالي 90% من مقومي الأسنان يقومون بإلصاق الحاصرات التقيمية بالطريقة المباشرة عوضاً عن الطريقة غير المباشرة، بينما يتم استخدام الإلصاق غير المباشر عند إلصاق الحاصرات دهليزياً لدى 18% فقط من مستخدمي هذه الطريقة [7]، ويمكن اختصار مراحل العملية بالآتي [8]:

1. إجراء مسح ثلاثي الأبعاد للأمثلة الجبسية باستخدام (D-Scanner3) أو مباشرة لفم المريض باستخدام (OralScanner)
2. الحصول على نموذج مجسم (Steriolithography) ثلاثي الأبعاد للمثال.
3. تقطيع الأسنان بشكل فردي على المثال السني
4. وضع الحاصرات على المثال الافتراضي
5. صناعة الطابع سواءاً بالتشكيل الحراري أو الطباعة ثلاثية الأبعاد

طرائق البحث ومواده:

عينة الدراسة:

تألفت عينة البحث من 60 ضاحكة بشرية علوية سليمة محفوظة ضمن وسط حفظ مناسب، تم تقسيمها عشوائياً إلى أربع مجموعات متساوية كل منها تحوي 15 ضاحكة تبعا لنوع مادة الإصاق وطريقة تصميم صفيحة النقل المستخدمة بحيث كان توزيع المجموعات كالتالي:

م1 : مجموعة النواقل المطبوعة ثلاثية الأبعاد مع الكومبوزيت ضوئي التصلب

م2 : مجموعة النواقل المطبوعة ثلاثية الأبعاد مع الكومبوزيت ثنائي التصلب

م3 : مجموعة الصفائح الشفافة الملدنة حرارياً مع الكومبوزيت ضوئي التصلب

م4 : مجموعة الصفائح الشفافة الملدنة حرارياً مع الكومبوزيت ثنائي التصلب

معايير انتقاء العينة (Inclusion Criteria) :

- 1- أن تكون ضواحك علوية أولى أو ثانية.
- 2- أن تكون الضاحكة مقلوعة حديثاً ولم تزد مدة حفظها الإجمالية عن ستة أشهر
- 3- أن تكون ميناء الضاحكة وخاصة السطح الدهليزي سليماً وخالياً من الشذوذات المينائية التطورية والآفات المينائية المكتسبة كالنخور، وكذلك خالياً من الترميمات السنية .
- 4- أن تكون الضاحكة المستهدفة خالية تماماً من التصدعات المينائية .
- 5- لم يسبق أن الصفقت حاصرات على الضواحك المقلوعة.
- 6- أن تكون الضاحكة غير معرضة لأي عملية تخريش حمضي أو تبييض سني أو مس فلوري

تحضير الأسنان بعد القلع:

حفظت الأسنان بعد القلع مباشرة ضمن عبوات زجاجية حاوية على الفورمالين 10% لمدة أسبوع لمنع التجفاف والنمو البكتيري، وبعد ذلك نظفت من البقايا العضوية والقلح بأداة تقليح، ومن ثم حفظت العينات في الماء المقطر وبدرجة حرارة الغرفة، والذي بُدّل بدوره أسبوعياً لحين إجراء التجربة [9]

تقييم الأسنان المقلوعة لاختيار العينة:

جمعت تقريباً 300 ضاحكة من مصادر محددا سلفاً، وقيمت عيناها لاستبعاد جميع الأسنان الحاوية على شذوذات شكلية أو حجمية أو نخور أو كسور، ومن ثم تم اللجوء لاستخدام المكبرة الضوئية (Motic، Xiamen China) عند تكبير 20x لاستبعاد أي أسنان تحوي على تصدعات مينائية واضحة

تم فحص الأسنان باستخدام المكبرة مع توافر مصدر جيد للضوء على بعد 2 سم تقريباً من السن، حيث تم مراعاة تدوير الأسنان 360 درجة حول نقطة مركزية على السطح الشفوي، إذ لا بد أن تكون الأشعة الساقطة عمودية على الصدع للتمكن من كشفه، وإذا تطلب الأمر كان يتم تحريك مصدر الضوء إلى الأمام والخلف أو تغيير زاوية الإضاءة لتأمين رؤية أكثر وضوحاً للصدع الموجود.

تم أخذ عدة صور ضوئية للسن الواحد، ونقلت للحاسب للاحتفاظ بها للمقارنة مع الصور المأخوذة بعد القص لتقييم أدية الميناء والتغيرات الحاصلة عليها.

شملت العينة جميع الأسنان ذات الميناء السليم، حيث تم في النهاية انتقاء 60 ضاحكة تنطبق عليها الشروط المذكورة.

تثليم سطح الجذر:

تم تثليم سطح الجذور باستخدام سنبل شاقة مع قبضة ذات سرعة عالية، حيث أجريت أثلام باتجاهات مختلفة على سطح الجذر وذلك بهدف زيادة الارتباط الميكانيكي للسن مع الإكريل ذاتي التماس.

تهيئة القواعد الإكريلية:

وقد تم العمل هنا على مرحلتين أحدهما قبل إلصاق الحاصرات والأخرى بعدها:

في المرحلة الأولى تم مزج كمية مناسبة من مسحوق الإكريل ذاتي التماس (Respal acrylic, Italy) مع السائل الخاص به ضمن حنجور زجاجي ثم صب عند وصوله إلى القوام العجيني ضمن قالب من الورق المقسى لها شكل نصف نعل فرس، وغمرت الضواحك ضمن القوالب بحيث يكون مستوى الإكريل بعد التصلب بعيداً عن العنق التشريحي للسن بمقدار 2 ملم، وهذا كله لمحاكاة انحناء الفك العلوي وضمان سهولة عمل نسخة رقمية سلبية للمثال ومن ثم صناعة حوامل شفافة ونواقل مطبوعة للحاصرات تخدم البحث المنجز وذلك عبر مخرطة (Phrozen 4K Dental, Taiwan) الموجودة لدى مختبرات "DA3"

في المرحلة الثانية تم استخدام قبضة مستقيمة مع قرص فصل معدني لفصل الأسنان عن بعضها بعد إلصاق الحاصرات (American Mini Master orthodontic, USA, 0,22 MBT) ومن ثم إعادة وضع كل منها بشكل منفرد ضمن قالب بلاستيكي من البولي فينيل كلوريد (PVC) مليء بالإكريل المذاب في مرحلته العجينية فنحصل بالنتيجة على سن مزروع ضمن قاعدة إكريلية تناسب فتحة العمل الموجودة ضمن جهاز الـ Ibertest لتسهيل إجراء الاختبارات الميكانيكية مع مراعاة أن يكون المحور الطولي للتاج عمودياً على القالب [41]

إلصاق الحاصرات التقويمية

مراحل الإلصاق:

1 - التنظيف والصقل:

نظفت السطوح الدهليزية للأسنان المقلوعة بمسحوق الخفان ذي الحبيبات الناعمة الخالي من الفلور والممزوج بالماء بواسطة فرشاة تلميع باستخدام قبضة ذات سرعة بطيئة، ثم غسلت بتيار من الماء والهواء المضغوط لمدة 10 ثوان ثم جففت بهواء مضغوط خال من الزيت وتم تكرار هذا الإجراء على كل الأسنان في كل المجموعات.

2- التخريش الحمضي:

تم تطبيق حمض الفوسفور على منتصف السطح الدهليزي لكل سن لمدة 30 ثانية، ثم غسلت غسلاً جيداً بتيار من الماء والهواء لمدة 10 ثوان ثم جففت بتيار من الهواء حتى ظهور المظهر الطبشوري على السطح الدهليزي.

3- تطبيق المادة السادة اللاصقة:

طبقت المادة السادة اللاصقة (البوند) بواسطة فرشاة نظيفة ناعمة على المنطقة المخرشة ثم عرضت لتيار هوائي خفيف ثم صلبت باستخدام جهاز تصليب ضوئي لمدة 10 ثوان.

4- تطبيق المادة اللاصقة:

طبقت كميات مناسبة من المادة اللاصقة بنوعها (Light/Dual Cure Orthodontic Adhesive System, B&E orthodontic .. products, Inc. ko) على قواعد الحاصرات المتموضعة سلفاً ضمن الحوامل الشفافة والنواقل المطبوعة، وفرشت باستخدام ملوقة بلاستيكية نظيفة بحيث توزعت المادة على كامل القاعدة ثم طبق ضغط خفيف على النواقل لتصبح يتماس مع سطح الأسنان ثم صلبت بجهاز (Woodpecker O-Led, Korea) عالي

الشدة لمدة 3 ثوان من الناحيتين الأنسية والوحشية، ومثلها أيضا (أي بمقدار 3 ثوان إضافية) بعد نزل نواقل الإلصاق، وذلك وفقا للبروتوكول المعمول به في حالات الإلصاق غير المباشر [10] أعيدت العينات مرة أخرى إلى العبوات البلاستيكية الحاوية على الماء المقطر بدرجة حرارة الغرفة لحين إجراء اختبارات قوى القص عليها في الأسبوع التالي.

اختبار قوة الإلصاق المقاومة لجهد القص:

تم تطبيق قوى قص على العينات وأجري الاختبار لكل عينة على حدة وبشكل متتابع بالنسبة لكل المجموعات حيث تم تثبيت قالب الذي تم تصميمه ضمن الفك السفلي لجهاز الاختبارات الميكانيكية بحيث تكون قاعدة الحاصرة موازية لإتجاه قوة القص وباستخدام شفرة معدنية حادة النهاية مثبتة على الفك العلوي المتحرك لجهاز الاختبار الميكانيكي، طبقت القوة القاصة بسرعة رأس 1 ملم/دقيقة.

عند فشل الإلصاق ونزع الحاصرة تتوقف حركة الفك ويتوقف تطبيق القوة بشكل تلقائي ويسجل الجهاز أعلى قوة تم تطبيقها وتكون مقدرة بالنيوتن ولتحويل القوة من النيوتن إلى الميغا باسكال نقوم بتقسيم القوة الناتجة على مساحة قاعدة الحاصرة مقدرة بالملم². تم تطبيق هذه المعادلة لحساب قوة الارتباط لكل عينة على حدة حيث كانت مساحة قاعدة الحاصرات المعدنية المستخدمة هي $Mm^{2}10.25$



الشكل (2): علب بلاستيكية وزجاجية لحفظ العينة



الشكل (1): بعض المواد المستخدمة في تحضير الأسنان



الشكل (4): المواد المستخدمة في إصاق الحاصرات



الشكل (3): جهاز التصليب المستخدم في الدراسة



الشكل (6): جهاز الفايكوم المستعمل



الشكل (5): المكبرة الضوئية المستخدمة في فحص العينة



الشكل (8): مخرطة Phrozen 4K



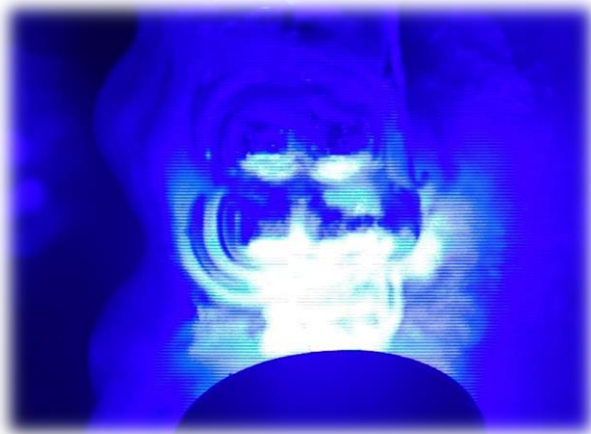
الشكل (7): جهاز الاختبارات العامة



الشكل (10): المرحلة الثانية من تصميم القواعد



الشكل (9): المرحلة الأولى من تصميم القواعد



الشكل (12): التصليب عبر الحوامل الشفافة



الشكل (11) التصليب عبر النواقل المطبوعة

النتائج والمناقشة:

الثقة في العينة المدروسة:

تم تحديد حجم العينة بـ 60 مريضاً استناداً إلى دراسات سابقة وباستخدام برنامج G-Power 3.1 حيث بلغت نسبة الثقة المتحصلة من العينة 95.07 %.

الجدول (1): نسبة دقة العينة المأخوذة قبل العلاج تبعا لكل مجموعة والمجموع الكلي

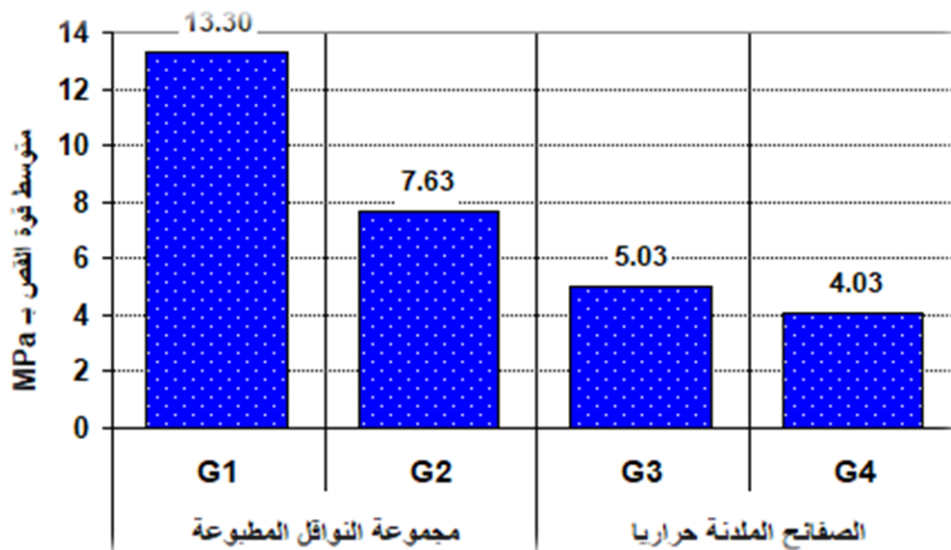
الدقة المتحصلة من العينة المأخوذة	حجم العينة المأخوذة	حجم العينة المحسوبة	الانحراف المعياري للقياسات	الوسط الحسابي للقياسات
95.07 %	60	58.2	2.86	7.4968

الفروقات بين متوسطات قيم قوى القص بين المجموعات:

يبين الجدول بعض الإحصاءات الوصفية من وسط حسابي وانحراف معياري والقيمتين الأعلى والأدنى لقوى القص في كل مجموعة حيث كانت القيمة مرتفعة بشكل واضح في المجموعة الأولى حيث بلغت MPa 7.543 وتناقصت القيم عنها كثيرا في باقي المجموعات والقيمة الأدنى كانت في المجموعة الرابعة بـ MPa 2.437.

الجدول (2): بعض الإحصاءات الوصفية لقوى القص تبعا لنوع القالب ونوع الكومبوزيت

الانحراف المعياري	الوسط الحسابي	أعلى قيمة	أدنى قيمة	العدد	المجموعة	القوالب
7.5437	13.30	26.6	2.0	15	G1	النواقل المطبوعة
3.6939	7.627	17.0	2.3	15	G2	
2.7046	5.027	10.3	1.0	15	G3	الصفائح الملدنة حراريا
4372.	4.033	8.5	1.2	15	G4	



الشكل البياني (13): متوسطات قيم قوى القص تبعا لنوع القالب ونوع الكومبوزيت

أهمية الفروقات الإحصائية في متوسطات قيم القص بين المجموعات:

بهدف معرفة أهمية الفروقات الإحصائية بين متوسطات قوى الإلصاق المقاومة لجد القص في المجموعات طبق اختبار One way ANOVA للمقارنات المتعددة حيث تبين وجود اختلاف جوهري بين متوسطات قيم القص بين المجموعات الأربع حيث بلغت دلالة الاختبار 0.000 وهي أقل بكثير من 0.01 مما يدل على أهمية الفروقات بين المتوسطات عند مستوى دلالة 5%.

الجدول (3): نتائج تطبيق اختبار One way ANOVA للمقارنات المتعددة

القرار الإحصائي	مستوى الدلالة.	F اختبار	متوسط المربعات	درجات الحرية	مجموع المربعات	المقارنات	المتغير
معنوي جدا	00.00	12.56	6258.9	3	7776.8	بين المجموعات	قوة القص
			220.6	56	1154.47	ضمن المجموعات	
				59	1931.33	المجموع	

لمعرفة مكان الفروقات بين المجموعات طبق اختبار Tukey للمقارنات البعدية وهذا الاختبار يطبق عندما تكون أعداد المجموعات متساوية والبيانات متجانسة. وبالنتيجة تبين وجود اختلافات جوهريّة بين متوسط قوى القص للمجموعة الأولى مع باقي المجموعات عند مستوى دلالة 5%.

الجدول (4): الفروقات الإحصائية بين المجموعات تبعا لاختبار Tukey للمقارنات البعدية

القرار الإحصائي	الأهمية الإحصائية.	متوسط الفروقات	مجموعة	مجموعة
معنوي جدا	0.0060 **	5.6733	2	1
معنوي جدا	0.0000 **	8.2733	3	1
معنوي جدا	0.0000 **	9.2667	4	1
غير معنوي	0.405	2.60	3	2
غير معنوي	0.145	3.59	4	2
غير معنوي	0.932	0.993	4	3

**معنوي جدا عند مستوى دلالة 0.01

المناقشة:

مناقشة منهج البحث:

- يعد تحقيق قوة ارتباط مناسبة لثبات الحاصرات التقويمية عند إصاقها مرحلة حاسمة من مراحل العلاج التقويمي، إذ أن الأخطاء البسيطة في هذه المرحلة سوف تنعكس بشكل كبير إبان البدء بالعلاج النشط وذلك على شكل رصف غير سليم للأسنان، أو فشل مبكر للملحقات الملصقة بالمجمل، وهذا من شأنه أن يسبب استبدالاً متكرراً لتلك الملحقات، الأمر الذي يفرض أجوراً إضافية وزيادة وقت العمل على الكرسي [11]
- هذا الأمر وغيره الكثير، قادنا بالمحصلة إلى ضرورة التوصل إلى كنه وماهية الوسيلة الأمثل لربط الحاصرات التقويمية، دون الإضرار بالبنية النسيجية للمينا عند الرغبة في إزالة هذه العناصر الفعالة مستقبلاً.
- هذا البحث عبارة عن بحث مخبري أجري بالاعتماد على اثنتين من تقنيات الإصاق غير المباشر المنجز حاسوبياً، اللتين وصفتا في الدراسات المرجعية المعنية بهذا الموضوع بقدرتهما على تحديد العوامل البشرية المؤثرة على مقاومة الحاصرات لقوى القص، وذلك من خلال تقليل زمن العمل على الكرسي وبالتالي خفض مستويات التلوث الرطوبي، بالإضافة لتأمين إمكانية تطبيق ضغط لحظي متناظر على جميع الحاصرات مما يوفر سماكة ثابتة للمادة اللاصقة تحت قاعدة الحاصرة [12].
- أما فيما يتعلق بمواد الإصاق بالخاصة فقد تم العمل باستخدام نوعين من الراتنجيات المتوفرة، أحدهما ضوئي التصلب، وهو النوع الذي قتل بحثاً في معظم الدراسات السريرية والمخبرية السابقة لدراستنا، نظراً لما يبيده من خصائص فريدة تخدم الموضوع الهدف في الدراسة [13][15][14]،.. أما الآخر فهو الراتنج ثنائي التصلب، الذي قلما تم استعماله في إطار الإصاق التقويمي المباشر، ونُدر في الإصاق غير المباشر من الأساس [16].
- الأسنان التي استخدمت في هذا البحث جميعها من الضواك البشرية المقلوعة لأسباب تقويمية، وقد تم الاعتماد على هذه الفئة بالذات نظراً لسهولة الاستحصال عليها من العيادات السنية، كونها تعد أحد أكثر الأسنان استطباً للقلع في سياق المعالجة التقويمية، كما اختيرت الضواك العلوية على وجه الدقة كونها أكثر اتساقاً في الشكل والحجم من الضواك السفلية [17].
- في هذا البحث تم تبني بعض الاقتراحات المقدمة من قبل منظمة المقاييس والمعايير الدولية [9] المتعلقة بشروط اختيار العينة وتخزينها وتحضيرها وإجراءات اختبار تطبيق قوى القص، حيث يسمح توحيد المعايير المتبعة في

الدراسات المخبرية بإجراء مقارنات أفضل بين الدراسات، ويمكن أن توفر المعلومات الناتجة عنها فوائد سريرية ذات أهمية قد تؤثر في قرار العلاج التقيمي.

• قُسمت عينة الدراسة إلى أربع مجموعات جزئية بواقع 15 سنّاً لكل مجموعة مختبرة، وهذا الحجم للمجموعة الواحدة أخذت به غالبية الدراسات السابقة التي تناولت دراسة تقييم أو تأثير الإلصاق غير المباشر على قوى ارتباط الحاصرات، حيث تراوح حجم العينة في تلك الدراسات بين 6 أسنان لكل مجموعة [18]، و 10 أسنان لكل مجموعة [19]، و 12 سنّاً لكل مجموعة [20]، و 20 سنّاً لكل مجموعة مختبرة [21]؛

وهذا الرقم إجمالاً مطابق لما أقر به Fox وزملائه في مراجعتهم المنهجية.. إذ أنه من أجل استخلاص الاستنتاجات الصحيحة من دراسات قوى الارتباط المخبرية يجب استخدام ما بين 15 لـ 20 سنّاً على الأقل لكل اختبار [22].

• جهاز التصليب الضوئي المستخدم في إطار هذه الدراسة هو من النمط ثنائي الصمام عالي الشدة (O-LED)، والذي انتخب لإنجاز المهمة بسبب قدرته على إحداث تصليب عميق بفواصل زمنية قصيرة مع المحافظة على قيم مقبولة لمقاومة جهد القص من قبل اللاصق المستعمل [23]، [24].

• تمت دراسة قوى القص في بحثنا وذلك لسهولة تطبيقها مخبرياً ومشابتها بشكل نسبي للقوى التي تحدث سريرياً أثناء المعالجة، في حين اعتبرت قوة الشد أو الالتواء ذات ارتباط أقل بالممارسة السريرية [25].

• أجري اختبار قوى القص عبر جهاز الاختبارات الميكانيكية العامة الذي يعد نموذجاً يحاكي قوى المضغ بالاتجاه العمودي بسرعة 1 ملم /دقيقة [26].

مناقشة قيم قوى الارتباط المقاومة لجهد القص:

• تخضع الحاصرات التقيمية الملصقة داخل جوف الفم إلى تأثير قوى قص أو شد أو لي أو إلى خليط من هذه القوى، وبالتالي يصبح من الصعوبة بمكان قياس هذه القوى وأيضاً تحديد كميتها. وفقاً لـ Wheeler لا تتخطى القوى التقيمية عادة حاجز 4.45 نيوتن لكل سن بشكل عام [27] فيما اقترح Reynolds وزملاؤه بأن قوى الارتباط الدنيا التي تلبي معظم الاحتياجات السريرية تتراوح بين 5.9-7.8 ميغاباسكال [28]. في حين قدر Lopez قوى قص الارتباط الموصى بها لتحقيق ارتباط سريري ناجح بـ 7 ميغاباسكال [29].

وفقاً لـ Ackerman وزملائه من الممكن أن يصل التحميل الأعظمي المطبق على كل سن أثناء أداء الوظيفة السريرية إلى 17.8 نيوتن [30]. من ناحية أخرى اقترحت دراسات أخرى قوى ارتباط أعظمية بلغت حتى 35.6 نيوتن و 97.88 نيوتن [31]. وعند الأخذ بعين الاعتبار أن قوى الإطباق يمكن أن تتراوح بين 40 - 120 نيوتن وأن متوسط منطقة الارتباط عموماً هي بحدود 16 Mm² فإن أدنى قيمة للارتباط الناجح يمكن احتسابها بحدود 7.5 ميغاباسكال [32].

• في هذه الدراسة جاء مدى قيم قوى الارتباط المقاومة لجهد القص مرتفعاً نسبياً في كل المجموعات.. ويعكس هذا التباين مدى الاختلاف في التلاؤم بين قاعدة الحاصرة والتنوع التشريحي للانحناء الدهليزي لتيجان الضواحك، كما أن هذا التفاوت الواسع ربما يعود إلى عدم القدرة على وضع إسفين القص بدقة على قاعدة الحاصرة أيضاً.

لكن وعلى الرغم من هذا التنوع الملحوظ في قيم قوى الارتباط المقاومة لجهد القص ضمن كل مجموعة، إلا أن التحليل الإحصائي بين أن جميع المجموعات المدروسة أظهرت تجانساً وتوزعاً طبيعياً مما سمح باستخدام الاختبارات الإحصائية المعلمية.

• أظهرت نتائج اختبار One Way ANOVA وجود فروق ذات دلالة إحصائية بين متوسطات قوى الارتباط بين مجموعات الدراسة الأربعة، وذلك عند مستوى دلالة ($P < 0.05$) وكذلك ($P < 0.01$).. حيث بلغت دلالة الاختبار (0.000) وهي أقل بكثير من (0.01)

وباستخدام اختبار Tukey للمقارنات البعدية تبين وجود فرق معنوي جدا بين متوسط قوى الارتباط تلك بين المجموعة الأولى G1 (مجموعة الحاصرات الملصقة بواسطة النواقل المطبوعة ثلاثية الأبعاد والكومبوزيت ضوئي التصلب) وباقي مجموعات الدراسة.. بينما لم توجد تلك الفروق المعنوية عند المقارنة بين المجموعات الأخرى على التوالي: G2 مع كل من (G3 و G4) و G3 مع G4 عند مستويات الدلالة ذاتها.

• إذ كانت قيم قوى الارتباط المقاومة لجهد القص في المجموعات الأربعة مرتبة كالآتي: 7.5 ± 13.3 ميغا باسكال في المجموعة الأولى (مجموعة الحاصرات الملصقة بواسطة النواقل المطبوعة ثلاثية الأبعاد والكومبوزيت ضوئي التصلب)، و 3.6 ± 7.6 ميغا باسكال في المجموعة الثانية (مجموعة الحاصرات الملصقة بواسطة النواقل المطبوعة ثلاثية الأبعاد والكومبوزيت ثنائي التصلب)، و 2.7 ± 5.02 ميغا باسكال في المجموعة الثالثة (مجموعة الحاصرات الملصقة بواسطة الصفائح المدنة حراريا والكومبوزيت ضوئي التصلب)، و 2.4 ± 4.03 ميغا باسكال في المجموعة الرابعة (مجموعة الحاصرات الملصقة بواسطة الصفائح المدنة حراريا والكومبوزيت ثنائي التصلب).

• وهذا يعني أن تبديل طريقة الإلصاق وكذلك مادته قد أدى بشكل أو بآخر إلى انخفاض في قيم قوى الارتباط المقاومة لجهد القص، وعليه فقد تم نقض فرضية العدم التي تنص على عدم وجود فارق حقيقي (هام) بين قوى ارتباط الحاصرات التقويمية باختلاف تقنية الإلصاق غير المباشر وقوام الراتنج المستخدم.

اتفقنا مع كل من:

✓ [33] (Betul Ertugrul 2021)

✓ [20] (Angelica Iglesias et al 2020)

✓ [18] (Sung-Hwan Choi 2018)

✓ [34] (Ö Polat et al 2018)

✓ [35] (M Swetha et al 2011)

✓ [36] (Brandon James et al 2006)

فيما اختلفنا مع (Sung-Hwan Choi 2018) وزملاءه الذين استخدموا كومبوزيت ثنائي التصلب من شركة (Rely U 200 XTM).. فعلى الرغم من تقارب أرقام قوى الارتباط المقاومة لجهد القص في الشق الثاني من دراسته (6.1 Mpa و 3.6 Mpa) مع مجموعتي الصفائح المدنة حراريا في بحثنا، إلا أن مساحة قاعدة الحاصرات لديه (32.35 Mm^2 و 34.91 Mm^2 على التوالي) كانت أكبر بكثير من حاصراتنا المستخدمة مما أثر بشكل حتمي على انخفاض القيم في الدراسة [18].

✗ اختلفنا مع (Kenan Demirovic et al 2018) والذي نتج لديه قوى ارتباط تقدر بـ $1.61 \pm 7.82 \text{ Mpa}$

عند الإلصاق بصفائح مدنة حرارياً غير محوسبة وكومبوزيت كيميائي التصلب [37]

قد يعود مرد هذا الاختلاف إلى استخدام مادة إلصاق ذات خواص فيزيائية مغايرة (Sondhi Rapid Set) أو حاصرات مخرشة بالليزر وبمساحة قاعدة مختلفة (Dentaum/ 14.7 Mm²) أو حتى إلى زيادة حجم العينة في مجموعة الإلصاق غير المباشر لديه (30 ضاحكاً بشرياً).

✉ اختلفنا مع (Mirella Tavares et al 2018) في دراستها التي استخدمت فيها الصفائح الملدنة حرارياً غير المحوسبة لمقارنة فعالية ارتباط عدة أنواع من الكومبوزيت ضوئي التصلب.. حيث كانت النتائج هي 0.41 ± 12.9 Mpa لمجموعة الـ (Transbond XT) و 0.79 ± 13.1 Mpa لمجموعة الـ (Z350) ومرد هذا الاختلاف قد يكون اعتماد الدراسة على القواطع بقرية المنشأ أو إلى التباين الحاصل في عدد مفردات كل مجموعة (10 مفردات) [38].

✉ اختلفنا مع (Lylia Kanashiro et al 2014) في دراستها التي استخدمت فيها الصفائح الملدنة حرارياً غير المحوسبة لمقارنة فعالية ارتباط عدة أنواع من الكومبوزيت كيميائي التصلب.. حيث كانت النتائج هي 2.4 ± 13.6 Mpa لمجموعة الـ (Sondhi Rapid Set) و 3.5 ± 14.6 Mpa لمجموعة الـ (Sondhi Rapid Set (with Speed Booster

مرد هذا الاختلاف قد يعود إلى استخدامها لقواطع بقرية المنشأ ضمن مجموعات تحوي عدداً أكبر من المفردات (20)، أو لتباين حجم قاعدة الحاصرات المستخدمة (14 Mm² و 17 Mm² على التوالي) مع دراستنا [39].

✉ اختلفنا مع (Furat Öztürk et al 2009) في دراسته التي استخدم فيها الصفائح الملدنة حرارياً غير المحوسبة لتحري فعالية ارتباط أحد أنواع الكومبوزيت ضوئي التصلب.. إذ أعطى كومبوزيت (Transbond XT) ارتباطاً يقدر بـ 3.6 ± 11.43 Mpa

ومرد هذا الاختلاف قد يعود لاختلاف عدد مفردات العينة ضمن المجموعة المدروسة (25 ضاحكة علوية) على الرغم من تطابق مساحة قاعدة الحاصرة المستخدمة ونوعها (American Mini Master /10.25 Mm²) [40].

الاستنتاجات والتوصيات:

الاستنتاجات:

في ضوء النتائج الحالية لهذه الدراسة نستطيع أن نخلص إلى الاستنتاجات التالية:

1- إن إلصاق الحاصرات التقويمية المعدنية باستخدام النواقل المطبوعة ثلاثية الأبعاد يعطي قوى ارتباط كافية لتلبية الاحتياجات السريرية، وإن لمادة الإلصاق المستخدمة تأثير هاماً نسبياً على قوى الارتباط ونموذج فشله للحاصرات الملصقة.

2- لم تبد الحاصرات الملصقة بوساطة الصفائح الملدنة حرارياً قوى ملائمة عند اختبارها حتى مع استخدام نوعين من مواد الإلصاق في الدراسة.

التوصيات:

في حدود هذه الدراسة وظروف إنجازها يمكن أن يُوصى بما يلي:

1- اعتماد أسلوب الإلصاق عبر النواقل المطبوعة ثلاثية الأبعاد ضمن العيادات التقويمية جنباً إلى جنب مع الطريقة المباشرة في الإلصاق.

2- الإبقاء على الاستخدام السريري للراتنج ضوئي التصلب نظرا لما يديه من خصائص فريدة تغني عن تجربة أية مواد أخرى.

References:

1. Raj, Y., et al. (2020). Indirect bonding - The ultimate technique: A review. *Chronicles of Dental Research*, December.
2. Kaur, A., et al. (2017). Indirect bonding: A review of literature. *National Journal of Medical and Dental Research*.*
3. Kalange, J. T. (2007). Prescription-based precision full arch indirect bonding. *Seminars in Orthodontics*, 13*(1), March.
4. Layman, B. (2019). Digital bracket placement for indirect bonding. *Journal of Clinical Orthodontics*.*
5. Gündoğ, H., et al. (2022). Transfer accuracy of three indirect bonding trays: An in vitro study with 3D scanned models. *Turkish Journal of Orthodontics*.*
6. Singh, C. (2007). *Textbook of Orthodontics* (2nd ed.). Jaypee Brothers.
7. Keim, R. G., et al. (2020). JCO study of orthodontic diagnosis and treatment procedures, results, and trends.
8. Christensen, L. R., et al. (2018). Digital technology for indirect bonding. *Seminars in Orthodontics*, 24*(3).
9. ISO. (2013). ISO 29022: Dentistry—Adhesion—Notched-edge shear bond strength test.
10. Mohr, M. C. (2016). Modification of curing light duration through indirect bonding transfer trays. *Uniformed Services University*.*
11. Subramanian, A. K., et al. (2023). Comparison of shear bond strength of orthodontic brackets after different methods of recycling.
12. Özsoy, Ö. P., et al. (2016). Indirect bonding revisited. *Turkish Journal of Orthodontics*, 29*(2).
13. Kulkarni, N. B., et al. (2022). Comparison of bracket failure rate between two different materials used to fabricate transfer trays for indirect orthodontic bonding.
14. Saleh, M. H., et al. (2020). A comparison of bracket failure rate between direct and indirect bonding techniques: A prospective clinical study. *Al-Azhar Journal of Dental Science*, 23*(1).
15. Menini, A., et al. (2014). A 15-month evaluation of bond failures of orthodontic brackets bonded with direct versus indirect bonding technique: A clinical trial.
16. Li, J., et al. (2009). Development of dual-curing type experimental composite resin cement for orthodontic bonding: Effect of additional amount of accelerators on mechanical properties. *Dental Materials Journal*, 28*(2).
17. de Araújo, T. M., et al. (2019). Tooth extractions in orthodontics: First or second premolars. *Dental Press Journal of Orthodontics*, 24*(5).
18. Choi, S.-H., et al. (2018). Debonding force and shear bond strength of an array of CAD/CAM-based customized orthodontic brackets, placed by indirect bonding: An in vitro study.
19. Nawrocka, A., et al. (2023). The influence of indirect bonding technique on adhesion of orthodontic brackets and post-debonding enamel integrity: An in vitro study.
20. Iglesias, A., et al. (2020). In vitro study of shear bond strength in direct and indirect bonding with three types of adhesive systems.

21. Kedia, N. B., et al. (2023). Assessment of orthodontic bracket shear bond strength placed using direct and indirect bonding techniques. *European Chemical Bulletin.*
22. Fox, N. A., McCabe, J. F., & Buckley, J. (1994). A critique of bond strength testing in orthodontics. *British Journal of Orthodontics, 21*(1).
23. Al-Abd alrazak, F., & Hassan, A. A. (2023). A comparative study to evaluate the amount of adhesive remnant on teeth after removal of orthodontic brackets polymerized with LED curing units: In vitro study.
24. Almeida, L. F., et al. (2018). Effects of reducing light-curing time of a high-power LED device on shear bond strength of brackets. *Springer Medizin Verlag GmbH.*
25. Pasquantonio, G., et al. (2021). Physical and chemical mechanisms involved in adhesion of orthodontic bonding composites: In vitro evaluations.
26. Soriano-Valero, S., et al. (2020). Systematic review of chewing simulators: Reality and reproducibility of in vitro studies. *Journal of Clinical and Experimental Dentistry, 12*(1).
27. Wheeler, J. J., & Ackerman, R. J. (1983). Bond strength of thermally recycled metal brackets. *American Journal of Orthodontics, 83*(3).
28. Reynolds, I. R. (1975). A review of direct orthodontic bonding. *British Journal of Orthodontics, 2*(3).
29. Lopez, J. I. (1980). Retentive shear strengths of various bonding attachment bases. *American Journal of Orthodontics, 78*(5).
30. Ackerman, R. J. (1983). Bond strength of thermally recycled metal brackets. *American Journal of Orthodontics, 83*(3).
31. Movahhed, H. Z., Øgaard, B., & Syverud, M. (2005). An in vitro comparison of the shear bond strength of a resin-reinforced glass ionomer cement and a composite adhesive for bonding orthodontic brackets. *The European Journal of Orthodontics, 27*(5).
32. Brauchli, L., Muscillo, T., Steineck, M., & Wichelhaus, A. (2010). Influence of enamel conditioning on the shear bond strength of different adhesives. *Journal of Orofacial Orthopedics, 71*(2).
33. Ertugrul, B. Y., et al. (2021). Evaluation of the effects of two different indirect bonding methods on strength of brackets in a mandibular model of severe anterior crowding.
34. Polat, Ö., et al. (2018). In vitro and in vivo comparison of orthodontic indirect bonding resins: A prospective study. *Nigerian Journal of Clinical Practice.*
35. Swetha, M., et al. (2011). Indirect versus direct bonding: A shear bond strength comparison: An in vitro study. *The Journal of Contemporary Dental Practice, 12*(4).
36. James, B., et al. (2006). A comparison of bond strength between direct and indirect bonding methods.
37. Demirovic, K., et al. (2018). Comparison of shear bond strength of orthodontic brackets using direct and indirect bonding methods: An in vitro study.
38. Tavares, M., et al. (2018). Effects of different primers on indirect orthodontic bonding: Shear bond strength, color change, and enamel roughness.
39. Kanashiro, L., et al. (2014). Effect of adhesion boosters on indirect bracket bonding.
40. Öztürk, F., et al. (2009). Effects of direct and indirect bonding techniques on bond strength and microleakage after thermocycling.
41. Khalil, F., & Mustapha, M. (2018). Comparison of resistance to shear forces of re-glued metal brackets after preparing their base using different mechanical methods.

