

التقييم ثلاثي الأبعاد لامتناس الجذري الناتج عن المعالجة بالراصفات الشفافة باستخدام التصوير المقطعي المحوسب ذي الحزمة المخروطية

د. فادي خليل *

أسامة المشعل **

□ ملخص □

هدف البحث: الهدف من هذه الدراسة هو تقييم تأثير المعالجة التقويمية بالراصفات الشفافة على امتناس جذور الأسنان الأمامية العلوية بالمقارنة مع الأجهزة التقويمية الثابتة باستخدام التصوير المقطعي المحوسب .

المواد والطرق: شملت الدراسة 26 مريضاً (12 ذكر و 14 أنثى) يعانون من سوء إطباق من الصنف الأول نموذج أول (ازدحام خفيف إلى متوسط). وزعوا عشوائياً ضمن مجموعتين: مجموعة الراصفات الشفافة CA (13 مريضاً متوسط العمر 18.5 سنة) ومجموعة الأجهزة الثابتة التقليدية FA (13 مريضاً ، متوسط العمر 20.2 سنة) وأجريت الصور المقطعية المحوسبة المخروطية CBCT وقياس الطول الخطي للأسنان الأمامية العلوية قبل المعالجة (T0) ، وبعد الانتهاء من المعالجة (T1).

* أستاذ - قسم تقويم الأسنان والفكين - كلية طب الأسنان - جامعة تشرين - سورية

Khalilfadi 26@yahoo.fr

** طالب دراسات عليا (دكتوراه) - قسم تقويم الأسنان والفكين - كلية طب الأسنان - جامعة تشرين

اللاذقية-سورية d.o.mashal@gmail.com

النتائج: كان هناك نقصان جوهري في أطوال جميع الأسنان المدروسة بعد المعالجة في المجموعتين ($P>0.05$) حيث كان معدل الامتصاص في مجموعة الراصفات الشفافة CA من 0.59 إلى 1.34 مم وفي مجموعة الأجهزة الثابتة FA من 1,4 إلى 1.92 مم. كان معدل الامتصاص في مجموعة الأجهزة الثابتة FA أكبر بشكل جوهري منه في مجموعة الراصفات الشفافة CA ($P=0.016$).

الاستنتاجات : تترافق المعالجة التقييمية بحدوث امتصاص جذري بعد انتهاء المعالجة التقييمية ، ولكن هذا الامتصاص يحدث بشكل أكبر عند استخدام الأجهزة الثابتة التقليدية FA مقارنة مع استخدام الراصفات الشفافة .

الكلمات المفتاحية: الراصفات الشفافة ، التصوير المقطعي المحوسب، الامتصاص الجذري .

Three-dimensional Assessment of Root Resorption following treatment with clear aligners using Cone Beam Computed Tomography

Dr. Fadi Khalil*

Osamah Almashaal**

□ ABSTRACT □

Background & Aims : This study aims to evaluate the root resorption for upper anterior teeth following treatment with clear aligners orthodontic appliances CA comparison with fixed appliances using CBCT.

Materials and methods: the study sample consisted of 26 patients (12 males and 14 females) with class 1 type 1 malocclusion and moderate crowding. They were randomly divided into two groups: CA (13 patients, mean age 18.5 years) and FA (13 patients, mean age 20.2 years). The lengths of upper anterior teeth were measured from CBCT images obtained before the treatment (T0) and at the end of the treatment (T1).

* Professor – Department of orthodontics – Faculty of Dentistry – Tishreen University – Lattakia– Syria. Khalil fadi 26@yahoo.fr

** PHD Student at Department of orthodontics– Faculty of Dentistry – Tishreen University – Lattakia– Syria. d.o.mashal@gmail.com

Results: there was a significant decrease in the lengths of all teeth after treatment in both groups ($P>0.05$), where the resorption rate varied in the CA group from 0.28 to 1.52 mm, and in the FA group from 0.34 to 2.45 mm. The rate of resorption in the FA was significantly greater than in the CA ($P=0.016$).

Conclusions: These results suggest that using Clear aligners and fixed orthodontic appliances is associated with root resorption after treatment but this resorption is clinically insignificant ($<2\text{mm}$), Clear aligners also cause less resorption in upper anterior teeth compared to the fixed appliances.

Key words: Clear Aligners orthodontic appliances, CBCT, root resorption.

مقدمة ومراجعة الأدبيات Introduction & Literature Review

مهدت كفاءة الجهاز الثابت التقليدي في معالجة حالات سوء الاطباق المتنوعة لجعله الجهاز التقويمي الأكثر شيوعاً لكن غالباً ما يعوقه مظهر الجهاز وتقبل المرضى وعدم مقدرتهم على المحافظة على الصحة الفموية [1]، وفي الوقت الحالي ارتفع الطلب على أجهزة تقويم الأسنان الأقل وضوحاً كبديل للأجهزة التقويمية الثابتة التقليدية [2]، وبغض النظر عن نوع الجهاز التقويمي ، فإن الهدف من العلاج التقويمي هو إعادة الناحية الوظيفية والجمالية مع مظهر وجه متناعم ، والذي يظل نسبياً ثابتاً على المدى الطويل [3]. لذلك ، يجب أن يهتم الأطباء بالآثار التي تتركها العلاج التقويمي على حياة المرضى والآثار الصحية المرتبطة بذلك [4].

في عام 1999 قدمت شركة Align Technology نظامها Invisalign® الذي يعتبر أول جهاز تقويمي تعتمد صناعته على تقنية ال CAD\CAM [5] ، فبدلاً من أخذ طبقات وتحضير أمثلة لكل حركة تقويمية، سمحت هذه التقنية بتحضير عدة أمثلة متتابعة من المثال الأولي المحضر من الطبعة الأولية، وبالتالي حولت هذه التقنية الرقمية فكرة Kesling إلى تقنية قابلة للتطبيق، آذن ذلك بظهور العديد من الأنظمة للمعالجة بالراصفات الشفافة التي أخذت بالتطور مع مرور الزمن [6].

الامتصاص الجذري (root resorption) هو عبارة عن عملية فيزيولوجية أو مرضية تنتج عن نقص في الملاط أو العاج الذي يتسبب في تقاصر جذر السن عند الذروة ، وتعتبر هذه العملية من التأثيرات غير المرغوبة للمعالجة التقويمية. [7]، في الأدبيات الطبية تم تحديد العديد من العوامل التي تساهم في حدوث الامتصاص الجذري ، وجميع هذه العوامل مازالت موضع جدل وأهمها: الاستعداد الفردي ، والعوامل الوراثية ، والخصائص التشريحية ، وشدة سوء الإطباق ، والالتهاب حول الذروة ، وتقنيات المعالجة التقويمية [8] هناك العديد من العوامل المتهمة بإحداث الامتصاص أو استمراره

خلال المعالجة التقويمية مثل طول مدة المعالجة ، ومقدار القوة المطبقة ، ونوع الحركة المستخدمة مثل حركة التورك والحركة الجسمية والغرز [9].

إن تقنية التصوير المقطعي المحوسب ذي الحزمة المخروطية (CBCT) هي تقنية آخذة في الانتشار في مجال التشخيص التقويمي، إذ إن هذه التقنية تزودنا بصور فورية ودقيقة ثنائية الأبعاد (2D) وثلاثية الأبعاد (3D) للبنى التشريحية المختلفة ، وعند استخدام أنظمة التصوير ذات الحقل الكبير نسبياً فإنه يمكن استخلاص صور سيفالومتريك ثنائية الأبعاد بالإضافة إلى إمكانية إجراء بعض التحاليل السيفالومترية ثلاثية الأبعاد [10]

التصوير المقطعي المحوسب ذي الحزمة المخروطية (CBCT) يستطيع أن يقدم معطيات تشريحية دقيقة للأسنان من حيث الشكل والطول والتزوي ، ووجد Jorge أن تقنية التصوير الشعاعي الطبقي المحوري استطاعت كشف وتحديد تطور امتصاص الجذور في مراحلها المبكرة حينما لم يمكن ذلك بواسطة طرق التصوير الشعاعية التقليدية [11] جمع الأسنان معرضة للامتصاص الجذري ولكن تعتبر القواطع العلوية أكثر الأسنان عرضة لذلك أثناء المعالجة التقويمية ، ربما ذلك بسبب جذورها المفردة ذات الشكل المخروطي [12]

حتى هذا الوقت يوجد عدد قليل من الدراسات التي تناولت بشكل دقيق فحص الامتصاص الحاصل في جذور الأسنان بعد المعالجة التقويمية بالراصفات الشفافة ، وحسب Brezniak وآخرين كان هناك اعتقاد خاطئ بأن هذا النوع من المعالجة لا يسبب امتصاص في جذور الأسنان، وصف Brezniak وزملاؤه العلاقة بين الرصاصات الشفافة وامتصاص الجذور وذلك في حالة علاج مريض عمره 25 عاماً تعرض لتآكل الجذور في الأسنان الأمامية العلوية بعد المعالجة بالراصفات الشفافة وتراوح الامتصاص في جذور الأسنان من 2مم إلى ثلث طول الجذر [13] . فيما قارن Barbagallo ورفاقه تأثير عبر دراسة استطلاعية استخدام الرصاصات الشفافة المصنوعة من الصفائح

ذات التشكيل الحراري بالمقارنة مع تطبيق نوعين من القوة التقويمية الأول خفيف (25) جرام والثاني ثقيل (225) جراماً على السمنت الأولي على مدار 8 أسابيع. أفادوا بأن مجموعة الراصفات الشفافة كان لديها تآكل جذري مماثل لمجموعة القوة الخفيفة ولكن أعلى قليلاً منها وحوالي ست أضعاف أكثر من المجموعة الشاهدة [14]. في وقت لاحق قام Sombuntham وآخرون بإجراء دراسة تجريبية على الحيوانات لفحص العلاقة بين تطبيق الراصفات الشفافة وامتصاص جذور الأسنان ، كان متوسط الامتصاص في جذور الأسنان حوالي 0.5 مم قاموا بتطبيق الراصفات الشفافة على مجموعة من الجرذان لمدة 7 أيام وتمت المقارنة مع مجموعة الجهاز الثابت التقليدي ومجموعة شاهدة. حيث لاحظوا تغيرات نسيجية في الرباط السني وعلائم تشير إلى امتصاص أولي في جذور الأسنان [15]. وفي عام 2013 أجرى Krieger وآخرون أول دراسة منهجية لتقييم الامتصاص الحاصل في جذور الأسنان خلال جميع فترات المعالجة بالراصفات الشفافة التقويمية قاموا بأخذ صور بانورامية للأسنان قبل وبعد المعالجة وقاموا بقياس نسبة التاج إلى الجذر قبل وبعد المعالجة بالراصفات الشفافة وجدوا أن كل مريض لديه ما لا يقل عن اثنين من الأسنان حصل فيها تناقص في طول الجذر ، وأن 54% من الأسنان المقاسة تظهر علامة امتصاص في الجذور [16] ومع ذلك، وجدت الدراسة التي أجراها Li وآخرين التي استخدمت التصوير المقطعي ذي الحزمة المخروطية (CBCT) للتحري عن الامتصاص الجذري بعد المعالجة التقويمية كان أقل لدى المرضى المعالجين بالراصفات الشفافة منها لدى المرضى المعالجين بالجهاز التقويمي الثابت [17] من ناحية أخرى، وجدت عدة دراسات بأنه لا توجد اختلافات كبيرة في معدل امتصاص الجذور عند تطبيق الراصفات الشفافة مقارنة مع الأجهزة الثابتة التقليدية [12].

ووفقاً لمراجعة شاملة نُشرت مؤخراً، فإنها أن هناك زيادة في امتصاص الجذور في القواطع العلوية عند المعالجة بالجهاز التقويمي الثابت مقارنة بالراصفات الشفافة [17] فيما لم يجد Gandhi ورفاقه فروقاً في بين الراصفات الشفافة والجهاز التقويمي الثابت في الامتصاص التالي للمعالجة التقويمية الشاملة ما عدا الرباعية العلوية اليمين كان هناك امتصاص أكبر في مجموعة الجهاز الثابت [18].

بعد مراجعة الأدبيات الطبية المنشورة نلاحظ أن هنالك قلة في الدراسات التي قيمت مقدار امتصاص الجذور الحاصل بعد المعالجة بالراصفات الشفافة التقويمية و معظم هذه الدراسات استخدمت الصور البانورامية في تشخيص الامتصاص الجذري ، وبالتالي لابد من استخدام طريقة موثوقة تضمن لنا المراقبة ثلاثية الأبعاد لتوضع الجذور الحاصل بعد العلاج التقويمي وهذا ما لا توفره الصور ثنائية البعد .

الهدف من البحث Aim of the study

يهدف هذا البحث إلى تقييم تأثير المعالجة بالراصفات الشفافة التقويمية على الامتصاص الجذري للأسنان الأمامية العلوية بالمقارنة مع الأجهزة الثابتة التقليدية باستخدام التصوير المقطعي المحوسب ذي الحزمة المخروطية CBCT.

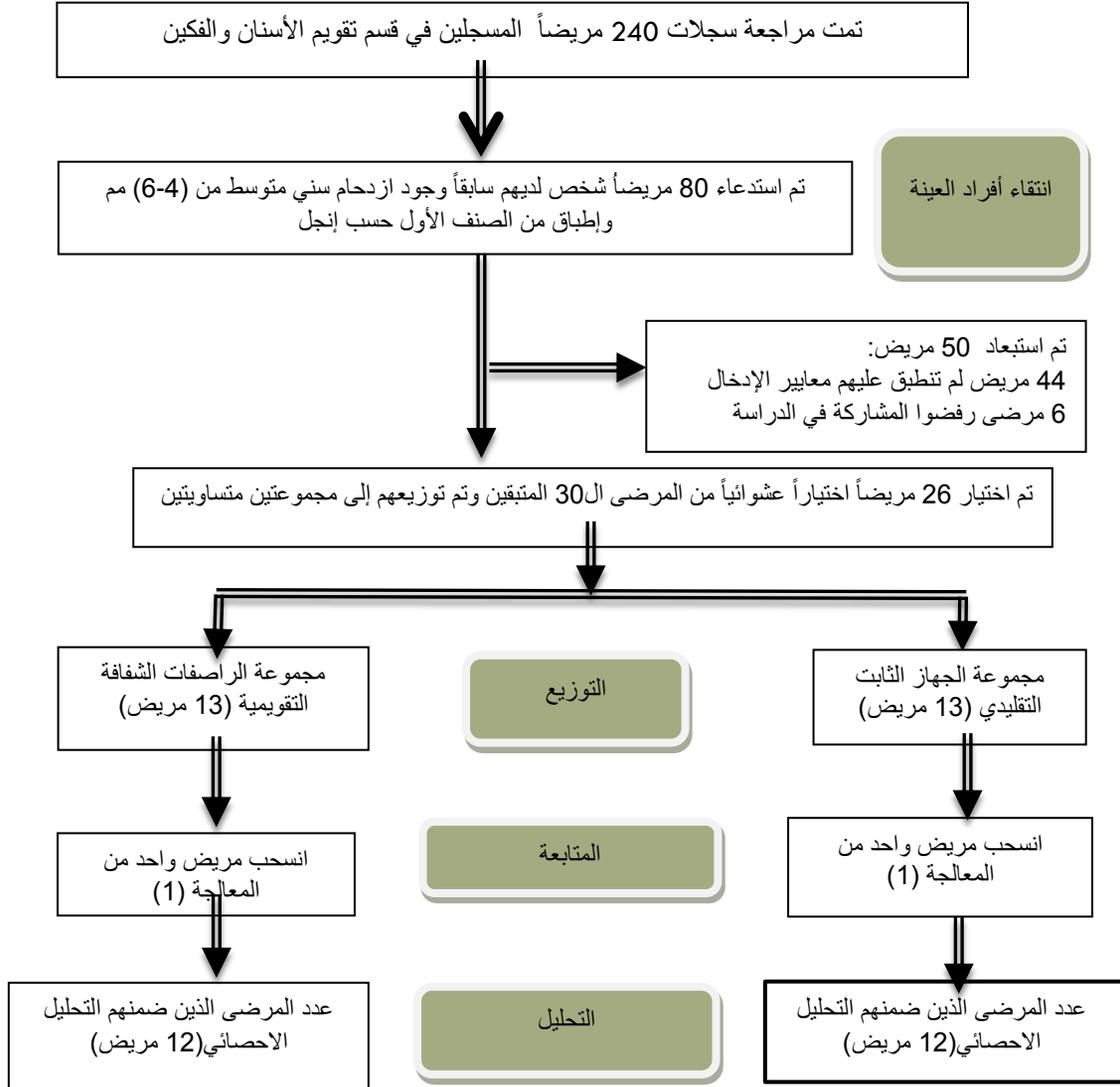
المواد والطرق Materials and Methods:

- تصميم الدراسة :دراسة سريرية مضبوطة معشاة ثنائية الأذرع تضم مجموعتين : المجموعة الأولى هي مجموعة الراصفات الشفافة والمجموعة الثانية مجموعة الأجهزة الثابتة وتم استخدامها كمجموعة شاهدة .
- تسجيل الدراسة: تمت الموافقة على هذه الدراسة من قبل قسم تقويم الأسنان والفكين ***** وتم الحصول على الموافقة الخطية المعلمة (المستتيرة) من كل الأفراد المشاركين في هذه الدراسة .

- عينة الدراسة: تم حساب حجم العينة باستخدام برنامج (Minitab Inc,State)
 Minitab 18 (College ,PA)، وفقاً للبيانات من دراسات سابقة وتقييم طول الجذر
 باعتبار أن فرق 0.5 ملم هو أقل فرق مهم سريريا من دراسة [19] ستكون هناك
 حاجة إلى 22 مريضاً مع قوة الدراسة 80% ومستوى الدلالة 0.05 وتم زيادة عدد
 العينة إلى 26 مريضاً حيث تضم كل مجموعة 13 مريضاً.
- **انتقاء أفراد العينة:** تم اختيار أفراد عينة البحث من أرشيف المرضى المراجعين لقسم
 تقويم الأسنان والفكين في كلية طب الأسنان ***** . وتم أخذ القصة
 المرضية والتاريخ الطبي والسني بشكل كامل، ومن ثم تم إجراء فحص سريري شامل
 داخل وخارج فموي من قبل الطبيب الباحث وتسجيل ذلك ضمن بطاقة فحص
 معتمدة في قسم تقويم الأسنان والفكين في كلية طب الأسنان ***** . تم
 تحضير السجلات التقييمية لدى المرضى الذين انطبقت عليهم بشكل أولي معايير
 الإدخال (أمثلة جبسية، صور ضوئية داخل وخارج فموية، صور شعاعية) وفق
 البروتوكول المتبع في قسم تقويم الأسنان والفكين، ثم تم توزيع ورقة المعلومات
 الخاصة بالمشاركة بالبحث Information Sheet على المرضى وتم شرح طريقة
 المعالجة التي تتضمنها هذه الدراسة وكذلك تم الرد على جميع استفسارات المرضى
 وذويهم وذلك ليتوافق بحثنا مع المعايير الأخلاقية لإعلان هلسنكي وفي حال موافقة
 المريض تم أخذ الموافقة المعلمة Informed Consent.
- تم إجراء التوزيع العشوائي باستخدام الكمبيوتر، حيث تم إنشاء قائمة بأسماء المرضى
 موزعة عشوائياً باستخدام برنامج (Microsoft Windows, 2010, Excel
 USA, Microsoft, Chicago, IL) مع نسبة تخصيص 1:1. تم إجراء التخصيص
 عن الباحث لتجنب الانحياز وتم إجراؤه بواسطة أحد طلاب الدراسات العليا من قسم تقويم
 الأسنان والفكين غير مشارك في هذه الدراسة. تم توزيع أفراد العينة المؤلفة من 26

التقييم ثلاثي الأبعاد للامتصاص الجذري الناتج عن المعالجة بالراصفات الشفافة باستخدام التصوير المقطعي المحوسب ذي الحزمة المخروطية

مريضاً (14 أنثى، 12 ذكراً) إلى مجموعتين متساويتين بشكل عشوائي باستخدام مظاريف مختومة ومرقمة بالتسلسل: مجموعة الرصاصات الشفافة وتتكون من 13 مريضاً ومجموعة الجهاز الثابت التقليدي وتتكون من 13 مريضاً أيضاً. الشكل (1)



الشكل (1) المخطط التدفقي لتسلسل اختيار المرضى وتوزيعهم على عيني الدراسة

معايير الإدخال في الدراسة :Inclusion Criteria

- 1) سوء إطباق صنف أول سني حسب تصنيف أنجل .
- 2) المرضى في مرحلة الإطباق الدائم بعمر يتراوح بين 18-24 سنة.
- 3) ازدياد خفيف إلى متوسط (2-6)mm حسب مشعر لبيتل [20]
- 4) المريض يتمتع بصحة فموية جيدة .
- 5) المريض غير خاضع لأيّة معالجة دوائية تتداخل مع الحركة السنّية.
- 6) المريض غير خاضع لأيّة معالجة تقويمية سابقة.

المواد و الأدوات المستخدمة في البحث:

ماسح رقمي ثلاثي الأبعاد خاص بالأمتلة الجبسية نوع SHINING 3D (Shining)

(الشكل 3-a) (3D DS-EX PRO .CO .,Ltd .Hangzhou, China

طابعة رقمية ثلاثية الأبعاد بتقنية الطباعة الضوئية المعالجة نوع 3D shining

(Shining 3D AccuFab -L4K3D Printer .CO .,Ltd .Hangzhou)

(,China) (الشكل 3-b)

جهاز التشكيل الحراري بتقنية التفريغ SD- (Jintai JT-18) Jintai

(LA18,Foshan,Guangdong,China)

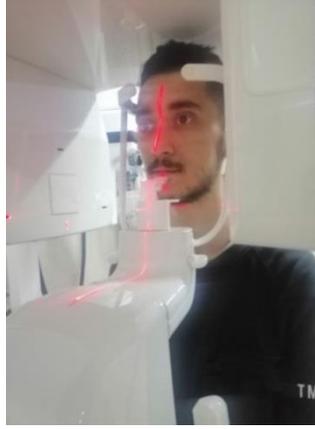
صفائح شفافة خاصة بصناعة الراصفات الشفافة بسماكة 1 ملم نوع 3A

MEDES established Daeha Ttrading Co.,Ltd .jung -gu

,Seoul)3A MEDES

جهاز Scanora 3D CBCT (Sordex,Tuusula,Finland) لإجراء الصور

المقطعية المخروطية المحوسبة الشكل (2)

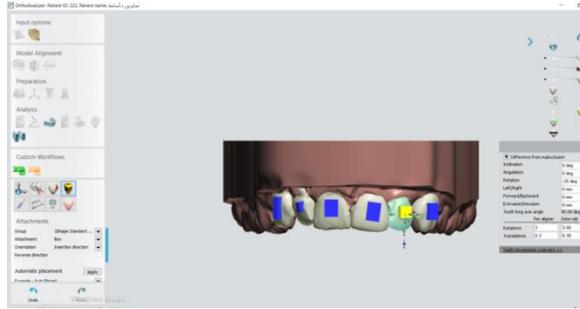


الشكل (2) للباحث جهاز التصوير المقطعي المحوسب cbct

طريقة إجراء الدراسة: بعد فحص المرضى والتأكد من تحقيقهم معايير الإدخال المطلوبة يتم أخذ طبقات للمريض بواسطة المطاط ومن ثم صب الطبقات باستخدام الجبس الحجري المحسن وتحضير وتشذيب الأمثلة ، وإجراء مسح رقمي ثلاثي الأبعاد باستخدام المسح الرقمي المعتمد في الدراسة حفظ الأمثلة المسوحة على جهاز الحاسوب بصيغة (stl),ومن ثم تم استيرادها إلى برنامج 3shape OrthoAnalyzer ، ويتم تحضير المثال للوصول إلى مثال العمل الرقمي النهائي الذي سنعمل عليه في مرحلة التنبؤ .ومن ثم نبدأ بعملية تحريك الأسنان من موقعها الأصلي وصولاً إلى الموقع النهائي مع التأكيد على الوصول إلى ارتصاف وتماسات بين سنية مثالية وعلاقات بين القوسين طبيعية .

تم تطبيق الوصلات على الأسنان وفق مقتضيات الحركة الخاصة بكل حالة بالاستعانة بخاصية التوضع التلقائي للوصلات التي يوفرها برنامج

Orthoanalyzer، الشكل (3)



الشكل (3) للباحث تطبيق الوصلات ضمن البرنامج الحاسوبي المستخدم للباحث

في المرحلة التالية تم تقسيم الحالة إلى مراحل متتالية حيث تم تحديد مقدار الحركات الدورانية القصوى لكل سن ب 3 درجة ، ومن ثم تحديد مقدار الحركات الانتقالية (الخطية) القصوى لكل سن ب 0.3 ملم .

ثم بعد ذلك تحويل الأمثلة إلى الطباعة ثلاثية الأبعاد وذلك بعد تحديد معايير الطباعة (سماكة الأمثلة ، نسبة امتلاء ، دقة الطباعة) .بعد انتهاء الطباعة ثلاثية الأبعاد نقوم بالتشكيل الحراري للراصقات الشفافة باستخدام الجهاز التشكيل الحراري حيث يتم استخدام صفيحة لكل مثال .

التطبيق السريري لمرحلة الرصاصات :

تبدأ المرحلة السريرية لهذه المجموعة بتطبيق الراصفة الصفيرية والتي تهدف إلى التأكد من دقة طبقات العمل وإزالة الفروق في دقة العمل الناتجة عن مراحل تهيئة الرصاصات الشفافة (المسح ثلاثي الأبعاد ، الطباعة ثلاثية الأبعاد ، التشكيل الحراري للراصقات) .بعد التأكد من انطباق الرصاصات الصفيرية تم تشكيل الوصلات على سطوح الأسنان باستخدام صفيحة مخصصة لهذا الغرض من الكومبوزيت الضوئي

التصلب وذلك بعد إجراء التخريش بحمض الفوسفور 37% لمدة 30 ثانية وتطبيق المادة الرابطة الخاصة بهذا الكومبوزيت الشكل (4)



الشكل (4) للباحث التطبيق السريري للراصفات

بعد ذلك تم تطبيق الراصفة الأولى وإجراء السحل المناسب وتوجيه المريض إلى تطبيق الراصفات ونزعها بواسطة لفافات العض ونزع الراصفات مع تزويده بتعليمات لاستخدام الراصفة لمدة لا تقل عن 20 ساعة يوميا ونزعها عند تناول الطعام أو عند تناول المشروبات الساخنة والانتباه لعدم تعريضها للحرارة والمحافظة على نظافتها ، تم استخدام كل راصفة لمدة 14 يوما [21] حيث تتم متابعة المرضى في هذه المجموعة بمعدل كل شهر حيث يعطى المريض راصفتين في كل زيارة للعيادة حتى الانتهاء من استخدام الراصفات ووصول المريض للراصفة الأخيرة تم اعتماد نقطة نهاية المعالجة بالوصول الى ارتصاف جيد وعلاقات إطباقية طبيعية.

• طريقة العمل في مجموعة الأجهزة الثابتة التقليدية:

تطبيق مطاط الفصل لمدة أسبوع بعد اختيار الأطواق التقييمية المناسبة ثم الصاق الأطواق وتطبيق الحاصرات الدهليزية بعد إجراء تنظيف للسطوح الدهليزية بمسحوق الخفان البدء بعملية الرصف والتسوية حيث تم مباشرة إدخال سلك 0.014 إنش

من مادة (Nitinol)، ويمثل إدخال السلك الأولي بداية مرحلة الرصف والتسوية، وتم التتابع بتبديل الأسلاك التقييمية كل ثلاثة أسابيع، مع التأكيد على كل مريض الاتصال في حال وقعت إحدى الحاصرات لكي يتم إعادة إصاقها مباشرة، كما تم الانتقال من السلك الأولي إلى السلك الثاني فقط عندما يصبح السلك الأولي حيادياً حيث يمكن تدوير السلك 3-4 مم ضمن شقوق الحاصرات (في حال عدم دخول السلك بشكل حيادي تم الإبقاء على السلك الأولي لأسبوع إضافي مع التأكيد على القيام بالسحل المناسب حسب خطة المعالجة والتأكيد على التوضع الصحيح للحاصرات)، وتم الانتقال إلى الأسلاك الأخرى بنفس المعايير، حتى الوصول إلى سلك (SS 0.025*0.019).

- **التثبيت:** عند انتهاء المعالجة تم فك الأجهزة التقييمية الثابتة وإزالة الوصلات والاضافات الخاصة بالراصفات الشفافة واستخدام صفائح التشكيل الحراري لتثبيت القوسين العلوية والسفلية وإعطاء المريض تعليمات باستخدامها 16 ساعة في اليوم خلال ستة أشهر من انتهاء المعالجة ومن ثم استخدامها ليلا ستة شهور تالية [22] تم تصوير كل مريض في زمنين منفصلين قبل البدء بالمعالجة T0 وبعد نهاية المعالجة T1 والحصول على الصور المقطعية المخروطية المحوسبة (CBCT). التصوير لمنطقة الفك العلوي المشمول بالدراسة. المريض في وضعية الوقوف وينظر إلى الأمام بحيث يكون المستوى السهمي الناصف عموديا على الأفق، وطلب من المريض أن يطبق بوضعية التشابك الحديبي الأعظمي [23]

طريقة معالجة الصور الشعاعية: تمت معالجة البيانات الخام واستخرجت ملفات (Digital Imaging and Communications in Medicine) DICOM لكل

التقييم ثلاثي الأبعاد للامتصاص الجذري الناتج عن المعالجة بالراصفات الشفافة باستخدام التصوير المقطعي المحوسب ذي الحزمة المخروطية

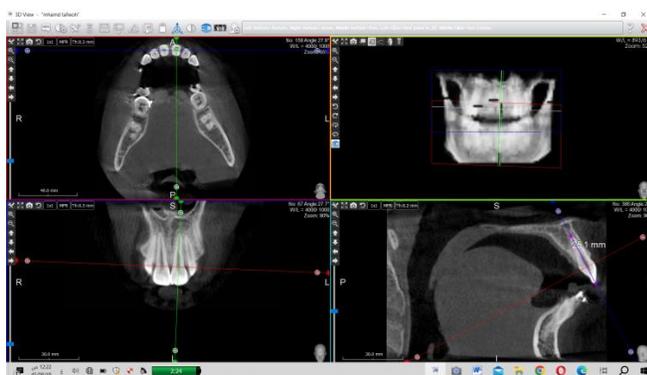
صورة وتطبيق القياسات الزاوية والخطية باستخدام البرنامج الحاسوبي AIS 3d-I
(AIS3D-I, Ver. 1.2.6.27, Vatech, Yongin, Korea)

تم استخدام الحاسوب نوع DELL Inspiron 5559 مع نظام التشغيل
Windows 10 Pro 64-bit

تقييم مقدار الطول الجذري : تم توجيه المقاطع المحورية عمودية على المحور الطولي لكل سن ويتم قياس الطول الحقيقي للأسنان من منتصف الحد القاطع حتى ذروة الجذر [24]

يتم قياس الطول الخطي للرباعيات والثنايا والأنياب في المستوى السهمي [25]
الشكل (5)

تعد هذه الطريقة قابلة للإعادة لأنها تعتمد على إعادة توجيه الصورة حسب المحور الطولي للسن الذي يبقى ثابتاً حتى وإن تغير ميلان السن خلال المعالجة التقويمية تم حساب مقدار تناقص طول الجذر الناتج عن الامتصاص من خلال المعادلة التالية: مقدار التناقص = طول السن قبل المعالجة - طول السن بعد المعالجة [26]



الشكل (5) للباحث القياس على الصور الشعاعية

الدراسة الإحصائية: تم استخدام البرنامج الإحصائي SPSS الإصدار 13 لإجراء الاختبارات الإحصائية حيث تم إجراء اختبار Kolmogorov-Smirnov لدراسة التوزيع الطبيعي، وتم إجراء اختبار T ستيودنت للعينات المترابطة Paired sample t-test لتقييم التغيرات الناتجة عن كل مجموعة كل على حدى، كما تم استخدام اختبار T ستيودنت للعينات المستقلة للمقارنة بين المجموعتين المدروستين، وذلك عند مستوى ثقة 90% ومستوى دلالة 0.05 حيث اعتبرت قيمة P جوهرياً عندما تكون أقل من 0.05.

النتائج Results: وصف العينة: تألفت عينة البحث من 26 مريضاً وكانوا مقسومين إلى مجموعتين اثنتين متساويتين، مجموعة الراصفات الشفافة ومجموعة الأجهزة الثابتة التقليدية. انسحب مريض واحد من مجموعة الراصفات الشفافة ليلعب عدد مرضى هذه المجموعة 12 مريضاً (7 إناث و5 ذكور) بمتوسط عمري 18.5 سنة وانسحب مريض واحد من مجموعة الأجهزة الثابتة ليلعب عدد المرضى في هذه المجموعة 12 مريضاً (8 إناث و4 ذكور) بمتوسط عمري 20.2 سنة وكان العدد الكلي للمرضى الذين شملتهم هذه الدراسة 24 مريضاً بمتوسط عمري 19.3 سنة ويبين الجدول (1)، الخصائص الأساسية للعينة المدروسة:

الجدول (1) : الخصائص الأساسية للعينة المدروسة

متوسط العمر بالسنوات (الانحراف المعياري)	توزع الجنس (ذكور ،إناث)	عدد المرضى	Baseline Characteristics
(3.2)/18.5	7/5	12	الراصفات الشفافة CA
(2.8)/20.2	6/6	12	الجهاز الثابت FA
(3)/19.3	13/11	24	العينة كاملة

التقييم ثلاثي الأبعاد للامتصاص الجذري الناتج عن المعالجة بالراصفات الشفافة باستخدام التصوير المقطعي المحوسب ذي الحزمة المخروطية

الإحصاء الوصفي لمقدار أطوال الأسنان للمجموعتين: كان هناك نقصان في طول جميع جذور الأسنان المدروسة بعد المعالجة التقييمية بالراصفات الشفافة والجهاز الثابت التقليدي الجدول (2)

الجدول (2) : الاحصاء الوصفي لمقدار أطوال الأسنان الأمامية العلوية للمجموعتين قبل وبعد المعالجة.

الجهاز الثابت (12)				الراصفات الشفافة (12)				المرحلة المدروسة	طول الأسنان المدروسة بالملم
الحد الأدنى	الحد الأعلى	الانحراف المعياري	المتوسط الحسابي	الحد الأدنى	الحد الأعلى	الانحراف المعياري	المتوسط الحسابي		
26.81	22.65	1.51	24.4	26.04	22.12	1.36	24.14	T0	الثنايا
24.22	22.34	1.62	22.48	25.85	21.22	1.43	23.08	T1	
24.5	20.1	1.43	22.14	24.42	20	1.32	22.88	T0	الرباعيات
22.36	18.78	1.33	20.74	24.02	19.2	1.14	21.54	T1	
28.68	24.88	1.52	26.52	28.14	24.11	1.67	26.33	T0	الأنياب
27.40	22.62	1.45	24.72	27.46	23.23	1.59	25.74	T1	
T0: قبل العلاج، T1: بعد العلاج									

دراسة التجانس بين المجموعتين المدروستين على أطوال الأسنان قبل المعالجة :
يبين الجدول (3) أنه لا يوجد فروق جوهرية بين المجموعتين بقيم أطوال الأسنان لجميع الأسنان قبل المعالجة

الجدول (3) نتائج مقارنة أطوال الأسنان بين المجموعتين قبل العلاج

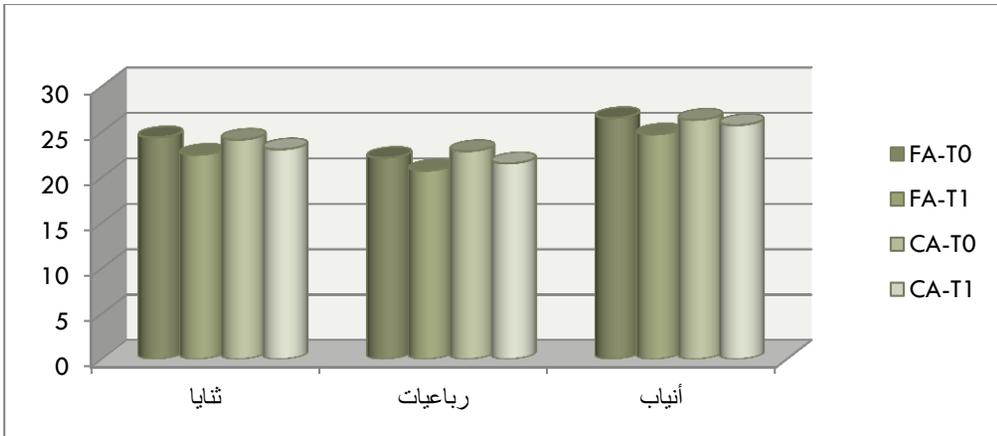
مقدار أطوال الأسنان (بالملم)	قيمة t المحسوبة	P-value	دلالة الفروق
الثنايا	1.014	0.278	-
الرباعيات	0.764	0.448	-
الأنياب	0.682	0.570	-
الاختبار المستخدم : اختبار (T) Two sample t-test، -: لا توجد فروق دالة، *: دالة عند مستوى الدلالة 0.05			

كما يظهر الجدول (4) التغيرات التي طرأت على قيم أطوال الأسنان في المجموعتين خلال الدراسة

الجدول (4) التغيرات التي طرأت على قيم أطوال الأسنان في المجموعتين خلال الدراسة

دلالة الفروق	P-value	الفرق بين المتوسطين	T1		T0		نوع الجهاز المستخدم	الأسنان المدروسة
			الانحراف المعياري	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	المتوسط الحسابي		
*	0.000	-1.06	1.43	23.08	1.36	24.14	رصاصات	الثنايا
*	0.000	-1.92	1.62	22.48	1.51	24.4	ثابت	
*	0.001	-1.34	1.14	21.54	1.32	22.88	رصاصات	الرباعيات
*	0.000	-1.4	1.33	20.74	1.43	22.14	ثابت	
*	0.002	-0.59	1.52	25.74	1.67	26.33	رصاصات	الأنياب
*	0.000	-1.80	1.45	24.72	1.59	26.52	ثابت	

الاختبار المستخدم : اختبار (T) Paired t-test، T0: قبل العلاج، T1: بعد العلاج، -: لا توجد فروق دالة *، دالة عند مستوى الدلالة 0.05



الشكل (6) مخطط للتغيرات التي طرأت على قيم أطوال الأسنان في المجموعتين خلال الدراسة

التغيرات التي طرأت على مجموعة الراصفات الشفافة CA:

سجلت هذه الدراسة نقصاناً جوهرياً في أطوال جميع الأسنان المدروسة بعد المعالجة ،حيث تناقص طول الثنايا بمقدار 1.06 مم ونقص طول الرباعيات بمقدار 1.34 مم بينما كان التناقص في طول الأنبياب 0.59 مم وكان هذا النقص جوهرياً من الناحية الإحصائية ($P=0.000$) الجدول (4).

التغيرات التي طرأت على مجموعة الأجهزة الثابتة FA:

سجلت هذه الدراسة أيضاً تناقص جوهري في جميع أطوال الأسنان المدروسة بعد المعالجة ، كان التناقص في طول الثنايا بمقدار 1.92 مم بينما كان في الرباعيات بمقدار 1.4 مم وكان هذا التناقص في طول الأنبياب بمقدار 1.80 مم وكان هذا النقص جوهرياً من الناحية الإحصائية ($P=0.000$) الجدول (4).

الفروق في تغيرات أطوال الأسنان بين مجموعتي الدراسة :

يظهر الجدول رقم (5) الفروق في تغيرات أطوال الأسنان بين المجموعتين .أظهرت هذه الدراسة تناقص في أطوال جميع الأسنان المدروسة (ثنايا ورباعيات وأنبياب) العلوية وكان هذا النقص أكبر في مجموعة الأجهزة الثابتة منه في مجموعة الراصفات الشفافة ويفارق جوهري بالنسبة للثنايا والأنبياب بين المجموعتين ($P=0.001, P=0.000$) بينما كان التناقص في طول الرباعيات بدون فرق جوهري بين المجموعتين ($P=0.395$) .

الجدول رقم (5): نتائج مقارنة التعبير في أطوال الأسنان بين المجموعتين

دلالة الفروق	P-value	الفرق بين المتوسطين	الجهاز الثابت		الرافعات		مقدار التغير في أطوال الأسنان (بالملم)
			الانحراف المعياري	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	المتوسط الحسابي	
*	0.001	-0.86	0.50	-1.92	0.42	-1.06	الثنايا
-	0.395	-0.06	0.44	-1.4	0.64	-1.34	الرباعيات
*	0.000	-1.21	0.70	-1.80	1.12	-0.59	الأنياب

الاختبار المستخدم : اختبار (T) Tow sample t-test ، - : لا توجد فروق دالة ، * : دالة عند مستوى الدلالة 0.05

المناقشة Discussion:

غالباً ما تتعرض الأسنان للامتصاص أثناء وبعد المعالجة التقويمية ويسمى بالامتصاص علاجي المنشأ، [26] وفي معظم الحالات لا يكون هذا الامتصاص شديداً وليس له أهمية سريرية، أما في الحالات الشديدة فإن الامتصاص يحدث نتيجة عدة عوامل منها الاستعداد الفردي وزيادة القوة المطبقة وزيادة مدة العلاج ، وعندها فإن المعالجة التقويمية يجب أن تتعدل أو تتوقف للحفاظ على دعم الأسنان [27].

أظهرت الدراسات المخبرية التي قارنت طول الجذور بين القياسات المباشرة على الجماجم الجافة والقياسات على الصور الشعاعية التقليدية أن متوسط الفرق في طول الجذور كان ذو دلالة إحصائية وبلغ 0.5 إلى 1.74 مم [28]، بينما كان هذا الفرق عند استخدام صور ال CBCT من 0.07 إلى 0.026 مم [29]. لذلك يعتبر التصوير المقطعي المحوسب ذي الحزمة المخروطية CBCT وسيلة تشخيصية تقدم طريقة أكثر دقة وموثوقية في تقييم الامتصاص الجذري لأنها تتوافق مع جميع الأسنان بغض النظر عن

التغيرات في وضعية السن واتجاهه [30] حيث تعتبر طريقة قياس أطوال الجذور طريقة قابلة للإعادة، لأنها تعتمد على إعادة توجيه الصورة ككل بناء على المحور الطولي للسن الذي يبقى ثابتاً حتى وإن تغير ميلان السن الدهليزي اللساني أو الأنسي الوحشي بشكل مرافق للمعالجة التقويمية [29]

في هذه الدراسة تم تضمين المرضى الذين لديهم علاقة إطباقية من الصنف الأول والمتراق بازدحام خفيف إلى متوسط لا يتطلب قلع وحدات سنية، حيث تعتبر حالات الازدحام السني أكثر أنواع سوء الإطباق شيوعاً، كما تعتبر عملية رصف وتسوية الأسنان عملية معقدة تشمل حركة جميع الأسنان ضمن القوس السنية باتجاهات مختلفة للوصول إلى وضعيات محددة. [31]. تم استبعاد المرضى الذين يعانون من سوء الإطباق الهيكلي والسني من الصنف الثاني والثالث. حيث تحتاج هذه الحالات إلى آليات أكثر تعقيداً وفترة علاج أطول، وهذا يزيد من حدوث الامتصاص الجذري [32]. حيث ذكر Sameshima وزملاؤه أن المرضى الذين خضعوا لمعالجة تقويمية مع قلع وحدات سنية كان لديهم مقدار أكبر من امتصاص الجذور [33].

أظهرت نتائج هذه الدراسة أن هناك انخفاض جوهري في طول الأسنان بعد العلاج في كلا المجموعتين، حيث تفاوت معدل الامتصاص في مجموعة الراصفات الشفافة من 0.49 إلى 1.34 مم و وفي مجموعة الأجهزة الثابتة من 1.4 إلى 1.92 مم. يعتبر امتصاص الجذور الطفيف الأقل من 2 مم بعد العلاج التقويمي الفعال مقبول من الناحية السريرية بشرط تجنب العوامل الأخرى التي يمكن أن تزيد أو تعزز هذا الامتصاص [34]

بينت نتائج هذه الدراسة أن معدل الامتصاص كان في مجموعة الأجهزة الثابتة FA أكبر منه في مجموعة الراصفات الشفافة CA وكان هذا الفرق جوهرياً بالنسبة للثنايا والأنياب

ولم يكن جوهرياً بالنسبة للرباعيات . يمكن أن نفسر هذا الاختلاف بمقدار الامتصاص بين التقنيتين بالاختلافات البيوميكانيكية وتوزيع القوى بشكل أكبر على كامل سطوح الأسنان في مجموعة الراصفات الشفافة وبأنها تطبق قوة متقطعة تسمح بفترات شفاء بعكس الأجهزة الثابتة حيث يكون تطبيق القوة بشكل مستمر [17].

نتفق مع نتائج دراسة (Weltman et al., 2010). [7] قارنوا فيها الامتصاص التالي للمعالجة التقويمية بالراصفات الشفافة باستخدام التصوير المقطعي المحوسب ذي الحزمة المخروطية CBCT بالمقارنة مع الجهاز الثابت كان الامتصاص أقل بكثير في مجموعة الراصفات الشفافة خصوصاً على الأنياب لم ذو أهمية بعكس الأجهزة الثابتة حيث كان التناقص بمقدار (1.53) مم على الأنياب وذلك كان متوافقاً مع نتائج الدراسة الحالية.

نتفق أيضاً في هذه الدراسة مع نتائج (Eissa ,Carlyle and El-bialy .,2018) حيث قاما بتطبيق الراصفات الشفافة من نظام Smart Track® وحساب مقدار التناقص في طول الجذر على القواطع العلوية والسفلية حيث كان الامتصاص الجذري أقل في مجموعة الراصفات الشفافة عما هو عليه في مجموعة الجهاز الثابت الدهليزي ، يمكن أن يعزى ذلك بالتحكم بمقدار القوة أثناء تطبيق الراصفات الشفافة كما أن هناك فترات راحة أثناء نزع المريض للراصفات مما يجعل تطبيق القوة متقطعاً ويسمح بفترات شفاء للنسج حول السنينة [19].

وجاءت نتائج دراستنا مشابهة لنتائج (Almagrabi et al.2023) حيث بلغ متوسط امتصاص الجذور في القواطع العلوية (0.31) مم عند تطبيق الراصفات الشفافة فيما كانت قيمته (0.62) مم عند تطبيق الأجهزة الثابتة التقليدية كانت هذه القيم أقل بكثير من الدراسات السابقة لأنها كانت تعتمد على الصور البانورامية وبسبب التشديد الكبير

في معايير الإدخال حتى تكون خصائص المجموعتين متطابقة إلى حد كبير وبالتالي تطبيق القوة وشدتها تكون متقاربة.[1].

فيما وجدت دراسة (Yi et al .,2017) أن هناك امتصاص في جذور الأسنان بعد تطبيق الرصاصات الشفافة بنسبة (56.30%) من عدد الأسنان المدروسة وكانت متوسط قيمته (0.47 ± 0.13 مم) وكان ذلك أقل بكثير من تلك القيم الموجودة في مجموعة الأجهزة الثابتة حيث كان نسبة الامتصاص (82.11%) ومتوسط القيمة عند (1.12 ± 1.34 مم)، فسروا النتائج بأن الرصاصات الشفافة عادة ما تستخدم في حالات أبسط نسبياً حيث من المتوقع أن يكون الامتصاص أقل. لذلك تم تقييم خصائص المرضى وفق تصنيف هيئة البورد الأمريكي للتأكد من أن المرضى يعالجون بأي من التقنيتين بدرجة متشابهة في الصعوبة، وكمية حركة الأسنان المطلوبة وكانت القواطع العلوية الأربعة أكثر الأسنان عرضة للامتصاص تليها الثنايا السفلية ثم الأنياب العلوية. الشفافة كما وجدوا أن التصوير المقطعي المحوسب CBCT أكثر دقة وموثوقية في تحديد الامتصاص الجذري التالي للمعالجة التقويمية.[35]

على النقيض من ذلك في دراسة (Brezniak .,2008) تم الإبلاغ عن تناقص في طول جذور القواطع العلوية بمقدار (2) مم وذلك بعد تطبيق الرصاصات الشفافة لمدة 14 شهراً لكنهم استخدموا الصور البانورامية في تقييم الامتصاص التالي للمعالجة مما يجعل النتائج أقل موثوقية.[13]

أظهرت نتائج مراجعة منهجية لتقييم الامتصاص الجذري الناتج عن المعالجة التقويمية باستخدام الصور البانورامية قبل وبعد المعالجة (Yi et al.,2018) أن الامتصاص الجذري في مجموعة الرصاصات الشفافة أقل بكثير من مجموعة الأجهزة الثابتة التقليدية مما يشير إلى تفوق الرصاصات الشفافة في التخفيف من تناقص طول الجذور. استخدموا

نسبة التاج إلى الجذر بدلاً من القياس المباشر باعتبار أن طول التاج يبقى ثابت نسبياً وذلك للتخفيف من التشوه والتكبير الحاصل في الصور البانورامية قبل العلاج وبعده.

[36]

نختلف مع دراسة (Iglesias-Linares et al., 2017) حيث وجد استعداداً مشابهاً لامتصاص الجذور باستخدام الرصاصات الشفافة القابلة للإزالة بالمقارنة مع الأجهزة الثابتة التقليدية اقترحوا أن قوى تقويم الأسنان مع أي منهما تؤدي إلى استجابات خلوية وجزئية تقود إلى تناقص في طول الجذور وذلك من خلال دراسة الجينات المتواجدة في اللعاب ومقارنتها بين المجموعتين قاموا بتطبيق حاصرات 0.018 وعدد أسلاك أقل من الأسلاك المستخدمة في دراستنا. [12]

الجدير بالذكر هناك بعض الدراسات (Mavragani et al., 2000) (Castro et al., 2013) أظهرت زيادة في طول بعض جذور الأسنان المدرسة قبل وبعد المعالجة التقويمية ، يمكن مراعاة الخطأ في القياس والتباين البيولوجي أيضاً ، ووجود أسنان غير مكتملة الجذور يمكن أن يؤثر على القياسات . لذلك يجب ضبط العينة بشكل جيد وتحديد مستويات مرجعية على الصورة لتكرار القياس قبل وبعد المعالجة مما يساهم بدقة النتائج بشكل أكبر. [37] [25]

تتوفر معلومات سريرية قليلة حول تأثير العمر والجنس على الامتصاص الجذري ، أشارت دراسة Jiang وزملاؤه إلى أنه يزيد معدل حدوث الامتصاص عند كبار السن (Jiang et al., 2010) . نظراً لطبيعة الرصاصات الشفافة التجميلية فإن البالغين أكثر طلباً لهذه التقنية العلاجية ، في هذه الدراسة كان عمر المرضى متقارب بين المجموعتين للتقليل من هذا العامل . كما أنه لم يكن هناك فروق كبيرة في التوزع السكاني للمرضى [38].

الاستنتاجات Conclusions:

إن نتائج البحث تقودنا إلى ما يلي:

1. يترافق استخدام الراصفات الشفافة والأجهزة الثابتة التقليدية بحدوث امتصاص جذري بعد انتهاء المعالجة التقيمية ولكن هذا الامتصاص غير هام سريرياً.
2. تسبب الراصفات الشفافة امتصاص في جذور الأسنان الأمامية العلوية بشكل أقل مقارنة مع الأجهزة الثابتة وخصوصاً الثنايا والأنياب .

التوصيات Recommendations:

1. يوصى باستخدام الراصفات الشفافة التقيمية عند المرضى ذوي المتطلبات التجميلية لمعالجة حالات الازدحام البسيط والمتوسط.
2. يوصى باستخدام الراصفات الشفافة التقيمية عند المرضى الذين لديهم عوامل تعزز من امتصاص جذور الأسنان.

المراجع References

1. Almagrabi I, Almashraqi AA, Almagrabi BS, Mohamed AS, Wafaie K, Al-Balaa M, Qiao Y. A quantitative three-dimensional comparative study of alveolar bone changes and apical root resorption between clear aligners and fixed orthodontic appliances. *Prog Orthod.* 2023 Feb 27;24(1):6
2. Saccomanno, S.; Saran, S.; Laganà, D.; Mastrapasqua, R.F.; Grippaudo, C. Motivation, Perception, and Behavior of the Adult Orthodontic Patient: A Survey Analysis. *Biomed. Res. Int.* **2022**, 2022, 2754051.
3. PROFFIT, W. R., FIELDS, H.W. 2013. *Contemporary Orthodontics* (4th edition). Elsevier, Philadelphia, Pennsylvania, USA. 281
4. Tsihklaki, A.; O'Brien, K.; Benson, P.E.; Marshman, Z.; Johal, A.; Colonio-Salazar, F.B.; Harman, N.L.; Fleming, P.S. Development of a core outcome set for use in routine orthodontic clinical trials. *Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop.* **2020**,
5. Hennessy, J.; Al-Awadhi, E.A. Clear aligners generations and orthodontic tooth movement. *J. Orthod.* **2016**, 43, 68–76.
6. Dasy, H.; Dasy, A.; Asatrian, G.; Rózsa, N.; Lee, H.F.; Kwak, J.H. Effects of variable attachment shapes and aligner material on aligner retention. *Angle Orthod.* **2015**, 85, 934–940.
7. Weltman B, Vig KW, Fields HW, Shanker S, Kaizar EE.(2010). Root resorption associated with orthodontic tooth movement: a

- systematic review. American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics;137(4):462-76>
8. Årtun J, Van't Hullenaar R, Doppel D, Kuijpers-Jagtman AM.(2009). Identification of orthodontic patients at risk of severe apical root resorption. American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics.135(4):448-55.
 9. Levander E, Malmgren O.(1988). Evaluation of the risk of root resorption during orthodontic treatment: a study of upper incisors. The European Journal of Orthodontics.10(1):30-8
 - 10.Mah, J.K., Yi, L., Huang, R.C. & Choo, H. (2011) Advanced applications of cone beam computed tomography in orthodontics. Seminars in Orthodontics. 17 (1), pp. 57-71.
 - 11.Jorge EG, Tanomaru-Filho M, Gonçalves M, Tanomaru JM.(2008). Detection of periapical lesion development by conventional radiography or computed tomography. Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology.106(1):e56-e61.
 - 12.Iglesias-Linares A, Sonnenberg B, Solano B, Yanez-Vico RM, Solano E, Lindauer SJ, et al. Orthodontically induced external apical root resorption in patients treated with fixed appliances vs removable aligners. Angle Orthod 2017;87:3-10
 - 13.Brezniak N, Wasserstein A: Root Resorption Following Treatment with Aligners. Angle Orthod 78, S. 1119-24 (2008
 - 14.Barbagallo L, Jones A, Petocz P, Darendeliler M: Physical properties of root cementum: Part 10. Comparison of the effects of invisible removable thermoplastic appliances with

- light and heavy orthodontic forces on premolar cementum. A microcomputed–tomography study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 133, S. 218–27 (2008)
15. Sombuntham N, Songwattana S, Atthakorn P, Jungudomjaroen S, Panyarachun B: Early tooth movement with a clear plastic appliance in rats. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 136, S. 75–82 (2009)
16. Krieger E, Drechsler T, Schmidtman I, Jacobs C, Haag S, Wehrbein H: Apical root resorption during orthodontic treatment with aligners? A retrospective radiometric study. *Head Face Med* 9, S. 21 (2013)
17. Li Y, Deng S, Mei L, Li Z, Zhang X, Yang C, et al. Prevalence and severity of apical root resorption during orthodontic treatment with clear aligners and fixed appliances: a cone beam computed tomography study. *Prog Orthod.* 2020;21(1):1–8.
18. Gandhi V, Mehta S, Gauthier M, Mu J, Kuo C–L, Nanda R, et al. Comparison of external apical root resorption with clear aligners and pre–adjusted edgewise appliances in non–extraction cases: a systematic review and meta–analysis. *Eur J Orthod.* 2021;43(1):15–24
19. Eissa O, Carlyle T, El–Bialy T. Evaluation of root length following treatment with clear aligners and two different fixed orthodontic appliances. A pilot study. *J Orthodont Sci* 2018;7:11.

20. Little, R. M. (1975). The irregularity index: a quantitative score of mandibular anterior alignment. *American journal of orthodontics*, 68(5), 554–5630
21. Al-Nadawi M, Kravitz ND, Hansa I, Makki L, Ferguson DJ, Vaid NR. Effect of clear aligner wear protocol on the efficacy of tooth movement. *Angle Orthod.* 2021 Mar 1;91(2):157–163. doi: 10.2319/071520–630.1
22. Johnston, C., Littlewood, S. Retention in orthodontics. *Br Dent J* 218, 119–122 (2015).
23. Sievers MM, Larson BE, Gaillard PR, Wey A.(2012). Asymmetry assessment using cone beam CT: A Class I and Class II patient comparison. *The Angle Orthodontist.*82(3):410–7
24. Hendrix I, Carels C, Kuijpers–Jagtman AM, Hof MVT.(1994). A radiographic study of posterior apical root resorption in orthodontic patients. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics.*105(4):345–9.
25. Castro IO, Alencar AH, Valladares-Neto J, Estrela C. Apical root resorption due to orthodontic treatment detected by cone beam computed tomography. *The Angle orthodontist.* 2013;83(2):196–203.
26. Lund H, Gröndahl K, Hansen K, Gröndahl H–G.(2012). Apical root resorption during orthodontic treatment—A prospective study using cone beam CT. *The Angle Orthodontist.* 82(3):480–7.
27. Apajalahti S, Peltola JS.(2007). Apical root resorption after orthodontic treatment—a retrospective study. *The European Journal of Orthodontics.* 29(4):408–12.

28. Stratemann S, Huang J, Maki K, Miller A, Hatcher D.(2008). Comparison of cone beam computed tomography imaging with physical measures. *Dentomaxillofacial Radiology*.37(2):80–93.
29. Lund H, Gröndahl K, Gröndahl H–G.(2010). Cone beam computed tomography for assessment of root length and marginal bone level during orthodontic treatment. *Angle Orthodontist*. 80(3):466–73.
30. Sherrard JF, Rossouw PE, Benson BW, Carrillo R, Buschang PH.(2010). Accuracy and reliability of tooth and root lengths measured on cone–beam computed tomographs. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*.137(4):S100–S8
31. GRABER TM, VANARSDALL RL, VIG KWL. *Orthodontics current principles and techniques (5th Edition)*. Elsevier, St. Louis, Missouri. 2010
32. Segal G, Schiffman P, Tuncay O.(2004). Meta–analysis of the treatment- related factors of external apical root resorption. *Orthodontics & craniofacial research*.7(2):71–8.
33. Sameshima GT, Sinclair PM.(2001). Predicting and preventing root resorption: Part I. Diagnostic factors. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*.119(5):505–10.
34. Fritz U, Diedrich P, Wiechmann D.(2003). Apical root resorption after lingual orthodontic therapy. *Journal of Orofacial Orthopedics/Fortschritte der Kieferorthopädie*.64(6):434–42.
35. Yi J, Sun Y, Li Y, Li C, Li X, Zhao Z. Cone–beam computed tomography versus periapical radiograph for diagnosing

- external root resorption: a systematic review and meta-analysis. *The Angle orthodontist*. 2017;87(2):328-37
36. Yi J, Xiao J, Li Y, Li X, Zhao Z. External apical root resorption in non-extraction cases after clear aligner therapy or fixed orthodontic treatment. *J Dent Sci*. 2018 Mar;13(1):48-53.
37. Mavragani M, Vergari A, Selliseth NJ, Boe OE, Wisth PL. A radiographic comparison of apical root resorption after orthodontic treatment with a standard edgewise and a straight-wire edgewise technique. *Eur J Orthod*. 2000;22(6):665-74.
38. Jiang R-p, McDonald J, Fu M-k.(2010). Root resorption before and after orthodontic treatment :a clinical study of contributory factors. *The European Journal of Orthodontics*.32(6):693-7