الجمهوريَّة العربيَّة السُّوريَّة
جامعة دمشق
كليَّة طب الأسنان
قسم مداواة الأسنان

تأثير استخدام كل من MTA وBioceramic وBC HiFlow في الحشو القنوي الجذري على مقاومة الكسر للجذور ذات الكسور العموديَّة غير المكتملة الصُّنعيَّة
(دراسة مخبريَّة مُقارنة)

رسالة قُدِّمت إلى جامعة دمشق لنيل درجة الماجستير في علوم طب الأسنان
اختصاص مداواة الأسنان

إعداد الباحثة
هبة الله حسين عطيَّة

إشراف الأستاذة المساعدة الدُّكتورة
هيلين أيوبي
أستاذة مساعدة في قسم مداواة الأسنان – كليَّة طب الأسنان – جامعة دمشق

1446هـ – 2025م

I

قرار لجنة الحكم Approval Page

Syrian Arab Republic
Damascus University
Faculty of Dental Medicine

الجمهورية العربية السورية
جامعة دمشق
كلية طب الأسنان

قرار لجنة الحكم على بحث الماجستير لطالبة/ الدراسات العليا:

هبة الله عطية

استناداً إلى اللائحة التنفيذية لقانون تنظيم الجامعات الصادرة بالمرسوم الجمهوري رقم /٢٥٠/ لعام ٢٠٠٦، وقرار مجلس جامعة دمشق رقم ٢٤١١/١٥ ص تاريخ ٢٠٢٢/٠٥/١٠ بشأن إجراءات القيد والمناقشة العلنية ومنح الدرجات العلمية في جامعة دمشق، **وقرار مجلس جامعة دمشق رقم /١٧٧٤/ ص.م تاريخ ١٩ / ٥ /٢٠٢٢م** بشأن الموافقة على تسجيل بحث **الماجستير** لطالبة/ الـــــدراسات العليا **هبة الله عطية**، لنيل درجة **الماجستير** في **مداواة الأسنان** بعنوان:

تأثير استخدام كل من MTA وBioceramic وBC HiFlow في الحشو القنوي الجذري على مقاومة الكسر للجذور ذات الكسور العمودية غير المكتملة الصنعية

دراسة مخبرية مقارنة

وتسمية **الأستاذة المساعدة الدكتورة هيلين أيوبي** **مشرفاً**، واستناداً إلى أحكام المادتين ١٦٣ و ١٦٤ من اللائحة التنفيذية لقانون تنظيم الجامعات الصادرة بالمرسوم الجمهوري رقم /٢٥٠/ تاريخ ٢٠٠٦/٧/١٠، وإشارةً إلى قرار مجلس الـــــكلية رقم **/٢٦٥/ تـــاريخ ٢٥/ ٢ /٢٠٢٥م** باقتراح تشكيل لجنة الحكم والمصادق عليه بقرار مجلس البحث العلمي والدراسات العليا رقم **/ ١٩٤٧/ م.ب.د المتخذ في الجلسة رقم / ١٣/ الـــــــــــمنعقدة بتاريخ ١٠ /٣/ ٢٠٢٥م**، المتضمن تشكيل لجنة الحكم من السادة:

الأستاذة المساعدة الدكتورة سمر عقيل	أستاذة مساعدة في قسم مداواة الأسنان - كلية طب الأسنان - جامعة دمشق	((عضواً))
الأستاذة المساعدة الدكتورة هيلين أيوبي	أستاذة مساعدة في قسم مداواة الأسنان - كلية طب الأسنان - جامعة دمشق	((مشرفاً))
المدرسة الدكتورة هبة وهبه	مدرسة في قسم مداواة الأسنان - كلية طب الأسنان - الجامعة السورية الخاصة	((عضواً))

Faculty of Dental Medicine
Address: Damascus Mezzah Highway
Phone: +963112121635
Website: www.damascusuniversity.edu.sy/dent

كلية طب الأسنان – جامعة دمشق
العنوان: دمشق -أوتوستراد المزة
هاتف: ٠٠٩٦٣١١٢١٢١٦٣٥+
Email: dean.dent@damascusuniversity.edu.sy

II

Syrian Arab Republic
Damascus University
Faculty of Dental Medicine

الجمهورية السورية
جامعة دمشق
كلية طب الأسنان

اجتمعت لجنة الحكم في جلسة علنية لمناقشة بحث **الماجستير** الذي تقدمت به طالبة/ الدراسات العليا **هبة الله عطية** في الساعة **العاشرة صباحاً من يوم الخميس الموافق ٢٠٢٥/٥/٨م** وبعد الاستماع إلى دفاع طالب/ الدراسات العليا والمناقشة التي تمت، أوصت اللجنة بما يلي:

١- قبول الأطروحة والحكم على أهلية طالبة/ الدراسات العليا **هبة الله عطية** (دون إجراء التعديلات / بعد إجراء التعديلات) لنيل درجة **الماجستير** في **علوم طب الأسنان** باختصاص **مداواة الأسنان** وفق التوزيع المرفق:

أعضاء اللجنة	توزيع الدرجة				
	تقييم الأطروحة ٤٥ درجة	مجريات الدفاع ٤٥ درجة	المجموع ٩٠ درجة	أعمال مميزة ١٠ درجات	الدرجة النهائية من ١٠٠ درجة
الأستاذة المساعدة الدكتورة سمر عقيل	٤٤	٤٤	٨٨	دكتوراه ٤ سنوات ٤ علامات	٩٦,٣٣
الأستاذة المساعدة الدكتورة هيلين أيوبي	٤٥	٤٥	٩٠	دكتوراه ٣ سنوات ٣ علامات	
المدرسة الدكتورة هبة وهبه	٤٥	٤٥	٩٠		
المجموع	١٢٤	١٣٤	٢٦٨ ٣ = ٨٩,٣٣	٧ علامات	

- وبذلك منح طالبة/ الدراسات العليا **هبة الله عطية** درجة الماجستير بعد المناقشة العلنية بتقدير **شرف** / وعلامة قدرها / رقماً / ٩٦,٣٣ كتابة **ستة وتسعون وثلاث وثلاثون بالمئة** درجة فقط.

دمشق في ٨ / ٥ / ٢٠٢٥

توقيع أعضاء لجنة الحكم

أ.م.د سمر عقيل	أ.م.د هيلين أيوبي	م.د هبة وهبه

ملاحظات:

- مرفق استمارات التحكيم للسادة أعضاء اللجنة (الاستمارة رقم ٣ و ٤ من كتيب إجراءات القيد)
- مبرر علامة التميز (نشر في: مجلة جامعة دمشق، مجلة معتمدة محلياً، مجلة معتمدة عالمياً ذات تصنيف Q1-Q2-Q3-Q4 ، أو صورة مصدقة عن براءة اختراع باسم الطالب وبموضوع بحثه)

كلية طب الأسنان – جامعة دمشق
العنوان: دمشق -أوتوستراد المزة
هاتف: ٠٠٩٦٣١١٢١٢١٦٣٥+
Email: dean.dent@damascusuniversity.edu.sy

Faculty of Dental Medicine
Address: Damascus Mezzah Highway
Phone: +963112121635
Website: www.damascusuniversity.edu.sy/dent

الجمهورية السورية
جامعة دمشق

قرار مجلس البحث العلمي والدراسات العليا رقم /١٩٤٧/ المتخذ بالجلسة رقم /١٣/ تاريخ ٢٠٢٥/٣/١٠

اطلع مجلس البحث العلمي والدراسات العليا على قرار مجلس كلية طب الأسنان رقم /٢٦٥/ تاريخ ٢٠٢٥/٢/٢٥

وبعد الرجوع إلى اللائحة التنفيذية لقانون تنظيم الجامعات الصادرة بالمرسوم /٢٥٠/ لعام ٢٠٠٦ .

قرار مجلس جامعة دمشق رقم /١٧٧٤/ص.م تاريخ ٢٠٢٢/٥/١٩ بشأن الموافقة على تسجيل رسالة الطالبة

تستفيد الطالبة من المرسوم رقم /٢٢٥/ تاريخ ٢٠٢٣/٨/٢٩ وتمنح سنة إضافية اعتباراً من ٢٠٢٥/٥/١٩ لغاية ٢٠٢٦/٥/١٨

وبنتيجة المذاكرة قرر مجلس البحث العلمي والدراسات العليا :

الموافقة على تأليف لجنة الحكم على رسالة الماجستير في قسم مداواة الأسنان التي أعدتها الطالبة هبة الله عطية بعنوان : ((تأثير استخدام كل من MTA و Bioceramic و BC Hiflow في الحشو القنوي الجذري على مقاومة الكسر للجذور ذات الكسور العمودية غير المكتملة الصنعية (دراسة مخبرية مقارنة))) بكلية طب الأسنان من السادة الأساتذة :

د. سمر عقيل	الأستاذ المساعد في قسم مداواة الأسنان	كلية طب الأسنان
جامعة دمشق	الاختصاص: مداواة الأسنان	عضواً
د. هيلين أبوبي	الأستاذ المساعد في قسم مداواة الأسنان	كلية طب الأسنان
جامعة دمشق	الاختصاص: مداواة الأسنان	عضواً مشرفاً
د. هبة وهبه	المدرس في قسم مداواة الأسنان	كلية طب الأسنان
الجامعة السورية الخاصة	الاختصاص: مداواة الأسنان	عضواً

وذلك وفق ما هو وارد في قرار مجلس الكلية آنف الذكر،،،

ملاحظة: يرجى إرسال نسخة عن الإعلان الخاص بتحديد موعد المناقشة فور صدوره إلى مكتب نائب رئيس الجامعة لشؤون البحث العلمي والدراسات العليا.

بسم الله الرَّحمن الرَّحيم

﴿ وَقُل رَبِّ زِدْنِي عِلْمَاً ﴾

صدق الله العظيم

سورة طـه، الآية {114}

تصريح

"لا يوجد أي جزء من هذه الأطروحة تم أخذه بشكل كامل من عمل آخر للحصول على شهادة أخرى في هذه الجامعة أو في أيّة جامعة أخرى أو معهد تعليمي"

الإهداء Dedication

إلى التي لا تنتهي طفولتي في عهدها . . الحقيقة الثَّابتة في عالمي . .

من احتضنت ضعفي قبل قوتي . .

الصَّوت الذي يحمل في نبراته طمأنينة الكون بأسره . .

إلى التي مهما ابتعدتُ، تبقى روحي عالقة بين يديها، كما لو أنني لم أغادر يوماً . .

إلى امرأة المعجزات . . أمي

إلى من علمني أنَّ الدُّنيا كفاح، وسلاحها العلم والمعرفة . .

إلى القلب الطَّيب والحنون . . داعمي الأول وسندي . .

من سعى لأجل راحتي ونجاحي . .

إلى أعظم رجل في الكون . . بطلي الوحيد . .

الحبيب الأول والأخير . . أبي

إلى صاحبة الابتسامة الرَّائعة والوجه البريء . .

نصفي الثَّاني . . من شاركتني نصف ابتسامتي ونصف أحزاني . .

إلى دفتر أسراري . . من أخاف عليها من كل شيء . .

إلى مسك الختام أختي التوأم نور

إلى رفيق الطُّفولة وأول الأصدقاء . .

إلى مصدر قوتي . . إلى نعمتي في هذه الدُّنيا . .

من فرَّقت بيننا المسافات . . كم تمنيت وجودك بجانبي اليوم . .

أخي الكبير خالد

هبة الله . . .

الشُّكر والتَّقدير Acknowledgment

اللَّهم لك الحمد حمداً أبلغ به رضاك، أُؤدي به شُكرك وأستوجب به المزيد من فضلك، اللَّهم لك الحمد كما أنعمت علينا نعماً بعد نعم، ولك الحمد في السَّراء والضَّراء، ولك الحمد في الشِّدة والرَّخاء ولك الحمد على كل حال.

بعد الحمد والشُّكر لله الذي أعانني على إتمام هذا البحث، لا يسعني إلا أن أتقدم بفائق الشُّكر والاحترام لأستاذتي **الأستاذة الدُّكتورة هيلين أيوبي، أستاذة مساعدة في قسم مداواة الأسنان في كلية طب الأسنان في جامعة دمشق،** والتي منحتني العلم والنُّصح طوال رحلتي البحثيَّة، كل الشُّكر والتَّقدير لجهودكِ العظيمة، شكراً لك من القلب على الدعم اللامحدود والإرشاد الثَّمين الذي قدمتِه لي خلال كل خطوة في هذا البحث، وأخيراً .. لقد كنتُ محظوظة جداً بقبولك الإشراف على بحثي المتواضع، أنتِ من علمتني أنَّه يمكن للعاطفة والمنطق أن تجتمعا معاً، فأنت اللطيفة والصَّديقة والباسمة، وأنت أيضاً الحازمة والمحترفة والمخلصة لعملك، وأريدكِ أن تعرفي أنك أحدثت تأثيراً متجذراً لن يمحى طوال حياتي، فجزاكِ الله عني كل خير.

كما أتقدم بالشُّكر الجزيل للأساتذة الكرام الذين شرفوني في تحكيم هذا البحث:

الأستاذة الدُّكتورة سمر عقيل، أستاذة مساعدة في قسم مداواة الأسنان في كلية طب الأسنان في جامعة دمشق، والتي تشرَّفت في تحكيم هذا البحث وأغنته بمعلوماتها المفيدة وتوجيهاتها الحسنة، فلها مني كل الشُّكر والعرفان.

الأستاذة الدُّكتورة هبة وهبه، مدرِّسة في قسم مداواة الأسنان في كلية طب الأسنان في الجامعة السُّوريَّة الخاصة، والتي قبلت تحكيم هذا البحث، وأغنته بملاحظاتها الدَّقيقة، فلها مني كل الشُّكر والتَّقدير.

كما أتوجه بالشكر لأساتذتي في قسم مداواة الأسنان في كلية طب الأسنان جامعة دمشق، وأخص منهم **الأستاذ الدُّكتور حسان عاشور رئيس قسم مداواة الأسنان** الذي قدم لنا النُّصح والعون وكان خير مُعَلِّم وقدوة.

كما أتقدم بالشُّكر والامتنان لإدارة كلية طب الأسنان ممثلة **بالأستاذ الدُّكتور خلدون محمد عاطف درويش** عميد كلية طب الأسنان، **والأستاذ الدُّكتور مهند لفلوف** نائب العميد للشؤون العلمية، **والأستاذ الدُّكتور عمر حشمة** نائب العميد للشؤون الإداريَّة.

وأتوجه بالشكر إلى رئاسة جامعة دمشق ممثلة **بالأستاذ الدُّكتور محمد أسامة الجبَّان**، على جهوده المبذولة وسعيه الدَّائم لجعل جامعة دمشق في الصَّدارة دوماً.

كما أنني أشكر زملائي في كلية طب الأسنان والذين كانوا عوناً لي في إنجاز هذا البحث وأخص بالذكر: **د. محي الدِّين الحمصي، د. لين زهراء، د. نور كحيل، د. جميلة بشارة**، فلهم مني كل الشُّكر والتَّقدير.

ولا يسعني في النِّهاية إلا أن أشكر كل من ساعدني في إنجاز هذا البحث، وإن نسيت ذكر أحدٍ من الحاضرين، فإنَّه سهواً مني لا تجاهلاً لفضله.

– والله ولي التوفيق والحمد لله رب العالمين –

فهرس المحتويات List of Contents

المحتويات رقم الصَّفحة

الملخص باللغة العربيَّة 1

الجزء التَّمهيدي Introductory Part..... 2

المقدمة..... 3

مشكلة البحث 4

تساؤلات البحث 4

الهدف من البحث..... 5

أهميَّة البحث 5

فرضيات البحث 6

مبررات البحث 6

محدوديَّات البحث 7

الباب الأول المراجعة النَّظريَّة Literature Review 8

الفصل الأول 1.1 كسور الأسنان..... 9

1.1.1 تعريف كسور الأسنان 9

1.1.2 تصنيف كسور الأسنان 9

1.1.3 كسور الجذر العموديَّة 11

1.1.3.1 تعريف كسور الجذر العموديَّة 11

1.1.3.2 تصنيف كسور الجذر العموديَّة 12

1.1.3.3 أسباب حدوث كسور الجذر العموديَّة..... 13

1.1.3.4 تشخيص كسور الجذر العموديَّة 16

1.1.3.5 معالجة الأسنان ذات كسور الجذر العموديَّة..... 21

الفصل الثَّاني 1.2 الحشو القنوي الجذري 22

1.2.1 تعريف الحشو القنوي الجذري 22

1.2.2 أهمية الحشو القنوي الجذري 22
1.2.3 مواد الحشو القنوي الجذري 23
1.2.3.1 مواد القالب الرئيس 24
1.2.3.2 معاجين حشو الأقنية الجذريَّة 37
الفصل الثَّالث 1.3 الدِّراسات السَّابقة 45
1.3.1 دراسات الجذور ذات الكسور العموديَّة غير المكتملة (الدِّراسات المخبريَّة + تقارير الحالة)..... 45
1.3.2 دراسات مقاومة الكسر للجذور السَّليمة (الدِّراسات المخبريَّة) 50
الباب الثَّاني المواد والطَّرائق Materials and Methods 53
2.1 المواد والأدوات المستخدمة في البحث.....54
2.2 الطرائق المستخدمة في البحث 68
2.2.1 عيِّنة البحث 68
2.2.2 تحضير عيِّنة البحث 69
2.3 الدِّراسة الإحصائيَّة 87
الباب الثَّالث النَّتائج والدِّراسة الإحصائيَّة Results and Statistical Study 90
3.1 الدِّراسة الإحصائيَّة التي أجريت على الدِّراسة التَّمهيدية الطَّليعيَّة لتقييم فعاليَّة الطَّريقة المعتمدة في إنشاء كسور ذات أبعاد موحَّدة 91
3.1.1 وصف العيِّنة 91
3.1.2 الإحصاءات الوصفيَّة والدِّراسات الإحصائيَّة التَّحليليَّة 91
3.2 الدِّراسة الإحصائيَّة للبحث 94
3.2.1 وصف العيِّنة 94
3.2.2 إحصاءات وصفيَّة 96
3.2.3 الدِّراسة الإحصائيَّة التَّحليليَّة 97
3.3 خلاصة النَّتائج بعد تحليلها إحصائيَّاً 99
الباب الرَّابع المناقشة Discussion 101
4.1 مناقشة فكرة البحث وأهدافه 102
4.2 مناقشة طرائق البحث ومواده 104

4.3 مناقشة نتائج البحث 113

الباب الخامس الاستنتاجات Conclusions.....117

5.1 الاستنتاجات 118

الباب السَّادس التَّوصيات والمقترحات Recommendations and Suggestions.....119

6.1 التَّوصيات 120

6.2 المقترحات.....120

الباب السَّابع المراجع References 121

7.1 المراجع 122

7.2 المواقع الالكترونيَّة 141

English Abstract 142

قائمة الأشكال List of Figures

رقم الشَّكل	عنوان الشَّكل	رقم الصَّفحة
(1-1)	شقوق سطحيَّة Crazy Line	11
(1-2)	الكسر الحدبي Fractured Cusp	11
(1-3)	تصدع السَّن Cracked Tooth	11
(1-4)	انشطار السَّن Split Tooth	11
(1-5)	كسور الجذر العموديَّة Vertical Root Fractures	11
(1-6)	J-Shaped Lesion	19
(1-7)	Angular Bony Defect	19
(1-8)	Furcal Resorptive Lesions	19
(1-9)	Gray and White (Tooth-Colored) ProRoot MTA	26
(1-10)		
(1-11)	Carrier Gun	35
(1-12)	Endodontic Glick	35
(1-13)	المكثفات اليَدويَّة Pluggers مقاس 3/1 و7/5 و11/9	35
(1-14)	Schilder Pluggers	37
(1-15)	شكل ترسيمي لخط الكسر الموسَّع والأشكال المثبتِّة	49
(2-1)	مادة الـ ProRoot MTA	54
(2-2)	مادة الـ TotalFill BC Sealer HiFlow	54
(2-3)	مادة الـ TotalFill BC Sealer	55
(2-4)	أقماع كوتابيركا قياسيَّة	55
(2-5)	مجهر مجسِّم (مُكبّرة ضوئيَّة) Stereomicroscope	56
(2-6)	طلاء أظافر	56
(2-7)	القبضة المستقيمة والـ Micromotor	56
(2-8)	الأقراص الماسيَّة	57
(2-9)	جبس أبيض ونشارة خشب ناعمة	57
(2-10)	القوالب البلاستيكيَّة	57
(2-11)	القبضة المعوجَّة والمحوِّلة	58
(2-12)	المبارد اليدويَّة من نوع K. File	58
(2-13)	مبارد التَّحضير الآلي	59
(2-14)	جهاز التَّحضير الآلي	59
(2-15)	سائل هيبوكلوريد الصُّوديوم 5.25%	60
(2-16)	سائل الـ EDTA 17%	60
(2-17)	Micrometer	60

(2-18)	بياكوليس رقميَّة إلكترونيَّة Digital caliper	61
(2-19)	Feeler Gauge	61
(2-20)	Thin Permanent Marker Pin	61
(2-21)	الألياف الضَّوئيَّة Fiber Optic Strands	62
(2-22)	جهاز الأمواج فوق الصَّوتيَّة	62
(2-23)	رؤوس الأمواج فوق الصَّوتيَّة المعدَّلة المحددة باللون الأحمر	63
(2-24)	الأقماع الورقيَّة القياسيَّة	63
(2-25)	المكثِّفات العموديَّة اليدويَّة	64
(2-26)	حامل الـ MTA المستخدم في البحث	64
(2-27)	جهاز الحشو الحراري	65
(2-28)	الأسمنت الزُّجاجي الشَّاردي	65
(2-29)	مادة الـ Liquid Peel Off Latex	65
(2-30)	الحاضنة	66
(2-31)	مادة الأكريل الشَّفاف	66
(2-32)	جهاز الاختبارات العام	67
(2-33)	الرَّأس المخروطي الذي استُخدِم لتطبيق القوة على عيِّنة البحث	67
(2-34)	حساب حجم العينة على برنامج G Power	68
(2-35)	عيِّنة البحث كاملة	69
(2-36)	صور شعاعيَّة حول ذرويَّة بالاتجاهين (الأنسي – الوحشي) و(الدِّهليزي – اللِّساني) لمجموعة من الأسنان	70
(2-37)	صدع يظهر على أحد سطوح الأسنان المفحوصة تحت المجهر المجسِّم	70
(2-38)	تحديد السَّطح الدِّهليزي للسن باستخدام طلاء الأظافر	71
(2-39)	قص التَّاج وتوحيد الطُّول للجذور بطول 15 ملم	71
(2-40)	أحد قواعد الجبس المصنوعة	73
(2-41)	شكل ترسيمي للكسر الصُّنعي المُجرى في البحث	76
(2-42)	تحديد طول الكسر	77
(2-43)	اللِّيف الضَّوئي داخل القناة الجذريَّة	77
(2-44)	ظهور ضوء اللِّيف من خلال خط الكسر	77
(2-45)	قياس ثخانة رأس الأمواج فوق الصَّوتيَّة المعدَّل	78
(2-46)	تحضير مادة الـ MTA	80
(2-47)	نقل مادة الـ MTA بوساطة الحامل	81
(2-48)	استخدام المبارد في تكثيف مادة الـ MTA ضمن الثُّلث الذُّروي	81
(2-49)	صورة شعاعيَّة لأحد أسنان المجموعة B1	81
(2-50)	صورة شعاعيَّة لأحد أسنان المجموعة B2	81

(2-51)	حقن مادة الـ TotalFill BC Sealer ضمن القناة الجذريَّة	82
(2-52)	صورة شعاعيَّة لأحد أسنان المجموعة C1	82
(2-53)	صورة شعاعيَّة لأحد أسنان المجموعة C2	82
(2-54)	حقن مادة الـ TotalFill BC HiFlow ضمن القناة الجذريَّة	83
(2-55)	صورة شعاعيَّة لأحد أسنان المجموعة D1	84
(2-56)	صورة شعاعيَّة لأحد أسنان المجموعة D2	84
(2-57)	طلي سطح الجذر باستخدام مادة الـ Liquid Peel Off Latex	85
(2-58)	أحد جذور العيِّنة بعد تحضيرها لإجراء اختبار الكسر	85
(2-59)	كامل العيِّنة بعد تحضيرها لإجراء اختبار الكسر	86
(2-60)	أحد العينات على جهاز الاختبارات العام المستخدم في البحث	87
(2-61)	أحد المخططات التي تظهر على شاشة جهاز الاختبارات العام	87
(3-1)	يُوضِّح الجزء المُظلل باللون الأحمر النُّسج العاجيَّة المتبقيَّة والتي لم يستطع القرص الماسي إزالتها لجعل طول خط الكسر الدَّاخلي والخارجي متساويان	109

قائمة الجداول List of Tables

رقم الجدول	عنوان الجدول	رقم الصَّفحة
1	تصنيف كسور الأسنان	10
2	الفرق بين كل من نوعي الـ MTA الرَّماديَّة والبيضاء	27
3	الإحصاءات الوصفيَّة لقيم عرض الكسر في العيِّنة المدروسة	91
4	الإحصاءات الوصفيَّة لقيم طول خطي الكسر الدَّاخلي والخارجي مع نتائج اختبار One-Sample T Test	92
5	الإحصاءات الوصفيَّة لقيم طول خطي الكسر الدَّاخلي والخارجي مع نتائج اختبار Paired-Sample T Test	92
6	الإحصاءات الوصفيَّة لمقدار الاختلاف بين طول خطي الكسر الدَّاخلي والخارجي	93
7	الإحصاءات الوصفيَّة لنسبة الاختلاف بين طول خطي الكسر الدَّاخلي والخارجي	93
8	معامل ألفا كرونباخ ومعامل الثَّبات	93
9	معامل الارتباط بيرسون	94
10	توزُّع الأسنان في عيِّنة البحث وفقاً لنوع المادة الحاشية وإحداث كسر عمودي	95
11	الإحصاءات الوصفيَّة لقيم مقدار القوة المطبقة لمقاومة الكسر	96
12	نتائج اختبار تحليل التباين أحادي الجانب ANOVA	97
13	نتائج اختبار Bonferroni للمقارنات الثُّنائيَّة المتعددة بين مجموعات البحث	98

قائمة المخططات List of Charts

رقم المخطط	عنوان المخطط	رقم الصَّفحة
1	توزُّع مجموعات البحث الرَّئيسة والفرعيَّة	74
2	النِّسبة المئوية لتوزُّع عيّنة البحث وفقاً لنوع المادة الحاشية وإحداث كسر جذري عمودي	95
3	المتوسط الحسابي لقيم مقدار القوة المطبقة لمقاومة الكسر	97

List of Abbreviations قائمة الاختصارات

الاختصار	المصطلح الانكليزي	المصطلح العربي	رقم الصَّفحة
MTA	Mineral Trioxide Aggregate	ثلاثي الأكاسيد المعدنيَّة	1
BC	Bioceramic	الخزف الحيوي	1
VRFs	Vertical Root Fractures	كسور الجذر العموديَّة	10
COF	Crown-Originating Fractures	كسور تاجيَّة	10
CT	Computed Tomography	التَّصويرُ المقطعي المُحَوْسَب	20
CBCT	Cone-Beam Computed Tomography	التَّصويرُ المقطعي المُحَوْسَب ذو الحزمة المخروطيَّة	20
FDA	Food and Drug Administration	إدارة الغذاء والدَّواء	25
GMTA	Gray MTA	الـ MTA الرَّمادي	27
WMTA	White MTA	الـ MTA الأبيض	27
PH	Potential of Hydrogen	درجة الحموضة	30
PBS	Phosphate Buffered Solution	محلول ملحي منظم مخزن بالفوسفات	30
SEM	Scanning Electron Microscope	المجهر الإلكتروني الماسح	34
VHN	Vickers Hardness Number	رقم فيكرز للقساوة	40
MIZ	Mineral Infiltration Zone	منطقة الارتشاح المعدني	41
CPC	Calcium Phosphate Cement	أسمنت ذو أساس فوسفات كالسيوم	52
EDTA	Ethylene Diamin Tetraacetic Acid	ثنائي أمين الإيثيلين رباعي حمض الخل	60
GIC	Glass Inomer Cement	الأسمنت الزُّجاجي الشَّاردي	64
SPSS	Statistical Package for the Social Sciences	الحزمة الإحصائيَّة للعلوم الاجتماعيَّة	87
ICC	Intraclass Correlation Coefficient	معامل الثَّبات	88

الملخص باللغة العربيَّة Arabic Abstract

خلفية البحث وهدفه: تُعدُّ كسور الجذور العموديَّة من أهم أسباب قلع الأسنان، وبالتالي لا بُدَّ من إيجاد طريقة لمعالجة هذه الأسنان للحيلولة دون قلعها، وإنَّ إحدى أهم هذه الطَّرائق هو إيجاد مادة حشو قنوي جذري قادة على زيادة مقاومة الجذور للكسر، لذلك فقد كان الهدف من هذه الدِّراسة المخبريّة هو دراسة تأثير استخدام كل من Mineral Trioxide Aggregate (MTA) وBioceramic (BC) وBC HiFlow في الحشو القنوي الجذري على مقاومة الكسر للجذور ذات الكسور العموديَّة غير المكتملة الصُّنعيَّة عن طريق المقارنة بينها وتبيان أي منها تحقق أفضل النَّتائج في هذا المجال.

مواد البحث وطرائقه: تألفت عينة البحث من 80 سنَّاً بشريَّة دائمة وحيدة الجذر، ووحيدة القناة، قُسِّمَت عشوائيَّاً إلى أربع مجموعات رئيسة متساويَّة، (n=20)، وذلك تبعاً لنوع المادة الحاشية، وكل مجموعة رئيسة قُسِّمَت عشوائيَّاً إلى مجموعتين فرعيَّتين، (n=10)، وذلك تبعاً لوجود كسر جذري عمودي من عدمه، وهي: م1 (A): شاهدة بقيت الأقنية الجذريَّة دون أي تداخل، قُسِّمت إلى: A1− لا تحوي كسر جذري عمودي (شاهدة سلبيَّة)، A2− تحوي كسر جذري عمودي (شاهدة إيجابيَّة)، م2 (B): تجريبيَّة حشيت الأقنية الجذريَّة بمادة MTA مفردةً، قُسِّمت إلى:B1− لا تحوي كسر جذري عمودي، B2− تحوي كسر جذري عمودي، م3 (C): تجريبيَّة حشيت الأقنية الجذريَّة بمادة Bioceramic مع الكوتابيركا بتقنية القمع المفرد، قُسِّمت إلى: C1− لا تحوي كسر جذري عمودي، C2− تحوي كسر جذري عمودي، م4 (D): تجريبيَّة حشيت الأقنية الجذريَّة بمادة BC HiFlow مع الكوتابيركا بتقنية الحشو الحراري، قُسِّمت إلى: D1− لا تحوي كسر جذري عمودي، D2− تحوي كسر جذري عمودي، أُجرِي اختبار مقاومة الكسر باستخدام جهاز الاختبارات العام، برأس أسطواني مُدبّب قطر ذروته 3 ملم، وبسرعة ثابتة (1 ملم/دقيقة) حتّى حصول الكسر، ودُوِّنَت القوّة الأعلى التي حصل عندها الكسر، وقُدِّرت هذه القوّة بالنيوتن، ثم حُلِّلَت النَّتائج إحصائيَّاً باستخدام اختبار تحليل التَّباين أحادي الجانب One-Way ANOVA، واختبار Bonferroni، وذلك عند مستوى الدَّلالة ($P \leq 0.05$).

النَّتائج: أظهرت النَّتائج أنَّ المجموعتين الشَّاهدتين (السَّلبيَّة والإيجابيَّة) أظهرتا مقاومة أعلى للكسر مع وجود فروق دالَّة إحصائيَّاً مقارنةً بمجموعتي الـ BC HiFlow فقط ($P < 0.05$)، ولم يكن هناك فروق دالَّة إحصائيًّا بين المجموعات التَّجريبيَّة الأخرى.

الاستنتاجات: ضمن حدود هذه الدِّراسة المخبريَّة، فإنَّه يمكن الاستنتاج أنَّ أفضل المواد التي تزيد من مقاومة الكسر للجذور ذات الكسور العموديَّة غير المكتملة الصُّنعيَّة، هي مادة الـ MTA والـ Bioceramic بالمرتبة الأولى، تليها مادة الـ BC HiFlow في المرتبة الثَّانيَّة.

كلمات مفتاحيَّة: كسور جذر عموديَّة، VRFs، كسور جذر عموديَّة صنعيَّة، مقاومة كسر، MTA، Bioceramic Sealer، BC HiFlow Sealer.

الجزء التَّمهيدي

Introductory Part

المقدمة: Introduction

إنَّ علم المداوة اللُّبّيَّة فرع من فروع علم طب الأسنان، يهتم بتشخيص ومعالجة والوقاية من أمراض اللُّبِّ السِّني والأمراض حول الذُّرويَّة والجذريَّة (Gopikrishna, 2021b)، ويُعَدُّ الحفاظ على الأسنان ضمن القوس السِّنيَّة لأطول فترة ممكنة من أهم أهداف علم المداواة اللُّبِّيَّة، ولكن هناك العديد من الأسباب التي تؤدي بالنهاية إلى قلع الأسنان، ومن أهم هذه الأسباب إصابة الأسنان بالكُسور سواء التَّاجيَّة أو الجذريَّة، وتُصنَّف الكسور عموماً إلى كسور عموديَّة (عادةً تتضمن كسراً في التَّاج) أو كسور مُعترضة (تسمى كسور أفقيَّة) (Abbott, 2019)، وتُعرَّف الكسور العموديَّة على أنَّها خطوط كسر طوليَّة تتوضع على سطوح جذور الأسنان (Kumar, 2016).

فيما يخص معالجة كسور الجذر العموديَّة، فقد كان هناك بعض الخيارات العلاجيَّة في الأدبيات الطِّبيَّة منها بعض الطَّرائق الجراحيَّة كبتر الجذر، والتَّنصيف، والقلع (Anitha & Rao, 2015)، بالإضافة إلى طرائق علاجيَّة جراحيَّة أُخرى يتم تطبيقها إما من داخل الحفرة الفمويَّة أو خارجها (كالقلع وإعادة الزرع) (Llena-Puy et al., 2001; Cohen et al., 2003; Walton, 2017)، وذلك وفقاً لامتداد الكسر ومكانه، أما الطَّرائق غير الجراحيَّة، فنذكر منها استخدام البعض لضماد ماءات الكالسيوم ضمن الأقنية الجذريَّة للمساعدة في الشِّفاء (Stewart, 1988; Barkhordar, 1991)، تشذيب حواف الكسر في الأسنان وحيدة الجذر المصابة بكسر عمودي (Vertucci, 1985; Trope & Rosenberg, 1992)، وإعادة ربط طرفي الكسر باستخدام العديد من المواد، مثل الأسمنت الزُّجاجي الشَّاردي (Selden, 1996)، أو المواد الرَّاتنجيَّة (Taschieri et al., 2010)، أو المواد ذات أساس سيليكات الكالسيوم (Floratos & Kratchman, 2012; Von Arx & Bosshardt, 2017).

حديثاً أصبح استخدام المواد ذات أساس Bioceramic ذا أهمية متزايدة، حيث تُحَفِّز هذه المواد على تكوين نسج متينة من خلال تفاعل المواد الدَّاخلة في تركيبها مع النُّسج التي تكون على تماس معها مثل فوسفات الكالسيوم (Bezerra et al.,2015)، كما تُعَدُّ هذه المواد متقبلة حيويَّاً ومضادة للجراثيم (Hermansson, 2014)، وقد يؤدي استخدام هذه المواد بمميزاتها لشفاء الأسنان المصابة بكسور الجذر العموديَّة غير المكتملة، وزيادة مقاومتها للكسر من جديد (Demiriz & Bodrumlu, 2018).

أخيراً، وعلى الرغم من أنَّه قد تم اقتراح طرائق مختلفة لعلاج الأسنان المصابة بكسور جذر عموديَّة، إلا أنَّه إلى الآن لم تُقدَّم أيَّة طريقة تُظهر نتائج موثوقة، وتُؤَمِن الشَّفاء التَّام للأسنان (Pinto et al., 2017)، وكذلك جميع تقارير الحالة المنشورة حتى الآن؛ لم تقم بتضمين عدد كافٍ من الأسنان للتأكد من فعالية الإجراء العلاجي المقدَّم (Liao et al., 2021)، لذلك وإلى الآن تُعَدُّ الأسنان المصابة بكسور الجذر العموديَّة أسنان ذات إنذارٍ سيئٍ، وعادةً ما يتم اللجوء لقلع هذه الأسنان للتخلص من المشكلات النَّاتجة عن إصابتها (Moule & Kahler, 1999; Nurrohman et al., 2011)، لذلك هناك مجال لمزيد من الأبحاث والدِّارسات لإيجاد طريقة علاجيَّة قائمة على أُسس وأدلة علميَّة يمكن تطبيقها لمعالجة الأسنان ذات كسور الجذر العموديَّة (Liao et al., 2021).

مشكلة البحث: Research Problem

لا يوجد إلى الآن بروتوكول معالجة مُعتَمد يمكن اعتماده للحفاظ على الأسنان ذات كسور الجذر العموديَّة، ومعظم طرائق المعالجة كانت عبارة عن تقارير حالة فقط لم تقم بتضمين عدد كافٍ من الأسنان للتأكد من فعاليَّة الإجراء العلاجي المقدَّم، كما أنَّها لم تقم بدراسة مقاومة هذه الأسنان للكسر بعد استخدام مواد مختلفة في معالجتها.

تساؤلات البحث: Research Questions

يطرح هذه البحث مجموعة التَّساؤلات الآتية:

1- هل ستزيد هذه المواد المُستخدمة في البحث من مقاومة الجذور ذات الكسر العمودي غير المكتمل الصُنعي للكسر من جديد؟

2- هل سيكون هناك فرق بين مقاومة الكسر للجذور ذات الكسر العمودي غير المكتمل الصُنعي، والجذور غير الحاوية على كسر عند استخدام المادة ذاتها في حشو القناة الجذريَّة؟

3- هل سيكون هناك فرق في قدرة المواد المستخدمة في البحث على زيادة مقاومة الكسر للجذور ذات الكسر العمودي غير المكتمل الصُنعي؟

4- هل سيكون هناك مادة قادرة على جعل مقاومة الكسر للجذور ذات الكسر العمودي غير المكتمل الصُنعي مشابهة لمقاومة الجذور السَّليمة للكسر؟

الهدف من البحث: Aim of Study

إنَّ الهدف من هذا البحث هو:

1- إجراء دراسة مخبرية مقارنة لتأثير استخدام كل من MTA وBioceramic وBC HiFlow في الحشو القنوي الجذري على مقاومة الكسر للجذور ذات الكسور العموديَّة غير المكتملة الصُّنعيَّة.

2- المقارنة بين مقاومة الكسر للجذور السَّليمة (غير الحاوية على كسور جذر عموديَّة) المعالجة لبياً بمواد الحشو القنوي الجذري السَّابقة ذاتها، ومقاومة الكسر للجذور ذات الكسور العموديَّة غير المكتملة الصُّنعيَّة المذكورة سابقاً.

3- مقارنة كل من المجموعات التَّجريبيَّة السَّابقة (السَّليمة والحاوية على كسر جذري عمودي) مع مجموعتين شاهدتين، شاهدة سلبيَّة وهي أسنان غير معالجة لبيًّاً، وغير حاوية على كسر جذري عمودي، وشاهدة إيجابيَّة وهي أسنان غير معالجة لبيًّاً، ولكنها حاوية على كسر جذري عمودي.

وتبيان أي من هذه المواد تحقق أفضل النَّتائج في هذا المجال.

أهميَّة البحث: Importance of the Research

تأتي أهميَّة هذا البحث:

أولاً: من أهميَّة الحفاظ على الأسنان ضمن القوس السِّنيّة، ولا سيما في حال كان وجود السِّن سيُؤثر بشكلٍ كبيرٍ على خطة المعالجة، مثل كونه دعامة لجسر.

ثانياً: من المهم جداً إيجاد مادة قادرة على زيادة مقاومة هذه الأسنان للكسر من جديد، وذلك لأنَّه من أهم أسباب فشل طرائق المعالجة التي قُدِّمَت في تقارير الحالات المجراة حول العالم هو زيادة امتداد الكسر السَّابق بعد فترة من المعالجة.

ثالثاً: تأتي أهميَّة هذا البحث من أهميَّة المواد المستخدمة فيه، فهي مواد حديثة تمتلك العديد من الخصائص التي جعلتها قادرة على تغيير مسار المعالجات اللبِّيَّة.

فرضيات البحث: Research Assumes

❖ فرضيَّة العدم H0:

– تتشابه المواد المستخدمة في هذا البحث في القدرة على زيادة مقاومة الجذور ذات الكسور العموديَّة الصُّنعيَّة غير المكتملة للكسر من جديد.

– لن يكون هناك فرق بين مقاومة الكسر للجذور ذات الكسور العموديَّة غير المكتملة الصُّنعيَّة، والجذور السَّليمة (غير الحاوية على كسر) عند استخدام المادة ذاتها في حشو القناة الجذريَّة.

– لا يوجد مادة قادرة على جعل مقاومة الكسر للجذور ذات الكسور العموديَّة غير المكتملة الصُّنعيَّة مشابهة لمقاومة الجذور السَّليمة للكسر.

❖ الفرضيَّة البديلة H1:

– ستختلف المواد المستخدمة في هذا البحث في القدرة على زيادة مقاومة الجذور ذات الكسور العموديَّة غير المكتملة الصُّنعيَّة للكسر من جديد.

– سيكون هناك فرق بين مقاومة الكسر للجذور ذات الكسور العموديَّة غير المكتملة الصُّنعيَّة، والجذور السَّليمة (غير الحاوية على كسر) عند استخدام المادة ذاتها في حشو القناة الجذريَّة.

– يوجد مادة قادرة على جعل مقاومة الكسر للجذور ذات الكسور العموديَّة غير المكتملة الصُّنعيَّة مشابهة لمقاومة الجذور السليمة للكسر.

مبررات البحث: Research Rationale

1– تُعَدُ كسور الجذر العموديَّة من أهم الأسباب التي تؤدي إلى قلع الأسنان، وبما أنَّ الأبحاث والدِّراسات التي تناقش موضوع إيجاد طرائق علاجيَّة لهذه الإصابات لا تزال قليلة جداً، فهناك حاجة للمزيد من الأبحاث والدِّراسات حول هذا الموضوع.

2– معظم الأبحاث السَّابقة كانت تبحث تأثير استخدام مواد الحشو القنوي الجذري على مقاومة الكسر للجذور السَّليمة المعالجة لبِّيّاً، وكون هذه الفكرة مطروقة من قبل، فإنَّ من أهم مبررات إجراء هذا البحث هو ضرورة تقييم استخدام مواد الحشو القنوي الجذري على مقاومة الكسر للجذور ذات الكسور العموديَّة غير المكتملة الصُّنعيَّة.

3- تُعَدُ المواد ذات أساس Bioceramic المتضمنة في هذا البحث من أحدث المواد المستخدمة في المعالجات اللُّبِّيَّة حاليَّاً، فهي تمتلك العديد من الخصائص التي أهَّلتها للقيام بمعالجات حديثة لم يكن هناك قدرة على إجرائها قديماً، لذلك هناك حاجة للمزيد من الأبحاث والدِّراسات حول إمكانيَّة الاستفادة من خصائص هذه المواد في معالجات جديدة هدفها الحفاظ على الأسنان ضمن القوس السِّنيَّة لأطول فترة ممكنة.

4- فضلاً عن ذلك، عند معالجة الأسنان المصابة بكسور جذريَّة عموديَّة، يجب أن نبحث عن طريقة يمكن من خلالها حشو القناة الجذريَّة بسهولة، ومن دون أي إجراءات يمكن وصفها بالعنيفة (كإجراءات التَّكثيف الجانبي التي يمكن أن تزيد من امتداد الكسر)، كأن يتم حقن المادة الحاشية ضمن القناة حقناً، أو أن يتم الحشو باستخدام تقنيّة القمع المفرد، وهذه الطرائق يمكن اعتمادها عند استخدام المواد ذات أساس Bioceramic.

محدوديَّات البحث: Research Limitations

سيُجرى هذا البحث مخبريَّاً، وهناك بعض العوامل التي لن نتمكن من دراستها والتي تتعلق بوضع السِّن سريريَّاً، حيث تختلف بنية العاج في الأسنان المقلوعة عن الأسنان التي لا تزال ضمن القوس السِّنية، من حيث المرونة واللُّيونة ورطوبة العاج أيضاً، كما أنَّ هذا البحث سيَدرُس عاملاً واحداً فقط من العوامل التي لا بدَّ من تواجدها في المادة التي ستُستخدم في حشو القناة الجذريَّة وختم حواف الكسر، ألا وهو قدرتها على زيادة مقاومة هذه الجذور للكسر العمودي من جديد، ولن يَدرُس العوامل الأخرى التي يمكن أن تؤثر على نجاح معالجة الأسنان المشخصة بكسور جذريَّة عموديَّة، مثل خصائص المادة المضادة للجراثيم والقدرة على تحفيز الشِّفاء، قابلية الختم عند حواف الكسر، والقابلية على تحفيز تكوين نسج جديدة من خلال تفاعل مكونات المواد المستخدمة في الحشو مع النُّسج التي تكون على تماس معها ولا سيما في منطقة الكسر والنُّسج العظميَّة المحيطة بالإصابة.

الباب الأول

المراجعة النَّظريَّة

Literature Review

الفصل الأول

1.1 كسور الأسنان: Dental Fractures

1.1.1 تعريف كسور الأسنان: Definition of Dental Fractures

تُعرَّف كسور الأسنان والعظام على أنَّها تفرُّق اتصال في بنيتها، تحدث نتيجة إصابة حادة أو مزمنة (Andreason et al., 2019).

1.1.2 تصنيف كسور الأسنان: Classification of Dental Fractures

يُعَدُ السِّن الذي يتألف من العديد من النُّسج التي تختلف عن بعضها البعض في البنية (الميناء، العاج، الملاط، واللُّب)، أحد أهم الأسباب التي تجعل كسور الأسنان محيّرة جداً بمظاهرها السَّريريَّة، بالإضافة إلى التَّشريح المعقد للسِّن، فإنَّ أعراض هذه الإصابات لا تكون كافية عادةً للوصول لتشخيص مؤكِّد لوجود الكسر (Walton & Tamse, 2015)، جعلت جميع التَّحديات السَّابقة من الصَّعب وضع تصنيف معتمد وعالمي للكسور السِّنيَّة، علماً أنهَّ من المهم جداً تصنيف كسور الأسنان لأن ذلك سيؤدي بدوره للسُّهولة في اختيار الإجراء العلاجي المناسب لكل حالة، وقد بُذلت العديد من الجهود في سبيل وضع تصنيف معتمد للكسور السِّنيَّة، حيث يمكن تصنيف كسور الأسنان اعتماداً على كل من موقع واتجاه الكسر الحاصل في السِّن (Bakland & Tamse, 2015).

قدَّمت الجمعيَّة الأمريكيَّة لاختصاصيي المعالجة اللُّبِّيَّة التَّصنيفات الخمسة الأكثر شيوعًا لكسور الأسنان وهي: (American Association of Endodontists, 2008)

1- شقوق سطحيَّة Craze Lines: هي عبارة عن خطوط كسر مرئيَّة تمتد ضمن النُّسج المينائيَّة للسِّن فقط، وتشاهد عادةً في الأسنان الخلفيَّة عند الارتفاع الحفافي، وقد تمتد لأحد السُّطوح الدِّهليزيَّة أو اللِّسانيَّة، كما يمكن أن تظهر على الأسنان الأماميَّة بشكل خطوط عموديَّة لا تُسبِّب الألم عادةً، ولا تؤثر على النَّاحية الجماليَّة أيضاً، الشَّكل رقم (1-1).

2- الكسر الحدبي Fractured Cusp: هو عبارة عن كسر مكتمل أو غير مكتمل يبدأ من تاج السِّن، ويمتد ليشمل العاج، وينتهي في المنطقة العنقيَّة من السِّن تحت اللثة، وعادةً ما يُشاهد في الأسنان ذات التَّرميمات الكبيرة جداً، الشَّكل رقم (2-1).

3- تصدع السِّن Cracked Tooth: هو عبارة عن كسر يمتد من السَّطح الإطباقي للسِّن بالاتجاه الذُّروي دون أن يحدث تفرق اتصال بين طرفي الكسر، وعادة ما يتوضع الكسر في منتصف السِّن، ويمتد باتجاه أنسي وحشي ليشمل أحدَ الارتفاعين الحفافين أو كليهما، الشَّكل رقم (3-1).

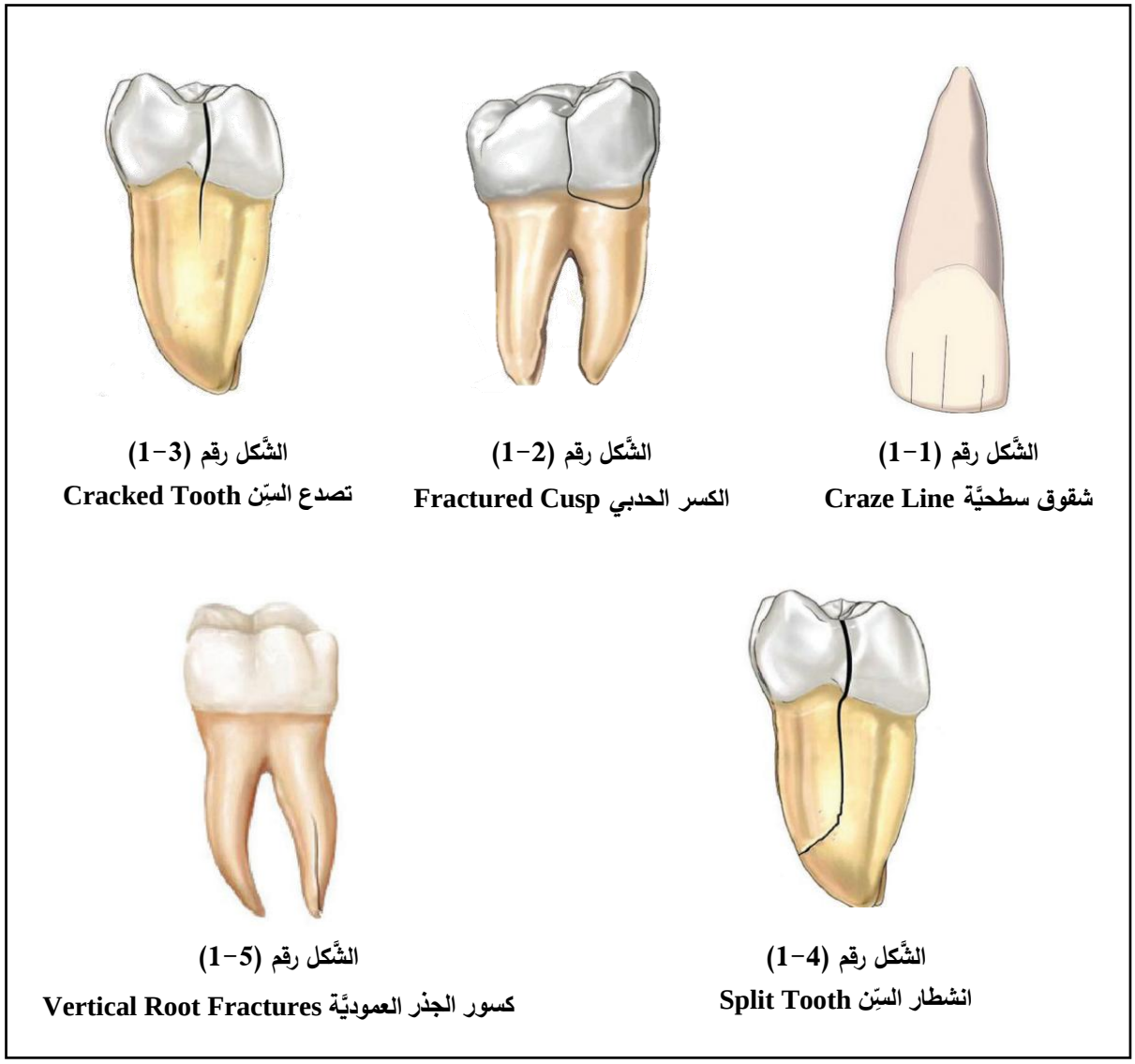
4- انشطار السِّن Split Tooth: هو عبارة عن كسر يشمل كلاً من الارتفاعين الحفافين للسِّن، ويمتد باتجاه أنسي وحشي ليشطر السِّن بشكل كامل إلى قسمين منفصلين، الشَّكل رقم (4-1).

5- كسور الجذر العموديَّة Vertical Root Fractures (VRFs): وهي الكسور التي تشمل جذر السِّن وتمتد بشكل عمودي، وقد تشمل كامل الجذر أو جزءاً منه، الشَّكل رقم (5-1).

كما اقترح Bakland وTamse عام 2015 أن يتم تصنيف كسور الأسنان بشكل آخر، وكان كالآتي (Bakland & Tamse, 2015)، الجدول رقم (1):

الجدول رقم (1): تصنيف كسور الأسنان

نوع الكسر	صفاته
كسور تاجيَّة Crown-Originating Fractures (COF)	كسر يتوضع في تاج السِّن، ويمكن أن يتطور فيما بعد بالاتجاه الذُّروي ليشمل جذر السِّن.
كسور الجذر العموديَّة Vertical Root Fractures (VRFs)	كسر يتوضع في أي جزء من جذر السِّن بالاتجاه العمودي، وهو يحدث بشكل رئيس في الأسنان المعالجة لبيَّاً.
كسور مرتبطة بالإصابات الرَّضيَّة Trauma-related Fractures	وهي كسور ذات طبيعة حادة، يمكن لها أن تشمل التَّاج والجذر أو كليهما، وعادةً ما تكون متوضِّعة بالاتجاه الأفقي.



(American Association of Endodontists, 2008)

1.1.3 كسور الجذر العموديَّة: Vertical Root Fractures (VRFs)

1.1.3.1 تعريف كسور الجذر العموديَّة : Definition of VRFs

تُعرَّف كسور الجذر العموديَّة على أنَّها خطوط كسر طوليَّة تتوضع على سطوح جذور الأسنان (Kumar, 2016)، وتعد السَّبب الثَّالث الأكثر شيوعاً لقلع الأسنان بعد النُّخور، وأمراض النُّسج حول السِّنيَّة (Tsesis et al., 2006; Zadik et al., 2008).

يمكن للكسور العموديَّة أن تشمل كامل طول الجذر أو جزءاً منه (Schetritt & Steffensen, 1995)، كما يمكن أن تشمل سطحاً واحداً فقط من الجذر وتدعى عندها بالكسور العموديَّة غير المكتملة، أو يمكن أن تشمل سطحي الجذر لتدعى عندها بالكسور العموديَّة المكتملة (Rivera & Walton, 2007).

تحدث الكسور العموديَّة عادةً في الأسنان المعالجة لبِّيّاً، ولكن يمكن أن تحدث في الأسنان الحيَّة أيضاً، وقد يُعزى ذلك لبعد أنماط الأنظمة الغذائيَّة أو بعض العادات مثل مضغ التَّبغ وغيرها، وقد يكون شكل الأسنان أو انحناء الجذور أو الميول الوراثيَّة أو التَّغيرات الحاصلة في العاج مع التقدم في العمر من الأسباب التي قد تؤدي لحدوث كسور الجذر العموديَّة في الأسنان الحيَّة غير المعالجة لبيّاً (Yang et al., 1995).

تُمَثِّل كسور الجذر العموديَّة 2 – 5٪ من الكسور التَّاجيَّة الجذريَّة، وعادةً ما تحدث لدى المرضى الذين تزيد أعمارهم عن 40 عاماً، وتُعد الضَّواحك العلويَّة والسُّفليَّة، والجذور الأنسيَّة للأرحاء السُّفليَّة، والجذور الأنسيَّة الدِّهليزيَّة للأرحاء العلويَّة، والقواطع السُّفليَّة الأسنان الأكثر عُرضةً للإصابة بكسور الجذر العموديَّة وذلك لأنَّ البعد الأنسي الوحشي لهذه الأسنان أصغر من البعد الدِّهليزي اللِّساني لها (Cohen et al., 2003)، كما يمكن لكسور الجذر العموديَّة أن تتوضع بأي جزء من الجذر، وقد تمتد بالاتجاه الذُّروي أو التَّاجي ولكنها بالنِّسبة الأكبر تبدأ من المنطقة الذرويَّة وتتجه تاجيّاً (Li et al., 2021)، كما أنها قد تتوضع على أي سطح من سطوح الأسنان، ولكنَّها بالنِّسبة الأكبر تتوضع على السَّطح الدِّهليزي أو اللِّساني لجذر السِّن (Berman & Kuttler, 2010).

1.1.3.2 تصنيف كسور الجذر العموديَّة: Classification of VRFs

- تُصنف كسور الجذر العموديَّة تبعاً للعلاقة بين طرفي الكسر (Luebke, 1984) إلى:

1- كسور الجذر العموديَّة المكتملة Complete VRFs: وهي الكسور التي تمتد لتشمل كلا سطحي السِّن.

2- كسور الجذر العموديَّة غير المكتملة Incomplete VRFs: وهي الكسور التي تشمل سطحاً واحداً فقط.

- تُصنف أيضاً تبعاً لعلاقة الكسر مع قمة الارتفاع السِّنخي (Luebke, 1984) إلى:

1- كسور الجذر العموديَّة داخل العظميَّة Intra-Osseous Fractures.

2- كسور الجذر العموديَّة فوق العظميَّة Supra-Osseous Fractures.

- تُصنف كسور الجذر العموديَّة حسب امتداد الكسر بالاتجاه الذُّروي – التَّاجي (Apical-Coronal) أو الاتجاه التَّاجي – الذُّروي (Coronal -Apical) (Bakland & Tamse, 2015) إلى:

1- كسور جذر عموديَّة ضمن المنطقة الذُّرويَّة فقط من الجذر.

2- كسور جذر عموديَّة ضمن المنطقة المتوسطة فقط من الجذر.

3- كسور جذر عموديَّة ضمن المنطقة التَّاجيَّة فقط من الجذر.

4- كسور جذر عموديَّة ضمن المنطقة التَّاجيَّة والمتوسطة من الجذر.

5- كسور جذر عموديَّة ضمن المنطقة المتوسطة والذُّرويَّة من الجذر.

6- كسور جذر عموديَّة تشمل كامل طول الجذر، وهنا سيكون من الصَّعب تحديد فيما إذا امتد هذا الكسر بدايةً من المنطقة التَّاجيَّة باتجاه الجذر أو العكس.

- تُصنف كسور الجذر العموديَّة أيضاً تبعاً لوجود الجراثيم في منطقة الكسر أو عدمه إلى (Bakland & Tamse, 2015) إلى:

1- كسور الجذر العموديَّة النَّسيجيَّة Histological VRFs: تشمل كل كسر جذري عمودي لا يترافق مع إنتان في منطقة الكسر، ولا يمكن أن يتم كشفه سريريَّاً حتى حصول الإنتان في منطقة الكسر، والذي سيترافق بدوره مع بدء الأعراض السَّريريَّة والشُّعاعيَّة.

2- كسور الجذر العموديَّة السَّريريَّة Clinical VRFs: تشمل كسور الجذر العموديَّة التي تترافق مع وجود الإنتان، وبالتَّالي الأعراض السَّريريَّة والشُّعاعيَّة ذاتها.

1.1.3.3 أسباب حدوث كسور الجذر العموديَّة: Etiology of VRFs

إنَّ أسباب حدوث كسور الجذر العموديَّة في الأسنان المعالجة لبِّيَّاً معقدة جداً ومتعددة، ولأنَّه لا يوجد سبب واضح جداً يمكن القول بأنَّه عامل رئيس في حدوث هذه الكسور، ولأن هذه العوامل تتنوع بين **عوامل مؤهِّبة** لحدوث الكسور (لا يمكن السَّيطرة عليها)، **وعوامل مسبِّبة** لها، فإن أمر الوقاية من حدوث كسور الجذر العموديَّة يكاد يكون صعباً للغاية (Tsesis et al., 2006).

على الرُّغم من أنَّ العوامل المؤهِّبة لحدوث كسور الجذر العموديَّة لا يمكن السَّيطرة عليها، لكن يجب أخذها بعين الاعتبار في أثناء وضع خطط المعالجة اللُّبيَّة والتَّرميميَّة (Tang et al., 2010)، ويُذكر من هذه **العوامل المؤهِّبة:**

أ. تشريح الجذر: تؤثر كلٌّ من سماكة العاج وشكل الجذر والقناة في إمكانيّة حدوث كسر عمودي للجذر، فيما يتعلق بشكل الجذر، فإن الجذور الأكثر عُرضة للكسر هي تلك التي يكون فيها البعد الأنسي الوحشي ضيّقاً مقارنةً بالبعد الدِّهليزي اللساني (ذات الشَّكل البيضوي Oval، شكل الكلية Kidney-Shaped، ذات الشَّكل الشَّريطي Ribbon-Shaped)، (Gutmann, 1992; Tsesis et al., 2006)، وهي تتضمن الضَّواحك العلويَّة والسُّفليَّة، والجذور الأنسيَّة للأرحاء السُّفليَّة، والجذور الأنسيَّة الدِّهليزيَّة للأرحاء العلويَّة، والقواطع السُّفليَّة (Cohen et al., 2003)، ولتقليل خطر حدوث كسور الجذر العموديَّة في مثل هذه الأسنان، فإن الإلمام بتشريح جذور الأسنان أمر ضروري لاختيار تقنيّة التَّحضير والحشو المناسبة لها، ومن ثم اختيار الطريقة الأمثل لإنجاز ترميمها أيضاً (Gutmann, 1992)، كذلك الأمر فإنَّ سماكة العاج الجذري تؤثر بدورها في ارتفاع نسبة حدوث كسور الجذر العموديَّة، فهناك مناطق معيَّنة يمكن أن تكون سماكة العاج فيها 1 ملم فقط، مثل الجذر الأنسي للرحى الأولى السُّفليَّة الذي يحتوي على انخماص فيه، والجذر الدِّهليزي للضَّواحك العلويَّة الأولى الذي يحتوي على ميزاب في الوجه المقابل لمنطقة مفترق الجذور، لذلك فإنَّ هذه الخصائص التَّشريحيَّة ترفع من احتماليّة حدوث كسور جذر العموديَّة، ولا سيما عند الإزالة المفرطة للعاج في سياق إجراءات المعالجة اللُّبيَّة والتَّرميميَّة، لذلك تسمى هذه المناطق بالمناطق الخطيرة (Danger Zones)، (Tamse et al., 2000; Li et al., 2013).

ب. كميّة النُّسج السِّنيَّة المفقودة: بسبب النُّخور والإصابات الرَّضِّيَّة (Gutmann, 1992).

ت. فقدان الرُّطوبة في الأسنان المعالجة لبّيّاً (Huang et al.,1992).

ث. بعض الخصائص الكيميائيَّة والحيويَّة المتعلقة ببنية العاج السِّني: فقد وجد Kishen وزملاؤه عام 2004 أنَّ العاج يتكيَّف مع توزيع الإجهادات والقوى الإطباقيَّة الوظيفيَّة بحيث يحدث تمعدن أكبر في المناطق الدِّهليزيَّة اللسانيَّة من جذور الأسنان، مما قد يؤدي إلى زيادة احتماليّة حدوث الكسر في هذا الاتِّجاه، مقارنةً بالمناطق الأنسيَّة الوحشيَّة التي تكون فيها نسبة الكولاجين أكبر، وكميّة النُّسج المتمعدنة أقل (Kishen et al., 2004).

ج. أثبتت الدِّراسات وجود تصدعات صغيرة في العاج الجذري لبعض الأسنان السَّليمة غير المعالجة لبيًّاً، قد تتحول هذه التَّصدعات في أثناء إجراءات المعالجة اللُّبيَّة إلى كسور جذر عموديَّة غير مكتملة (Onnink et al., 1994).

ح. أظهرت أحد الدِّراسات الحديثة أنَّ الأسنان المعالجة لبيًّاً لدى المرضى المصابين بمرض السُّكري من النَّمط الثَّاني مرتبطة بشكل أكبر بوجود كسور الجذر العموديَّة مقارنة بالمرضى غير المصابين، وقد يعزى ذلك إلى أنَّ كمية العاج المتصلب تواجدت بشكل أكبر عند المرضى المصابين، فضلاً عن أنَّ العاج الجذري لديهم أظهر نسبة تمعدن أكبر مقارنة بكمية الكولاجين (PradeepKumar et al., 2024).

أما فيما يتعلق **بالعوامل المُسبِّبة**، فيُقصد بها العوامل علاجيَّة المنشأ (سببها الطَّبيب)، ويُذكر منها:

أ. التَّحضير الزَّائد للأقنية الجذريَّة خلال المعالجة اللبِّيَّة، وخاصَّةً في الأسنان ذات الجذور المنحنيَّة (Tamse & Berman, 2019).

ب. الضَّغط الشَّديد في أثناء إجراءات التَّكثيف الجانبي البارد أو العمودي الحراري خلال مرحلة حشو الأقنية الجذريَّة (Tamse & Berman, 2019).

ت. استخدام محاليل الإرواء والضِّمادات في سياق المعالجات اللبِّيَّة، والتي تُؤثر على بنية العاج الجذري، وبالتَّالي على مقاومة الجذور للكسر (Qian et al., 2011)، حيث أثبتت بعض الدِّراسات أنَّه قد يحدث تآكل للعاج الجذري نتيجة استخدام محاليل الإرواء المختلفة، وضماد ماءات الكالسيوم لفترة طويلة، والعديد من المواد الكيميائيَّة الأخرى (Gasic et al., 2012).

ث. الإجراءات التي تهدف إلى ترميم الأسنان بعد المعالجة اللبِّيَّة، مثل استخدام الأوتاد الجذريَّة (كالبراغي) بشكل خاطئ، والتَّوسيع المفرط للأقنية الجذريَّة في سياق التَّحضير لاستقبال الأوتاد الجذريَّة بأنواعها المختلفة (Tamse & Berman, 2019)، ومن أهم العوامل التي تؤثر على مقاومة الكسر للجذور المرمَّمة باستخدام الأوتاد الجذريَّة هي: طول الوتد وقطره وتصميمه، والمادة المصنوع منها، وكميّة النُّسج التَّاجيَّة المتبقيَّة، أو ما يدعى بالـ Ferruling Effect، والأسمنت الذي سيستخدم بالإلصاق، ومقدار الدَّعم العظمي المتبقي حول الجذر (Al-Omiri et al., 2010).

وفي الآونة الأخيرة، تزايد استخدام أوتاد الكومبوزت المقوَّاة بالألياف Fiber Post في سياق ترميم الأسنان المعالجة لبّيَّاً بدلاً من الأوتاد المعدنيَّة، وذلك لأن معامل مرونتها مشابه لمعامل مرونة العاج (American Association of Endodontists, 2004)، وقد وجد Cagidiaco وزملاؤه عام 2008 أن استخدام أوتاد الكومبوزت المقوَّاة بالألياف Fiber Post قد أدى بالفعل إلى تحسين معدل بقاء الضَّواحك المعالجة لبيَّاً (Cagidiaco et al., 2008).

أخيراً، يمكن للطبيب أن يقلل من احتماليّة حدوث كسور الجذر العموديَّة في الأسنان المعالجة لبِّيَّاً من خلال إدراك جميع العوامل المسبِّبة السَّابقة، وذلك من خلال المحافظة على النُّسج السِّنيَّة قدر الإمكان، وعدم الإفراط بتحضير الأقنية الجذريَّة باستدقاقات كبيرة، والتَّحكم بالقوة المطبقة عند حشو الجذور، ولا سيما عند استخدام تقنيّة التَّكثيف الجانبي، وغيرها من أساليب الوقاية التي ذُكِرت سابقاً (Tamse & Chai, 2015).

1.1.3.4 تشخيص كسور الجذر العموديَّة: Diagnosis of VRFs

إن حدوث كسور الجذر العموديَّة من الأمور الشَّائعة عموماً (Tamse & Berman, 2019)، ويُعَدُّ الاكتشاف السَّريري لهذه الظَّاهرة أمراً صعباً، ليس فقط للممارس العام، ولكن أيضاً لاختصاصيي المعالجة اللبِّيَّة (Liao et al., 2021)، والسَّبب الرَّئيس في ذلك، أنَّ الأعراض والعلامات التي تترافق مع وجود كسر الجذر العمودي عادة ما تحاكي الأعراض المرافقة لحالات مرضيّة أخرى، مثل الألم المبهم أو الألم عند المضغ، وجود حركة في السِّن، جيوب حول سنيّة عميقة، وجود شفوفيَّة شعاعيَّة، وجميع الأعراض السَّابقة مشابهة لتلك الموجودة في حالات فشل المعالجة اللُّبِّيَّة أو الأمراض حول السِّنيَّة (Paranjpe & Noblett 2021).

يعتمد التَّشخيص الدَّقيق على مجموعة من الأمور، منها الشَّكوى الرَّئيسة للمريض، بالإضافة للتقييم السَّريري والشَّعاعي للحالة، وبما أنَّه في حالات كسور الجذر العموديَّة لا توجد علامة مرضيَّة واحدة معروفة، أو مظهر شعاعي مميز يجعل من تشخيصها أمراً مؤكداً (Lustig et al., 2000)، فإنَّه من الضَّروري استخدام كل وسائل التَّشخيص المتاحة لدى الطبيب لمحاولة الوصول إلى التَّشخيص الدَّقيق في الوقت المناسب، وقد يؤدي إغفال أيّة خطوة بسلسلة الاختبارات إلى حدوث خطأ في التَّشخيص النِّهائي، ويتضمن التَّسلسل الصَّحيح للاختبارات التَّشخيصيَّة الخطوات الآتية (Walton & Tamse, 2015):

1- التَّقييم المنهجي (الذَّاتي) Subjective Evaluation.

2- الاختبارات الموجَّهة (الموضوعيَّة) Objective Tests.

3- نتائج التَّصوير الشُّعاعي Radiographic Findings.

4- تاريخ المعالجات السِّنيَّة History of the Tooth Treatments.

5- رفع شريحة جراحيَّة عند الحاجة Flap Reflection when Indicated.

أولاً: التَّقييم المنهجي (الذَّاتي): Subjective Evaluation

يتألف من الاستجواب الدَّقيق، إذ يخضع لشعور ووصف المريض، وهو من أهم أجزاء التَّشخيص، وتتألف محاور الاستجواب من: الشَّكوى الرَّئيسة للمريض، ووصف شدة الألم، وموقعه، ومدته، والمحرِّضات المثيرة، وعادةً ما تكون الأعراض الألميَّة خفيفة ومبهمة في حالات كسور الجذر العموديَّة، ونادراً ما تكون مستويات الألم شديدة (Paranjpe & Noblett 2021)، لذلك فإنَّ كسور الجذر العموديَّة عادةً لا تدعو المريض لزيارة الطبيب بشكل إسعافي، وفي كثير من الأحيان، يشعر المريض بحركة في السِّن، بالإضافة إلى الشَّكوى من وجود ألم عند المضغ، وهي من الأعراض الشَّائعة، ولكنَّها عادةً ما تكون ذات شدَّة خفيفة، وقد يحدث لدى المريض وذمة موضعيَّة، وقد تترافق مع وجود طعم سيئ في الفم نتيجة تصريف الخراج باتجاه الحفرة الفمويَّة (Rivera & Walton, 2007; Tamse & Berman, 2019).

ثانياً: الاختبارات الموجَّهة (الموضوعيَّة): Objective Tests

تتضمن الاختبارات التي يجريها الطَّبيب بنفسه مثل اختبارات الحيويَّة، والحساسيَّة، واختبارات القرع والجس، وغيرها، وبدايةً وكون السِّن معالج لبيًّاً فإن اختبارات الحيويَّة تكون غير مفيدة في هذه الحالة، وأما بالنِّسبة لاختبارات القرع والجس فهي غير مفيدة بشكل خاص أيضاً، وعادةً ما ينتج عنها استجابة خفيفة، وهي ليست اختبارات تشخيصيَّة لكسور الجذر العموديَّة، وقد يلاحظ الطَّبيب سريريًّاً وجود ناسور أو خراج لثوي (Walton & Tamse, 2015).

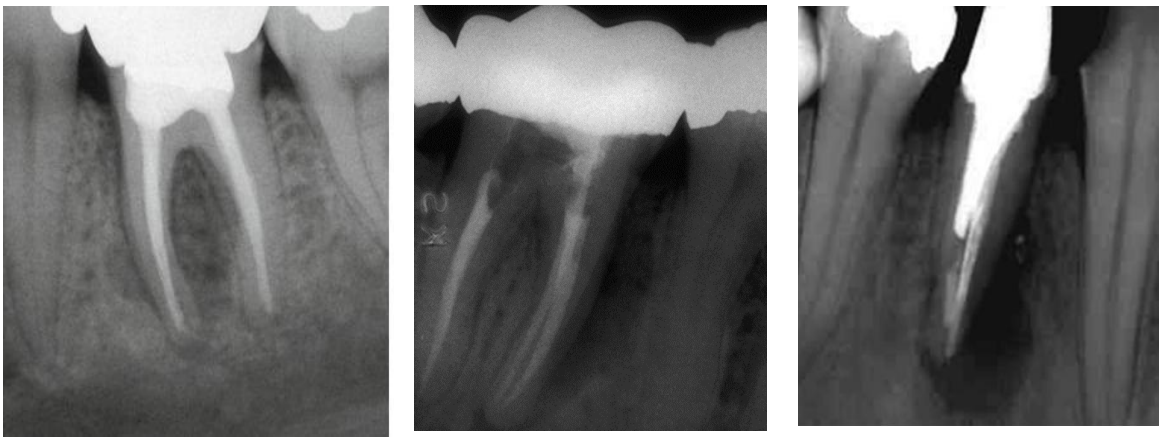
وفيما يتعلق باختبار السَّبر حول السِّني فهو من الاختبارات المهمة في تشخيص كسور الجذر العموديَّة، فقد يلاحظ أحياناً وجود جيب حول سني ضيِّق وحيد عند أحد الجذور (Walton et al., 1984)، ولكن قد تبدي بعض الأسنان المصابة بكسور جذر عموديَّة أعماق سبر طبيعيَّة، حيث وجدت إحدى الدِّراسات أنَّه في أقل من 24٪ من حالات كسور الجذر العموديَّة كان هناك جيب حول سني عميق (Karygianni et al., 2014).

عموماً، وعند وجود الجيب حول السِّني فإنَّه ليس بالضَّرورة أن يتواجد على كلٍّ من السَّطحين الدِّهليزي واللِّساني للسن، ولكن عند ملاحظة وجوده عند هذين السَّطحين فإن ذلك يرفع من احتماليّة وجود الكسر العمودي في الجذر، وبالتالي لا يُعَدُّ السَّبر حول السِّني في حد ذاته فحصاً تشخيصيَّاً مؤكداً لكسور الجذر العموديَّة، ولكن نصَّت المبادئ التَّوجيهيَّة للجمعيَّة الأمريكيَّة لاختصاصيي المعالجة اللُّبِّيَّة في عام 2008 على أنَّه: عندما يوجد جيب حول سني عميق مع ناسور (مع أو من دون أن يكون السِّن مرمماً بأوتاد تاجيَّة جذريَّة)، فإن هذا غالباً ما يكون دليلاً على إصابة السِّن بكسر جذري عمودي (American Association of Endodontists 2008).

ثالثاً: نتائج التَّصوير الشُّعاعي: Radiographic Findings

لا تُظهِر عادةً الصُّور الشُّعاعيَّة للأسنان المصابة بكسور جذر عموديَّة علامات شعاعيَّة مميَّزة خاصة بها (Walton et al., 1984; Tamse et al., 1999)، بل على العكس لوحظ أنَّ الصُّور الشُّعاعيَّة التي أُخِذت لهذه الأسنان قبل قلعها تُظهِر طيفاً واسعاً من الآفات العظميَّة تتشابه بكثير من الحالات مع الآفات النَّاتجة عن فشل المعالجات اللُّبِّيَّة أو بعض المشاكل حول السِّنيَّة (Tamse et al., 2006; Paranjpe & Noblett 2021)، والأهم من ذلك أنَّه قد لا يظهر أي تغيرات شعاعيَّة في بعض حالات الأسنان المصابة بكسور جذر عموديَّة، حيث أثبت عدد من الدِّراسات الحديثة أنَّه في العديد من حالات كسور الجذر العموديَّة لم يَظهر أي تغيرات شعاعيَّة مرضيَّة على الصُّور الشُّعاعيّة الذُّرويَّة الخاصة بها قبل القلع (Karygianni et al., 2014)، لذلك يجب أن يعتمد الطَّبيب على مجموعة من الفحوص التَّشخيصيَّة، بالإضافة إلى الصُّور الشُّعاعيَّة للوصول إلى التَّشخيص الصحيح، والأهم أن يكون في الوقت المناسب.

ومن العلامات الشُّعاعيَّة الأكثر شيوعاً في الظهور في حالات الـ VRFs هي مظهر الآفة بشكل حرف J (J-Shaped)، وتكون هذه الآفة عبارة عن شفوفيَّة شعاعيَّة حول ذرويَّة وممتدة على جانب الجذر المصاب، الشَّكل رقم (6–1)، كما يمكن أن يظهر شعاعيَّاً في بعض حالات الـ VRFs آفة شافة مُتزويَّة Angular تبدأ من قمة النُّتوء السَّنخي وتمتد إلى جانب الجذر المصاب، الشَّكل رقم (7–1)، أما في حالات الأرحاء السُّفليَّة التي قد يكون أحد جذورها مصاباً بكسر عمودي، فمن الملاحظ أنَّه قد تظهر آفة شافة على الأشعة في منطقة مفترق الجذور، تكون ممتدة ومقترنة مع شفوفيَّة على طول الجذر المصاب وحول ذروته، الشكل رقم (8–1). (Nicopoulou-Karayianni et al., 1997; Tamse et al., 2006).



الشَّكل رقم (6–1)
J-Shaped Lesion

الشَّكل رقم (7–1)
Angular Bony Defect

الشَّكل رقم (8–1)
Furcal Resorptive Lesions

(Walton & Tamse, 2015)

أيضاً، من النَّادر جداً ظهور طرفي الكسر متباعدان على الصُّور الشُّعاعيَّة، وإذا كان تفرق الاتصال هذا واضحاً على الأشعة فإنَّه يترافق عادةً مع آفة شافة شعاعيَّاً وكبيرة جداً، وهنا يكون وجود هذه العلامات الشُّعاعيَّة (تفرق الاتصال+ آفة شافة كبيرة) تشخيصاً واضحاً سهلاً مؤكداً لوجود كسر عمودي في جذر السِّن، ويشير ذلك إلى أنَّ الإصابة قد حدثت منذ وقت طويل، وكانت غير مُلاحظة من قبل المريض (Moule & Kahler, 1999)، وقد وجد Lustig وزملاؤه أنَّه عادة ما يتم تسجيل فقدان عظمي أكبر في الإصابات التي مضى على حدوثها وقتاً طويلاً وعانى فيها المرضى من وجود بعض الأعراض (مثل حركة السِّن، ألم على المضغ) مقارنةً بتلك التي شُخِّصت الإصابة فيها بكسور الجذر العموديَّة باكراً (Lustig et al., 2000).

قامت العديد من الدّراسات باختبار فعاليّة التَّصوير المقطعي المُحَوْسَب Computed Tomography (CT) والتَّصوير المقطعي المُحَوْسَب ذو الحزمة المخروطيَّة Cone-beam Computed Tomography (CBCT) في تشخيص كسور الجذر العموديَّة، وقد كانت معظم هذه الأبحاث والدِّراسات مخبريَّة، وأُجريت على أسنان بكسور صنعيَّة لا تُقارن أبداً مع الكسور التي تكون موجودة سريريَّاً، كونها تكون مختلفة في طبيعتها عن الكسر الحقيقي (Mora et al., 2007; Metska et al., 2012)، لذلك قد لا تعود النَّتائج التي حُصِلَ عليها من هذه الدِّراسات بفائدة كبيرة على النَّاحية السَّريريَّة، كما أنَّه عادةً ما تسبب مواد الحشو القنوي الجذري الموجودة ضمن الأقنية الجذريَّة، أو الأوتاد الجذريَّة تشتتاً وعدم وضوح في الصورة نتيجة تداخلها مع الحزمة الشُّعاعيَّة في أثناء التَّصوير، وهذا من شأنه أن يخفي وجود خط الكسر (Walton & Tamse, 2015)، كما حاولت العديد من الأبحاث والدِّراسات في السَّنوات الأخيرة إثبات تفوق صور الـ CBCT على صور الـ CT، وقد تكون ميزة هذه الصُّور هي القدرة على تحديد ودراسة أنماط الامتصاصات العظميَّة بشكل أدق، والتي قد تكون غير مرئيَّة في الصُّور الشُّعاعيَّة الأخرى سواء ثنائيَّة البعد أو صور الـ CT، وكان هناك فروق كبيرة بين نتائج هذه الأبحاث والدرّاسات ربما بسبب اختلاف تصميم كل دراسة مقارنةً بغيرها، علماً أنَّه أيَّاً من تقنيات التَّصوير السَّابقة دُرِسَت بشكل سريري (Edlund et al., 2011; Metska et al., 2012)، وقد يقع أحياناً بعض الأخطاء في أثناء قراءة الصُّور الشُّعاعيَّة ثلاثيَّة الأبعاد، تؤدي إلى تشخيص خاطئ لكسور الجذر العموديَّة، فقد يلاحظ وجود خط شفاف يفصل بين مادة الحشو القنوي الجذري وجدران القناة، أو قد يلاحظ هذا الخط نتيجة معالجة لبيَّة غير مكثَّفة بشكل جيد، إذ يمكن أن يسبب هذا الخط الرَّفيع بعض الالتباس والخطأ في التَّشخيص نتيجة الخلط بينه وبين خط الكسر الحقيقي بسهولة (Paranjpe & Noblett 2021).

لذلك، وفي الوقت الحالي لا توجد أدلَّة كافية تشير إلى تفوق صور الـ CBCT على الصُّور الشُّعاعيَّة الأخرى في الكشف عن الـ VRFs (Corbella et al., 2014)، و أخيراً يمكن القول أنَّ التَّصوير الشُّعاعي يمكن أن يكون مفيداً في دعم التَّشخيص في حال الشَّك بوجود كسر جذري عمودي بعد القيام بالعديد من الفحوصات التي تم ذكرها سابقاً، ولكن لا يمكن للصُّور الشُّعاعيَّة أبداً أن تكون وسيلة تشخيصيَّة لوحدها إلا في بعض الحالات القليلة التي يكون فيها تفرق الاتصال بين طرفي الجذر المكسور واضحاً (Walton & Tamse, 2015).

1.1.3.5 معالجة الأسنان ذات كسور الجذر العموديَّة: Treatment of Teeth with VRFs

تُعَدُّ معالجة الأسنان المصابة بكسور الجذر العموديَّة صعبة للغاية، وهي تعتمد في بادئ الأمر على نوع السِّن المكسور، وكذلك الأمر على موقع الكسر وامتداده، وكم من الوقت مضى على وجوده دون معالجة (Moule & Kahler, 1999)، تمتد غالبيّة كسور الجذر العموديَّة لتشمل الميزاب اللثوي للسِّن، مما يؤدي لتشكل جيب عظمي ممتد باتجاه المنطقة الذُّرويَّة وعلى طول خط الكسر، فيكوِّن بذلك جيب حول سني مفرد وضيِّق، ويُعزى تشكل هذا الجيب بالتَّأكيد لتسرب الجراثيم وغيرها من المخرِّشات للمنطقة حول السِّنيَّة، مما يؤدي بالنِّهاية لفقدان عظمي حول السِّن (Holcomb et al., 1987)، وبما أنَّه لا يمكن معالجة هذه المشكلات حول السِّنيَّة في ظل وجود الجراثيم، كان لا بدَّ أن تتضمن خطة المعالجة إغلاق هذا الكسر لمنع حدوث تسرب جرثومي للمنطقة (Pitts & Natkin, 1983)، أيضاً يجب إلغاء جميع القوى الإطباقيَّة الزَّائدة التي ساهمت بشكل أساسي في حدوث هذا الكسر، أو التَّحكم فيها على الأقل قبل توقع نجاح أي إجراء علاجي (Selden, 1996).

بشكل عام، – وكما ذُكر سابقاً – يُعَدُّ إنذار الأسنان المصابة بكسور الجذر العموديَّة ضعيفاً، وغالباً يكون قلع السِّن هو الخيار العلاجي المعتمد، ومع ذلك، فقد وُصِفَت العديد من تقارير الحالات في الأدبيَّات الطِّبيَّة، والتي حاولت ابتكار طرائق علاجيَّة مختلفة في سبيل المحافظة على الأسنان المصابة بكسور الجذر العموديَّة، وقد كانت نسب النَّجاح فيها متفاوتة (Moule & Kahler, 1999)، حيث تضمنت طرائق المعالجة هذه إما قيام الأطباء بإزالة الجزء المكسور من السِّن ضمن ما يدعى بإجراءات التَّنصيف أو بتر الجذر وغيرها، أو محاولة ربط طرفي الكسر باستخدام مادة متقبلة حيويَّاً، وغيرها من بروتوكولات المعالجة المختلفة والتي سيتم ذكرها فيما بعد (Moule & Kahler, 1999).

الفصل الثَّاني

1.2 الحشو القنوي الجذري: Root Canal Filling

1.2.1 تعريف الحشو القنوي الجذري: Definition of Root Canal Filling

وفقاً للجمعيَّة الأمريكيَّة لاختصاصيي المعالجة اللُّبيَّة تُعرَّف عمليّة الحشو القنوي الجذري على أنَّها الطَّريقة المستخدمة لملء وختم الأقنية الجذريَّة والتي سبق أن تم تحضيرها وتنظيفها ميكانيكيّاً وكيميائيّاً باستخدام مواد القالب الرَّئيس Core Filling Material، ومعاجين حشو الأقنية الجذريَّة Root Canal Sealers (Gopikrishna, 2021a).

1.2.2 أهمية الحشو القنوي الجذري: Importance of Root Canal Filling

على الرغم من أنَّ نسبة نجاح المعالجات اللبيَّة عالية جداً وقد تصل إلى 95%، إلَّا أنَّ هناك العديد من العوامل التي قد تؤثر على نتيجة المعالجة، والأدبيات الطِّبيَّة مليئة بالأبحاث والدِّراسات التي قيَّمت تأثير هذه العوامل على نتائج المعالجات اللُّبيَّة، ومن الصعب مقارنة نتائج كل هذه الأبحاث والدِّراسات نظراً لوجود قدر كبير من التَّباين في بروتوكولات المعالجة وتفاصيل العيّنات المدروسة، إلا أنَّه وعلى الرغم من هذا التَّباين، هناك عوامل رئيسة تؤثر على نتائج المعالجة اللُّبيَّة وإعادة المعالجة اللُّبيَّة، وهي حالة النُّسج حول الذُّرويَّة للأسنان قبل البدء بالمعالجة، بالإضافة إلى جودة الحشو القنوي الجذري، وأخيراً الختم التَّاجي (Durack & Brady, 2013)، ومما لا شك فيه أنَّ عمليَّة التَّحضير الميكانيكي والكيميائي للأقنية الجذريَّة ذات أهميَّة كبيرة في نجاح أي معالجة لبيَّة، إلا أنَّ تعقيدات المنظومة القنويَّة الجذريَّة كبير لدرجة أنَّه حتى أحدث تقنيات التَّحضير والإرواء غير قادرة على القضاء على جميع الجراثيم بشكل كامل (Durack & Brady, 2013)، وهنا تأتي أهميَّة الحشو القنوي الجذري في إتمام نجاح المعالجة، فقد تفشل المعالجة اللُّبيَّة عند الحشو غير الكامل للقناة الجذريَّة، وذلك لأن هذا الجزء الفارغ من قناة الجذر من المرجح أن يحتوي على جراثيم متبقيَّة وأنسجة حيَّة بسبب التَّحضير الميكانيكي والكيميائي غير الكافي، كما أنَّ احتواء حشوة الأقنية الجذريَّة على فراغات قد يؤدي إلى فشل المعالجة اللُّبيَّة وذلك لأن هذه الفراغات قد تسمح بدخول سوائل من النُّسج المحيطة إلى داخل القناة، وبالتالي توفير مصدر غذائي لأي جراثيم متبقيَّة، ومرور هذه الجراثيم من داخل القناة إلى النُّسج حول الذُّرويَّة (Durack & Brady, 2013).

وبناءً على ذلك، يمكن القول أنَّ من أهم أهداف الحشو القنوي الجذري تحقيق الختم ثلاثي الأبعاد للقناة الجذريَّة بعد تحضيرها ميكانيكيَّاً وكيميائيَّاً، والغرض من هذا الختم هو سد القناة الرئيسة وجميع "بوابات الخروج" لمنع أي اتصال أو تبادل مستقبلي بين المنظومة القنويَّة والنُّسج حول الذُّرويَّة (Castellucci, 2019).

وأخيراً يمكن القول أنَّ الحشو القنوي الجذري له أهمية كبيرة في التَّأثير على مدى مقاومة الجذر للكسر، سواء بالتَّقنيَّة المتَّبعة أو المواد المستخدمة بالحشو، فالضَّغط الشَّديد من قبل الطَّبيب في أثناء إجراءات التَّكثيف الجانبي البارد أو العمودي الحراري خلال مرحلة حشو الأقنية الجذريَّة قد يؤثر سلباً على مقاومة الجذر للكسر (Castellucci, 2019)، وغيرها من العوامل المؤثرة المتعلقة بالمواد الحاشية أو التَّقنيَّة المتَّبعة بالحشو والتي تم ذكرها سابقاً ضمن المراجعة النظريَّة.

1.2.3 مواد الحشو القنوي الجذري: Root Canal Filling Materials

تاريخياً، استُخدِمت العديد من المواد في حشو الأقنية الجذريَّة، وقد تم طرح العديد من هذه المواد تجارياً على أنَّها مواد ذات مواصفات مثاليَّة، إلا إنَّه وفقاً لـ Grossman، لا بدَّ أن تتمتع مواد الحشو القنوي الجذري المثاليَّة بالمواصفات الآتية (Gopikrishna, 2021a):

1- سهلة الاستخدام، وسهلة الإزالة إن لزم الأمر.

2- ثابتة الأبعاد.

3- تؤمن ختم للقناة الجذريَّة جانبيَّاً وذرويَّاً.

4- بطيئة التَّصلب.

5- أن تكون مقاومة للرُّطوبة.

6- قاتلة للجراثيم أو على الأقل تمنع نمو الجراثيم.

7- ألا تكون مادة مخرِّشة للنُّسج حول الذُّرويَّة، أو تؤثر على مقاومة النُّسج السِّنيَّة.

8- ظليلة على الأشعة، ولا تسبب تلون للنُّسج السِّنيَّة.

9- معقمة، أو يتم تعقيمها بسهولة قبل استخدامها مباشرة.

تصنَّف مواد حشو الأقنية الجذريَّة بشكل عام إلى (Castellucci, 2019):

1- مواد القالب الرَّئيس Main Core Materials وتكون إما صلبة Solid أو شبه صلبة Semi-Solid.

2- معاجين حشو الأقنية الجذريَّة Root Canal Sealers.

1.2.3.1 مواد القالب الرئيس: Main Core Materials

نذكر أهمها والأكثر شيوعاً واستخداماً:

1.2.3.1.1 أقماع الكوتابيركا: Gutta-Percha Cones

تعد أقماع الكوتابيركا المادة شبه الصُلبة Semi-Solid الأكثر استخداماً في طب الأسنان اليوم، وهي مشتقة من مادة مطاطيَّة يتم الحصول عليها من بعض النَّباتات الاستوائيَّة (من ماليزيا وبورنيو وإندونيسيا وجنوب إفريقيا والبرازيل) والتي تنتمي إلى الفصيلة السّبوتيَّة من النَّباتات (Castellucci, 2019)، استخدمت بنجاح في طب الأسنان لأكثر من 100 عام، وعلى الرغم من أنها ليست مثالية، إلا أن الكوتابيركا لا تزال المادة المفضلة لمعظم حالات الحشو القنوي (Castellucci, 2019).

- **المكونات: Composition**

تتألف الكوتابيركا المتوفرة تجارياً من (Castellucci, 2019):

- ✓ 18% إلى 22% كوتابيركا، وعلى الرغم من أنَّها لا تشكل المكون الأساسي للأقماع إلا أنَّها تعمل كقالب Matrix ضمن هذه المادة.
- ✓ 59% إلى 76% أكسيد الزنك، ويشكل الجزيئات المالئة لهذه الأقماع Fillers.
- ✓ 1% إلى 4% شمع وراتنج، ويتم إضافتها لتعطي اللُّيونة لأقماع الكوتابيركا.
- ✓ 1% إلى 18% مركبات كبريتيَّة معدنيَّة، مثل سلفات الباريوم التي تؤمن الظِّلاليَّة الشُّعاعيَّة للأقماع.

- **الإيجابيات: Advantages**

1- تتكيف مع جدران القناة بسبب قابليتها للتَّكثيف والضَّغط، فبمجرد تليينها بالحرارة، يمكن ضغطها وإزالة أي فجوات ضمن هذا المنتج.

2- بمجرد تصلبها، تصبح ثابتة الأبعاد، ولا تتقلص إلا عند تليينها كيميائياً (مثل استخدام الكلوروفورم)، أو عند تليينها فيزيائياً (مثل استخدام الحرارة)، لذلك يجب أن يكون التَّليين بالحرارة مصحوباً بضغط المادة للتَّعويض عن التَّغيرات الحجميَّة التي تحدث أثناء مرحلة التَّبريد.

3- معدل الانحلاليَّة منخفض للغاية، بالرغم من أن أكسيد الزنك يشكل القسم الأكبر من هذه المادة.

4- متقبلة حيويَّاً، وظليلة على الأشعة.

5- لا تساعد على نمو الجراثيم (Castellucci, 2019).

6- يمكن تعقيمها بسهولة من خلال الغمر في 5% – 6% من هيبوكلوريد الصوديوم لمدة دقيقة واحد فقط (Siqueira et al., 1998).

7- يمكن إزالتها بسهولة من القناة عن الحاجة لإجراء إعادة معالجة، من خلال استخدام المحلات مثل الكزيلول والأوكالبيتول وغيرها (Ladley et al., 1991).

- **السَّلبيات: Disadvantages**

1- ضعف مقاومتها فهي مادة شبه صلبة تفتقر إلى الصَّلابة وتنحني بسهولة عندما تتعرض للضغط.

2- لا ترتبط مع الجدران العاجيَّة، فلا يمكن أن تستخدم كمادة حشو مفردة، ولا بدَّ من استخدام معجون حشو معها لتأمين الختم الجيد للقناة الجذريَّة (Castellucci, 2019).

1.2.3.1.2 مركب ثلاثي الأكاسيد المعدنيَّة: Mineral Trioxide Aggregate (MTA)

تم تصنيف مادة الـ MTA تبعاً لـ Grossman كمادة قالب رئيس يمكن استخدامها لحشو الأقنية الجذريَّة بشكل مفرد بسبب خصائصها الفيزيائيَّة والكيميائيَّة والحيويَّة المتفوقة (Gopikrishna, 2021a)، وهي عبارة عن مركب ثلاثي الأكاسيد المعدنيَّة، قُدِمَت براءة الاختراع الأوليَّة لهذه المادة في الولايات المتحدة الأمريكيَّة في جامعة كاليفورنيا من قِبَل كل من Mahmoud Torabinejad وDean White، ثم استُخدِمَت من قبل العديد من اختصاصيي المداواة اللُّبيَّة لعدة سنوات (Lee et al., 1993)، وتمت الموافقة عليها للاستخدام البشري من قبل إدارة الغذاء والدَّواء Food and Drug Administration [FDA] عام 1998 (Schmitt et al., 2001).

أطلقت في ذلك العام شركة Tulsa Dental Products التي أصبحت الآن Dentsply Tulsa Dental Specialties مادة الـ MTA في الأسواق التِّجاريَّة باسم ProRoot MTA، وكان هذا المنتج التِّجاري متاحاً في البداية باللون الرَّمادي، ثم قُدِمَت نسخة باللون الأبيض (لون الأسنان) في عام 2002 (Berzins, 2014). الشَّكلان رقم (9–1) ورقم (10–1).

الشَّكلان رقم (9–1) ورقم (10–1)
Gray and White (Tooth-Colored) ProRoot MTA
(Berzins, 2014)

- **المكونات: Composition**

يدخل في تركيب مسحوق الـ MTA كل من المواد الآتية (Berzins, 2014):

1- الأسمنت البورتلاندي Portland Cement بنسبة 75%، ويدخل في تركيبه كل مما يأتي:

- ✓ السِّيليكات ثلاثيَّة الكالسيوم Tricalcium Silicate CaO_3SiO_2 أو Ca_3SiO_5.
- ✓ السِّيليكات ثنائيَّة الكالسيوم Dicalcium Silicate CaO_2SiO_2 أو Ca_2SiO_4.
- ✓ الألومينات ثلاثيَّة الكالسيوم Tricalcium Aluminate $CaO_3Al_2O_3$، أو $Ca_3Al_2O_6$ ويحتوي مسحوق الـ MTA الأبيض على كمية أقل من الألومينات ثلاثيَّة الكالسيوم مقارنةً بمسحوق الـ MTA الرَّمادي، ولكنه لا يزال موجوداً (Asgary et al., 2005).
- ✓ الألومينات الحديديَّة رباعية الكالسيوم Tetracalcium Aluminoferrite $CaO_4Al_2O_3Fe_2O_3$، وهذا المكون موجود في مسحوق الـ MTA الرَّمادي فقط، وهو الذي يمنحه هذا اللون الدَّاكن مقارنة بمسحوق الـ MTA الأبيض.

ملاحظة: يمكن أيضاً اعتبار جزء الأسمنت البورتلاندي في الـ MTA عبارة عن خليط من أكسيد الكالسيوم CaO، والسِّيليكات SiO_2، والألومينات Al_2O_3، بالإضافة إلى أكسيد الحديد Fe_2O_3 للـ MTA الرمادي، وأكسيد المغنيزيوم MgO للـ MTA الأبيض (Berzins, 2014).

2- أكسيد البزموث Bismuth Oxide Bi_2O_3 بنسبة 20%:

تفيد إضافة أكسيد البزموث في زيادة الظِّلاليَّة الشُّعاعيَّة للـ MTA، وذلك لأن الأسمنت البورتلاندي ليس ظليلاً بدرجة كافية على الصُّور الشُّعاعيَّة، كما أنَّ إضافته إلى الأسمنت البورتلاندي تقلل من مقاومته للضغط، وتزيد من مساميَّته (Coomaraswamy et al., 2007).

3- كبريتات الكالسيوم ثنائيَّة التَّميُّه (الجبس) Calcium Sulfate Dihydrate (Gypsum) $CaSO_4 2H_2O$ بنسبة 5%:

يضاف الجبس للتَّعديل على زمن التَّصلب، الذي يحدث خلال التَّأثير على تفاعل الألومينات ثلاثيَّة الكالسيوم، والجدير بالذكر أنَّ هناك العديد من الأبحاث المتضاربة حول ما إذا كان الجبس المضاف عبارة عن كبريتات كالسيوم ثنائيَّة التَّميُّه، أو كبريتات الكالسيوم نصف المميهة $CaSO_4½H_2O$ أو الشكل اللامائي من كبريتات الكالسيوم $CaSO_4$ (Camilleri, 2008; Belío-Reyes et al., 2009; Darvell & Wu, 2011).

- **أنماط الـ (MTA):Types of (MTA)**

يتوفر الـ MTA بلونين مختلفين كما ذُكِرَ سابقاً، اللون الرَّمادي واللَّون الأبيض، ويُعرض في الجدول رقم (2) مقارنة بين نوعي الـ MTA السَّابقين.

الجدول رقم (2): الفرق بين كل من نوعي الـ MTA الرَّماديَّة والبيضاء
(Kadali et al., 2020)

الـ MTA الأبيض White MTA (WMTA)	الـ MTA الرَّمادي Grey MTA (GMTA)
تم استبدال أكسيد الحديد بأكسيد المغنيزيوم، كي لا يسبب تلون للأسنان.	يحتوي على الألومينات الحديديَّة رباعية الكالسيوم، وهي المسؤولة عن إعطاء اللَّون الرَّمادي للـ MTA، لذلك لا يُستخدَم هذا النوع على الأسنان الأماميَّة لأنه يسبب تلونها.
جزيئاته كبيرة الحجم.	جزيئاته كبيرة الحجم.
زمن تصلب أقصر.	زمن تصلب أطول.
مقاومته للضغط أقل.	مقاومته للضغط أكبر.

- **التَّفاعلات الكيميائيَّة للتَّصلب: Chemical Setting Reactions**

تُعد مادة الـ MTA من الأسمنتات المحبة للماء، فهي تتصلب عن طريق التَّفاعل مع الماء، ويعد تفاعل التَّصلب لهذه المادة من التَّفاعلات النَّاشرة للحرارة، وإنَّ التَّفاعلين الكيميائيين الأهم في تصلب مادة الـ MTA هما تفاعلا المكونين الأكبر للأسمن البورتلاندي، السِّيليكات ثلاثيَّة الكالسيوم والسِّيليكات ثنائيَّة الكالسيوم مع الماء، وفيما يأتي المعادلات الكيمائيَّة لهذين التَّفاعلين (Bhatty, 1991; Ramachandran et al., 2003):

1- تفاعل السِّيليكات ثلاثيَّة الكالسيوم مع الماء:

$$2(CaO_3SiO_2) + 6H_2O \rightarrow CaO_3 2SiO_2 3H_2O + 3+ Ca(OH)_2$$

2- تفاعل السِّيليكات ثنائيَّة الكالسيوم مع الماء:

$$2(CaO_2SiO_2) + 4H_2O \rightarrow CaO_3 2SiO_2 3H_2O + 3+ Ca(OH)_2$$

نلاحظ أنَّ المنتجات الرَّئيسة لهذين التَّفاعلين هما سيليكات الكالسيوم المميَّهة Calcium Silicate Hydrates وماءات الكالسيوم Calcium Hydroxide، والذي يكون ذا بنية بلوريَّة، بينما تكون سيليكات الكالسيوم المميَّهة ذات بنية غير بلوريَّة (Camilleri, 2008)، وهكذا نلاحظ أنَّه رغم عدم احتواء مادة الـ MTA على ماءات الكالسيوم، إلَّا أنَّ تفاعل أكسيد الكالسيوم (التَّابع لسيليكات الكالسيوم) مع الماء أدى إلى تشكيل مركب ماءات الكالسيوم، كما أنَّ تعرُّض مادة ماءات الكالسيوم لثنائي أكسيد الكربون الموجود في السوائل الفيزيولوجية يؤدي إلى إنتاج كميَّة من كربونات الكالسيوم (Chedella & Berzins, 2010; Darvell & Wu, 2011).

أما فيما يخص المكونين الثَّانويين للأسمنت البورتلاندي، الألومينات ثلاثيَّة الكالسيوم والألومينات الحديديَّة رباعيَّة الكالسيوم، فهما يتفاعلان مع الجبس (كبريتات الكالسيوم) والماء وفق المعادلات الآتية (Bhatty, 1991; Ramachandran et al., 2003):

1- تفاعل الألومينات ثلاثيَّة الكالسيوم مع الماء وكبريتات الكالسيوم:

$$CaO_3Al_2O_3 + 3CaSO_4 + 32H_2O \rightarrow Ca_6(AlO_3)_3(So_4)_3 32H_2O$$

ينتج عن هذا التَّفاعل مركب كبريتات ألومومينات الكالسيوم والذي يدعى بالـ Ettringite وهو ذا بنية بلوريَّة صغيرة تشبه الإبر (Gandolfi et al., 2010)، وعندما تُستَهلك كميَّة الجبس فإنَّ المتبقي من الألومينات ثلاثيَّة الكالسيوم تتفاعل مع النَّاتج عن التَّفاعل السَّابق وهو كبريتات ألومومينات الكالسيوم لتكوين أحاديات الكبريتات، وفقًا للتَّفاعل الآتي (Bhatty, 1991; Ramachandran et al., 2003):

$$Ca_6(AlO_3)_3(So_4)_332H_2O + CaO_3Al_2O_3 + 4H_2O \rightarrow 3Ca_4(AlO_3)_3(So_4)_{22}12H_2O$$

2- تفاعل الألومينات الحديديَّة رباعيَّة الكالسيوم مع الماء وكبريتات الكالسيوم:

$$CaO_4Al_2O_3Fe_2O_3 + CaSO_4 + 16H_2O \rightarrow Ca_4(AlO_3/FeO_3)_2SO_412H_4O + 2Al/Fe(OH)_3$$

أخيراً ونظراً لكون الـ MTA كما ذُكِرَ أسمنتاً محباً للماء، فإنَّ تواجد الماء أو الرُّطوبة يعد عنصراً أساسياً في تصلب الـ MTA، وأيضاً تأسيس خصائص مثاليَّة لها، ومع ذلك، فإنَّ نقص الرُّطوبة أو الإفراط فيها سيؤثر على تصلب الـ MTA وخصائصها بطريقة سلبيَّة، فقد تتسبب الرُّطوبة الزَّائدة في زيادة مساميَّة الـ MTA وانخفاض مقاومتها للضغط (Walker et al., 2006)، ومن ناحية أخرى، على الرُّغم من استخدام الماء في أثناء المزج، فلا بدَّ أن يؤخذ بعين الاعتبار أنَّ الرُّطوبة من السِّن أو النُّسج المحيطة قد تساعد في تصلب الـ MTA، على سبيل المثال، وجد Budig وEleazer عام 2008 أنَّ مسحوق الـ MTA الجاف عند إدخاله إلى القناة الجذريَّة كما هو قد يتصلب في النِّهاية إذا تم منحه وقتاً كافياً للانتشار عبر الملاط أو عبر الأقنية الثَّانويَّة (Budig & Eleazer, 2008)، ومع ذلك، فإنَّ مسحوق الـ MTA في بيئة جافَّة نسبيًّاً لا يؤدي أداءً جيداً مثل الـ MTA في بيئة رطبة نسبيًّاً (Gancedo-Caravia & Garcia-Barbero, 2006).

- **طريقة المزج وزمن التَّصلب: Mixing MTA and its Setting Time**

يُمزج مسحوق الـ MTA عادةً مع الماء المقطر بنسبة 1:3 (مسحوق إلى سائل) (Kadali et al., 2020)، ويمكن استخدام سباتول معدني أو بلاستيكي للمزج إما على لوح زجاجي أو دفتر ورقي للوصول إلى القوام المطلوب وهو قوام عجيني، علماً أنَّه ينتج عن المزج الأوَّلي للمادة هلام غروي يتصلب في النِّهاية ليشكل بنية صلبة، ولا بدَّ أن يتم تأمين الرُّطوبة لهذا المزيج عن طريق تطبيق كريَّة قطنيَّة رطبة فوقه لمنع جفافه في أثناء التَّصلب (Macwan & Deshpande, 2014).

من الممكن استخدام الأقماع الورقيَّة أو المكثفات العموديَّة اليدويَّة Pluggers أو بعض رؤوس أجهزة الأمواج فوق الصَّوتيَّة أو بعض الحوامل ذات التَّصميمات الخاصة مثل الـ Map System لنقل مزيج الـ MTA إلى الموقع المطلوب (Kadali et al., 2020).

بعد المزج مباشرةً، تبلغ درجة الحموضة Potential of Hydrogen (PH) لـ MTA 10.2، وبعد 3 ساعات ترتفع لتصبح 12.5 وهي مشابهة تقريباً لـ PH ماءات الكالسيوم (Torabinejad et al., 1995).

اقترح Sluyk وزملاؤه أن زمن العمل Working time لمادة الـ MTA يجب أنَّ لا يتجاوز 4–5 دقائق فقط (Sluyk et al., 1998)، أما فيما يخص زمن التَّصلب Setting time فقد اختلفت الدِّراسات في تحديده، فمثلاً وجد Torabinejad وزملاؤه عام 1995 أنَّ زمن التَّصلب لهذه المادة هو ساعتين و45 دقيقة (Torabinejad et al., 1995)، بينما وجد Chng وزملاؤه عام 2005 أنَّ الـ MTA تتصلب بشكل أولي بعد مرور 45 دقيقة، وتتصلب بشكل نهائي بعد ساعتين و40 دقيقة تقريباً (Chng et al., 2005)، و40–140 دقيقة للتَّصلب الأولي والنِّهائي بالنسبة لـ Islam وزملائه (Islam et al., 2006)، و50 دقيقة لـ Kogan وزملائه (Kogan et al., 2006)، و220–250 دقيقة لـ Ding وزملائه (Ding et al., 2008)، و150 دقيقة تبعاً لدراسة Porter وزملائه (Porter et al., 2010).

- **التَّقبل الحيوي لمادة الـ MTA وتفاعلها مع النُّسج المحيطة: Biocompatibility and Interaction with the Environment**

منذ أنّ طُرِحت مادة الـ MTA في عالم طب الأسنان، أظهرت العديد من الأبحاث والدِّراسات أنَّها تتمتع بتقبل حيوي ممتاز ولديها قدرة أفضل على الختم من مواد طب الأسنان الأخرى المستخدمة في تطبيقات مماثلة، فقد كان Sarkar وزملاؤه أوَّل من فسَّر فكرة التَّقبل الحيوي لمادة الـ MTA، حيث قاموا بفحص تركيبة الرَّواسب الكرويَّة التي تكونت على سطح مادة الـ MTA عند تعرضها لمحلول ملحي منظم مخزَّن بالفوسفات Phosphate-Buffered Saline (PBS)، حيث لاحظوا تشكُّل طبقة ملتصقة مع جدار العاج تشبه بتركيبتها الهيدروكسي أباتيت، وذلك في الأقنية الجذريَّة المحضرة والمملوءة بمادة الـ MTA والمخزنة في هذا السَّائل لمدة شهرين وذلك عند درجة حرارة 37 درجة مئوية (Sarkar et al., 2005).

وفسَّروا ذلك بأنَّ شوارد الكالسيوم السَّائدة المنطلقة من الـ MTA، تتفاعل مع الفوسفات الموجود في محلول الـ PBS، مما يُنتج بلورات هيدروكسي الأباتيت التي تنمو وتملأ الفراغ بين الـ MTA والعاج (Sarkar et al., 2005)، وعلى العموم، فقد شملت الأدبيات الطِّبيَّة العديد من الأبحاث والدِّراسات التي أكدت التَّقبل الحيوي لمادة الـ MTA، فعلى سبيل المثال استخدم كل من Arens وTorabinejad مادة الـ MTA في معالجة انثقابات الأسنان، وأظهرت المادة نتائج جيدة في ترميم النُّسج العظميَّة المجاورة لمنطقة الانثقاب (Arens & Torabinejad, 1996)، واختبر Koh وزملاؤه عام 2001 ردود فعل الخلايا المصوِّرة للعظم اتجاه مادة الـ MTA، ولوحظ إنتاج بعض الإنترلوكينات والعوامل المحرضة لغزو البالعات، وهذا يوفر ركيزة نشطة لتجديد خلايا العظام في تلك المنطقة (Koh et al., 2001).

- **الانحلاليَّة: Solubility**

قُيِّمت انحلاليَّة الـ MTA في العديد من الأبحاث والدِّراسات، ولم تُظهِر بعد تصلبها أي انحلاليَّة، ولكن، وُجِدَ أن استخدام كمية زائدة من الماء في أثناء مزج الـ MTA قد يؤدي إلى زيادة انحلاليَّتها (Kadali et al., 2020)، ووجد Buding وEleazer عام 2008 أنَّه عندما تتعرض الـ MTA المتصلبة للماء فإن ذلك يؤدي إلى إطلاق ماءات الكالسيوم الحر، والتي يكون لها دوراً أساسياً ومهم جداً في تجديد النُّسج التي تكون على تماس معها (Budig & Eleazer, 2008).

- **مقاومة الضَّغط: Compressive strength**

تبلغ مقاومة الضّغط لـ MTA 40 MPa بعد 24 ساعة من مزجها، و67.3 MPa بعد 21 يوماً، كما أنَّ الـ MTA الرَّمادي يُظهر مقاومة ضغط أكبر من الـ MTA الأبيض (Kadali et al., 2020).

- **التَّمدد التَّصلبي وقابلية الختم: Setting Expansion and Sealing Ability**

تُظهِر الـ MTA قابليَّة ختم عالية، وذلك بسبب ما يحصل لها من تمدد طفيف عند تصلبها، وكما سبق وذُكر يختلف كل من الـ GMTA والـ WMTA عن بعضهما في محتوى الـ GMTA على الألومينات الحديديَّة رباعية الكالسيوم، وقد يؤثر هذا الاختلاف في التَّركيب على التَّمدد التَّصلبي لـ MTA، حيث وُجِدَ أنَّ الـ GMTA تتمدد أكثر بكثير من الـ WMTA (Storm et al., 2008)، كما وجد Valois وزملاؤه عام 2004 أن سماكة 4 ملم من الـ MTA كانت كافية لتأمين الختم الجيد (Valois & Costa, 2004).

- **الخصائص المضادة للجراثيم: Antibacterial Properties**

وفقاً لـ Torabinejad وزملائه لا تُظهِر الـ MTA تأثير مضاد للجراثيم اللاهوائيَّة المجبرة، ولكن تمتلك تأثير مضاد لبعض الجراثيم اللاهوائيَّة المخيَّرة (Torabinejad et al., 1995)، كما وجد الـ Al-Hazaimi وزملاؤه أنَّ الـ MTA لها تأثير مضاد لكل من المكوَّرات المعويَّة البرازيَّة Enterococcus Faecalis والمكوَّرات العقديَّة الخضراء Streptococcus Sanguis (Al-Hezaimi et al., 2006).

- **الاستخدامات السَّريريَّة لـ (MTA): Clinical Applications of (MTA)**

تتضمن الاستخدامات السَّريريَّة لمادة الـ MTA كل مما يأتي (Macwan & Deshpande, 2014):

1. في الأسنان المؤقتة: Primary Teeth

- ✓ التَّغطية اللُّبيَّة Pulp Capping، وبتر اللُّب Pulpotomy.
- ✓ معالجة انثقابات مفترق الجذور Furcation Perforations Repair.
- ✓ معالجة الامتصاصات Resorptions Repair.

2. في الأسنان الدَّائمة: Permanent Teeth

- ✓ التَّغطية اللُّبيَّة Pulp Capping.
- ✓ بتر اللُّب الجزئي والكامل Partial and Full Pulpotomy.
- ✓ معالجة الانثقابات (الذُّرويَّة والجانبيَّة وعند مفترق الجذور) Perforations Repair (Apical, Lateral, Furcation).
- ✓ معالجة الامتصاصات (الدَّاخليَّة والخارجيَّة) Resorptions Repair (Internal and External).
- ✓ معالجة الكسور (الأفقيَّة والعموديَّة) Repair of Fractures (Horizontal and Vertical).
- ✓ التَّصنيع الذُّروي (حاجز ذروي للأسنان ذات اللُّب المتموِّت والذُّروة المفتوحة) Apexification (Apical Plug for Tooth with Necrotic Pulps and Open Apex).
- ✓ التَّولد الذُّروي (حاجز تاجي للأسنان ذات اللُّب الحي والذُّروة المفتوحة) Apexogenesis (Coronal Barrier for Vital Pulps and Open Apex).
- ✓ المعالجات اللُّبية التَّجدديَّة Regenerative Endodontics.

- ✓ الحشو الرَّاجع بعد قطع الذُّروة Root-End Filling.
- ✓ استخدامها مفردة في الحشو القنوي الجذري Using MTA Alone in Root Canal Filling.
- ✓ معجون حشو أقنية جذريَّة Root Canal Sealer.

- **استخدام الـ MTA مفردة في الحشو القنوي الجذري:Using MTA Alone in Root Canal Filling**

قُدِّمت مادة الـ MTA لأول مرة في طب الأسنان كمادة حشو راجع بعد قطع الذُّروة وكمادة لمعالجات الانثقابات (Lee et al., 1993; Torabinejad & Chivian, 1999)، وبما أنَّ هذا الأسمنت المحب للماء يتمتع بتقبل حيوي عالي، فقد توسع النِّطاق العلاجي له ليشمل مؤخراً حشو القناة الجذريَّة بهذه المادة بالكامل، ونظراً لأنَّ معالجة الانثقابات والحشو الراجع ووضع السُّدادة الذُّروية يمثل شكلاً من أشكال حشو القناة الجذريَّة بشكل جزئي، فيمكن أيضاً اعتبار الملء الكامل للقناة باستخدام الـ MTA مفهوماً سريريَّاً متقدماً يمكن أن يُوفر مزايا كبيرة في المعالجات الجراحيَّة أو التَّقليديَّة أو المشتركة (Bogen et al., 2014).

على الرُّغم من أنَّ مادة الكوتابيركا هي المادة الأساسيَّة الأكثر استخداماً على نطاق واسع في المعالجات اللُّبيَّة التَّقليديَّة، إلا أنَّها عرضة لتخزين الجراثيم عند تعرضها بشكل مباشر أو غير مباشر للسَّوائل الفمويَّة (Jacobovitz et al., 2009; Yazdi et al., 2009)، ولكن يزعم العديد من أطباء الأسنان أنَّ الميزة الرَّئيسة لاستخدام أقماع الكوتابيركا في المعالجات هي سهولة إزالتها عند الحاجة لإجراء إعادة معالجة لبِّيَّة، ومع ذلك، من المفيد جداً استخدام مواد حشو يمكنها التَّغلب على العديد من أوجه القصور في الكوتابيركا وذلك لأنَّه إذا كانت المادة المستخدمة قادرة على تأمين ختم كامل للمنظومة القنويَّة الجذريَّة من الاتجاه الذُّروي والجانبي، فإنَّ إزالتها يمكن أن تكون صعبة أو مستحيلة تقريباً (Bogen et al., 2014).

- **فوائد استخدام الـ MTA بشكل مفرد في حشو الأقنية الجذريَّة: Advantages of Using MTA Alone in Root Canal Filling**

1- المحافظة على قلويَّة عالية وثابتة في أثناء التَّصلب البطيء لها.

2- تشكل طبقة بينيَّة مع العاج تشبه بنية الهيدروكسي أباتيت.

3- لا تتأثر خصائص المادة وتصلبها بوجود طبقة اللُّطاخة.

4- قدرة ختم عالية تصل إلى 0 ميكرون عند الفحص تحت المجهر الإلكتروني الماسح Scanning Electron Microscope (SEM).

5- تمنع نمو المكوَّرات المعويَّة البرازيَّة والمبيضات البيض.

6- تعزز تشكيل الملاط وإعادة تشكيل الرِّباط حول السِّني.

7- يمكن أن تزيد من مقاومة الجذر للكسر (Bogen et al., 2014).

- **سلبيات استخدام الـ MTA بشكل مفرد في حشو الأقنية الجذريَّة: Disadvantages of Using MTA Alone in Root Canal Filling**

1- زمن التَّصلب الطَّويل نسبياً.

2- صعوبة إزالتها في أثناء إعادة المعالجة اللُّبِّيَّة، خاصة في الأقنية المنحنية، لذلك ينظر للأسنان التي يفشل شفاؤها بعد الحشو بالـ MTA (بعد المعالجة الأوليَّة أو إعادة المعالجة) على أنها استطباب للعلاج الجراحي.

3- مسببة لتغير لون عاج الأسنان المعالجة بها، بسبب احتوائها على أكسيد البزموث سواء البيضاء أو الرَّماديَّة.

4- نظراً لطبيعتها المحبة للماء، فإن المادة ستتصلب إذا لم يتم اتباع الاحتياطات الصحيحة في أثناء التَّخزين، فإذا كان الطَّبيب ينوي استخدام الجزء غير المستخدم والمتبقي من العبوة المفتوحة، فيجب الإغلاق على المادة في علبة محكمة لتجنب امتصاص الرُّطوبة (Bogen et al., 2014).

5- صعوبة التَّعامل مع هذه المادة، وصعوبة تطبيقها ولا سيما ضمن الأقنية المنحنية بسبب قوامها الذي يشبه قوام الطِّين Mud-like Consistency (Pushpalatha et al., 2022).

- **تقنيات تطبيق الـ MTA بشكل مفرد في حشو الأقنية الجذريَّة: Techniques of Application of MTA Alone in Root Canal Filling**

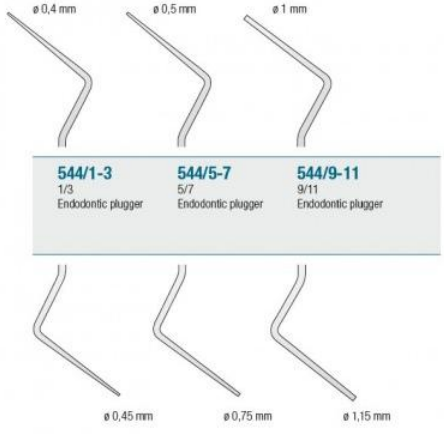
1- <u>تقنية التَّكثيف القياسيَّة: Standard Compaction Technique</u>

بعد تجفيف الأقنية الجذريَّة باستخدام الأقماع الورقيَّة، يتم نقل الـ MTA الممزوجة إلى داخل القناة باستخدام Carrier Gun، الشكل رقم (11-1)، ثم يتم تكثيف الـ MTA ذرويَّاً باستخدام مكثفات يدويَّة Pluggers مقاس 3/1 أو 7/5 أو 11/9، أو يمكن استخدام ما يدعى بـ أداة Glick، الشكلان رقم (12-1) ورقم (13-1)، (Bogen & Kuttler, 2009).

ثم يتم استخدام مبارد K يدويَّة مصنوعة من الفولاذ غير القابل للصدأ Stainless Steel، بقياس أو قياسين أصغر من مبرد الـ FAF لتكثيف أول 3–5 ملم من الـ MTA ذرويَّاً، فإذا كان قياس مبرد الـ FAF المستخدم هو 35#، فيتم استخدام مبرد بقياس 25# أو 30#، ويمكن قطع ذروة المبرد باستخدام سنابل ماسيَّة مع تبريد مائي، وسرعة عاليَّة لإنشاء نهاية مسطحة لتسهيل تكثيف الـ MTA (Bogen & Kuttler, 2009).

بعد تكثيف الـ MTA في المنطقة الذُّرويَّة، سيقل الطول العامل، ويمكن الآن استكمال التَّكثيف في الثُّلثين التَّاجي والمتوسط باستخدام الـ Pluggers (قياس 3/1 أو 7/5)، أو باستخدام مبارد يدويَّة ذات قياسات أكبر، ويمكن تطبيق أحد رؤوس جهاز الأمواج فوق الصَّوتيَّة (بطاقة منخفضة) على الـ Pluggers في أثناء استخدامه في التَّكثيف مما يساهم بتقليل الفراغات، ويتم التقاط صورة شعاعيَّة ذرويَّة للتحقق من عدم وجود فراغات (Bogen & Kuttler, 2009).

الشَّكل رقم (11–1)
Carrier Gun
Medidenta. (n.d.)

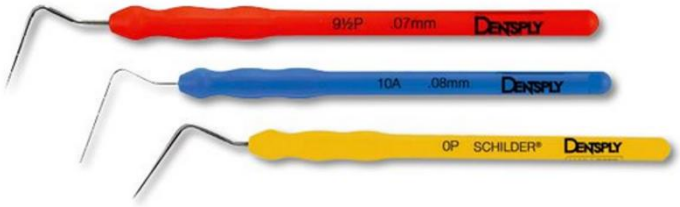


الشَّكل رقم (12–1)
المكثفات اليَّدويَّة Pluggers مقاس 3/1 و7/5 و11/9
Amazon (n.d.)

الشَّكل رقم (13–1)
Endodontic Glick
Premier Dental. (n.d.)

2- تقنية Lawaty:

يتم مزج الكميَّة المطلوبة من الـ MTA في جرن زجاجي، ويجب أن تكون الكميَّة كافية لملء الحجرة اللُّبيَّة فوق فوهات الأقنية الجذريَّة المحضَّرة الجافة الجاهزة للحشو، ويجب أن يكون قوام الـ MTA كريمي متماسك، وإذا بدأ في الجفاف في الجرن أو الحجرة اللُّبيَّة فيمكن استعادة قوامه المطلوب بإضافة بعض الماء المقطر أو محلول التَّخدير، كما يمكن إزالة الرُّطوبة الزَّائدة من الـ MTA عن طريق تطبيق كريَّة قطنيَّة صغيرة على جانب الجرن الزُّجاجي برفق، ويتم استخدام أداة الـ Glick لنقل الـ MTA من الجرن إلى الحجرة اللُّبيَّة، حيث تعمل الـ MTA في الحجرة كخزان في أثناء عملية التَّكثيف، ويتم تجديده حسب الحاجة، يتم استخدام سلسلة من المبارد اليَّدويَّة المصنوعة من الفولاذ غير القابل للصدأ نوع K لتكثيف الـ MTA ضمن القناة، بحيث يكون المبرد الأول أصغر بمقاس واحد من الـ FAF وسيكون المبرد الأخير غالباً بقياس 60#، وفي حال كانت الأقنية الجذريَّة منحنية يتم استخدام مبارد يدويَّة مرنة Flexo-File (Bogen & Kuttler, 2009)، وفي أثناء التَّكثيف يتم توصيل محدد ذروة Apex Locater بالمبرد الأولي للمساعدة في تحديد نهاية القناة مما يقلل من تجاوز الـ MTA خارج الذُّروة، ويتم تحريك هذا المبرد بشكل دائري مع حركات إدخال وإخراج لطيفة مع ضغط ذروي على كامل طول القناة، ومع تدفق الـ MTA من الحجرة اللُّبيَّة إلى الثُّلث الذُّروي يبدأ محدد الذُّروة بإرسال إشارات تدل على الابتعاد عن ذروة القناة، وسيشعر الطَّبيب بالمقاومة مع حدوث نقص بالطُّول العامل، وعندها يمكن استخدام المبرد التَّالي في التَّسلسل لاستكمال تكثيف الثُّلث الذُّروي والمتوسط، ويتم تكرار هذه الطَّريقة حتى الوصل لمبرد K قياس 60#، ومن المهم جداً عدم إغفال أيَّة أداة في التَّسلسل، والتقاط صور شعاعيَّة ذرويَّة في أثناء العمل لمنع حدوث الفراغات، ولتكثيف الـ MTA في الثُّلث التَّاجي يمكن استخدام Schilder Pluggers، الشَّكل رقم (14-1)، من خلال تطبيق ضغط خفيف، ويمكن تكثيف الـ MTA المتبقيَّة ضمن الحجرة اللُّبيَّة باستخدام كريَّة قطنيَّة رطبة ما لم يتعارض ذلك مع الإجراءات التَّرميميَّة التَّالية كالحاجة لوضع أوتاد جذرية (Bogen & Kuttler, 2009).



الشَّكل رقم (14-1)
Schilder Pluggers
Dentsply Sirona. (n.d.)

3- تقنية Auger:

تتضمن هذه الطَّريقة استخدام مبارد آليَّة بدلاً من اليَّدويَّة، وتكون مصنوعة من النِّيكل تيتانيوم باستدقاق 4% و6%، بحركات عكس عقارب السَّاعة، تعد هذه التِّقنية حديثة نسبياً، يمكن حشو الأقنية بالكامل باستخدام هذه الطَّريقة من الذُّروة وصولاً للحجرة اللُّبيَّة وذلك في الأسنان ذات الأقنية المستقيمة والذُّرى المغلقة، حيث يتم نقل الـ MTA الممزوجة ذات القوام الرَّطب إلى داخل القناة باستخدام Carrier Gun، ثم يتم دفع الـ MTA باستخدام مكثفات يدويَّة باتجاه الثُّلث الذُّروي، ليتم البدء بالتَّكثيف باستخدام مبرد آلي استدقاق 4% أصغر بمقاس واحد أو اثنين من مبرد الـ FAF بحركات فتل عكس عقارب السَّاعة، وبعد تكثيف 4 إلى 5 ملم من الطُّول العامل، يتم إدخال أقماع ورقيَّة داخل القناة لامتصاص الرُّطوبة الزَّائدة، وبالانتقال إلى الثُّلثين المتوسط والتَّاجي، فإنه يستخدم مبارد آليَّة بقياسات أكبر، أما في الحالات التي تتضمن انحناءات ذرويَّة في الأقنية الجذريَّة، فإنَّه يُوصى بحشو أوَّل 2-3 ملم من الثُّلث الذُّروي باستخدام مبارد يدويَّة K من الفولاذ غير القابل للصدأ، والذي يتم حنيه مسبقاً قبل الإدخال ويكون ذا قياس أصغر من الـ FAF، ثم يمكن ملء الجزء المتبقي من القناة باستخدام مبارد الـ NiTi الآليَّة المناسبة (Bogen et al., 2014).

1.2.3.2 معاجين حشو الأقنية الجذريَّة: Root Canal Sealers

تعد معاجين حشو الأقنية الجذريَّة ضرورية جداً لسد الفراغ بين جدار العاج ومادة القالب الرَّئيس المستخدمة في الحشو (كأقماع الكوتابيركا)، كما تملأ معاجين حشو الأقنية الجذريَّة الشُّذوذات التَّشريحيَّة، والأقنية الجانبيَّة، والمسافات بين أقماع الكوتابيركا المستخدمة في تقنية التَّكثيف الجانبي البارد، بالإضافة إلى عملها كمواد مزلِّقة للأقماع في أثناء عملية الحشو والتَّكثيف (Aminoshariae et al., 2020).

1.2.3.2.1 الصِّفات المثاليَّة لمعاجين حشو الأقنية الجذريَّة:

The Ideal Requirements of Root Canal Sealers

تبعاً لـ Grossman فإنَّ خصائص معجون الحشو المثالي تتمثَّل بمجموعة الصِّفات الآتية، علماً أنَّه في الوقت الحاضر، لا يوجد معجون حشو يمتلك جميع هذه المعايير (Gopikrishna, 2021a):

1- ذو قوام لزج عند مزجه لتوفير التصاق جيد بينه وبين جدار القناة.

2- قدرة جيدة على الختم.

3- ظليل على الأشعة.

4- مضاد للجراثيم، أو لا يشجع نمو الجراثيم.

5- متقبل حيويَّاً.

6- لا يتقلص عند تصلبه.

7- لا يسبب تلوناً للأسنان.

8- لا ينحل في السَّوائل النَّسيجيَّة.

9- يتصلب ببطء.

10- في حال كان معجون الحشو عبارة عن مسحوق وسائل، فلا بدَّ أن يكون المسحوق ذا حبيبات ناعمة جداً، بحيث يمكن مزجه بسهولة مع السَّائل.

11- يمكن أن ينحل في أحد المذيبات (المحلات) الشَّائعة عند الحاجة لإجراء إعادة معالجة لبيَّة.

1.2.3.2.2 أنواع معاجين حشو الأقنية الجذريَّة: Types of Root Canal Sealers

تُصنَّف معاجين الحشو تبعاً لتركيبها الكيميائي كالآتي (Aminoshariae et al., 2020):

- ✓ **معاجين حشو ذات أساس أكسيد الزنك والأوجينول: Zinc Oxide and Eugenol-Based Sealers**

مثل: Grossman's Sealer, Roth's 801 Sealer, Rickert's Sealer, Tubuli-Seal.

- ✓ **معاجين الحشو ذات أساس بارافورمالدهيد: Paraformaldehyde-Based Sealers**

مثل: N-2, Rocanal, Endomethasone، ولا يتم التَّشجيع على استخدام معاجين الحشو المحتوية على البارافورمالدهيد بسبب السُّميَّة المحتملة لها (Castellucci, 2019).

- ✓ **معاجين حشو ذات أساس ماءات كالسيوم: Calcium Hydroxide-Based Sealers**

مثل: CRCS, Apexit, Apexit Plus, Sealapex.

✓ **معاجين حشو ذات أساس زجاجي شاردي: Glass Ionomer-Based Sealers**

مثل: Ketac-Endo, Active GP.

✓ **معاجين حشو ذات أساس راتنجي: Resin-Based Sealers** وهي تتضمن:

1- معاجين حشو ذات أساس راتنجي إيبوكسي Epoxy resin sealers:

مثل: AH Plus, AH 26.

2- معاجين حشو ذات أساس راتنجي ميتاكريليتي Methacrylate resin sealers:

مثل:MetaSEAL, EndoREZ, RealSeal, Epiphany.

✓ **معاجين الحشو ذات أساس سيليكوني: Silicone-Based Sealers**

مثل: GuttaFlow, RoekoSeal.

✓ **معاجين الحشو ذات أساس (Bioceramic): Bioceramic-Based Sealers**

في السنوات الأخيرة، شهد مجال المعالجات اللُّبيَّة تطورات عديدة، وكان من أبرزها المواد الفعالَّة حيويَّاً ذات أساس Bioceramic، والتي توفِّر سهولة في الاستخدام في مختلف التَّطبيقات، بدءاً من معالجات اللُّب الحي (مثل التَّغطية اللُّبيَّة وبتر اللُّب الحي) ووصولاً إلى الحشو القنوي الجذري، بالإضافة إلى استخدامها في المعالجات التَّجدديَّة والجراحات حول السِّنيَّة (Atav et al., 2024).

تُصنَّف المواد الفعالَّة حيويَّاً ذات أساس Bioceramic بناءً على تركيبها إلى (Nikhil et al., 2024):

1- المواد ذات أساس سيليكات الكالسيوم: Calcium silicate-based Bioceramics

مثل بعض الأسمنتات كالـ Biodentine، والـ MTA، والـ Portland Cement، بمختلف أشكالها التِّجاريَّة، وبعض أنواع معاجين حشو الأقنية الجذريَّة كالـ MTA Fillapex من شركة Angelus صنع البرازيل.

2- المواد ذات أساس فوسفات الكالسيوم: Calcium Phosphate-Based Bioceramics

مثل بعض الأسمنتات كالـ BioGraft CPC المقدم من شركة IFGL صنع الهند، كجيل جديد من الطُّعوم العظميَّة الفعالَّة حيويَّاً، وغيرها من الأسمنتات كالـ Bioglass والـ Hydroxy Apatite (HA) بمختلف استخداماتها وأنواعها التِّجاريَّة.

3- المواد ذات أساس سيليكات الكالسيوم وفوسفات الكالسيوم معاً: Mixture of Calcium Silicates and Calcium Phosphates -Based Bioceramics

مثل بعض أنواع معاجين الحشو القنوي الجذري كالـ EndoSequence BC من شركة Brasseler صنع أمريكا، والـ TotalFill BC والـ TotalFill BC HiFlow من شركة FKG صنع سويسرا.

4- المواد ذات أساس ألومينات الكالسيوم: Calcium Aluminate- Based Bioceramics

مثل بعض أنواع الأسمنتات كالـ EndoBinder من شركة Binderware صنع البرازيل.

وإنَّ معاجين الحشو ذات أساس Bioceramic هي أحدث مجموعة من معاجين حشو الأقنية الجذريَّة الفعالَّة حيويَّاً، والتي تم تقديمها لحشو المنظومة القنويَّة الجذريَّة (Jafari et al., 2017)، وهي إما أن تكون ذات أساس سيليكات وفوسفات الكالسيوم معاً، أو ذات أساس سيليكات الكالسيوم النَّقية (Ricardo et al., 2020).

- **زمن التَّصلب: Setting Time**

تتمتع معاجين الحشو ذات أساس Bioceramic بزمن تصلب قصير نسبيَّاً (Geogi et al., 2023)، وينتج عن ذلك ختم أفضل للمنظومة القنويَّة الجذريَّة كونها تتصلب بسرعة، في حين أنَّ زمن التَّصلب الطَّويل قد يؤدي إلى صعوبة في تحقيق ختم مثالي نظراً لصعوبة الحفاظ على قوام جيد ومتماسك للمادة في حال تعرضها للسَّوائل الموجودة في النُّسج حول السِّنية قبل حدوث التَّصلب النِّهائي (Santos et al., 2008).

- **الخصائص الميكانيكيَّة: Mechanical Properties**

تتمتع معاجين الحشو ذات أساس Bioceramic بخصائص ميكانيكيَّة عاليَّة من حيث مقاومة الضغط Compressive Strength، والالتواء Flexural Strength (Geogi et al., 2023)، كما أنَّها تتمتع بقساوة Hardness مشابهة لقيم قساوة العاج الطبيعي Vickers Hardness Number (VHN) = 60-90 (Wang, 2015).

- **التَّفاعل بين معاجين الحشو ذات أساس Bioceramic والعاج:**

Interaction between Bioceramic-Based Sealers and Dentin

تركز الأبحاث والدِّراسات في الوقت الحالي في مجال المعالجات اللُّبيَّة على تطوير معاجين حشو قنوي جذري تتمتع بتوافق حيوي عالي High Biocompatibility وذلك من خلال حدوث تفاعلات كيميائيَّة بينها وبين العاج الجذري، مما يؤدي إلى تشكيل ارتباط قوي بينهما (Ramirez et al,. 2025)، وفي هذا الصَّدد، تُعد معاجين الحشو ذات أساس Bioceramic من أفضل الخيارات المتاحة حاليَّاً، ففي البداية يكون ارتباطها مع النُّسج العاجيَّة بشكل ميكانيكي مجهري، نتيجة اندخال جزيئات المعجون ضمن القنيات العاجيَّة (Komabayashi et al., 2020)، ثم إنَّها ترتبط كيميائيَّاً أيضاً مع العاج الجذري، ولكن لا تزال آليات الارتباط النَّاتجة عن التَّفاعلات الكيميائية بين سطح معجون الحشو والعاج غير مفهومة تماماً إلى الآن (Al-Haddad & Che Ab Aziz, 2016)، حيث تتضمن الفرضيَّة السَّائدة للتَّفاعل الحاصل بين العاج الجذري ومعاجين الحشو ذات أساس Bioceramic تَكَوُّن ما يدعى بمنطقة الارتشاح المعدني Mineral Infiltration Zone (MIZ)، وهي عبارة عن طبقة بينيَّة متمعدنة تتشكل بين معجون الحشو والعاج (Chellapandian al., 2022)، ولكن كيف تتشكل هذه الطَّبقة؟

يمكن تفسير آلية تشكل هذه الطَّبقة من خلال معرفة بعض خصائص معاجين الحشو ذات أساس Bioceramic، فهي مواد محبة للرُّطوبة وتحتاج لوجود الماء لبدء تفاعلها التَّصلبي، وينتج عن هذا التَّفاعل إماهة للمكون الأساس الذي يدخل في تركيبها وهو سيليكات الكالسيوم، وينتج عن هذه الإماهة تشكل مركب ماءات الكالسيوم ذي القلويَّة العاليَّة (Sfeir et al., 2021)، حيث تُحلّل هذه البيئة القلويَّة جزءاً من البنية الثَّلاثية لألياف الكولاجين الموجودة بالعاج، مما يؤدي لكشف مواقع الارتباط بين معجون الحشو وسطح العاج (Atmeh et al., 2012)، وتُعزز مواقع الارتباط هذه، بالتزامن مع الرُّطوبة الموجودة، تبادل الشَّوارد المعدنية (الفوسفات والكالسيوم) بين معجون الحشو وسطح العاج، مما يؤدي إلى تكوين هذه الطَّبقة المعدنيَّة الصَّلبة في السَّطح البيني (معجون حشو/عاج) والتي تدعى منطقة الارتشاح المعدني والتي تشبه في تركيبها هيدروكسي الأباتيت (Guerreiro et al., 2021; Escobar et al., 2023).

- **قوة الارتباط: Push out Bond Strength**

تمتلك معاجين الحشو ذات أساس Bioceramic قوة ارتباط جيدة مع العاج، وذلك بسبب ارتباطها كيميائيَّاً معه، حيث تتشكل رابطة كيميائيَّة بينها وبين النُّسج العاجيَّة من خلال إنتاج هيدروكسي الأباتيت أثناء التَّصلب (Zhang et al., 2009)، كما أنَّها محبة للماء، وتمتلك زاوية ارتباط Contact Angle صغيرة تسمح لها بالانتشار بسهولة على جدران القناة مما يعزز من ارتباطها مع النُّسج العاجيَّة (Candeiro et al., 2012)، وقد أظهرت الدِّراسات أنَّ قوة الارتباط تصبح أقل عند استخدام تقنيات الحشو الحراري مع هذه المعاجين، حيث تؤثر الحرارة على قدرة معاجين الحشو ذات أساس Bioceramic في إنتاج هيدروكسي الأباتيت في أثناء تصلبها، حيث تصبح الرُّطوبة أقل بسبب تبخر الماء المتبقي ضمن القنيات العاجيَّة (Lim et al., 2020).

- **الانحلاليَّة: Solubility**

أثبتت العديد من الدِّراسات أنَّ معاجين الحشو ذات أساس Bioceramic تتعرض للانحلال مع الوقت، وهي ذات انحلاليَّة أعلى من معاجين الحشو ذات الأساس الرَّاتنجي (Chellapandian al., 2022)، وذلك بسبب احتوائها على جزيئات نانوية محبة للماء، وهذا ما يزيد من مساحتها السَّطحية ويسمح لمزيد من جزيئات السَّوائل بالتلامس مع معجون الحشو (Poggio et al., 2017).

- **درجة الحموضة وإطلاق شوارد الكالسيوم: PH and Calcium Ions Release**

تتمتع معاجين الحشو ذات أساس Bioceramic بدرجة PH عالية، وقدرة على إطلاق شوراد الكالسيوم في أثناء تفاعل التَّصلب (Geogi et al., 2023)، كما أنَّه تزداد درجة الحموضة وإطلاق شوارد الكالسيوم بمرور الوقت، ويمكن تفسير ذلك بالانحلاليَّة التي تتعرض لها معاجين الحشو ذات أساس Bioceramic نتيجة تعرضها للرُّطوبة، حيث تبدأ بالتَّفاعل مع الماء عند تعرضها للرُّطوبة، مما يؤدي إلى تشكيل مركب ماءات الكالسيوم، وهذا يعني إطلاق لشوارد الكالسيوم، وبالتالي درجة حموضة أعلى أيضاً (Shashank et al., 2019).

- **الفعاليَّة المضادة للجراثيم: Antibacterial Effect**

تتمتع معاجين الحشو ذات أساس Bioceramic بفعاليَّة كبيرة مضادة للجراثيم، ويعود ذلك إلى درجة حموضتها العالية، بالإضافة إلى كونها محبة للرُّطوبة مما يجعلها قادرة على امتصاص الماء، وهذا ما يؤدي بدوره إلى تشكيل مركب ماءات الكالسيوم ذي الفعاليَّة العالية المضادة للجراثيم في أثناء التَّصلب (Munitic et al., 2022).

- **بعض الأشكال التِّجاريَّة: Commercially Products**

الآن، أصبح هناك العديد من معاجين الحشو ذات أساس الـ Bioceramic متاحة تجاريَّاً، نذكر منها:

1- <u>TotalFill BC Sealer</u>:

أحد أهم الأشكال التِّجاريَّة لمعاجين الحشو ذات أساس الـ Bioceramic هو معجون الـ TotalFill BC Sealer المقدَّم من شركة FKG، صنع سويسرا، يمكن استخدام هذا المعجون مع أو دون أقماع الكوتابيركا في حشو الأقنية الجذريَّة (Fernández et al., 2016)، وقدمت الشَّركة مع هذا المعجون أقماع كوتابيركا خاصة يمكن استخدامها في الحشو القنوي الجذري معه TotalFill BC Points، والتي يتم تشريبها وطلائها بجزيئات صغيرة الحجم من الـ Bioceramic لتحسين التَّرابط مع كل من معجون الحشو والعاج وأقماع الكوتابيركا، وبالتالي الحصول على حشوة قنوية جذريَّة خالية من الفجوات (Meneses et al., 2019).

تتضمن المكونات الأساسيَّة لهذا المعجون: سيليكات الكالسيوم، ماءات الكالسيوم، فوسفات الكالسيوم، مواد مالئة وأكسيد الزركونيوم (الذي يعطيها الخاصيَّة الظَّليلة على الأشعة) (Santos et al., 2021)، وقد أظهرت الأبحاث والدِّراسات أنَّ هذا المعجون يُظهر توافقاً حيويَّاً ممتازاً (Zhou et al., 2015)، كما أنَّه محب للماء بدرجة عالية (Atav et al., 2024)، ولا يظهر تقلصاً عند تصلبه ولكنه يميل إلى التَّمدد قليلاً، وكون انسيابيَّة هذا المعجون عالية، فإنَّه يوفر بذلك ختماً ممتازاً بينه وبين العاج (Boyadzhieva et al., 2017)، ومع ذلك، هناك بعض المخاوف كونه يتأثر بدرجات الحرارة العاليَّة، مما يقلل من قدرته على الانسيابيَّة ويؤثر على زمن التَّصلب، وهذا يؤثر سلباً على جودة الحشوة الحشو القنوي الجذري (Qu et al., 2016).

2- <u>TotalFill BC Sealer HiFlow</u>:

مؤخراً تم تطوير معجون الحشو TotalFill BC Sealer HiFlow، تابع لشركة FKG، صنع سويسرا أيضاً، تم تصميم تركيبة الـ HiFlow الجديدة لمعجون الحشو TotalFill BC لتكون مقاومة للحرارة العالية (حتى 220 درجة مئوية) (Chen et al., 2020)، ووفقاً للشَّركة المصنِّعة، فإن الخصائص الفيزيائيَّة والكيميائيَّة تبقى مستقرة عند درجات حرارة تتوافق مع تلك التي يتم اعتمادها في أثناء الحشو الحراري (Santos et al., 2021)، يتمتع هذا المعجون بلزوجة منخفضة وسماكة طبقة قليلة وانسيابيَّة عالية عند تعرضه للحرارة، وهو ذو ظلاليَّة شعاعيَّة عالية جداً، وهي أعلى من معجون الحشو الـ TotalFill BC (Chen et al., 2020)، كما أنَّه ذو توافق حيوي مشابه لمعجون الحشو BC الأصلي (Rodríguez-Lozano et al., 2020).

الفصل الثَّالث

1.3 الدِّراسات السَّابقة: Previous Studies

1.3.1 دراسات الجذور ذات الكسور العموديَّة غير المكتملة (الدِّراسات المخبريَّة + تقارير الحالة):

Root with Incomplete Vertical Fracture Studies (Case Reports + In-Vitro Studies)

1- في عام 1985 قام Vertucci بعرض حالة لكسر عمودي غير مكتمل بالاتِّجاه الدِّهليزي اللساني في جذر ضاحك ثاني علوي أيسر، وكان الضَّاحك دعامة لجسر مجنَّح مكوَّن من 4 قطع، تضمنت خطة المعالجة بدايةً إزالة الجسر المجنَّح، ومن ثم إجراء جراحي برفع شريحة كاملة الثَّخانة، تبيَّن بعدها غياب كامل للصَّفيحة العظميَّة الدِّهليزيَّة، مع وجود كسر جذر عمودي، شُذِّبَ سطح الجذر الدِّهليزي المكسور بعناية باستخدام سنبلة ماسيَّة طويلة مدببة تحت التَّبريد المائي، أُجرِيَ شطب لنهاية الجذر مع تحضير حفرة راجعة صنف أول، وحشوها باستخدام الأملغم الخالي من الزِّنك، وفيما بعد عُومِلَ كامل سطح الجذر المكشوف باستخدام حمض السِّيتريك 20% لمدة 5 دقائق، وأخيراً تمت خياطة الشَّريحة، والمراقبة لمدة 3 سنوات، وكانت النَّتيجة إيجابيَّة من دون وجود ألم أو مشكلات لثويَّة أو حول سنيَّة، وأظهرت الصُّور الشُّعاعيَّة شفاءً عظميَّاً تاماً (Vertucci, 1985).

2- وفي عام 1996 قام Selden بإجراء دراسة سريريَّة لـ 6 حالات (تراوحت بين أسنان خلفيَّة وأماميَّة)، مشخَّصة بكسور جذر عموديَّة غير مكتملة لتقييم الشِّفاء باستخدام بروتوكول معالجة جديد، تضمن إجراءً جراحيَّاً على مرحلتين، **المرحلة الأولى:** رُفعَت شريحة كاملة الثَّخانة، وأُزيلت النُّسج الحبيبيَّة، ثم وباستخدام رؤوس الأمواج فوق الصَّوتيَّة (Ultrasonic) شُذِّبت حواف الكسر، وطُبِّق الأسمنت الزُّجاجي الشَّاردي المعدل بالفضة Silver-GIC بين حافتي الكسر، ووُضِع بعدها طُعم عظمي، وأخيراً تم تطبيق غشاء E-PTFE في سياق تجديد النُّسج الموجَّه وتمت خياطة الشَّريحة، أما **المرحلة الجراحيَّة الثَّانية:** فتضمنت رفع شريحة بعد 6 أسابيع، وإزالة الغشاء الذي وضع، حيث فشلت خمس من أصل ست حالات في غضون شهرين إلى 11 شهراً، بينما استمرت إحدى الحالات في كونها خالية من الأعراض، ودون وجود أيّة مشكلات حول سنيَّة لمدة عام، لكنها فشلت بعد ذلك بسبب امتداد الكسر باتجاه السَّطح اللساني للجذر (Selden, 1996).

3- في عام 2010 قام Taschieri وزملاؤه بتقديم تقنيَّة معالجة جراحيَّة جديدة في سبيل الحفاظ على الأسنان المشخَّصة بكسر جذر عمودي غير مكتمل، تضمنت الحالات سبعة عشر مريضاً كل منهم لديه سن أمامي علوي دائم معالج لبّيّاً، وشُخِصَ بوجود كسر جذر عمودي غير مكتمل فيه، رُفِعَت شريحة كاملة الثَّخانة، تلاها تحضير وتشذيب لخط الكسر باستخدام رؤوس الأمواج فوق الصَّوتيَّة، وخُتِمَ هذا الكسر باستخدام مادة الـ MTA، وأخيراً مُلء الفراغ باستخدام طعم عظمي، تم استبعاد سبع مرضى من بين سبعة عشر مريضاً تم تضمينهم في بداية الدِّراسة، وخضع عشرة منهم لتقنيَّة المعالجة سابقة الذِّكر، بعد اثنا عشر شهراً من المتابعة، أظهرت جميع الأسنان نجاحاً سريريّاً وشعاعيّاً، إلا أنَّه بعد ثلاثة وثلاثين شهراً، كان سبعة مرضى فقط متاحين للمتابعة، حيث بقيت خمس حالات مستمرة في النَّجاح السَّريري والشُّعاعي، وفشلت حالتين (Taschieri et al., 2010).

4- في عام 2011 قام Ozer وزملاؤه بعرض أربع حالات، لتقييم شفاء الأسنان المصابة بكسور جذر عموديَّة (2 مكتمل – 2 غير مكتمل)، تضمنت الأسنان (رباعيَّة علويَّة يسرى، ناب علوي أيسر، ناب سفلي أيسر، ناب علوي أيمن) حيث رُفِعت شريحة كاملة الثَّخانة وجُرِفت النُّسج الحبيبَّة، ثم قُلِعت الأسنان، وغُمِرت بمحلول ملحي على الفور، واستُخدِم أسمنت راتنجي ثنائي التَّصلب ذاتي التَّخريش لربط طرفي الكسر ومِلء القناة الجذريَّة فيه (في حالات الكسر المكتمل)، أما في حالات الكسر غير المكتمل فقد تم توسيع خط الكسر في البداية، ثم استُخدِم الأسمنت الرَّاتنجي ثنائي التَّصلب ذاتي التَّخريش لإغلاق وختم خط الكسر، ثم عُوملَت سطوح جميع الجذور باستخدام التّتراسيكلين لمدة 30 ثانية لتعزيز تشكيل خلايا الرِّباط حول السِّني، وأخيراً أُعيد السِّن إلى مكانه، كانت الأسنان بعد فترة مراقبة دامت سنتين وسطيّاً وظيفيَّة دون أعراض سريريَّة، وأظهر التَّشخيص الشُّعاعي باستخدام التَّصوير المقطعي المحوسب ثلاثي الأبعاد (CBCT) تراجعاً في حجم الآفات حول الذُّوريَّة (Ozer et al., 2011).

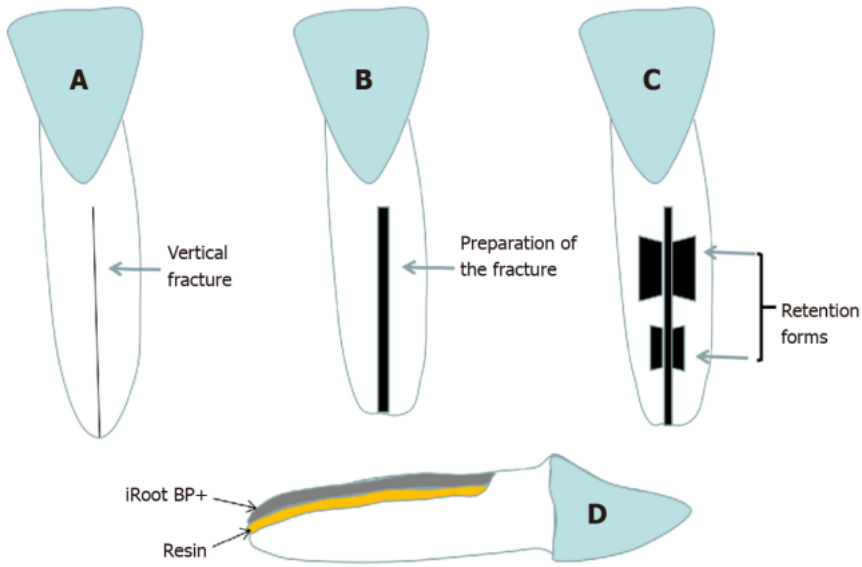
5- في عام 2012 قام Nogueira Leal da Silva وزملاؤه بعرض تقرير حالة للتعريف بطريقة جديدة في سبيل المحاولة للحفاظ على الأسنان المشخَّصة بكسور جذر عموديَّة، كانت الحالة لناب علوي دائم أيمن مصاب بكسر جذر عمودي غير مكتمل، حيث رُفِعَت شريحة كاملة الثَّخانة، وجُرِفت النُّسج الحبيبيَّة، ثم أُجرِي تخريش حمضي لسطح الجذر لمدة 30 ثانية، ومن ثم أُزيل الحمض باستخدام جهاز الفاكيوم متبوعاً بغسل آخر بمحلول ملحي 0.9٪، وجُفِفَ بشاش معقم، ثم استُخدِمَ عامل رابط (Bond) من شركة 3M الأمريكيَّة ووُضِع على سطح الجذر، وصُلِّبَ لمدة 20 ثانية، وأخيراً استُخدِمَ راتنج مركب من شركة Ivoclar Vivadent السُّويسريَّة ليوضع بين طرفي الكسر، وصُلِّبَ لمدة 40 ثانية، ومن أجل تسريع عمليَّة شفاء النُّسج والتَّقليل من احتماليّة انحسار اللثة بعد الجراحة، عُرِّضَت النُّسج الرَّخوة إلى 5 جلسات من الليزر منخفض الاستطاعة بطول موجي 685 nm بفواصل زمنيَّة 48 ساعة بين الجلسات، تمت متابعة المريض لمدة عامين، ولوحظ غياب الأعراض المرضيَّة سريريَّاً وشعاعيَّاً، مع عدم وجود علامات أو أعراض لالتهاب أو انحسار في اللثة (Nogueira Leal da Silva et al., 2012).

6- في عام 2014 قدَّم كل من Hadrossek و Dammaschke تقريراً لحالة يناقش خياراً علاجيَّاً جديداً لثَّنيَّة علويَّة دائمة يُمنى، شُخِّصَت بكسر جذر عمودي غير مكتمل لدى مريض يبلغ من العمر 78 عاماً، حيث قُلِع السِّن، ووُسِّعَت الفجوة النَّاتجة عن الكسر باستخدام سنبلة ماسيَّة صغيرة الحجم، كما أُزِيلَ الحشو الرَّاجع الذي أُجرِيَ سابقاً، ومُلِئ خط الكسر الموسَّع والحفرة الرَّاجعة باستخدام مادة الـ Biodentine ذات أساس سيليكات الكالسيوم، وبعد ذلك أُعِيدَ السِّن إلى مكانه، ووُضِعت جبيرة من التِّيتانيوم لمدة اثنا عشر يوماً، أظهرت المتابعة السَّريريَّة والشُّعاعيَّة التي استمرت لمدة عامين عدم وجود أيّ أعراض سريريَّة، مع نقصان في الجيب حول السِّني من 7 ملم إلى 3 ملم، مع عدم وجود أيّة علامات لحدوث التصاق في السِّن (Hadrossek & Dammaschke, 2014).

7- في عام 2018 قام Demiriz وBodrumlu بإجراء دراسة مخبريَّة لتقييم تأثير استخدام كل من الـ MTA Fillapex وWell Root ST في الحشو القنوي الجذري على مقاومة الكسر للجذور ذات الكسور العموديَّة غير المكتملة الصُّنعيَّة، حيث تضمنت الدِّراسة 60 قاطعة علويَّة دائمة وحيدة القناة، وُحِّدت أطوالها بـ 13 ملم، ثم قُسِّمَت الأسنان عشوائيَّاً إلى أربع مجموعات (15 سناً لكل مجموعة)، في المجموعة الشَّاهدة السَّلبيَّة: تُرِكَت الأسنان دون معالجة، أما في المجموعة الشَّاهدة الإيجابيَّة، والمجموعتين التَّجريبيَّتين، فقد حُضِّرَ 45 جذراً باستخدام نظام Protaper حتى قياس F3، ومن ثم صُنِعَ فيها كسر عمودي طوله 6.5 ملم، وعرضه 0.25 ملم، ابتداءً من ذروة الجذر باتجاه الجزء التَّاجي من السِّن، في المجموعة الشَّاهدة الإيجابيَّة، تم الحشو بقمع كوتابيركا مفرد دون استخدام أي معجون حشو، وفي المجموعة التَّجريبيَّة الأولى تم الحشو باستخدام الكوتابيركا مع معجون حشو Well Root ST بتقنيَّة القمع المفرد، والمجموعة التَّجريبيَّة الثَّانية الحشو باستخدام الكوتابيركا مع معجون حشو MTA Fillapex بتقنيَّة القمع المفرد، ثم أُخضِعَت جميع العيِّنات لاختبار مقاومة الكسر، ولوحظ أعلى قيمة لمقاومة الكسر للمجموعة الشَّاهدة السَّلبيَّة، وقد أظهرت الأسنان التي استُخدم فيها الـ Well Root ST مقاومة أعلى للكسر مقارنةً بالأسنان التي استُخدم فيها الـ MTA Fillapex، إلا أنَّه قد تبين أنَّ مقاومة الكسر كانت أعلى بكثير لكِلٍّ من المجموعتين التَّجريبيَّتن مقارنةً بما كانت عليه في المجموعة الشَّاهدة الإيجابيَّة، وبالتَّالي فقد زاد كل من معجوني حشو الأقنية الجذريَّة Well Root ST و MTA Fillapex وبشكل كبير من مقاومة الكسر للجذور ذات الكسور العموديَّة غير المكتملة الصُّنعيَّة (Demiriz & Bodrumlu, 2018).

8- في عام 2020 قام Baranwal وزملاؤه بعرض تقرير حالة لمعالجة ثنيَّة علويَّة دائمة يُسرى، شُخِّصَت بكسر عمودي غير مكتمل، حيث أُجريت معالجة لبِّيَّة من داخل الحفرة الفمويَّة، ثم حُشِيَ الثُّلث الذُّروي للقناة باستخدام الـ Biodentine، وبعد 24 ساعة حُضِّرَت القناة لاستقبال وتد من الكومبوزت المقوَّى بالألياف Fiber Post، وأُلصِق باستخدام أسمنت راتنجي ثنائي التَّصلب، استمرت المتابعة لمدة عامين، ووُجد أنَّ السِّن خالٍ من الأعراض السَّريريَّة، وأظهرت المراقبة الشُّعاعيَّة تشكل نسيج صلب بين حافتي الكسر، وكانت حالة اللثة وعمق الميزات اللثوي ضمن الحد الفيزيولوجي الطَّبيعي (Baranwal et al., 2020).

9- في عام 2022 قام Zhong وزملاؤه بعرض تقرير حالة لنهج جراحي جديد في معالجة لثنيَّة علوية مصابة بكسر جذر عمودي غير مكتمل، تم إعطاء المريض تخديراً موضعيَّاً، وبعد ذلك قُلِعَت السِّن المصابة برفق ولُفَت بشاش مشبع بمحلول ملحي معقم، استُؤصِل 3 ملم من ذروة السِّن وتم توسيع عرض الكسر إلى حوالي 1 ملم وعمق 1.5-2 ملم باستخدام قبضة بسرعة عالية مع تبريد مائي، ثم حُضِّرَ شكلين مثبتين (شبه منحرف) على جانبي خط الكسر (بعرض 1 ملم وعمق 1.5-2 ملم)، فيما بعد تم إجراء التَّحضير الرَّاجع لذروة الثَّنيَّة بأحد رؤوس جهاز الأمواج فوق الصَّوتيَّة، مُلِئَ خط الكسر الموسَّع والشَّكلين المثبتين بإسمنت راتنجي ذاتي التَّخريش وضوئي التَّصلب، ثم أُزيلت طبقة سطحيَّة من هذا الرَّاتنج بسماكة 0.5-1 ملم ليتم ملؤها مع الحفرة الرَّاجعة بإسمنت iRoot BP Plus ذو أساس Bioceramic، وأُعِيد زرع السَّن بعناية وثُبِتَت بشكل مرن لمدة 4 أسابيع، استغرقت جميع الإجراءات السَّابقة 15 دقيقة، وأظهرت المتابعة بعد مرور عام تراجع في الآفة حول الذُّرويَّة وكانت السن خالية من الأعراض مع عمق ميزاب لثوي طبيعي (Zhong et al., 2022)، يُوضِّح الشَّكل رقم (15-1) النَّهج المتبع في المعالجة في تقرير الحالة السَّابقة.



الشَّكل رقم (15-1)

شكل ترسيمي لخط الكسر الموسَّع والأشكال المثبِّتة

(Zhong et al., 2022)

1.3.2 دراسات مقاومة الكسر للجذور السَّليمة (الدِّراسات المخبريَّة):

Fracture Resistance in-vitro Studies (Root without Vertical Fracture)

1- في عام 2019 قام Yendrembam وزملاؤه بمقارنة تأثير أنواع مختلفة من معاجين الحشو القنوي الجذري على مقاومة الكسر للأسنان المعالجة لبيًّاً، وهي الـ AH Plus والـ GuttaFlow 2 والـ MTA-Fillapex والـ Bioceramic Sealer، تضمنت الدِّراسة 60 ضاحكاً سفلياً وحيد الجذر وحيد القناة، قُسِّمت إلى ثلاث مجموعات كل منها يحوي 20 سناً تبعاً لنوع مادة الحشو المستخدمة وهي: المجموعة الأولى: حُضِرت الأقنية وتم حشوها باستخدام معجون الحشو AH Plus، المجموعة الثَّانيَّة: حُضِرت الأقنية وتم حشوها باستخدام معجون الحشو MTA Fillapex، المجموعة الثَّالثة: حُضِرت الأقنية وتم حشوها باستخدام معجون الحشو Bioceramic Sealer، تم تحضير الأقنية وحشوها تبعاً للمجموعة الخاصة بها بتقنية القمع المفرد، وأظهرت النَّتائج أنَّ الـ Bioceramic Sealer قدَّم أعلى مقاومة للكسر عند مقارنته بالـ MTA Fillapex والـ AH Plus (Yendrembam et al., 2019).

2- في عام 2020 قام Mohammad والـ Al-Zaka بمقارنة تأثير أنواع مختلفة من معاجين الحشو القنوي الجذري على مقاومة الكسر للأسنان المعالجة لبيًّاً، وهي الـ AH Plus والـ GuttaFlow 2 والـ MTA Fillapex والـ TotalFill BC، تضمنت الدِّراسة 60 ضاحكاً سفلياً وحيد الجذر وحيد القناة، وُحِّدت أطوالها بـ 13 ملم، قُسِّمت إلى خمس مجموعات كل منها يحوي 12 سناً تبعاً لنوع مادة الحشو المستخدمة وهي: م1: استُخدِام معجون الحشو AH Plus، م2: استُخدِام معجون الحشو GuttaFlow 2، م3: استُخدِام معجون الحشو MTA Fillapex، م4: استُخدِام معجون الحشو TotalFill BC، م5: المجموعة الشَّاهدة (حُضِّرت الأقنية وتركت دون حشو)، تم تحضير الأقنية وحشوها تبعاً للمجموعة الخاصة بها بتقنية القمع المفرد، ثم أُجري اختبار مقاومة الكسر لجميع العينات بسرعة 0.5 ملم/دقيقة حتى حصول الكسر، وأظهرت النَّتائج أنَّ معجون الحشو TotalFill BC كان الأكثر فعالية في زيادة مقاومة الكسر عند مقارنته مع بقية المواد بفروق دالة إحصائيًّاً، وأظهرت المجموعة الشَّاهدة أقل مقاومة للكسر عن مقارنتها مع المجموعات التَّجريبيَّة (Mohammed & Al-Zaka, 2020).

3- في عام 2021 قام Abdel-Aal وAchour بإجراء دراسة مخبريَّة لتحري دور معجون الحشو ذو أساس Bioceramic في زيادة مقاومة الجذور للكسر، حيث تألفت العيِّنة من 40 ضاحكاً بشريَّاً وحيد الجذر ووحيد القناة، قُصّت تيجانها لطول 16 ملم، ثم حُضِرَت الأقنية الجذريَّة بنظام التَّحضير الآلي ESX حتى قياس 35# استدقاق 4%، ومن ثم وُزِّعت الجذور عشوائيَّاً إلى مجموعتين متساويتين كل منها تحوي 20 سناً، وذلك تبعاً لنوع المادة الحاشيَّة المستخدمة، وهي: م1 (مجموعة شاهدة): استُخدِمَ فيها معجون الحشو ADSEAL ذو الأساس الرَّاتنجي مع الكوتابيركا بتقنية الحشو العمودي الحراري، م2 (مجموعة تجريبيَّة): استُخدِمَ فيها معجون الحشو EndoSequence BC ذو أساس Bioceramic مع الكوتابيركا بتقنية القمع المفرد، ثم أُجري لها اختبار مقاومة الكسر، وأظهرت النَّتائج أنَّ معجون الحشو EndoSequence BC حقق مقاومة أفضل للكسر مقارنة بمعجون الحشو ADSEAL (Abdel-Aal & Achour, 2021).

4- في عام 2022 قام Alskaf وزملاؤه بدراسة مخبريَّة لتأثير استخدام الـ EndoSequence BC والـ EndoSequence BC HiFlow والـ AH Plus، على مقاومة الكسر للأسنان المعالجة لبيَّاً، حيث تألفت العيِّنة من 75 ضاحكاً سفلياً وحيد الجذر وحيد القناة، قُصَّت التِّيجان، ثم وزعت عشوائيَّاً إلى خمس مجموعات وهي: م1: استخدام معجون الحشو AH Plus، م2: استخدام معجون الحشو EndoSequence BC، م3: استخدام معجون الحشو BC HiFlow، م4: (المجموعة الشَّاهدة السَّلبيَّة): تركت الأسنان دون معالجة؛ م5: (المجموعة الشَّاهدة الإيجابيَّة): حُضرت الأسنان وبقيت دون حشو قنوي جذري، تم تحضير الأقنية وحشوها تبعاً للمجموعة الخاصة بها بتقنية القمع المفرد، ثم أُجري لها اختبار مقاومة الكسر، أظهرت النَّتائج أنَّ الـ EndoSequence BC والـ BC HiFlow حققا مقاومة أفضل للكسر مقارنة بالـ AH Plus (Abdulsamad Alskaf et al., 2022).

5- في عام 2022 قام Varghese وزملاؤه بمقارنة مقاومة الكسر للأسنان المعالجة بمجموعة من معاجين الحشو القنوي الجذري وهي: الـ Chitra CPC (Chitra-Calcium Phosphate Cement)، والـ Endosequence BC، والـ MTA Fillapex، والـ AH Plus، أجريت الدراسة على 100 ضاحك سفلي وحيد الجذر وحيد القناة، ووحِّدَت أطوالها بـ 11 ملم، ثم قُسِّمَت عشوائيَّاً إلى 5 مجموعات: م1: (المجموعة الشاهدة) والتي قُسِّمَت إلى مجموعتين شاهدتين هما: A1 (المجموعة الشَّاهدة السَّلبيَّة): تركت الأسنان دون معالجة، المجموعة B2: (المجموعة الشَّاهدة الإيجابيَّة): حُضرت الأسنان وبقيت دون حشو قنوي جذري، أما باقي المجموعات فهي: م2: استُخدِمَ فيها معجون الحشو AH Plus، م3: استُخدِمَ فيها معجون الحشو MTA Fillapex، م4: استُخدِمَ فيها معجون الحشو Chitra-CPC، م5: استُخدِمَ فيها معجون الحشو EndoSequence BC، تم تحضير الأقنية الجذريَّة وحشوها تبعاً للمجموعة الخاصة بها بتقنية القمع المفرد، وأُجري اختبار الكسر لجميع العينات بسرعة (1 ملم/دقيقة) حتى حدوث الكسر، كانت قيم مقاومة الكسر للـ Chitra-CPC، والـ Endosequence BC أعلى من المجموعة الشَّاهدة الإيجابيَّة، وعلى النَّقيض من مادتي الـ MTA Fillapex، والـ AH Plus، فقد زادت كل من مادة الـ Chitra-CPC، والـ Endosequence BC من مقاومة الأسنان للكسر (Varghese et al., 2022).

الباب الثَّاني

المواد والطَّرائق

Materials and Methods

2.1 المواد والأدوات المستخدمة في البحث: Materials and Instruments Used in Study

- **مواد الحشو القنوي الجذري: Root Canal Filling Materials**

1- مادة الـ ProRoot MTA البيضاء White، من شركة DENTSPLY، صنع أمريكا، تأتي هذه المادة على شكل علبة تحوي أربعة ظروف من الـ MTA، سعة كل منها 0.5 غرام، بالإضافة إلى أربع كبسولات من الماء المقطر خصصت لمزج المادة، وتكون هذه المادة على شكل مسحوق أبيض ذو ذرات ناعمة، الشَّكل رقم (1-2).

الشَّكل رقم (1-2)

مادة الـ ProRoot MTA

2- مادة الـ TotalFill BC Sealer HiFlow، من شركة FKG صنع سويسرا، تأتي هذه المادة على شكل Syringe سعته 2g، تكون المادة ممزوجة مسبقاً وجاهزة للاستخدام وقابلة للحقن، ووفقاً للشَّركة المصنِّعة فهي مخصصة للاستخدام مع تقنية الحشو الحراري، الشَّكل رقم (2-2).

الشَّكل رقم (2-2)

مادة الـ TotalFill BC Sealer HiFlow

3- مادة الـ TotalFill BC Sealer، من شركة FKG صنع سويسرا، تأتي هذه المادة على شكل Syringe سعته 2g، تكون المادة ممزوجة مسبقاً وجاهزة للاستخدام وقابلة للحقن، الشَّكل رقم (3-2).

الشَّكل رقم (3-2)

مادة الـ TotalFill BC Sealer

4- أقماع كوتابيركا قياسيَّة، من شركة Orodeka صنع الصِّين، الشَّكل رقم (4-2).

الشَّكل رقم (4-2)

أقماع كوتابيركا قياسيَّة

- **المواد والأجهزة والأدوات الأخرى المستخدمة في البحث: Others Materials, Devices and Instruments Used in Study**

1- قفازات طبيَّة.

2- مجهر مجسِّم (مُكبّرة ضوئيَّة) Stereomicroscope ذو تكبيرين (X20 و x40) من شركة Meiji Techno، صنع اليابان، وهو موجود في قسم علوم الحياة في كلية طب الأسنان-جامعة دمشق، الشَّكل رقم (5-2).

الشَّكل رقم (5-2)

مجهر مجسِّم (مُكبّرة ضوئيَّة) Stereomicroscope

3- جهاز تصوير شعاعي ذروي من شركة De Cötzen صنع إيطاليا، وجهاز Ez Sensor من شركة Vatech، صنع كوريا.

4- طلاء أظافر من شركة Juicy Beauty، صنع الصِّين، لاستخدامه في تحديد السَّطح الدِّهليزي للأسنان قبل قص تيجانها، الشَّكل رقم (6-2).

5- قبضة مستقيمة من شركة Being، صنع الصِّين، وMicromotor من شركة Strong، صنع الصِّين، الشَّكل رقم (7-2).

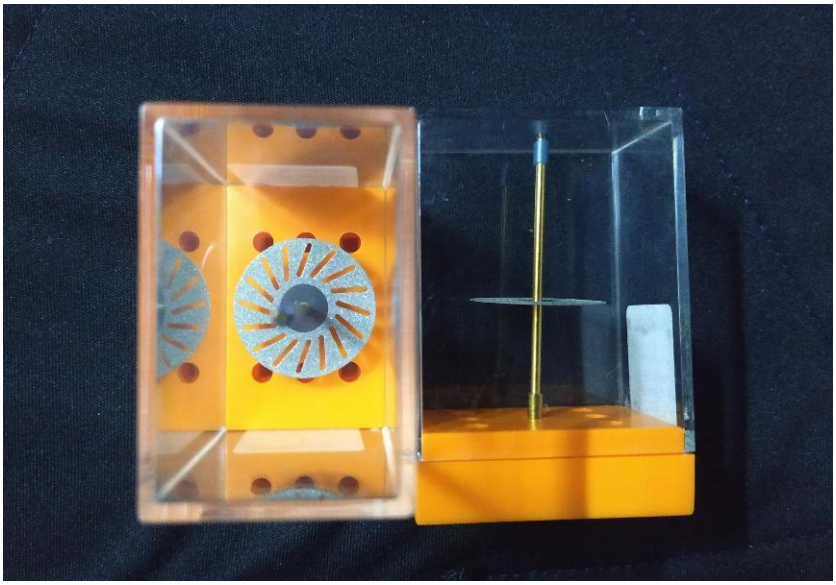
الشَّكل رقم (6-2)

طلاء أظافر

الشَّكل رقم (7-2)

القبضة المستقيمة والـ Micromotor

6- أقراص فصل ماسيَّة بثخانات مختلفة مع حامل لهذه الأقراص، (ثخانة 0.5 ملم لاستخدامها في قص تيجان الأسنان)، (ثخانة 0.25 ملم لاستخدامها في إحداث الكسر غير المكتمل الصُّنعي على سطوح الجذور) من شركة Hager & Meisinger GmbH، صنع ألمانيا، الشَّكل رقم (8-2).

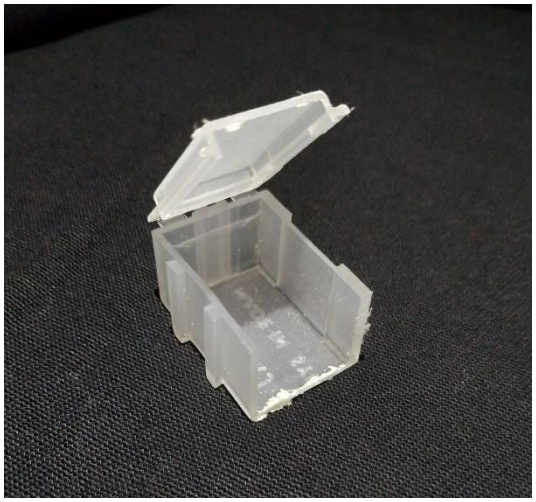


الشَّكل رقم (8-2)
الأقراص الماسيَّة

7- جبس أبيض، ونشارة خشب ناعمة لاستخدامها في صنع القوالب التي ستوضع فيها الأسنان، الشَّكل رقم (9-2).

8- قوالب بلاستيكيَّة للحصول على قواعد جبسيَّة ذات أبعاد وأحجام ثابتة، الشَّكل رقم (10-2).

الشَّكل رقم (9-2)
جبس أبيض ونشارة خشب ناعمة



الشَّكل رقم (10-2)
القوالب البلاستيكيَّة

9- قبضة معوجَّة ومحوِّلة من شركة Being، صنع الصِّين، الشَّكل رقم (11-2).

الشَّكل رقم (11-2)
القبضة المعوجَّة والمحوِّلة

10- مبارد يدويَّة من نوع K.File مصنوعة من الفولاذ غير القابل للصدأ، ذات قياس #10، #15 من شركة FANTA، صنع الصِّين، الشَّكل رقم (12-2).

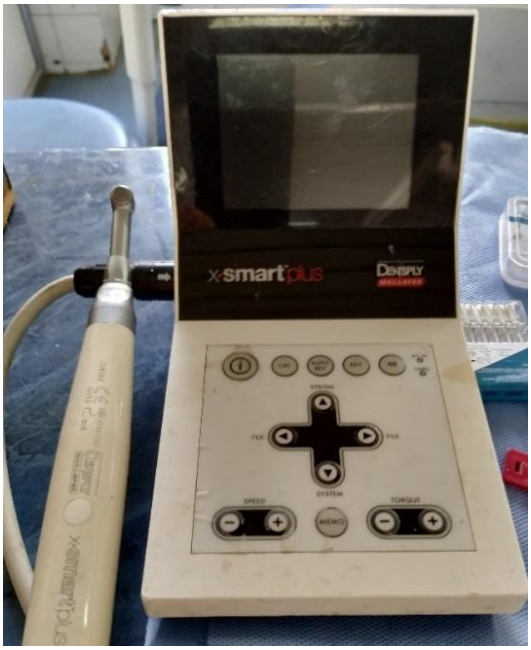
الشَّكل رقم (12-2)
المبارد اليدويَّة من نوع K. File

11- مبارد تحضير آلي، نظام AF GOLD من شركة FANTA، صنع الصِّين، يحتوي هذا النِّظام على 6 مبارد وهي قياس 17# استدقاق 8% بطول 19 ملم، قياس 19# استدقاق 2% بطول 25 ملم، قياس 20# استدقاق 4% بطول 25 ملم، قياس 25# استدقاق 4% بطول 25 ملم، قياس 25# استدقاق 6% بطول 25 ملم، قياس 35# استدقاق 4% بطول 25 ملم، الشَّكل رقم (13-2).

الشَّكل رقم (13–2)

مبارد التَّحضير الآلي

12– جهاز تحضير آلي X. Smart Plus من شركة DENTSPLY، صنع أمريكا، الشَّكل رقم (14–2).



الشَّكل رقم (14–2)

جهاز التَّحضير الآلي

13– لوح زجاجي وسباتول معدني.

14– محاقن بلاستيكيَّة، ورؤوس إرواء بقطر 30G وطول 25 ملم، ذات فتحة جانبيَّة من شركة Diadent، صنع هولندا.

15– سائل هيبوكلوريد الصُّوديوم 5.25%، من شركة ابن الهيثم، صنع سورية، الشَّكل رقم (15–2).

16- سائل Ethylene Diamin Tetraacetic Acid (EDTA) 17%، من شركة أفاميا، صنع سورية، الشَّكل رقم (2-16).

17- مصل فيزيولوجي معقم (Saline كلور الصوديوم 0.9%)، من شركة ميامید، صنع سورية.

الشَّكل رقم (2-15)
سائل هيبوكلوريد الصُّوديوم 5.25%

الشَّكل رقم (2-16)
سائل الـ EDTA 17%

18- Micrometer من شركة Krasny، صنع روسيا، الشَّكل رقم (2-17).

الشَّكل رقم (2-17)
Micrometer

19- بياكوليس رقميَّة الكترونيَّة Digital caliper من شركة PowerAxis، صنع اليابان، الشَّكل رقم (2-18).

الشَّكل رقم (2–18)
بياكوليس رقميَّة الكترونيَّة Digital caliper

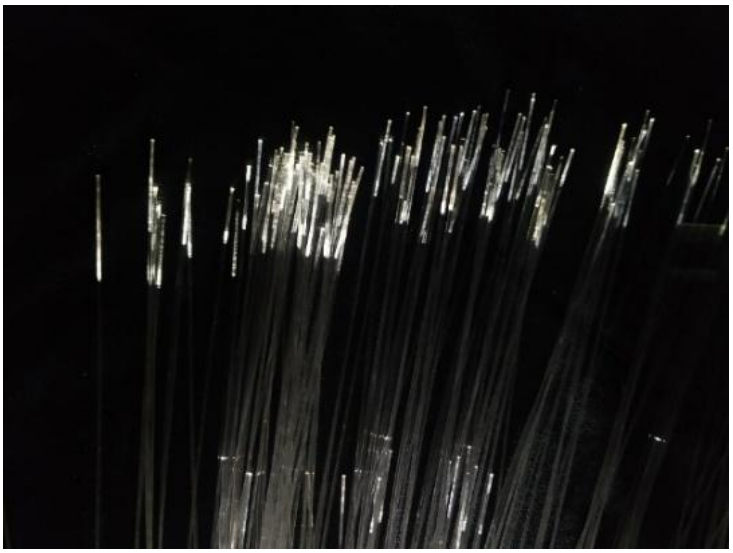
20– Feeler Gauge من شركة INSIZA، صنع الصِّين، وهو عبارة عن مقياس ثخانة، يتألف من 20 شفرة بثخانات مختلفة، تبدأ بثخانة 0.05 ملم وتنتهي بثخانة 1 ملم، الشَّكل رقم (2–19).

الشَّكل رقم (2–19)
Feeler Gauge

21– Thin Permanent Marker Pin من شركة UNI-ball، صنع اليابان، وهو ذو لون ثابت لا يزول في أثناء التَّبريد بالماء، الشكل رقم (2–20).

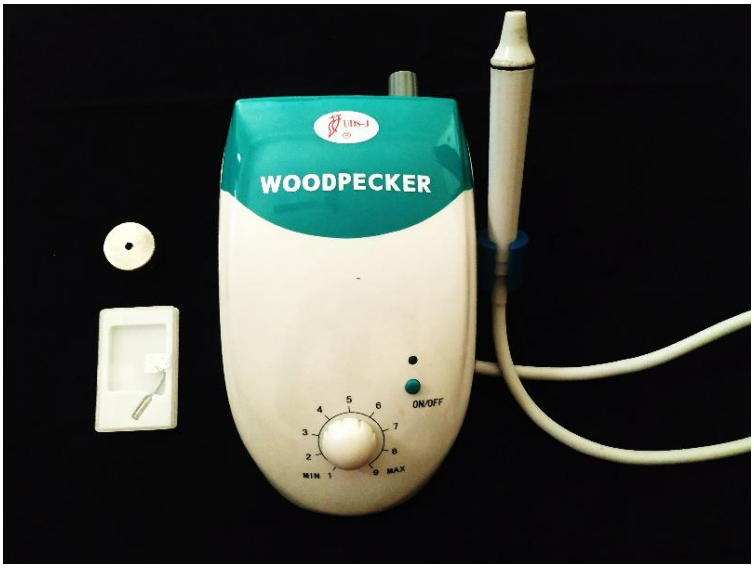
الشَّكل رقم (2–20)
Thin Permanent Marker Pin

22- ألياف ضوئية Fiber Optic Strands من شركة AZIMOM، صنع الصِّين، قطر اللِّيف الواحد 0.5 ملم، يتم تركيبها على قاعدة بلاستيكيَّة تحوي بداخلها ضوء LED لنقل الضَّوء للألياف، الشَّكل رقم (2-21).



الشَّكل رقم (2-21)
الألياف الضَّوئيَّة Fiber Optic Strands

23- جهاز أمواج فوق صوتيَّة نوع UDS-J، من شركة WOODPECKER، صنع الصِّين، يعمل بطَّاقة كهربائيَّة ضغطيَّة 240V، وتواتر 50Hz/60Hz، كما أنَّه مزود بتبريد مائي (0.1bar - 5bar)، الشَّكل رقم (2-22).

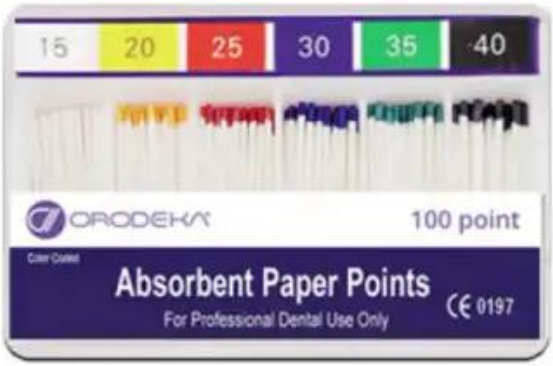


الشَّكل رقم (2-22)
جهاز الأمواج فوق الصَّوتيَّة

24- رؤوس أمواج فوق صوتيَّة نوع G2، من شركة WOODPECKER، صنع الصِّين، مصنوعة من الفولاذ غير القابل للصدأ (بعضها يكون مطلياً بالذَّهب لاستخدامه لدى المرضى الذين لديهم حساسية من بعض أنواع المعادن)، تم التَّعديل على شكلها لتقليل ثخانتها إلى حدود 0.25 ملم، يبيِّن الشَّكل (2-23) الفرق بين ثخانة رأس التَّقليح القياسي والرأس المُعدَّل.

الشَّكل رقم (2-23)
رؤوس الأمواج فوق الصَّوتيَّة المعدَّلة المحددة باللون الأحمر

25- أقماع ورقيَّة قياسيَّة، من شركة Orodeka، صنع الصِّين، الشَّكل (2-24).



الشَّكل رقم (2-24)
الأقماع الورقيَّة القياسيَّة

26- مكثفات عموديَّة قياسيَّة يدويَّة Plugger، من شركة ROGEN، صنع الصِّين، الشَّكل (2-25).

27- حامل MTA صُمِمُ لاستخدامه في البحث، عبارة عن رأس إبرة بقطر 18G، أُدخِل فيه سلك مصنوع من الفولاذ غير القابل للصدأ لاستخدامه في دفع الـ MTA بعد إدخالها ضمن رأس الإبرة، الشَّكل رقم (2-26).

الشَّكل رقم (2–25)
المكثِّفات العموديَّة اليدويَّة

الشَّكل رقم (2–26)
حامل الـ MTA المستخدم في البحث

28– جهاز الحشو الحراري نوع EQ–V من شركة Meta، صنع كوريا، يأتي بجزئين، الجزء الأول Pen (EQ-V Down-Pack)، والجزء الثَّاني Gun (EQ-V Back-Fill)، الشَّكل رقم (2–27).

29– أسمنت زجاجي شاردي نوع Fusion- I Seal ضوئي التَّصلب Light Curing Glass Inomer Cement (GIC)، من شركة Prevest DentPro، صنع الهند، الشكل رقم (2–28).

30– مادة Liquid Peel Off Latex، من شركة AL'VER، صنع فرنسا، وهي مادة مطاطية القوام يمكن تطبيقها على أي سطح، وبعد فترة من الزَّمن يمكن إزالتها كطبقة واحدة بسهولة، الشَّكل رقم (2–29).

الشَّكل رقم (2-27)

جهاز الحشو الحراري

الشَّكل رقم (2-28)

الأسمنت الزُّجاجي الشَّاردي

الشَّكل رقم (2-29)

مادة الـ Liquid Peel Off Latex

31- حاضنة Incubator من نوع CARBOLITE من إنتاج شركة PIF-400 صنع بريطانيا، وهي موجودة في قسم الجراثيم والطُّفيليات في كلية الطِّب البشري-جامعة دمشق، الشكل رقم (30-2).

الشَّكل رقم (30-2)
الحاضنة

32- أكريل شفاف من شركة Mia Secret، صنع أمريكا، لاستخدامه في صب القواعد التي ستوضع فيها الأسنان استعداداً لإجراء اختبار الكسر، الشَّكل رقم (31-2).

الشَّكل رقم (31-2)
مادة الأكريل الشَّفاف

33- جهاز الاختبارات العام General Testing Machine، من شركة Instron، صنع أمريكا، موجود في كلية الهندسة الميكانيكيَّة والكهربائيَّة – جامعة حمص، الشَّكل رقم (32-2).

الشَّكل رقم (32-2)
جهاز الاختبارات العام

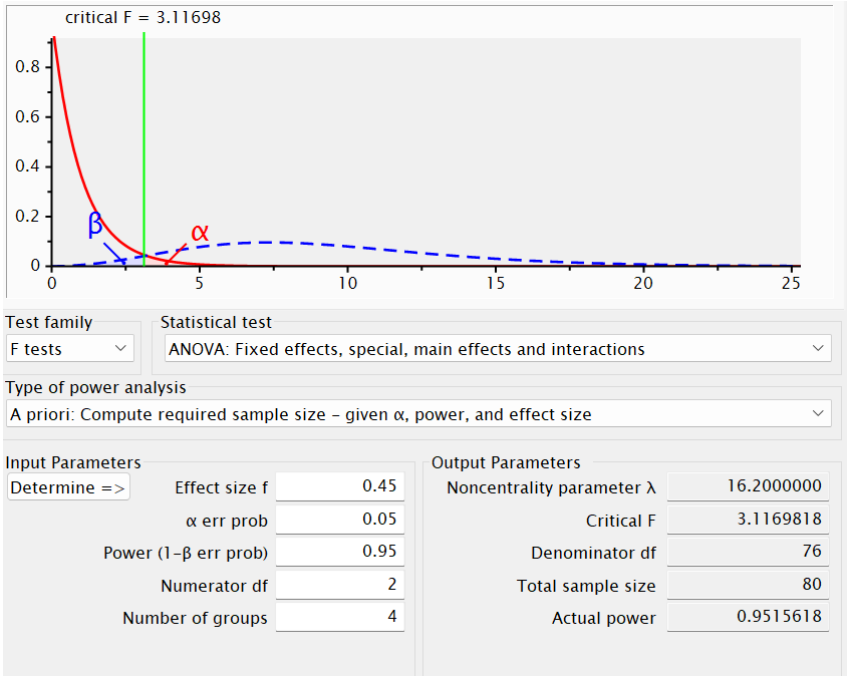
34- رأس مخروطي، تم خراطته من معدن الحديد، بذروة قطرها 3 ملم، وطول 10 سم، خصيصاً لتطبيق القوة بوساطته على أسنان البحث، الشكل رقم (33-2).

الشَّكل رقم (33-2)
الرَّأس المخروطي الذي استُخدِم لتطبيق القوة على عيِّنة البحث

2.2 الطرائق المستخدمة في البحث: Methods Used in Study

2.2.1 عيِّنة البحث: Sample of Study

تألفت عيِّنة البحث من 80 سناً بشريَّةً دائمةً وحيدة الجذر، وحيدة القناة، مقلوعة حديثاً، حُدِد حجم العيِّنة اعتماداً على البرنامج الإحصائي G Power إصدار 3.1.9.4، باستخدام الاختبار الإحصائي One-Way ANOVA، وباعتماد قوة دراسة 95%، وجعل قيمة $\propto = 0.05$، وقيمة الـ Effect Size = 0.45 اعتماداً على دراسة سابقة استخدمت بروتوكول العمل ذاته الذي اعتُمِدَ في البحث وهي دراسة Demiriz و Bodrumlu عام 2018 (Demiriz & Bodrumlu, 2018)، الشَّكل رقم (34-2).



الشَّكل رقم (34-2)

حساب حجم العيِّنة على برنامج الـ G Power

2.2.2 معايير التَّضمين والاستبعاد: Inclusion and Exclusion Criteria

2.2.2.1 معايير التَّضمين: Inclusion Criteria

1- أسنان دائمة علويَّة أو سفليَّة وحيدة الجذر، ووحيدة القناة.

2- مقلوعة حديثاً بسبب الأمراض حول السِّنيَّة، والنُّخور، أو في سياق المعالجات التَّقويميَّة دون تسجيل العمر والجنس.

3- ذات قناة مستقيمة أو شبه مستقيمة لإلغاء تأثير الانحناء على تقنية الحشو القنوي الجذري.

4- أن تكون أطوالها متقاربة.

5- أن يكون التَّشريح الدَّاخلي للسن طبيعيَّاً.

2.2.2.2 معايير الاستبعاد: Exclusion Criteria

1- الأسنان ذات الأقنية شديدة الإنحناء والمتكلسة.

2- الأسنان الحاوية على كسور أو تصدعات أو نخور ممتدة.

3- الأسنان غير مكتملة الذُّروة.

4- الأسنان المصابة بامتصاصات خارجيَّة أو داخليَّة.

5- الأسنان المعالجة لبيًّاً بشكل مسبق، والمصابة بالانثقابات، أو التي تحتوي أقنيتها الجذريَّة على أدوات مكسورة.

2.2.2 تحضير عيِّنة البحث: Preparation of Study Sample

- **مرحلة اختيار وتحضير النَّماذج: Selecting and Preparing Specimens**

جُمِعت الأسنان المقلوعة، وحُفظت في محلول المصل الفيزيولوجي الملحي بدرجة حرارة 4°C (Curylofo-Zotti et al., 2018)، ومن ثمَّ نُظِّفت من النُّسج الرخوة والعظميَّة، الشَّكل رقم (35-2).

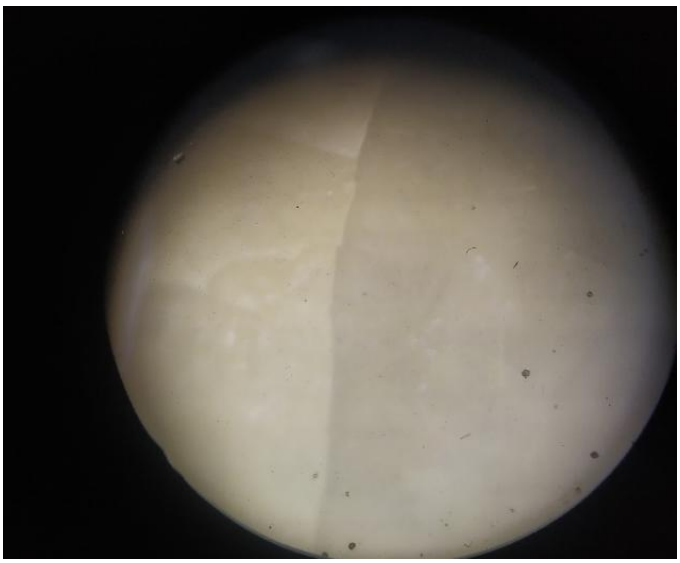
الشَّكل رقم (35-2)
عيِّنة البحث كاملة

أُجريت صور شعاعيَّة حول ذرويَّة بالاتجاهين (الأنسي – الوحشي) و (الدِّهليزي – اللِّساني) لكل سن بعد القلع مباشرةً، حيث يبيّن الشَّكل رقم (36–2) صور شعاعيَّة أُجريت للأسنان لفحصها قبل تضمينها بالعيِّنة.

الشَّكل رقم (36–2)

صور شعاعيَّة حول ذرويَّة بالاتجاهين (الأنسي – الوحشي) و (الدِّهليزي – اللِّساني) لمجموعة من الأسنان

ثم فُحصِت الأسنان تحت المجهر المجسِّم (مُكبّرة ضوئيَّة) Stereomicroscope وبتكبير X20، يُوضِّح الشَّكل رقم (37–2) التَّصدعات التي وُجدِت في بعض الأسنان مما أدى لاستبعادها من عيِّنة البحث.



الشَّكل رقم (37–2)

صدع يظهر على أحد سطوح الأسنان المفحوصة تحت المجهر المجسِّم

ثم حّدِدَ السَّطح الدِّهليزي للأسنان بوضع طبقة من طلاء الأظافر عليه، الشَّكل رقم (38–2).

الشَّكل رقم (38–2)
تحديد السَّطح الدِّهليزي للسن باستخدام طلاء الأظافر

ثم وُحِدّت أطوال جذور الأسنان بطول 15 ملم، وكل جزء بعد هذا الطُّول (سواء كان نُسجاً تاجيَّة أو جذريةً) قُصَ باستخدام قرص ماسي فاصل بثخانة 0.5 ملم مع قبضة صناعيَّة مستقيمة وتحت التَّبريد المائي الغزير (Demiriz & Bodrumlu, 2018)، وبعد ذلك فُحِصَت مرة ثانية تحت المجهر المجسِّم (مُكبّرة ضوئيَّة Stereomicroscope وبتكبير X20، للتأكد من خلوها من التَّصدعات والكسور بعد عملية قص النِّيجان، الشَّكل رقم (39-2).

الشَّكل رقم (37–2)
قص التَّاج وتوحيد الطُّول للجذور بطول 15 ملم

ثم حُضِّرت حفرة الدُّخول إلى الحجرة اللُّبيَّة بوساطة سنبلة كرويَّة مع الإرواء المائي، وبعد ذلك سُبِرت الأقنية الجذريَّة باستخدام مبرد K.File قياس 10#، وقياس 15# حتى شوهد من الثُّقبة الذُّرويَّة، ثم حُسِب الطُّول العامل بإنقاص 0.5 ملم من الطُّول الكلي للقناة الجذريَّة.

قُسِّمت الأسنان عشوائيَّاً إلى 4 مجموعاتٍ رئيسةٍ متساويةٍ بطريقة القرعة، حيث احتوت كل مجموعة منها على 20 سناً بشريَّةً دائمةً، وذلك تبعاً لنوع المادة الحاشية المستخدمة، وكل مجموعة رئيسة قُسِّمت عشوائيَّاً إلى مجموعتين فرعيتين متساويتين بطريقة القرعة، حيث احتوت كل منها على 10 أسنان بشريَّة دائمة، وذلك تبعاً لوجود كسر جذري عمودي فيها من عدمه، وهي:

المجموعة (A): هي المجموعة الشَّاهدة تضمنت 20 سناً: قُسِّمت عشوائياً إلى:

- ✓ A1 (شاهدة سلبيَّة): احتوت 10 أسنان سليمة غير معالجة لبّيَّاً، دون إحداث كسر جذري عمودي غير مكتمل صنعي فيها.
- ✓ A2 (شاهدة إيجابيَّة): احتوت 10 أسنان سليمة غير معالجة لبّيَّاً، مع إحداث كسر جذري عمودي غير مكتمل صنعي فيها.

المجموعة (B): هي المجموعة التَّجريبيَّة الأولى، تضمنت 20 سناً، قُسِّمت عشوائيَّاً إلى:

- ✓ B1: احتوت 10 أسنان استُخدِمَت فيها مادة الـ MTA البيضاء مفردةً، دون إحداث كسر جذري عمودي غير مكتمل صنعي فيها.
- ✓ B2: احتوت 10 أسنان استُخدِمت فيها مادة الـ MTA البيضاء مفردةً، مع إحداث كسر جذري عمودي غير مكتمل صنعي فيها.

المجموعة (C): هي المجموعة التَّجريبيَّة الثَّانية، تضمنت 20 سناً، قُسِّمت عشوائياً إلى:

- ✓ C1: احتوت 10 أسنان استُخدِمَت فيها مادة الـ Bioceramic مع الكوتابيركا بتقنية القمع المفرد، دون إحداث كسر جذري عمودي غير مكتمل صنعي فيها.

- ✓ C2: احتوت 10 أسنان استُخدِمَت فيها مادة الـ Bioceramic مع الكوتابيركا بتقنية القمع المفرد، مع إحداث كسر جذري عمودي غير مكتمل صنعي فيها.

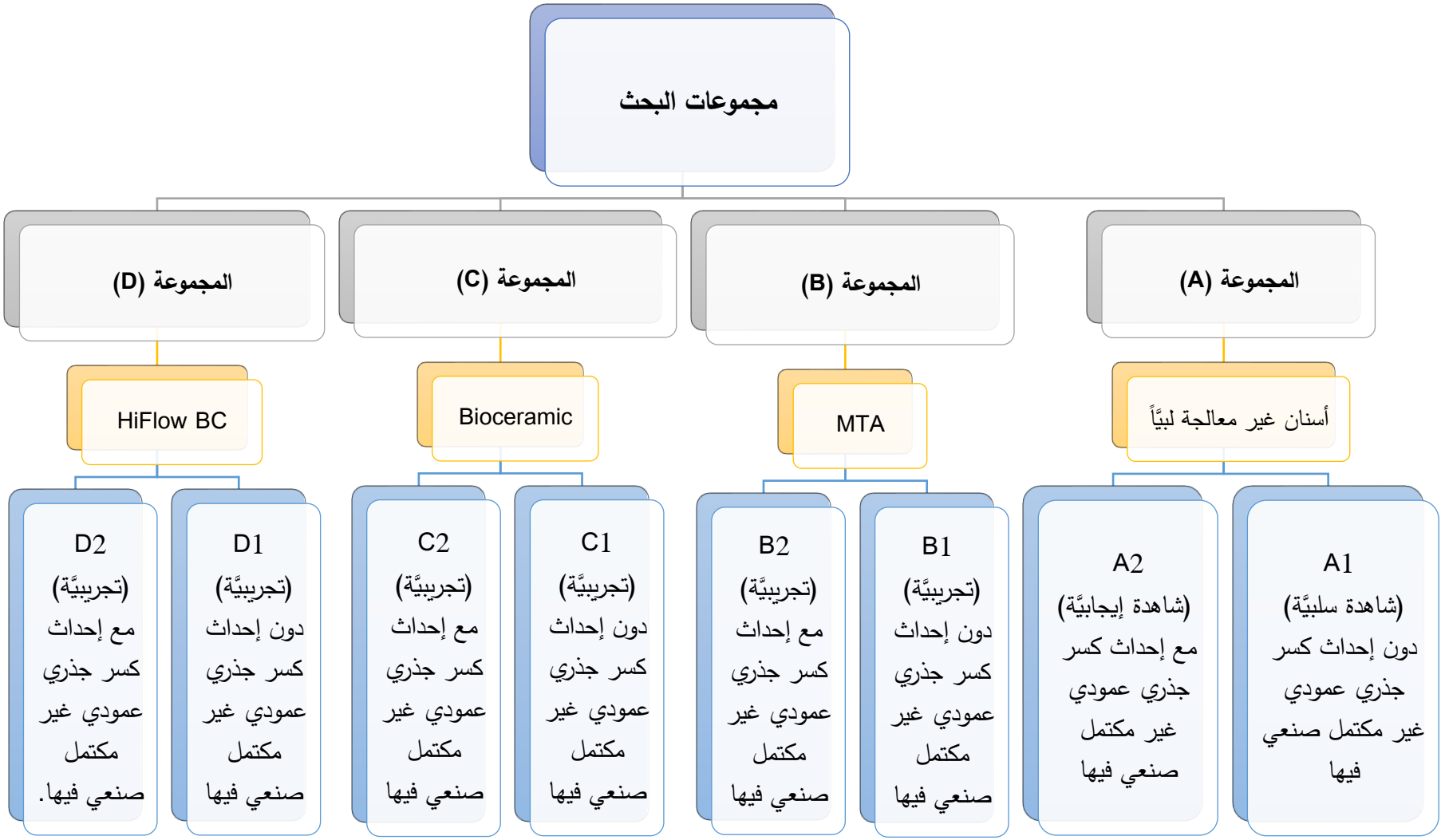
المجموعة (D): هي المجموعة التَّجريبيَّة الثَّالثة، تضمنت 20 سناً، قُسِّمت عشوائياً إلى:

- ✓ D1: احتوت 10 أسنان استُخدِمَت فيها مادة الـ BC HiFlow مع الكوتابيركا بتقنية الحشو الحراري، دون إحداث كسر جذري عمودي غير مكتمل صنعي فيها.
- ✓ D2: احتوت 10 أسنان استُخدِمَت فيها مادة الـ BC HiFlow مع الكوتابيركا بتقنية الحشو الحراري، مع إحداث كسر جذري عمودي غير مكتمل صنعي فيها.

ويوضح المخطط (Flowchart) رقم (1) توزع مجموعات البحث الرَّئيسة والفرعيَّة.

بعد ذلك صُنِعت قواعد من الجبس الأبيض مع نشارة الخشب بنسبة (1:1)، لوضع الأسنان فيها بعد أن تم عزلها بالفازلين بحيث يكون كل سن في مركز القاعدة الخاصة به، إذ كُتِب على أحد وجوه القاعدة رقم المجموعة الرَّئيسة التي يتبع لها السِّن، ورمز المجموعة الفرعيَّة على الوجه الآخر، الشَّكل رقم (40-2).

الشَّكل رقم (40-2)
أحد قواعد الجبس المصنوعة



المخطط (Flowchart) رقم (1)

توزُّع مجموعات البحث الرَّئيسة والفرعيَّة

- **مرحلة تحضير الأقنية الجذريَّة: Root Canals Preparation**

حُضِّرت الأقنية الجذريَّة لأسنان العيِّنة في المجموعات التَّجريبيَّة بنظام التَّحضير الآلي AF GOLD من شركة FANTA، بسرعة = 350 RPM وعزم = 2 N، حُضِّرت بعض الأقنية على كامل الطول العامل لقياس #25 واستدقاق 4% مثل جذور الثَّنايا السُّفليَّة، وبعضها تم تحضيره على كامل الطُّول العامل لقياس #35 واستدقاق 4% مثل جذور الثَّنايا العلويَّة والضَّواحك، وفق التَّسلسل الآتي:

- مبرد (SX) في الثُّلث التَّاجي للقناة فقط.
- المبرد قياس #19 واستدقاق 2% على كامل الطُّول العامل.
- المبرد قياس #20 واستدقاق 4% على كامل الطُّول العامل.
- المبرد قياس #25 واستدقاق 4% على كامل الطُّول العامل.
- المبرد قياس #35 واستدقاق 4% (وذلك في بعض الأقنية) على كامل الطُّول العامل.

مع التَّحقق من نفوذيَّة الأقنيَّة الجذريَّة بين الأدوات باستخدام مبرد قياس #10، وفي أثناء التَّحضير ومع كل إخراج وإدخال للمبرد تم إرواء القناة بـ 2 مل من هيبوكلوريد الصُّوديوم NaOCl 5.25%، بوساطة محقنة بلاستيكيَّة ورؤوس إرواء بقياس 30G ذات فتحة جانبيَّة.

- **مرحلة إحداث الكسر الجذري العمودي غير المكتمل الصُّنعي: Simulation of the Incomplete Vertical Root Fracture**

انْتُقِل إلى خطوة إجراء الكسر العمودي غير المكتمل الصُّنعي عند الانتهاء من مرحلة تحضير الأقنية الجذريَّة على نصف أسنان البحث (40 سناً)، وذلك قبل إجراء بروتوكول الإرواء النِّهائي.

تضمنت مواصفات الكسر الصُّنعي المُجرى في هذا البحث (Demiriz & Bodrumlu, 2018):

1- أن يبدأ من الذُّروة باتجاه الجزء التَّاجي من الجذر.

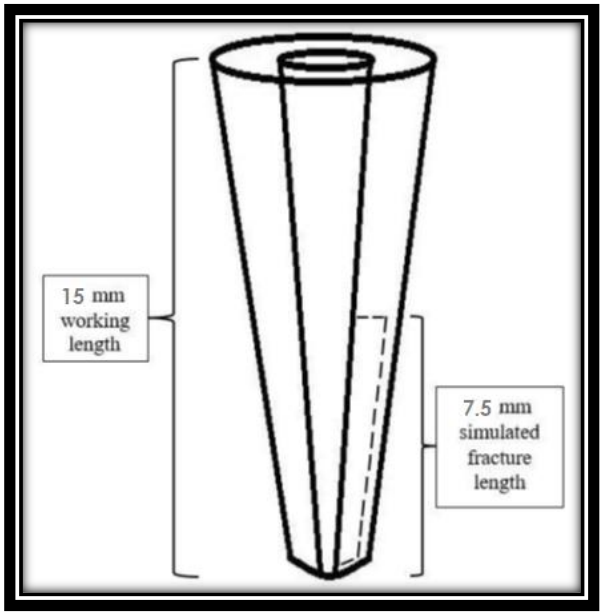
2- أن يشمل نصف طول الجذر 7.5 ملم.

3- أن يكون كسر غير مكتمل متوضع على السَّطح الدِّهليزي ويمتد باتِّجاه الفراغ القنوي الجذري دون أن يمس الجدار اللِّساني.

4- أن يتساوى طولا خط الكسر الدَّاخلي والخارجي معاً.

5- أن يكون عرض (ثخانة) الكسر غير المكتمل الصُنعي 0.25 ملم.

ويُوضِّح الشَّكل رقم (41-2) شكل ترسيمي للكسر الصُنعي المُجرى في هذا البحث.



الشَّكل رقم (41-2)

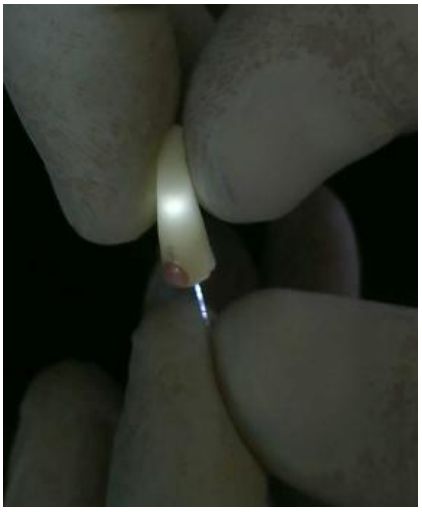
شكل ترسيمي للكسر الصُنعي المُجرى في البحث

أُجرِيَ الكسر العمودي غير المكتمل الصُنعي على الجذور وفق الخطوات الآتية:

حُدِدَ خط على السَّطح الدِّهليزي للجذر باستخدام قلم أسود Thin Permeant marker pen من الذُّروة وباتجاه الأعلى وبطول 7.5 ملم (أي نصف طول الجذر)، الشَّكل رقم (42-2)، واستُخدِم في تحديد الطُّول بدقة بياكوليس رقميَّة إلكترونيَّة Digital caliper.

ثم أُدخِلَ ليف ضوئي واحد A Single PMMA Plastic Fiber Optic Strand إلى داخل القناة الجذريَّة قبل البدء بإجراء الكسر الصُنعي، ولم يُزل حتى انتهاء عملية إجراء الكسر، يُوضِّح كل من الشَّكل رقم (43-2)، والشَّكل رقم (44-2) إدخال اللِّيف الضَّوئي واستخدامه في أثناء عملية إجراء الكسر الصُنعي.

الشَّكل رقم (42–2)
تحديد طول الكسر



الشَّكل رقم (43–2)
اللِّيف الضَّوئي داخل القناة الجذريَّة

الشَّكل رقم (44–2)
ظهور ضوء اللِّيف من خلال خط الكسر

ثم استُخدِمت أقراص ماسيَّة ذات ثخانة 0.25 ملم، وتحت التَّبريد المائي الغزير للبدء بإجراء الكسر الصُّنعي، حيث حُرِّكَ القرص من ذروة الجذر وباتِّجاه الأعلى، ثم استُخدِمَ رأس أمواج فوق صوتيَّة (رأس تقليح فوق لثوي نوع G2) معدَّل لإتمام عملية إجراء الكسر الصُّنعي ضمن الشُّروط المطلوبة، حيث عُدِّلَت ثخانته لتصبح 0.25 ملم على طول 4 ملم من الرَّأس، وذلك باستخدام قرص ماسي مثبت على قبضة مستقيمة مع تبريد مائي، ويبيِّن الشَّكل رقم (45–2) قياس ثخانة رأس الأمواج فوق الصَّوتيَّة بعد التَّعديل على ثخانته باستخدام الـ Micrometer.

الشَّكل رقم (45-2)
قياس ثخانة رأس الأمواج فوق الصَّوتيَّة المعدَّل

تم تركيب رأس الأمواج فوق الصَّوتيَّة G2 المعدَّل على جهاز أمواج فوق صوتيَّة ذا طاقة كهربائيَّة ضغطيَّة Piezoelectric وتم ضبط طاقة الجهاز على الرَّقم 9، مع استخدام التَّبريد المائي، حيث حُرِّكَ الرَّأس من ذروة الجذر وباتِّجاه الأعلى وبشكل عمودي من السَّطح الدِّهليزي باتِّجاه الفراغ القنوي الجذري تحت التَّبريد المائي الغزير، حتى تمام ظهور ضوء اللِّيف الضَّوئي من خلال كامل طول خط الكسر، للتأكد من تساوي طول خطي الكسر الدَّاخلي والخارجي بـ 7.5 ملم، ثم فُحِصَت الجذور تحت المجهر المجسِّم للتأكد من خلوها من التَّصدعات بعد استخدام رؤوس الأمواج فوق الصَّوتيَّة في استكمال عملية تصنيع الكسر العمودي غير المكتمل.

ومن أجل التَّأكد من فعاليَّة وموثوقيَّة هذه الطَّريقة بإنتاج كسور ذات أبعاد متساويَّة (طول خط الكسر الخارجي، طول خط الكسر الدَّاخلي، عرض الكسر) تم إجراء دراسة تمهيديَّة طليعيَّة Pilot Study على 40 سناً (خارج عيِّنة البحث)، حيث حُدِّدَ حجم العيِّنة اعتماداً البرنامج الإحصائي G-Power إصدار 3.1.9.4، باستخدام الاختبار الإحصائي One-Way ANOVA، وباعتماد قوة دراسة 90%، وجعل قيمة $\propto = 0.05$، وقيمة الـ Effect Size = 0.53، اعتماداً على دراسة سابقة طوَّرت طريقة أخرى لإنشاء كسور جذر عموديَّة غير مكتملة صنعيَّة، وهي دراسة De Lima Dias-Junior وزملائه لعام 2023 (De Lima Dias-Junior et al., 2023).

واتُبِعَت الطَّريقة الآتية في تسجيل الأبعاد النَّاتجة عن هذه الطَّريقة لكامل العيِّنة:

1- تم قياس طول الخط الخارجي للكسر باستخدام البياكوليس الرَّقميَّة الإلكترونيَّة وسُجِّلت النَّتائج.

2- لقياس **طول** الخط الدَّاخلي للكسر، حُقِنَت مادة ظليلة على الأشعة ضمن القناة الجذريَّة، وهي معجون الحشو BC HiFlow، ثم أُجرِيَ صورة شعاعيَّة حول ذرويَّة أنسيَّة – وحشيَّة للجذر من أجل توضيح خط الكسر الصُّنعي، واستُخدِمَ برنامج الـ Image j (الإصدار t1.53) (National Institutes of Health، أمريكا) لقياس الأطوال بدقة وسُجِّلت النَّتائج لكامل الأسنان، وفق الطَّريقة الآتية:

حُسِبَ طول خط الكسر الدَّاخلي والخارجي على الصّورة الشُعاعيَّة **إلكترونياً** باستخدام برنامج Image-J، وسبق أن حُسِبَ طول خط الكسر الخارجي الحقيقي باستخدام البياكوليس الرَّقميَّة الإلكترونيَّة، وبالتالي بقيت قيمة طول خط الكسر الدَّاخلي الحقيقيَّة مجهولة فقط، ويمكن حساب هذه القيمة بإجراء معادلة رياضيَّة بسيطة لجداء الطَّرفين بالوسطين وفق الآتي:

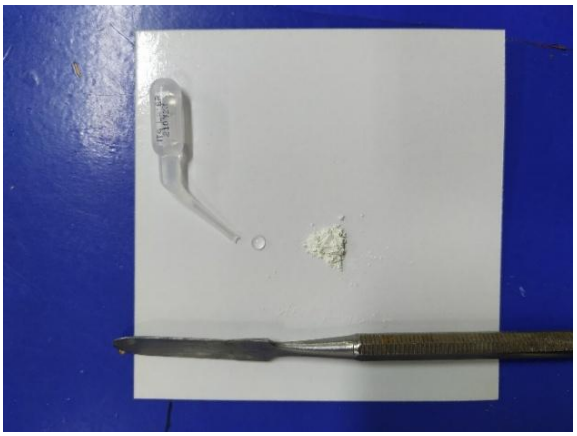
$$\frac{\text{قيمة طول خط الكسر الدَّاخلي المحسوب إلكترونياً} * \text{قيمة طول الكسر الخارجي الحقيقية}}{\text{قيمة طول خط الكسر الخارجي المحسوب إلكترونياً}} x \text{ (قيمة طول خط الكسر الدَّاخلي الحقيقية)}$$

3- استُخدِمَ مقياس الثَّخانة Feeler Gauge للتَّأكد من **عرض** خط الكسر على كامل الطُّول، حيث أُدخِلَت الشَّفرات واحدة تلو الأخرى حتى إبداء مقاومة خفيفة، وسُجِّلت النَّتائج.

بعد الانتهاء من إجراء الكسر الصُّنعي اتُّبِعَ بروتوكول الإرواء النِّهائي التَّالي: 5 مل من سائل هيبوكلوريد الصُّوديوم NaOCl 5.25%، 1 مل من سائل الـ EDTA 17% لمدة دقيقة واحدة لإزالة طبقة اللطاخة، مفصولان عن بعضهما بـ 5 مل من الماء المقطر، وكسائل إرواء نهائي استُخدِمَ 5 مل من الماء المقطر (Dibaji et al., 2017)، ثم اُختيرت أقماع الكوتابيركا الرَّئيسة المناسبة لكل سن من خلال التَّأكد من وصوله إلى كامل الطُّول العامل مع وجود مقاومة بسيطة عند سحبه Tug-Back بالإضافة إلى التَّأكد من ذلك شعاعيَّاً (وذلك في المجموعات التي سيتم حشوها باستخدام أقماع الكوتابيركا ومعاجين الحشو Sealers)، ثم جُفِّفَت الأقنية الجذريَّة باستخدام الأقماع الورقيَّة القياسيَّة، لتصبح بعد ذلك جاهزة للحشو.

- **مرحلة الحشو القنويّ الجذريّ: Root Canal Filling**

– بالنسبة للمجموعة التَّجريبيَّة الأولى بشقيها B1 + B2 والتي استُخدِمَت فيهما مادة الـ MTA، أُخرِجَ المسحوق من الظَّرف مباشرةً عند البدء بعملية الحشو القنوي الجذري، ثم مُزِجّت المادة تبعاً لتعليمات الشَّركة المصنِّعة مع الماء المُقطَّر الموجود معها ضمن العبوة ذاتها، وذلك بنسبة (1:3) تقريباً على ورقة مزج باستخدام سباتول معدني حتى الوصول للقوام الكريمي المناسب والمتجانس، والتَّأكد من تمام إماهة جميع ذرات المسحوق مع الماء المقطر (الشَّركة المصنِّعة)، الشَّكل رقم (46–2).



الشَّكل رقم (46–2)
تحضير مادة الـ MTA

استخدمت تقنية Auger في نقل وتكثيف مادة الـ MTA، حيث نُقِلَ المزيج إلى القناة الجذريَّة باستخدام الحامل المصُمِمَ لاستخدامه في هذا البحث، الشكل رقم (47–2)، ثم استُخدِم مبرد آلي بقياس 25# واستدقاق 4% بحركة إدخال وإخراج يدويَّة مع دوران عكس عقارب السَّاعة Rotated reverse up/down motion، بهدف تكثيفها بشكل كامل ضمن الكسر الصُنعي والثُّلث الذُّروي، الشَّكل رقم (48–2)، ثم استُخدِمَت مكثفات عموديَّة قياسيَّة يدويَّة لتكثيف مادة الـ MTA ضمن الثُّلثين المتوسط والتَّاجي حتى تمام حشو كامل القناة الجذريَّة، واستُخدِمت الأقماع الورقيَّة لامتصاص الرُّطوبة الزَّائدة عند وجودها (Bogen et al., 2014).

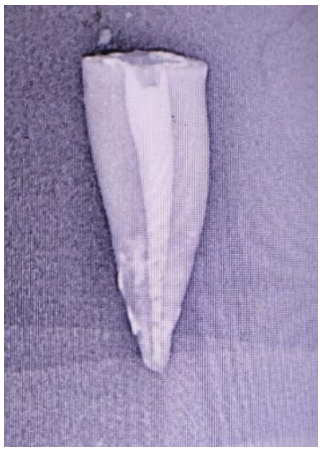
الشَّكل رقم (2-47)

نقل مادة الـ MTA بوساطة الحامل

الشَّكل رقم (2-48)

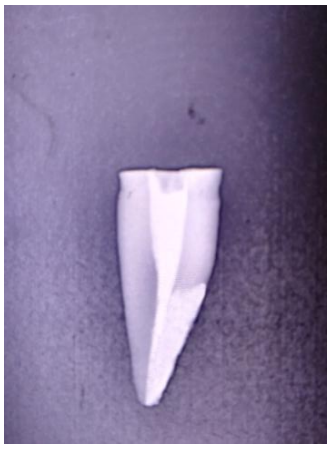
استخدام المبارد في تكثيف مادة الـ MTA ضمن الثُّلث الذُّروي

ثم أُخِذَت صورة شعاعية لكل سن بعد انتهاء عملية الحشو القنوي الجذري بالاتجاهين الأنسيَّ – الوحشيَّ، والدِّهليزي – اللساني، للتأكد من جودة الحشو، الشَّكل رقم (2-49)، والشَّكل رقم (2-50).



الشَّكل رقم (2-49)

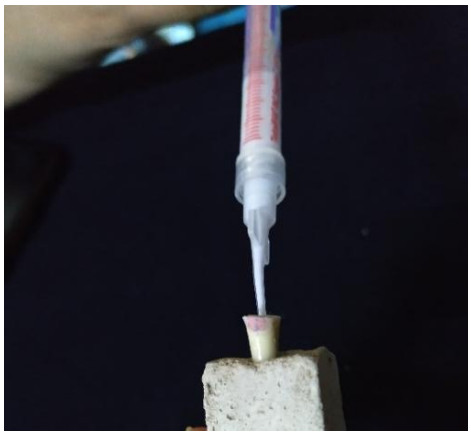
صورة شعاعيَّة لأحد أسنان المجموعةB1



الشَّكل رقم (2-50)

صورة شعاعيَّة لأحد أسنان المجموعة B2

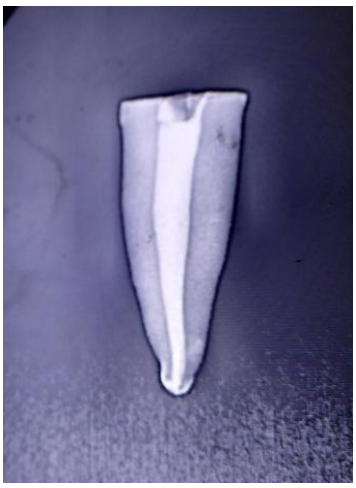
– بالنسبة للمجموعة التَّجريبيَّة الثَّانية بشقيها C1 + C2 والتي أُجريَ الحشو القنوي الجذري فيهما باستخدام أقماع الكوتابيركا مع معجون الحشو TotalFill BC بتقنية القمع المفرد، حُقِنَ معجون الحشو ضمن القناة وفقاً لتعليمات الشَّركة المصنِّعة حتى كامل القناة، عن طريق إدخال رأس الحقن إلى ما قبل الطُّول العامل بـ 2–3 ملم، الشَّكل رقم (51–2)، ثم أُدخِل قمع الكوتابيركا الرَّئيس المناسب داخل القناة الجذريَّة مع حركات إدخال وإخراج بسيطة للتأكد من وصول معجون الحشو إلى كامل الطُّول العامل واندخاله ضمن خط الكسر، ثم قُطِع قمع الكوتابيركا عند مستوى فوهة القناة الجذريَّة باستخدام رأس الـ Pen، وأُزيلَ الفائض من معجون الحشو (الشَّركة المصنِّعة).



الشَّكل رقم (51–2)

حقن مادة الـ TotalFill BC Sealer ضمن القناة الجذريَّة

ثم أُخِذَت صور شعاعيَّة لكل سن بعد انتهاء عملية الحشو القنوي الجذري بالاتجاهين الأنسيَّ – الوحشيَّ والدِّهليزي – اللِّساني للتأكد من جودة الحشو، الشَّكل رقم (52–2)، والشكل رقم (53–2).



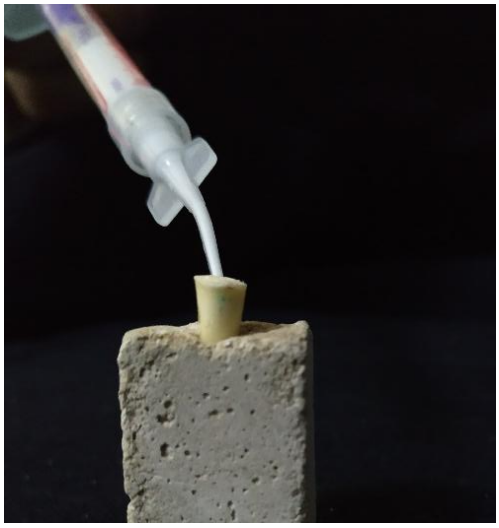
الشَّكل رقم (52–2)

صورة شعاعيَّة لأحد أسنان المجموعة C1

الشَّكل رقم (53–2)

صورة شعاعيَّة لأحد أسنان المجموعة C2

– بالنسبة للمجموعة التَّجريبيَّة الثَّالثة بشقيها D1 + D2 والتي أجري فيهما الحشو القنوي الجذري باستخدام أقماع الكوتابيركا مع معجون الحشو الـ TotalFill BC HiFlow بتقنيتي Down–Pack \ Back-Fill، المستخدمتين للحشو الحراري، اختير رأس الـ Pen المناسب والذي يصل إلى ما قبل الطُّول العامل بـ 3–5 ملم، وانتُقي المكثِّف العمود القياسي اليدوي (Plugger) ذو القياس المناسب للتَّكثيف في الثُّلث الذُّروي، واثنين آخرين أحدهما للتكثيف في الثُّلث المتوسّط، والثّاني للتكثيف في الثُّلث التَّاجي، ثم حُقِنَ معجون الحشو ضمن القناة وفقاً لتعليمات الشَّركة المصنعة حتى ثلثي القناة، عن طريق إدخال رأس الحقن إلى ما قبل الطُّول العامل بـ 2–3 ملم، (الشَّركة المصنِّعة)، الشَّكل رقم (54–2).



الشَّكل رقم (54–2)
حقن مادة الـ TotalFill BC HiFlow ضمن القناة الجذريَّة

ثم أُدخِلَ قمع الكوتابيركا الرَّئيس المناسب داخل القناة الجذريَّة بلطف مع حركات إدخال وإخراج بسيطة للتأكد من وصول معجون الحشو إلى كامل الطُّول العامل واندخاله ضمن خط الكسر، ثم قُطِع قمع الكوتابيركا باستخدام رأس الـ Pen قبل الطول العامل بـ 3–5 ملم (تقنية Down-Pack)، ثم حُقِنت الكوتابيركا المُلدّنة لاستكمال حشو الثُّلثين التَّاجي والمتوسط للقناة الجذريَّة باستُخدِامَ الـ Gun (تقنية Back-Fill)، وكُثِفت الكوتابيركا بعد الحقن باستخدام المكثِّفات العموديَّة القيَّاسية اليدويَّة المختارة مسبقاً (الشَّركة المصنِّعة).

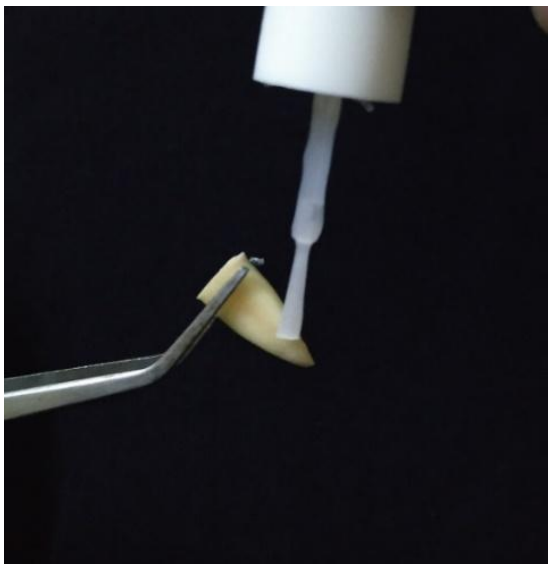
ثم أُخِذَت صور شعاعيَّة لكل سن بعد انتهاء عملية الحشو القنوي الجذري بالاتجاهين الأنسي – الوحشي والدِّهليزي – اللِّساني للتأكد من جودة الحشو، الشَّكل رقم (55–2)، والشَّكل رقم (56–2).

الشَّكل رقم (55–2)
صورة شعاعيَّة لأحد أسنان المجموعة D1

الشَّكل رقم (56–2)
صورة شعاعيَّة لأحد أسنان المجموعة D2

أُزيل الفائض من أسمنتات الحشو والكوتابيركا في جميع المجموعات مع تنظيف 2 ملم من فوهة الأقنية الجذريَّة منها باستخدام قبضة توربين وسنبلة شاقة ماسيَّة، ثم جُفِّفَت جيداً لتصبح بذلك جاهزة لتطبيق التَّرميم النِّهائي التَّاجي وهو الأسمنت الزُّجاجي الشَّاردي Fusion- I Seal ضوئي التَّصلب، ثم أُزيلت الأسنان من ضمن القواعد الجبسيَّة، ونُظِّفت وحّفظِت لمدة أسبوعين ضمن الحاضنة في وسط رطب 100%، (قطن مبلل بالماء المقطر) ودرجة حرارة 37°C (Dibaji et al., 2017).

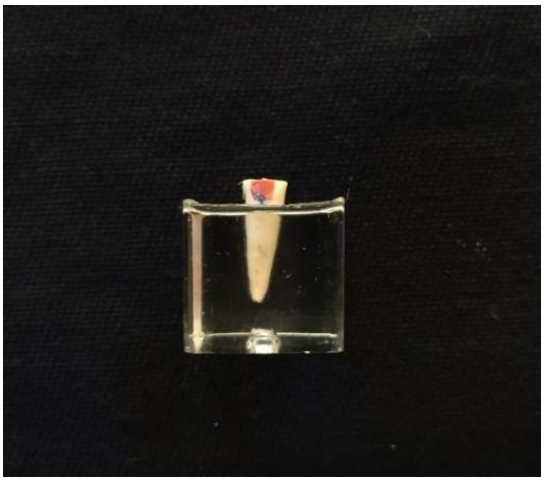
طُلِيَ السَّطح الخارجي للجذر باستخدام مادة مطاطية Liquid Peel Off Latex، من ذروة الجذر باتجاه الأعلى، مع مراعاة بقاء آخر 2 ملم طول الجذر تاجيَّاً غير مطلي بهذه المادة، وقد هدفت هذه الخطوة إلى محاكاة الرِّباط السِّني، إذ بلغت سماكة الطَّبقة الواحدة من هذه المادة 0.3 ملم تقريباً، لذلك وُضِعَت طبقة واحدة منها على كل جذر للوصول لسماكة تحاكي سماكة الرَّباط السِّني وهي (0.15–0.38 ملم) تقريباً (Mehari Abraha et al., 2019) الشكل رقم (57–2).



الشَّكل رقم (2-57)

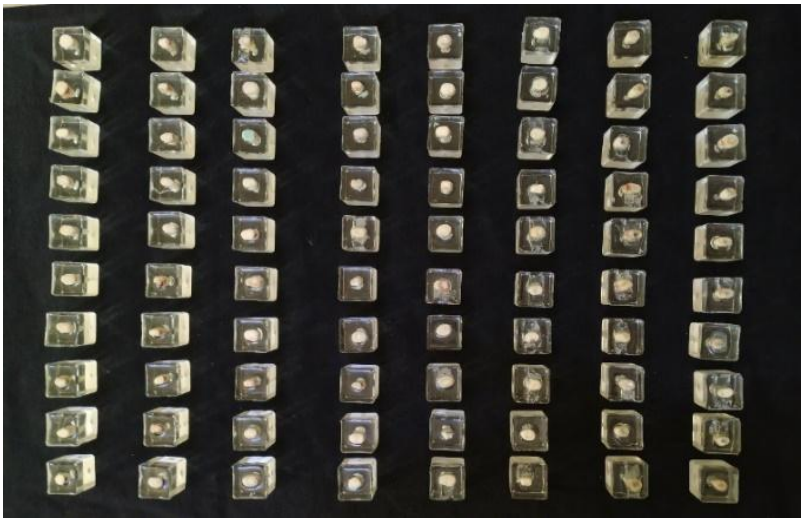
طلي سطح الجذر باستخدام مادة الـ Liquid Peel Off Latex

ثم حُدِّدَت أول 2 ملم من المنطقة التَّاجيَّة لكل جذر ليتم إبقائها بارزة خارج القاعدة الأكريليَّة والتي صُنِعَت من الأكريل الشفاف ذاتي التَّصلب، حيث مُزِجَ الأكريل بنسبة 1 سائل/2 مسحوق ضمن وعاء زجاجي حتى بلغ المرحلة الخيطيَّة، ثمّ صُبَّ ضمن قوالب معدنيَّة مكعبة الشّكل بأبعاد 20*20*20 ملم، وعُزِلَ السَّطح الدَّاخلي بطبقة من الفازلين لسهولة إخراج القاعدة الإكريليَّة فيما بعد من القالب، ثم غُرِزَت الجذور ضمن الأكريل بشكل عمودي بحيث يكون السَّطح التَّاجي لكل سن عمودياً على المحور الطّولي للجذر، ثمّ أُخرِجَت المكعبات الأكريليَّة التي تمّ غرز الجذور فيها من القوالب البلاستيكيّة (Demiriz & Bodrumlu, 2018)، الشَّكل رقم (2-58)، والشَّكل رقم (2-59).



الشَّكل رقم (2-58)

أحد جذور العيِّنة بعد تحضيرها لإجراء اختبار الكسر



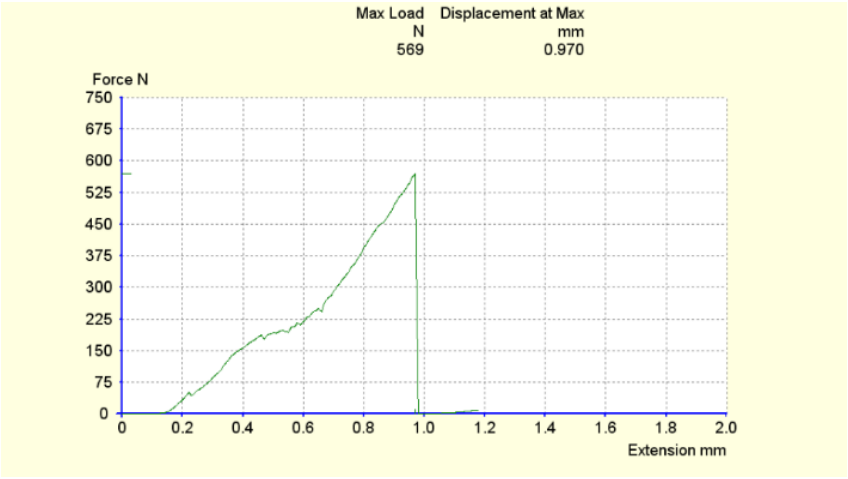
الشَّكل رقم (59–2)
كامل العيِّنة بعد تحضيرها لإجراء اختبار الكسر

- **مرحلة إجراء اختبار الكسر: Fracture Test**

أُجرِي اختبار مقاومة الكسر للعينات ضمن مخابر كليَّة الهندسة الميكانيكيَّة والكهربائيَّة – جامعة حمص، وذلك باستخدام جهاز الاختبارات العام، حيث تم إجراء اختبار لمقاومة الكسر في البداية لمجموعة من العينات (خارج عينات البحث) وذلك لتقييم أداء الجهاز، ثم أجري الاختبار على عينات البحث وذلك من قبِل مهندس اختصاصي في الهندسة الميكانيكيَّة (External Observer) دون معرفته لمادة الحشو المستخدمة في كل عينة، حيث ثُبِتَ قالب الأكريل الحامل للجذر على القاعدة السُّفليَّة المخصصة لجهاز الاختبارات الميكانيكيَّة العام بشكل عموديّ تماماً، وثُبِّت رأس معدني أسطواني مُدبّب قطر ذروته 3 ملم على الجزء العلوي من الجهاز، ثم طُبِّقَت على فوّهة القناة قوة ضغط موازية للمحور الطولي للجذر بسرعة ثابتة مُقدرَة بـ 1 ملم/دقيقة حتّى حصول الكسر، ودُوِّنَت القوّة الأعلى التي استطاع الجذر مقاومتها عند حدوث الكسر، وقُدِّرت هذه القوّة بالنيوتن (Demiriz & Bodrumlu, 2018)، ويبيّن الشَّكل رقم (60–2) وضع أحد العينات على جهاز الاختبارات العام وتطبيق قوة الضَّغط بشكل موازي للمحور الطُّولي للسن، بينما يُوضِّح الشَّكل رقم (61–2) أحد المخططات التي تظهر على شاشة جهاز الاختبارات العام، يظهر فيها قمة المُنحنَى البياني ومقدار القوة الأعلى التي حصل بعدها الكسر.

الشَّكل رقم (2-60)

أحد العينات على جهاز الاختبارات العام المستخدم في البحث



الشَّكل رقم (2-61)

أحد المخططات التي تظهر على شاشة جهاز الاختبارات العام

2.3 الدِّراسة الإحصائيَّة: Statistical Study

بعد جمع البيانات وتدوينها ضمن جداول، أُجريت التَّحاليل الإحصائيَّة الآتية باستخدام البرنامج الإحصائي Statistical Package for the Social Sciences (SPSS)، (IBM، أمريكا) الإصدار 24.

أولاً: الدّراسة الإحصائيَّة التي أُجريت على الدّراسة التَّمهيديَّة الطَّليعيَّة لتقييم فعاليَّة الطَّريقة المعتمدة في إنشاء كسور ذات أبعاد موحَّدة:

1- الإحصاءات الوصفيَّة والتي تضمنت وصفاً للمتغيرات الإحصائيَّة المدروسة (عرض الكسر، وطول الكسر الخارجي والدَّاخلي) وهي المتوسط الحسابي، الانحراف المعياري، الخطأ المعياري، الحد الأدنى والأعلى.

2- حساب مقدار الاختلاف، ونسبة الاختلاف بين طول خطي الكسر الدَّاخلي والخارجي على النحو الآتي:

انحراف طول خط الكسر الدَّاخلي عن الخارجي (بالمليمتر) لكل سن بشري = طول خط الكسر الدَّاخلي (بالمليمتر) – طول خط الكسر الخارجي (بالمليمتر).
النِّسبة المئويَّة لانحراف طول خط الكسر الدَّاخلي عن الخارجي = طول خط الكسر الدَّاخلي – الخارجي ÷ طول خط الكسر الدَّاخلي * 100.

3- اختبار T-Student للعينتين المترابطتين Paired Sample T-Test لمعرفة إذا كان هناك فروق ذات دلالة إحصائيَّة بين قيم طول خطي الكسر الدَّاخلي والخارجي في العيِّنة المدروسة.

4- اختبار T-Student للعينة الواحدة One Sample T-Test لمعرفة إذا كان هناك فروق ذات دلالة إحصائيَّة بين قيمة طول الكسر المعتمدة (7.5 ملم) وقيم طول خطي الكسر الدَّاخلي والخارجي في العيِّنة المدروسة.

5- حساب معامل ألفا كرونباخ ومعامل الثَّبات The Cronbach's Alpha Coefficient and Intraclass Correlation Coefficient (ICC) لدراسة موثوقيَّة القياس بين طول خطي الكسر الدَّاخلي والخارجي في العيِّنة المدروسة.

6- اختبار معامل الارتباط بيرسون Pearson Correlation Coefficient Test لمعرفة إذا كان هناك علاقة خطيَّة بين طول خطي الكسر الدَّاخلي والخارجي في العيِّنة المدروسة.

ثانياً: الدّراسة الإحصائيَّة لتقييم تأثير استخدام مواد الحشو القنوي الجذري على مقاومة الكسر للجذور ذات الكسور العموديَّة غير المكتملة الصُّنعيَّة:

1- الإحصاءات الوصفيَّة والتي تضمنت وصفاً للمتغيرات الإحصائيَّة المدروسة (مقدار القوة المطبقة لمقاومة الكسر) وهي المتوسط الحسابي، الانحراف المعياري، الخطأ المعياري، الحد الأدنى والأعلى.

2- اختبار تحليل التباين أحادي الجانب One-Way ANOVA لمعرفة إذا كان هناك فروق ذات دلالة إحصائيَّة بين قيم مقدار القوة المطبقة لمقاومة الكسر بين المجموعات المدروسة.

3- اختبار Bonferroni للمقارنات الثُّنائيَّة المتعددة.

تم تحليل جميع البيانات السَّابقة عند مستوى الـ ثقة 95٪، ومستوى الدَّلالة ($P \leq 0.05$) وبالتَّالي فإنَّ أي أي قيمة (P-Value) أقل من مستوى الدَّلالة (0.05) يعد الفرق المشاهد دالّاً إحصائيّاً، وهو فرق حقيقي يمكن عزوه للخاصيَّة المدروسة، في حين أنَّ أي قيمة (P-Value) أعلى من مستوى الدَّلالة (0.05) يعد الفرق المشاهد غير دال إحصائيّاً.

الباب الثَّالث

النَّتائج والدِّراسة الإحصائيَّة

Results and Statistical Study

3.1 الدِّراسة الإحصائيَّة التي أجريت على الدِّراسة التَّمهيدية الطَّليعيَّة لتقييم فعاليَّة الطَّريقة المعتمدة في إنشاء كسور ذات أبعاد موحَّدة:

3.1.1 وصف العيِّنة:

تألفت العيِّنة من 40 سناً بشرية دائمةً وحيدة الجذر، وحيدة القناة، مقلوعة حديثاً، تحوي كل منها على كسر عمودي غير مكتمل صنعي بأبعاد موحدة (عرض الكسر، طول الكسر الدَّاخلي، طول الكسر الخارجي).

3.1.2 الإحصاءات الوصفيَّة والدِّراسات الإحصائيَّة التَّحليليَّة:

1. دراسة عرض الكسر:

إنَّ قيمة الانحراف المعياري لعرض الكسر كانت 0 ملم، أي أنَّ جميع أسنان العيِّنة كانت لها قيمة عرض كسر متساوية وهي عرض الكسر الموحد (0.25 ملم)، يُوضِّح الجدول رقم (3) الإحصاءات الوصفيَّة لقيم عرض الكسر في العيِّنة المدروسة.

الجدول رقم (3): الإحصاءات الوصفيَّة لقيم عرض الكسر في العيِّنة المدروسة

المتغير المدروس	العدد	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	الحد الأدنى	الحد الأعلى
عرض الكسر	40	0.250	0	0.25	0.25

2. دراسة الاختلاف بين قيمة طول خط الكسر الموحد وكل من طول خطي الكسر الدَّاخلي والخارجي:

أُجرِيَ اختبار T-Student للعينة الواحدة One Sample T-Test لمعرفة إذا كان هناك فروق ذات دلالة إحصائيَّة بين قيمة طول خط الكسر الموحد (7.5 ملم)، وقيم كل من طول خطي الكسر الدَّاخلي والخارجي في العيِّنة المدروسة، وظهر أنَّ قيمة الـ P أقل من 0.05، لكلا المتغيرين المدروسين، لذلك يمكن الاستنتاج أنه عند مستوى ثقة 95٪ هناك فروق دالَّة إحصائيَّاً، وتشير العلامة الجبريَّة السَّالبة لقيمة الاختلاف بين طول خط الكسر الموحد والمتوسط الحسابي للمتغيرين المدروسين إلى أن كل من قيم طول خطي الكسر الدَّاخلي والخارجي كانتا أقل من 7.5 ملم في العيِّنة المدروسة، وهذا مُوضِّح في الجدول رقم (4).

الجدول رقم (4): الإحصاءات الوصفيَّة لقيم طول خطي الكسر الدَّاخلي والخارجي مع نتائج اختبار One-Sample T Test

المتغير المدروس	العدد	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	الحد الأدنى	الحد الأعلى	الفرق بين القيمة الموحدة والمتوسط	قيمة T	قيمة مستوى الدلالة	دلالة الفروق
طول خط الكسر الدَّاخلي	40	7.431	0.11	7.2	7.58	-0.069	-4.050	0.000	توجد فروق دالَّة إحصائيَّاً
طول خط الكسر الخارجي	40	7.457	0.11	7.21	7.6	-0.043	-2.503	0.017	توجد فروق دالَّة إحصائيَّاً

3. دراسة المقارنة بين قيمة طول خط الكسر الدَّاخلي وقيمة طول خط الكسر الخارجي:

أُجرِيَ اختبار T-Student للعينتين المترابطتين Paired Sample T-Test لمعرفة إذا كان هناك فروق ذات دلالة إحصائيَّة بين قيم طول خطي الكسر الدَّاخلي والخارجي في العيِّنة المدروسة، وظهر أنَّ قيمة الـ p كانت أقل من 0.05 بكثير، لذلك يمكن الاستنتاج أنه عند مستوى الثِّقة 95٪ هناك فروق دالة إحصائيَّاً، وتشير العلامة الجبريَّة السَّالبة لقيمة الفرق بين المتوسطين الحسابيين إلى أن طول خط الكسر الدَّاخلي أقل من طول خط الكسر الخارجي في العيِّنة المدروسة، وهذا مُوضِّح في الجدول رقم (5).

الجدول رقم (5): الإحصاءات الوصفيَّة لقيم طول خطي الكسر الدَّاخلي والخارجي مع نتائج اختبار Paired-Sample T Test

المتغير المدروس	العدد	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	الحد الأدنى	الحد الأعلى	الفرق بين المتوسطين الحسابيين	قيمة T	قيمة مستوى الدلالة	دلالة الفروق
طول خط الكسر الدَّاخلي	40	7.431	0.11	7.2	7.58	-0.026	-10.856	0.000	يوجد فروق دالة إحصائيا
طول خط الكسر الخارجي	40	7.457	0.11	7.21	7.6				

4. الإحصاءات الوصفيَّة لمقدار الاختلاف بين قيمة طول خط الكسر الدَّاخلي وقيمة طول خط الكسر الخارجي:

تبيَّن أنَّ قيمة الاختلاف بين طول خطي الكسر الدَّاخلي والخارجي كانت صغيرة جداً لم تتجاوز 0.06 ملم وهي قيمة تكاد لا ترى، وهي مُوضِّحة في الجدول رقم (6).

الجدول رقم (6) الإحصاءات الوصفيَّة لمقدار الاختلاف بين طول خطي الكسر الدَّاخلي والخارجي

المتغير المدروس	العدد	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	الحد الأدنى	الحد الأعلى
مقدار الاختلاف بين قيمة طول خطي الكسر	40	−0.026	0.015	−0.06	0

5. الإحصاءات الوصفيَّة لنسبة الاختلاف بين قيمة طول خط الكسر الدَّاخلي وقيمة طول خط الكسر الخارجي:

تبيَّن أنَّ نسبة الاختلاف بين طول خطي الكسر الدَّاخلي والخارجي كانت صغيرة جداً ولم تتجاوز 0.8% أي أقل من 1%، وهي مُوضِّحة في الجدول رقم (7).

الجدول رقم (7) الإحصاءات الوصفيَّة لنسبة الاختلاف بين طولي خط الكسر الدَّاخلي والخارجي

المتغير المدروس	العدد	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	الحد الأدنى	الحد الأعلى
نسبة الاختلاف بين قيمة طول خطي الكسر	40	−0.346	0.201	−0.811	0

6. دراسة موثوقيَّة القياس بين قيمة طول خط الكسر الدَّاخلي وقيمة طول خط الكسر الخارجي:

تم حساب معامل ألفا كرونباخ ومعامل الثَّبات The Cronbach's Alpha Coefficient and Intraclass Correlation Coefficient (ICC) لدراسة موثوقيَّة القياس بين طول الكسر الداخلي وقيم طول الكسر الخارجي في العيِّنة المدروسة، وظهر أنَّ قيمة الـ p أقل من 0.05 بكثير، لذلك يمكن الاستنتاج أنَّه عند مستوى الثِّقة 95٪ هناك موثوقيَّة كبيرة بين قيم كل من طول خطي الكسر الدَّاخلي والخارجي في العيِّنة المدروسة، حيث كانت كل من قيم ألفا كرونباخ والـ ICC قريبة من الـ 1، مما يشير إلى أن الموثوقيَّة كانت جيدة جداً في القوة في العيِّنة المدروسة، وهذا مُوضِّح في الجدول رقم (8).

الجدول رقم (8): معامل ألفا كرونباخ ومعامل الثَّبات

العدد	Alpha Cronbach	ICC	قيمة مستوى الدَّلالة	درجة الموثوقيَّة
80	0.995	0.990	< 0.001	جيدة جداً

7. دراسة العلاقة الخطيَّة (الارتباط) بين قيمة طول خط الكسر الدَّاخلي وقيمة طول خط الكسر الخارجي:

تم إجراء اختبار معامل الارتباط بيرسون Pearson Correlation Coefficient Test لمعرفة إذا كان هناك علاقة خطيَّة (ارتباط) بين قيمة طول خطي الكسر الدَّاخلي والخارجي في العيِّنة المدروسة، وظهر أنَّ قيمة الـ *p* أقل من 0.05 بكثير، لذلك يمكن الاستنتاج أنَّه عند مستوى الثِّقة 95٪ هناك علاقة خطيَّة وارتباط قوي بين قيم كل من طول خطي الكسر الدَّاخلي والخارجي في العيِّنة المدروسة، حيث كانت العلامة الجبريَّة للمعامل المحسوب موجبة، وكانت القيمة المطلقة للمعامل المحسوب قريبة من 1، وبالتالي فإن الارتباط جيد جداً في القوة، وهذا مُوضِّح في الجدول رقم (9).

الجدول رقم (9): معامل الارتباط بيرسون

المتغير	طول خط الكسر الدَّاخلي			النَّتيجة	قوة الارتباط
	معامل الارتباط بيرسون	العدد	قيمة مستوى الدَّلالة		
طول خط الكسر الخارجي	0.991	40	< 0.001*	إيجابيَّة	جيدة جداً

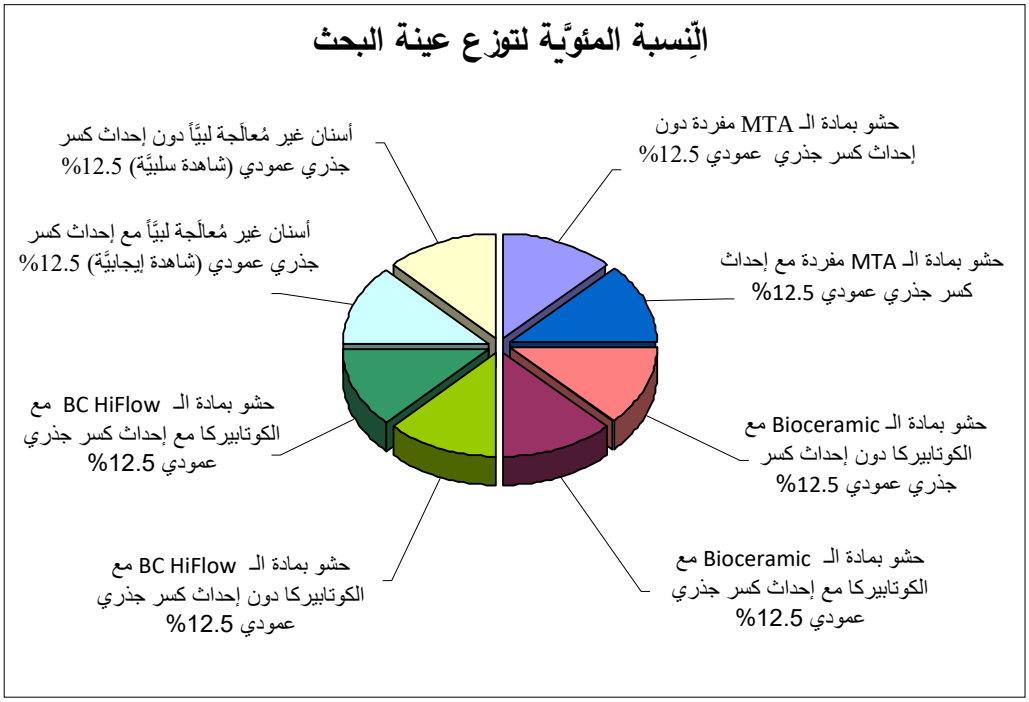
3.2 الدِّراسة الإحصائيَّة للبحث:

3.2.1 وصف العيِّنة:

تألفت عيِّنة البحث من 80 سناً بشرية دائمةً، وحيدة الجذر، وحيدة القناة، مقلوعة حديثاً، كانت مقسمةً إلى أربع مجموعات رئيسة متساوية وفقاً لنوع المادة الحاشية وكل مجموعة رئيسة قُسِّمت إلى مجموعتين فرعيتين تبعاً لإحداث كسر جذري عمودي غير مكتمل صنعي من عدمه، وهي: (A1: أسنان سليمة غير مُعالَجة لبَيَّاً دون إحداث كسر جذري عمودي (شاهدة سلبيَّة)، A2: أسنان سليمة غير مُعالَجة لبَيَّاً مع إحداث كسر جذري عمودي (شاهدة إيجابيَّة)، B1: حشو بمادة الـ MTA مفردةً دون إحداث كسر جذري عمودي، B2: حشو بمادة الـ MTA مفردةً مع إحداث كسر جذري عمودي، C1: حشو بمادة الـ Bioceramic مع الكوتابيركا دون إحداث كسر جذري عمودي، C2: حشو بمادة الـ Bioceramic مع الكوتابيركا مع إحداث كسر جذري عمودي، D1: حشو بمادة الـ BC HiFlow مع الكوتابيركا دون إحداث كسر جذري عمودي، D2: حشو بمادة الـ BC HiFlow مع الكوتابيركا مع إحداث كسر جذري عمودي)، ويُوضِّح الجدول رقم (10)، والمخطط رقم (2) توزُّع الأسنان في عيِّنة البحث:

جدول رقم (10) يبين توزُّع الأسنان في عيّنة البحث وفقاً لنوع المادة الحاشية وإحداث كسر عمودي

رقم المجموعة	نوع المادة الحاشية وإحداث كسر جذري عمودي	عدد الأسنان	النِّسبة المئويَّة
A1	أسنان سليمة غير مُعالَجة لبَياً دون إحداث كسر جذري عمودي (شاهدة سلبية)	10	12.5
A2	أسنان سليمة غير مُعالَجة لبَياً مع إحداث كسر جذري عمودي (شاهدة إيجابية)	10	12.5
B1	حشو بمادة الـ MTA مفردةً دون إحداث كسر جذري عمودي	10	12.5
B2	حشو بمادة الـ MTA مفردةً مع إحداث كسر جذري عمودي	10	12.5
C1	حشو بمادة الـ Bioceramic مع الكوتابيركا دون إحداث كسر جذري عمودي	10	12.5
C2	حشو بمادة الـ Bioceramic مع الكوتابيركا مع إحداث كسر جذري عمودي	10	12.5
D1	حشو بمادة الـ BC HiFlow مع الكوتابيركا دون إحداث كسر جذري عمودي	10	12.5
D2	حشو بمادة الـ BC HiFlow مع الكوتابيركا مع إحداث كسر جذري عمودي	10	12.5
المجموع		80	100



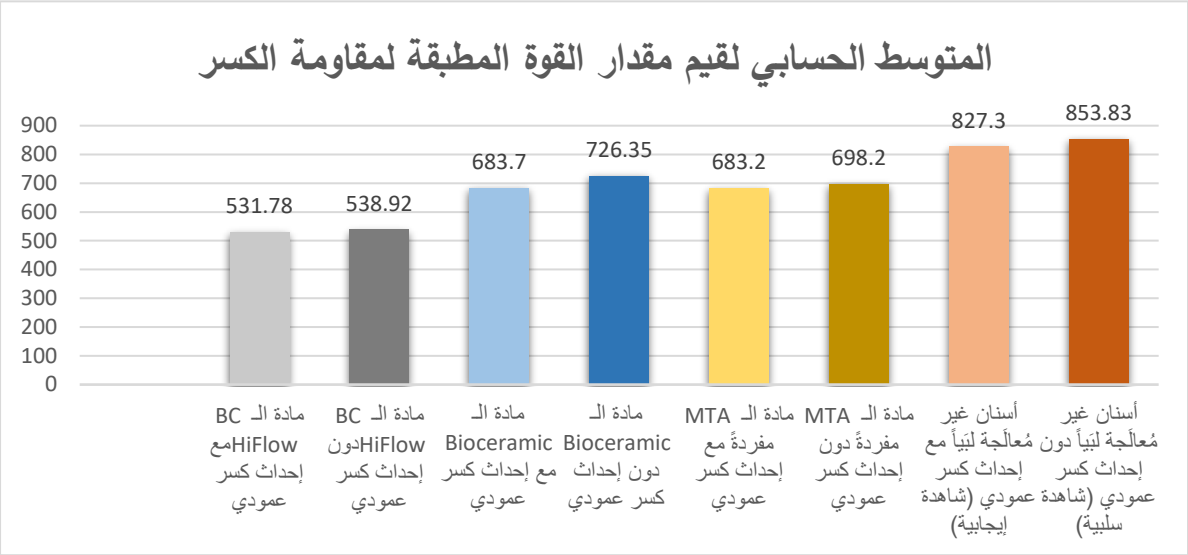
مخطط رقم (2) النِّسبة المئوية لتوزُّع عيّنة البحث وفقاً لنوع المادة الحاشية وإحداث كسر جذري عمودي

3.2.2 إحصاءات وصفيَّة:

يبين الجدول رقم (11) الإحصاءات الوصفيَّة والتي تتضمن وصفاً لمقدار القوة المطبقة لمقاومة الكسر بالنيوتن، وهي المتوسط الحسابي المخطط رقم (3)، الانحراف المعياري، الخطأ المعياري، الحد الأدنى والأعلى.

جدول رقم (11): الإحصاءات الوصفيَّة لقيم مقدار القوة المطبقة لمقاومة الكسر

نوع المادة الحاشية وإحداث كسر جذري عمودي	عدد الأسنان	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	الخطأ المعياري	الحد الأدنى	الحد الأعلى
أسنان سليمة غير مُعالَجة لبَياً دون إحداث كسر جذري عمودي (شاهدة سلبية)	10	853.83	173.63	54.90	640	1203
أسنان سليمة غير مُعالَجة لبَياً مع إحداث كسر جذري عمودي (شاهدة إيجابية)	10	827.30	167.73	53.04	638	1100
حشو بمادة الـ MTA مفردةً دون إحداث كسر جذري عمودي	10	698.20	112.11	35.45	555	942
حشو بمادة الـ MTA مفردةً مع إحداث كسر جذري عمودي	10	683.20	250.12	79.09	417.5	1185
حشو بمادة الـ Bioceramic مع الكوتابيركا دون إحداث كسر جذري عمودي	10	726.35	226.00	71.47	308	990
حشو بمادة الـ Bioceramic مع الكوتابيركا مع إحداث كسر جذري عمودي	10	683.70	198.18	62.67	361.3	958
حشو بمادة BC HiFlow مع كوتابيركا دون إحداث كسر جذري عمودي	10	538.92	198.32	62.72	345	938
حشو بمادة BC HiFlow مع كوتابيركا مع إحداث كسر جذري عمودي	10	531.78	84.48	26.72	368.8	689



مخطط رقم (3) المتوسط الحسابي لقيم مقدار القوة المطبقة لمقاومة الكسر

3.2.3 الدِّراسة الإحصائيَّة التَّحليليَّة:

تم إجراء اختبار تحليل التباين أحادي الجانب One-Way ANOVA لمعرفة إذا كان هناك فروق ذات دلالة إحصائيَّة بين قيم مقدار القوة المطبقة لمقاومة الكسر بين المجموعات المدروسة، ويُوضِّح الجدول رقم (12) نتائج هذا الاختبار.

جدول رقم (12): نتائج اختبار تحليل التباين أحادي الجانب ANOVA

قيمة f المحسوبة	قيمة مستوى الدلالة	دلالة الفروق
4.016	0.001	توجد فروق دالة إحصائيَّاً

يبين الجدول رقم (12) أنَّ قيمة مستوى الدَّلالة أصغر من القيمة 0.05، أي أنَّه عند مستوى الثِّقة 95% توجد فروق دالة إحصائيَّاً في قيم مقدار القوة المطبقة لمقاومة الكسر بين المجموعات المدروسة في عيِّنة البحث، ولمعرفة هذه الفروق تم استخدام اختبار Bonferroni للمقارنات الثُّنائيَّة المتعددة، ويُوضِّح الجدول رقم (13) نتائج هذا الاختبار.

الجدول رقم (13): نتائج اختبار Bonferroni للمقارنات الثُّنائيَّة المتعددة بين مجموعات البحث

المقارنات الثُّنائيَّة		فرق المتوسطات	قيمة مستوى الدَّلالة	دلالة الفروق
A1	A2	26.530	1.000	لا توجد فروق دالة إحصائيَّاً
	B1	155.630	1.000	لا توجد فروق دالة إحصائيَّاً
	B2	170.630	1.000	لا توجد فروق دالة إحصائيَّاً
	C1	127.480	1.000	لا توجد فروق دالة إحصائيَّاً
	C2	170.130	1.000	لا توجد فروق دالة إحصائيَّاً
	D1	314.910*	0.008	توجد فروق دالة إحصائيَّاً
	D2	322.050*	0.006	توجد فروق دالة إحصائيَّاً
A2	B1	129.100	1.000	لا توجد فروق دالة إحصائيَّاً
	B2	144.100	1.000	لا توجد فروق دالة إحصائيَّاً
	C1	100.950	1.000	لا توجد فروق دالة إحصائيَّاً
	C2	143.600	1.000	لا توجد فروق دالة إحصائيَّاً
	D1	288.380*	0.022	توجد فروق دالة إحصائيَّاً
	D2	295.520*	0.017	توجد فروق دالة إحصائيَّاً
B1	B2	15.000	1.000	لا توجد فروق دالة إحصائيَّاً
	C1	-28.150	1.000	لا توجد فروق دالة إحصائيَّاً
	C2	14.500	1.000	لا توجد فروق دالة إحصائيَّاً
	D1	159.280	1.000	لا توجد فروق دالة إحصائيَّاً
	D2	166.420	1.000	لا توجد فروق دالة إحصائيَّاً
B2	C2	-43.150	1.000	لا توجد فروق دالة إحصائيَّاً
	C1	-0.500	1.000	لا توجد فروق دالة إحصائيَّاً
	D2	144.280	1.000	لا توجد فروق دالة إحصائيَّاً
	D1	151.420	1.000	لا توجد فروق دالة إحصائيَّاً
C1	C2	42.650	1.000	لا توجد فروق دالة إحصائيَّاً
	D1	187.430	0.715	لا توجد فروق دالة إحصائيَّاً
	D2	194.570	0.577	لا توجد فروق دالة إحصائيَّاً
C2	D1	144.780	1.000	لا توجد فروق دالة إحصائيَّاً
	D2	151.920	1.000	لا توجد فروق دالة إحصائيَّاً
D1	D2	7.140	1.000	لا توجد فروق دالة إحصائيَّاً

يبين الجدول رقم (13) وجود فروق دالة إحصائيَّاً بين كل من:

1- المجموعتين A1 (أسنان سليمة دون كسر جذري عمودي) وD1 (BC HiFlow دون كسر جذري عمودي) وبحسب الإشارة الجبريَّة لفرق المتوسطين كانت القوة المطبقة لمقاومة الكسر للمجموعة A1 أكبر من القوة المطبقة لمقاومة الكسر للمجموعة D1.

2- المجموعتين A1 (أسنان سليمة دون كسر جذري عمودي) وD2 (BC HiFlow مع كسر جذري عمودي) وبحسب الإشارة الجبريَّة لفرق المتوسطين كانت القوة المطبقة لمقاومة الكسر للمجموعة A1 أكبر من القوة المطبقة لمقاومة الكسر للمجموعة D2.

3- المجموعتين A2 (أسنان سليمة مع كسر جذري عمودي) وD1 (BC HiFlow دون كسر جذري عمودي) وبحسب الإشارة الجبريَّة لفرق المتوسطين كانت القوة المطبقة لمقاومة الكسر للمجموعة A2 أكبر من القوة المطبقة لمقاومة الكسر للمجموعة D1.

4- المجموعتين A2 (أسنان سليمة مع كسر جذري عمودي) وD2 (BC HiFlow مع كسر جذري عمودي) وبحسب الإشارة الجبريَّة لفرق المتوسطين كانت القوة المطبقة لمقاومة الكسر للمجموعة A2 أكبر من القوة المطبقة لمقاومة الكسر للمجموعة D2.

3.3 خلاصة النَّتائج بعد تحليلها إحصائيَّاً:

أولاً- الدِّراسة الإحصائيّة التي أجريت على الدِّراسة التَّمهيدية الطَّليعيَّة لتقييم فعاليَّة الطَّريقة المعتمدة في إنشاء كسور ذات أبعاد موحَّدة:

1- عند دراسة الاختلاف بين القيمة المعياريَّة الموحَّدة لطول خط الكسر 7.5 ملم، وقيم طول خطي الكسر الدَّاخلي والخارجي النَّاتجة عن الطَّريقة المعتمدة في الدِّراسة الحاليَّة، أُجري اختبار T-Student للعينة الواحدة One Sample T-Test، وتبيَّن وجود فروق دالَّة إحصائيَّاً بينهما.

2- عند دراسة الاختلاف بين قيمة طول خط الكسر الدَّاخلي وقيمة طول خط الكسر الخارجي، أُجري اختبار T-Student للعينتين المترابطتين Paired Sample T-Test، وتبيَّن وجود فروق دالَّة إحصائيَّاً بينهما.

3- عند دراسة موثوقيَّة القياس بين قيم طول خط الكسر الدَّاخلي وقيم طول خط الكسر الخارجي، حُسِبَ المعامل ألفا كرونباخ ومعامل الثَّبات The Cronbach's Alpha Coefficient and Intraclass Correlation Coefficient، وتبيَّن وجود موثوقيَّة كبيرة بين قيم طول خطي الكسر الدَّاخلي والخارجي في العيِّنة المدروسة.

4- عند دراسة العلاقة الخطيَّة بين قيم طول خط الكسر الدَّاخلي وقيم طول خط الكسر الخارجي، أُجري اختبار معامل الارتباط بيرسون Pearson Correlation Coefficient Test، وتبيَّن أنَّ هناك علاقة خطيَّة وارتباط قوي بين قيم طول خطي الكسر الدَّاخلي والخارجي في العيِّنة المدروسة.

ثانياً- الدِّراسة الإحصائيَّة للبحث:

- عند دراسة مقدار القوة المطبقة لمقاومة الكسر بين مجموعات البحث أُجري اختبار One-Way ANOVA، واختبار Bonferroni، وتبيَّن وجود فروق دالة إحصائيَّاً بين كل من المجموعتين الشَّاهدتين (السَّلبيَّة والإيجابيَّة)، والمجموعة التَّجريبيَّة الثَّالثة (المستخدم فيها معجون الحشو BC HiFlow) بشقيها (مع وبدون كسر عمودي).

الباب الرَّابع

المناقشة

Discussion

4.1 مناقشة فكرة البحث وأهدافه:

إن الهدف الأساسي من إجراء المعالجات اللُّبيَّة هو الحفاظ على الأسنان ضمن القوس السِّنيَّة والحيلولة دون قلعها، لأن بقاء الأسنان الطَّبيعيَّة أمر مهم في الحفاظ على أداء وظيفي وتجميلي أفضل للحفرة الفمويَّة بالكامل (Nicholson & Czarnecka, 2016)، ويتم ذلك من خلال تأمين قناة جذريَّة نظيفة خالية من جميع العوامل الممرضة، فضلاً عن تأمين الختم ثلاثي الأبعاد للسن من النَّاحية الذُّرويَّة والمتوسطة والتَّاجيَّة (Fidler et al., 2021)، وأخيراً تقوية النُّسج السِّنيَّة وزيادة مقاومتها للكسر (Langalia et al., 2015)، فهناك العديد من الأسباب التي تؤدي بالنِّهاية إلى قلع الأسنان، ومن أهم هذه الأسباب إصابة الأسنان بالكُسور سواء التَّاجيَّة أو الجذريَّة، لذلك كان هناك العديد من الأبحاث والدِّراسات التي درست موضوع تأثير مواد مختلفة للحشو القنوي الجذري على مقاومة الكسر لجذور الأسنان، ولكن ماذا لو كان السِّن مصاباً بالكسر مسبقاً؟

بشكل عام، يُعَدُّ إنذار الأسنان المصابة بكسور الجذر العموديَّة ضعيفاً، وغالباً يكون قلع السِّن هو الخيار العلاجي المعتمد، ومع ذلك، فقد تم وصف العديد من تقارير الحالة في الأدبيَّات الطِّبيَّة، والتي حاولت ابتكار طرائق علاجيَّة مختلفة في سبيل المحافظة على الأسنان المصابة بكسور الجذر العموديَّة، وقد كانت نسب النَّجاح فيها متفاوتة (Moule & Kahler, 1999)، وجميع هذه الطَّرائق كان الهدف الأساسي منها تطهير المنظومة القنويَّة الجذريَّة، والختم ثلاثي الأبعاد الذُّروي والمتوسط والتَّاجي، بالإضافة إلى ختم حواف الكسر، وتقوية بنية الجذر، وزيادة مقاومته للكسر، ويُعد الهدف الأخير من أهم الأمور التي يجب مراعاتها عند اختيار طريقة المعالجة والمواد التي سيتم استخدامها في ختم حواف الكسر والحشو القنوي الجذري، كون السن مصاباً بالكسر مسبقاً، وهذا ما يجعل من تقوية بنيته أمراً مهماً للغاية، لذلك هناك مجال لمزيد من الأبحاث والدِّراسات لإيجاد مواد الحشو القنوي الجذري الأفضل القادرة على زيادة مقاومة الجذور ذات الكسور العموديَّة غير المكتملة للكسر من جديد.

هدفت جميع طرائق العلاج المقترحة والتي ورد ذكرها في تقارير الحالة إلى تشذيب حواف الكسر، ومن ثم ربط طرفي الكسر بإحدى المواد المتقبلة حيويَّاً، وكان يتم ذلك إما من خلال قلع السن، ومعالجته، ومن ثم إعادة زرعه، أو من خلال رفع شريحة، وتفريغ العظم، ومن ثم معالجة السِّن، وأخيراً إغلاق هذه الشَّريحة من جديد (Taschieri et al., 2010; Zhong et al., 2022).

فيما يخص الطرائق المعتمدة على القلع وإعادة الزَّرع وعلى الرغم من نجاحها في بعض الحالات، إلا أنَّ هذه العملية كانت تستغرق في معظم تقارير الحالة حوالي الـ 20 دقيقة على الأقل، وهي فترة طويلة في ظل الظُّروف السَّريريَّة، بالإضافة إلى ذلك، يمكن أن يحدث التصاق بسبب عملية القلع وإعادة الزَّرع، كما أنَّ امتصاص الجذر المرتبط بذلك أمر لا مفر منه (Panzarini et al., 2008)، كذلك الأمر بالنسبة لعملية رفع الشَّريحة، فعلى الرُّغم من النَّتائج النَّاجحة التي أظهرتها على المدى القصير، إلا أنَّه قد يحدث فقدان للنُّسج حول السِّنيَّة عند إجراء مراقبة لوقت أطول (Demiriz & Bodrumlu, 2018)، كما أنَّه لا يمكن لأي من هذه الطَّرائق أن تنجح على المدى الطَّويل إذا كان هناك آفة تحت الجذر لأن ذلك يستدعي إجراء إعادة معالجة لبيَّة عن طريق القناة (Goldberg, et al., 2008)، لذلك عند النَّظر في هذه الظُّروف، مثل الحاجة إلى إعادة المعالجة وخطر حدوث الالتصاق بعد إعادة الزَّرع، فقد يكون مسار العلاج الفعَّال هو ملء خط الكسر بمعجون الحشو القنوي الجذري عن طريق القناة وتعزيز بنية الجذور الحاوية على كسور عموديَّة دون الحاجة إلى عمليات جراحيَّة تدخليَّة، مثل القلع وإعادة الزرع أو رفع الشَّرائح، لذلك هدفت هذه الدِّراسة الحالية إلى تقييم فعاليَّة طريقة العلاج هذه في زيادة مقاومة الجذور للكسر باستخدام مجموعة من معاجين الحشو القنوي الجذري ذات أساس سيليكات الكالسيوم، ففي الوقت الحاضر، أصبح استخدام المواد ذات أساس Bioceramic في المعالجات اللبِّيَّة ذا أهمية متزايدة، حيث تُعَدُّ هذه المواد متقبلة حيويَّاً ومضادة للجراثيم (Hermansson, 2014)، كما أنَّها تُحَفِّز على تكوين نسج متينة من خلال تفاعل المواد الحيويَّة الدَّاخلة في تركيبها مع النُّسج التي تكون على تماس معها، الأمر الذي يعزز من ارتباط هذا المعجون كيميائيَّاً مع العاج (Bezerra et al.,2015; Chen et al., 2020)، إضافةً إلى السِّيولة العالية التي تتمتع بها هذه المواد، فهي قادرة على ملء الشُّذوذات والأقنية الجانبيَّة (Oliveira et al., 2016)، وفي حالات الكسور فإنَّها يمكن أن تتدخل ضمن حواف الكسر أيضاً، لذلك قد يؤدي استخدام هذه المواد بمميزاتها لشفاء الأسنان المصابة بالكسور العموديَّة غير المكتملة، وزيادة مقاومتها للكسر (Demiriz & Bodrumlu, 2018).

4.2 مناقشة طرائق البحث ومواده:

تضمنت عينة البحث أسناناً وحيدة الجذر، ووحيدة القناة، ولم يتم اختيار نوع واحد من الأسنان، وذلك لسهولة جمع العيّنة أولاً، ولأنه لا يقتصر حدوث الكسور العموديَّة على نوع معين من الأسنان دون الآخر، حيث تُعد الضَّواحك العلويَّة والسُّفليَّة، والقواطع السُّفليَّة الأكثر إصابةً بكسور الجذر العموديَّة وهو طيف واسع من الأسنان (Cohen et al. 2003)، وذلك لأنَّ البعد الأنسي الوحشي لهذه الأسنان أصغر من البعد الدِّهليزي اللِّساني، مما يجعلها أكثر عرضة للإصابة بكسور الجذر العموديَّة (Tamse, 2006)، كما اعتمدت عدد من الدِّراسات مثل دراسة Demiriz وBodrumlu في عام 2018 على استخدام القواطع العلويَّة لتحري تأثير مجموعة من مواد الحشو القنوي الجذري على مقاومة جذور هذه الأسنان للكسر (Demiriz & Bodrumlu, 2018)، وحتى لو تم اعتماد نوع معين من الأسنان دون الآخر، فلن يعطي ذلك فائدة كبيرة في سياق دراسة الكسور العموديَّة، لأنَّه تختلف سماكة العاج وتوضعه وتمعدنه حتى ضمن الفئة الواحدة من الأسنان وذلك تبعاً للعديد من الأسباب، منها اختلاف توزع الإجهادات والقوى الإطباقيَّة الوظيفيَّة تبعاً لعادات المريض ونمطه الغذائي، والذي يؤثر بدوره على تمعدن النُّسج العاجيَّة (Kishen et al., 2004)، بالإضافة إلى تأثير العمر والجنس أيضاً على سماكة العاج، حيث وُجِدَ أنَّ سماكة العاج في الجزء التَّاجي والذُروي للجذور أعلى لدى الذكور منه لدى الإناث، كما وُجد أن سماكة العاج وتمعدنه تزداد مع التقدم في العمر(Sarıyılmaz & Sessiz, 2023)، أيضاً استُخدِمت الأسنان وحيدة الجذر، ووحيدة القناة لمحاكاة الواقع السَّريري، فكما سبق وذكر أنَّ حدوث كسور الجذر العموديَّة يشمل طيفاً واسعاً من الأسنان، ولكي يتم الاستفادة من نتائج هذا البحث سريرياً، لابد من استخدام مجموعة من الأسنان التي يشيع حدوث كسور الجذر العموديَّة فيها دون الاقتصار على نوع دون الأخر.

اختيرت أسنان ذات جذور مستقيمة أو شبه مستقيمة، واستُبعِدَت الأسنان ذات الجذور المنحنيَّة لإلغاء تأثير الإنحناء على تقنية الحشو القنوي الجذري، وتأثيره على انتشار القوة المطبقة أثناء اختبار الكسر ضمن القناة.

جُمِعت الأسنان المقلوعة، وحُفظت في محلول المصل الفيزيولوجي الملحي من أجل التَّعويض عن السَّوائل، وذلك بدرجة حرارة 4°C لمنع نمو الجراثيم (Curylofo-Zotti et al., 2018)، وتم استخدام محلول المصل الفيزيولوجي الملحي بدلاً من المحاليل الأخرى لأنَّه قد يكون لها أثراً مثبِّتاً على العاج أو اللُّب، والذي بدور قد يؤثر على نتيجة الدِّراسة النِّهائيَّة (Berutti & Marini, 1996).

ثم أُجريت صور شعاعيَّة حول ذرويَّة بالاتجاهين الأنسي – الوحشي، والدِّهليزي – اللِّساني لكل سن، وذلك للتأكد من التَّشريح الدَّاخلي للقناة، وعدم وجود أي تظاهرات مرضيَّة كالتَّكلسات أو الامتصاصات، ثم فُحصِت تحت المجهر المجسِّم (مُكبّرة ضوئيَّة) Stereomicroscope بتكبير X20 للتأكد من عدم وجود التَّصدعات، فمن الضروري جداً خلو الأسنان من التَّصدعات والكسور، كون البحث يدرس مقاومة هذه الجذور للكسر.

حّدِدَ السَّطح الدِّهليزي للأسنان بوضع طبقة من طلاء الأظافر عليه قبل عملية قص التِّيجان، وذلك بهدف معرفة السَّطح الدِّهليزي للسن بعد قص تاجه لإجراء الكسر غير المكتمل الصُّنعي عليه فيما بعد، ثم وُحِدّت أطوال الأسنان بـ 15 ملم، وكل جزء بعد هذا الطُّول (سواء أكان نُسجاً تاجيَّة أو جذريةً) تم قصه، وذلك بهدف تأمين نقطة ارتكاز ثابتة للرأس المخروطي عند إجراء اختبار الكسر فيما بعد أولاً، وتوحيد الطُّول العامل ثانياً، واعتُمِدَ هذا الطُّول اعتماداً على دراسة Demiriz وBodrumlu في عام 2018 المشابهة لهذا البحث (Demiriz & Bodrumlu, 2018)، وكان الهدف من قص التِّيجان قبل تحضير حفرة الدخول إلى الحجرة اللُّبيَّة هو منع تشكل تصدعات نتيجة خطوتي فتح الحجرة أولاً وقص التِّيجان ثانياً، وبهدف استبعاد الأسنان التي تشكل فيها تصدعات بعد قص تيجانها من العينة قبل صبها ضمن قواعد الجبس.

ثم حُضِّرت حفرة الدُّخول إلى الحجرة اللُّبيَّة بوساطة سنبلة كرويَّة مع الإرواء المائي لمنع ارتفاع درجة حرارة النُّسج السِّنيَّة واحتراقها، وبعد ذلك سُبِرت الأقنية الجذريَّة باستخدام مبرد K.File قياس 10#، وقياس 15# حتى شوهد من الثُّقبة الذُّرويَّة للتأكد من نفوذيَّة القناة.

صُنِعت قواعد من الجبس الأبيض مع نشارة الخشب بنسبة (1:1) ، لإظهار شكل يشبه الحجب العظميَّة، ولجعل الجبس أكثر شفوفيَّة عند التَّصوير الشُّعاعي، ووضعت الجذور فيها بحيث يكون كل سن في مركز القاعدة الخاصة به، وذلك من أجل تسهيل عملية التَّحضير القنوي الجذري، ومحاكاة الواقع السريري في أثناء عملية التَّحضير والحشو وعدم مسك السِّن باليد، وعُزِلت الأسنان بالفازلين قبل وضعها في القاعدة لتسهيل إزالتها فيما بعد.

بقيت الأسنان في المجموعتين الشَّاهدتين الإيجابيَّة والسَّلبيَّة بدون تحضير قنوي جذري، بهدف معرفة تأثير وجود كسر غير مكتمل في المنطقة الذرويَّة على مقاومة الجذور للكسر دون تأثير أي عامل آخر، فكما سبق وذُكر، فإنه غالباً ما يكون قلع السِّن المُشَّخص بكسر جذري عمودي هو الخيار العلاجي المعتمد من قبل العديد الأطباء، لذلك كان من الضَّروري معرفة هل وجود كسر في المنطقة الذُّرويَّة من الجذور يقلل من مقاومتها للكسر؟، ومن ثم دراسة ما هي المواد التي يمكن أن تزيد من مقاومة الجذور الحاوية على مثل هذه الكسور العموديَّة غير المكتملة، لذلك تم تقسيم كل مجموعة رئيسة لمجموعتين فرعيتين تبعاً لوجود كسر عمودي فيها من عدمه، لمعرفة هل سيكون هناك فرق بين مقاومة الكسر للجذور ذات الكسور العموديَّة غير المكتملة الصُّنعيَّة، والجذور السَّليمة غير الحاوية على كسر عند استخدام المادة ذاتها في حشو القناة الجذريَّة.

حُضِّرت الأقنية الجذريَّة لأسنان العيِّنة في المجموعات التَّجريبيَّة بنظام التَّحضير الآلي AF GOLD من شركة FANTA، إما لقياس 25# واستدقاق 4%، أو لقياس 35# واستدقاق 4%، وذلك بما يتناسب مع القطر الأولي للثُّلث الذّروي، والذي حُدِّدَ بالاعتماد على المبارد اليدويَّة التي أبدت مقاومة بسيطة عند السحب عند الذُّروة.

- **مرحلة إجراء الكسر الصُّنعي:**

تختلف الأبحاث العلميَّة التي تدرس موضوع كسور الجذر العموديَّة، فمنها من يحاول إيجاد الوسيلة التَّشخيصيَّة الأفضل للكسور، ومنها من يجاول إيجاد طرائق للمعالجة للحيلولة دون قلع هذه الأسنان، وتنوعت الدِّراسات بين دراسات مخبريَّة وبعض تقارير الحالة، ولم تتواجد دراسات سريريَّة تبحث موضوع كسور الجذر العموديَّة ولا سيما تلك التي تدرس موضوع معالجتها، وذلك لصعوبة تأمين عينة لتضمينها ضمن هذه الأبحاث.

وفيما يخص الأسنان التي استُخدِمت في الأبحاث المخبريَّة، والتي درست كسور الجذر العموديَّة، فقد كان هناك بعض المحاولات في ابتكار طرائق لإنشاء كسور جذر عموديَّة صنعيَّة على الأسنان البشريَّة بهدف تضمين هذه الأسنان ضمن هذه الأبحاث، وذلك لأنَّه من الصُّعوبة بمكان أن تُجمع عينة من الأسنان الحاوية على كسور جذر عموديَّة بمواصفات موحدة، لكن أي من هذه الطَّرائق راعت أن تكون هذه الكسور بأبعاد موحدة (طول الكسر، وعرضه)، فمن الضروري جداً ولا سيما في الأبحاث التي تدرس معالجة كسور الجذر العموديَّة، أن تكون العيِّنة ذات كسور موَّحدة الأبعاد، وذلك لأن أبعاد الكسر تعد عاملاً متغيراً يمكن أن يؤثر بشدة على نتائج هذه الأبحاث.

وثقت الدِّراسة الحاليَّة طريقة لإنشاء كسور جذر عموديَّة غير مكتملة صنعيَّة بأبعاد موحدة على أسنان دائمة بشريَّة، وحيدة الجذر، ووحيدة القناة، مقلوعة حديثاً، لتضمين هذه العيِّنة في البحث، حيث تُستخدم الأسنان البشريَّة عادةً في الدراسات المخبريَّة، وقد أفادت العديد من البحوث والدِّراسات بتفضيل استخدام الأسنان البشريَّة للحصول على نتائج محاكية للواقع السَّريري (Ulusoy et al., 2011)، ونظراً لأنَّ هذه الدِّراسة تهدف إلى الالتزام بالمواصفات البنيويَّة للأسنان البشريَّة، فقد استُخدِمَت أسنانًا بشريَّة دائمة، وتمت مراعاة حفظ العيِّنة ضمن وسط رطب (المصل الفيزيولوجي الملحي) منذ بدء جمع العيِّنة، وتضمنت مواصفات الكسر المُجرى في البحث ما يأتي:

1- أن يبدأ من الذُّروة باتجاه الجزء التَّاجي من الجذر، وذلك لأنَّ النِّسبة الأكبر من كسور الجذر العموديَّة تبدأ من المنطقة الذرويَّة وتتجه تاجيًّاً (Li et al., 2021).

2- أن يكون كسر غير مكتمل متوضع على السَّطح الدِّهليزي ويمتد باتِّجاه الفراغ القنوي الجذري دون أن يمس الجدار اللساني، وذلك لأن كسور الجذر العموديَّة تمتد عادة باتجاه دهليزي لساني وليس أنسي وحشي، وتتوضع بالنِّسبة الأكبر على السَّطح الدِّهليزي للجذر، وتم الحرص على عدم مس الجدار اللساني، لأنَّ الكسر المدروس في هذا البحث هو كسر غير مكتمل (Berman & Kuttler, 2010).

3- أن يشمل نصف طول الجذر، حيث يمكن لكسور الجذر العموديَّة أن تشمل كامل طول الجذر أو جزءاً منه (Schetritt & Steffensen, 1995).

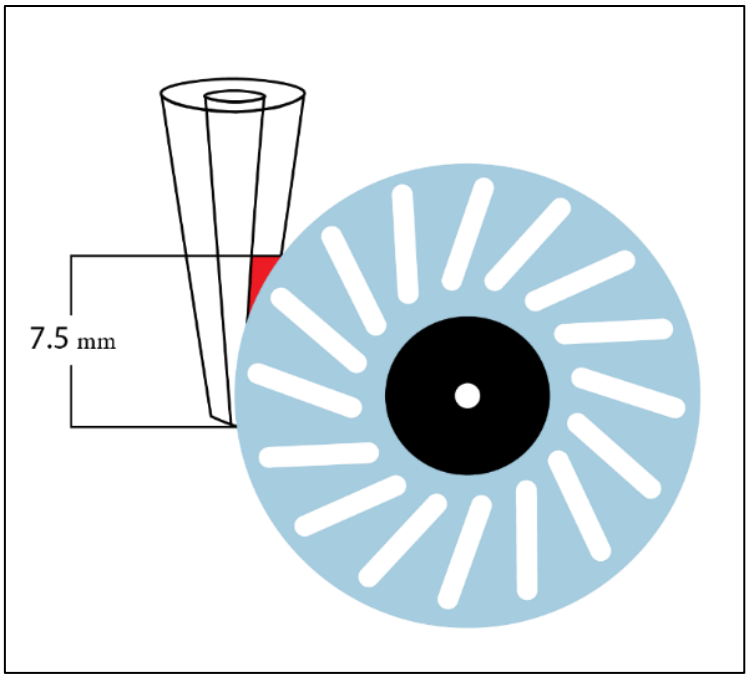
4- أن يكون طول خط الكسر 7.5 ملم وهو نص طول الجذر، وأن يكون عرض الكسر 0.25 ملم، وذلك حسب دراسة Demiriz وBodrumlu في عام 2018 (Demiriz & Bodrumlu, 2018).

5- أن يتساوى طولا خط الكسر الدَّاخلي والخارجي، للسماح لمواد الحشو القنوي الجذري باختراق خط الكسر وختم حوافه الخارجيَّة، ويعد تكبير خط الكسر مهماً أيضًا لنفس الغرض، وهذا ما يفسر اعتماد القيمة 0.25 ملم، فمن الضروري تكبير خط الكسر للسماح لمواد الحشو بختم حواف الكسر كما ذُكِر سابقاً، حيث أكدت العديد من تقارير الحالة التي اقترحت طرائقاً لمعالجة الأسنان ذات الكسور الجذريَّة العموديَّة على أهمية ضمان الختم الجيد لحواف الكسر، سواء باستخدام مواد الحشو القنوي الجذري أو المواد اللاصقة، من خلال توسيع وتحضير خط الكسر دائماً (Taschieri et al., 2010; Floratos & Kratchman, 2012).

أُجرِيَ الكسر غير المكتمل الصُّنعي على الجذور على ثلاث مراحل كما ذكر سابقاً، حيث حُدِدَ الخط على السَّطح الدِّهليزي للجذر باستخدام قلم أسود Thin Permeant marker pen من الذُّروة وباتجاه الأعلى وبطول 7.5 ملم، واستُخدِم هذا النَّوع من الأقلام في تحديد الخط لضمان ثبات اللون أثناء عملية صنع الكسر مع تواجد التَّبريد المائي الغزير، فهو ثابت ولا يزول بتأثير الماء مثل الأنواع الأخرى من أقلام الحبر، واستُخدِم في تحديد الطُّول بياكوليس رقميَّة إلكترونيَّة Digital caliper لتحري الدِّقة في القياس.

أُدخِلَ ليف ضوئي إلى داخل القناة الجذريَّة قبل البدء بإجراء الكسر الصُّنعي، ولم يُزل حتى انتهاء عملية إجراء الكسر وذلك لهدفين: الأول عدم السَّماح للأقراص الماسيَّة ورؤوس الأمواج فوق الصَّوتيَّة في أثناء إجراء الكسر من لمس الجدار الدَّاخلي للسَّطح اللِّساني للقناة، والهدف الثَّاني التَّأكد من أن خط الكسر الدَّاخلي والخارجي متساويان تماماً، ويكون الدَّليل على ذلك ظهور ضوء اللِّيف الضَّوئي من خلال كامل طول خط الكسر، واختير قطر اللِّيف الضُّوئي ليكون 0.5 ملم، لكي يستطيع الوصول إلى المنطقة الذُّرويَّة بعد التَّحضير القنوي الجذري بشكل مريح دون أن يشتبك أو يبدي استعصاءً، حيث يبلغ قطر القناة في الثُّلث التَّاجي 1400 إلى 3500 مايكرومتر، (أي 1.4–3.5 ملم)، وفي الثُّلث الأوسط 1200 إلى 2000 مايكرومتر (أي 1.2–2 ملم) وفي الثُّلث الذُروي 212 إلى 650 مايكرومتر (أي 0.212–0.65 ملم) وذلك عند التَّحضير لقياس 25# استدقاق 6% (Razumova et al., 2020).

استُخدِمت الأقراص الماسيَّة للبدء بإجراء الكسر الصُّنعي، ولكن تبيَّن أنَّه عندما وصل طول خط الكسر الخارجي إلى 7.5 ملم وهو الطُّول المطلوب، كان لا يزال هناك نسج عاجيَّة من الدَّاخل لم تستطع الأقراص الماسيَّة لوحدها أن تُزيلها، وبقي طول خط الكسر الدَّاخلي أقل من 7.5 ملم، أي بمعنى آخر كان استخدامها لوحدها غير كافٍ لجعل طول الكسر من الدَّاخل والخارج متساوياً، وذلك بسبب الشَّكل الدَّائري والقطر الكبير للقرص المستخدم، لذلك كان من الضَّروري إيجاد طريقة يمكن من خلالها إتمام عملية إجراء الكسر الصُّنعي ضمن الشُّروط المطلوبة، ويُوضِّح الشَّكل التَّرسيمي رقم (1–3) عدم قدرة القرص الماسي على إزالة كامل النُّسج العاجيَّة من الدَّاخل.



الشَّكل رقم (1-3)

يُوضِّح الجزء المُظلل باللون الأحمر النُّسج العاجيَّة المتبقيَّة والتي لم يستطع القرص الماسي إزالتها لجعل طول خطي الكسر الدَّاخلي والخارجي متساويان

وأجريت دراسة تمهيديَّة طليعيَّة Pilot Study لدراسة موثوقية الطَّريقة المتَّبعة في تحقيق كسر بعرض 0.25 وبطول 7.5 ملم، حيث تم قياس طول الخط الخارجي للكسر باستخدام البياكوليس الرَّقميَّة الإلكترونيَّة وذلك لضمان الدَّقة بالقياس، ولقياس طول الخط الدَّاخلي للكسر، حُقِنَت مادة ظليلة على الأشعة ضمن القناة الجذريَّة، وهي معجون الحشو BC HiFlow، وكان الهدف من استخدام هذه المادة هو توضيح حدود الكسر فقط لكي يتم حساب طول خط الكسر الدَّاخلي على الصُّورة الشُّعاعيَّة، ومن الممكن استخدام أي مادة ظليلة على الأشعة وقابلة للحقن بسهولة وذات سيولة جيدة لتحقيق هذا الغرض، وأما فيما يخص استخدام برنامج الـ Image j، فكان من الضروري استخدام طريقة رقميَّة في القياس لضمان الحصول على قيمة دقيقة لطول الكسر الدَّاخلي، في ظل استحالة قياسه بشكل مباشر، واستُخدِمَ مقياس الثَّخانة Feeler Gauge لقياس عرض الكسر لأن ما يهم هو العرض على كامل طول خط الكسر وليس الاختلاف في العرض بين نقطة وأخرى، وبالتالي فهي أفضل طريقة للقياس في هذه الحالة.

بمقارنة قيم عرض الكسر النَّاتجة عن هذه الطَّريقة مع القيمة المعياريَّة 0.25 ملم، تبيَّن أنَّ الطَّريقة فعَّالة وموثوقة في تحقيق هذا الهدف بما أنَّ جميع القيم كانت تساوي القيمة المعياريَّة المحددة، ويمكن تفسير ذلك باستخدام قرص ماسي سماكته 0.25 ملم يحوي في تصميمه على أجزاء مُفرَّغة مما يقلل من احتكاكه مع النُّسج السِّنيَّة على أطرافه.

وبمقارنة قيمة كل من الطُّول الدَّاخلي والطُّول الخارجي لخط الكسر مع القيمة المعياريَّة 7.5 ملم، ومقارنة قيمة طول خطي الكسر الدَّاخلي والخارجي مع بعضهما البعض لمعرفة إن كانا متساويين، كانت النَّتيجة أنَّ الطَّريقة المتَّبعة أدَّت إلى تحقيق طول أقل بقليل من القيمة المعياريَّة 7.5 ملم، كما أنَّ طول خط الكسر الدَّاخلي كان أقصر بقليل من طول خط الكسر الخارجي، وتبيَّن أنَّ الاختلاف بين قيمة الطُّول الدَّاخلي والخارجي لخط الكسر ونسبته كانا صغيرين جداً، ويمكن إهمالهما من النَّاحية المخبرية، فعلى الرُّغم من وجود الفروق الدَّالة بين قيمة الطُّولين، إلا أنَّ قيمة الاختلاف لم تتجاوز 0.06 ملم وهي قيمة تكاد لا ترى، وكذلك نسبة الاختلاف لم تتجاوز 0.8% أي أقل من 1%، وهذا الفرق هو ثابت (نتيجة لوجود علاقة بينيَّة قوية، وبسبب القيمة المرتفعة لمعامل الثبات) أي بمعنى آخر فإنَّه في حال إعادة هذه التَّجربة فإنَّ قيمة الفرق ستكون مقاربة (جداً) لقيمة الفرق المحسوبة في الدِّراسة الحاليَّة، وبأن الطُّولين الداخلي والخارجي لخط الكسر كانا مترابطين بقوة، ففي حال ارتفاع قيمة أحدهما سيؤدي ذلك إلى ارتفاع قيمة الآخر حكماً، وهذا ما أكدته القيمة المرتفعة لمعامل الارتباط بيرسون، ويمكن تفسير هذه النَّتيجة باستخدام رأس الأمواج فوق الصَّوتيَّة المعدَّل في إتمام عملية إنجاز الكسر الصُّنعي، وكان رأسه فقط عامل، حيث استطاع إزالة النُّسج العاجيَّة المتبقيَّة دون أن يمس الجدران الجانبيَّة للكسر أو يزيد من طوله بالاتجاه التَّاجي.

أُجرِيَ بروتوكول الإرواء النِّهائي بعد الانتهاء من إجراء الكسر الصُّنعي، وليس بعد انتهاء تحضير الأقنية الجذريَّة مباشرةً في الأسنان الحاوية على كسر عمودي، وذلك بهدف إزالة البرادة النَّاتجة عن عملية تصنيع الكسر.

استُخدِمَ هيبوكلوريد الصُوديوم بتركيز 5.25%، كسائل إرواء في أثناء مرحلة التَّحضير القنوي الجذري وفي بروتوكول الإرواء النِّهائي لأسنان المجموعات التَّجريبية وذلك لمحاكاة الواقع السَّريري، حيث يبقى هيبوكلوريد الصُوديوم هو سائل الإرواء المفضل بسبب خصائصه المضادة للجراثيم واسعة الطيف ضد الأنواع العديدة من الجراثيم، مثل المكورة المعويَّة البرازيَّة Enterococcus Faecalis، والجراثيم الشُعيَّة Actinomyces Naeslundii، والمبيضات البيضاء Candida Albicans، بالإضافة إلى قدرته على حل النُّسج المتموتة (Rahimi et al., 2014)، ولا يقتصر تأثير هيبوكلوريد الصُوديوم على الجراثيم فقط، وإنما يؤثر على بنية ألياف الكولاجين في العاج والذي يؤثر بدوره على القساوة المجهريَّة Microhardness وقوة الارتباط Bond Strength للعاج أيضاً (Slutzky-Goldberg et al., 2004)، وقد ناقشت العديد من الأبحاث والدِّراسات موضوع تأثير استخدام هيبوكلوريد الصوديوم كسائل إرواء على مقاومة الكسر وكانت النَّتائج متضاربة وغير حاسمة، وسلطت معظم هذه الأبحاث والدِّراسات الضُوء على تأثير هيبوكلوريد الصُوديوم بتراكيز مختلفة على مقاومة العاج للكسر، ولكن في أحدث دراسة لعام 2024 وجد Barakat وزملاؤه أن استخدام هيبوكلوريد الصُوديوم بتراكيز ودرجات حرارة مختلفة كسائل إرواء في أثناء تحضير الأقنية الجذريَّة لا يؤثر على مقاومة العاج للكسر (Barakat et al., 2024).

فيما يتعلق بطبقة اللُطاخة Smear Layer وإزالتها في أثناء استخدام معاجين الحشو ذات أساس Bioceramic فإنَّ هذا الموضوع لا يزال موضع جدل مستمر، فبعض الدِّراسات وجدت أنَّ طبقة اللُطاخة تؤدي دور عامل اقتران Coupling Agent يُحسّن الارتباط بين المواد ذات أساس Bioceramic والقنيَّات العاجيَّة، وذلك كون طبقة اللُطاخة تُعِد طبقة رطبة، والمواد ذات أساس Bioceramic مواد محبة للماء وتصلبها في وجود الرُطوبة قد يكون له تأثير إيجابي على ارتباطها مع العاج الجذري (Shamsy et al., 2019)، والبعض الآخر لاحظ أنَّ الطَّاقة السَّطحيَّة لسطح العاج تزداد عند إزالة طبقة اللُطاخة مما يحسن من انسيابيَّة معاجين الحشو ذات أساس Bioceramic واندخالها ضمن القنيَّات العاجيَّة، مما يزيد من قوة ارتباطه بجدران العاج، وبالتالي زيادة مقاومة الجذر للكسر (Garouachi et al., 2024).

لذلك في هذه الدِّراسة، وللتأكد من عدم وجود تأثير إيجابي أو سلبي لوجود طبقة اللُّطاخة، استُخدمت سوائل الإرواء الـ NaOCl بتركيز 5.25%، والـ EDTA بتركيز 17% على التوالي لإزالة تلك الطَّبقة، وتم الإرواء باستخدام الـ EDTA لمدة دقيقة واحدة فقط لتقليل التَّأثير المدمر له على بنية العاج (Calt & Serper, 2002)، وتم الفصل بين سوائل الإرواء السَّابقة بالإضافة إلى الإرواء النِّهائي باستخدام الماء المقطر Distilled Water وذلك لتحييد وتعديل Neutralize آثار سوائل الإرواء المستخدمة (Prado et al., 2011).

في المجموعة التَّجريبيَّة الأولى بشقيها (B1+B2) تم حشو الأقنية الجذريَّة باستخدام الـ MTA، وتم اختيار تقنية Auger في نقل وتكثيف الـ MTA ضمن الأقنية، وذلك بسبب سهولة استخدام هذه التِّقنية ضمن الأقنية المستقيمة، ولضمان دخول المادة ضمن خط الكسر وخروجها لختم الحواف، حيث يسهل ذلك استخدام المبارد لتكثيف المادة بحركة إدخال وإخراج مع دوران عكس عقارب السَّاعة (Bogen et al., 2014).

في المجموعة التَّجريبيَّة الثَّانية بشقيها (C1+C2) تم حشو الأقنية الجذريَّة باستخدام الـ Bioceramic Sealer مع الكوتابيركا بتقنية القمع المفرد حسب تعليمات الشَّركة المصنِّعة، وذلك لأنَّه منذ بدء إنتاج معجون الحشو Bioceramic كان التَّوجه بشكل أساسي لاستخدامه بالحشو القنوي الجذري بتقنية بالقمع المفرد (Alkahtany et al., 2024).

في المجموعة التَّجريبيَّة الثَّالثة بشقيها (D1+D2) تم حشو الأقنية الجذريَّة باستخدام الـ Bioceramic HiFlow Sealer مع الكوتابيركا بتقنية الحشو الحراري حسب تعليمات الشَّركة المصنِّعة، وذلك لأن هذه المادة صُنِّعت خصيصاً لاستخدامها مع هذه التقنية، حيث عُدِّلَ على خصائصها لتصبح قادة على تحمل الحرارة على عكس مادة الـ Bioceramic (Chen et al., 2020).

حُفظِت الأسنان بعد الحشو القنوي الجذري لمدة أسبوعين ضمن الحاضنة في وسط رطب 100% (قطن مبلل بالماء المقطر)، ودرجة حرارة 37°C، وذلك للسماح وللتأكد من تمام التَّصلب النِّهائي للمادة الحاشيَّة بشروط الحفرة الفمويَّة، حيث تم اعتماد هذه المدة في العديد من البحوث والدِّراسات، وهي مدة كافية لتبيان حدوث التَّشققات والمساميَّة في المادة الحاشيَّة (Dibaji et al., 2017).

طُلِيَ السَّطح الخارجي للجذر باستخدام المادة المطاطيَّة Liquid Peel Off Latex من أجل محاكاة الرِّباط السِّني، وتم اختيار هذه المادة دون غيرها لأنها مادة تشابه بتركيبها المطاط الرخو، ولكنها أسهل بالاستخدام والتطبيق، ولا تذوب عند التَّعرض للحرارة، وعادة ما يستخدم البعض مادة شمع التَّغطيس لمحاكاة الرِّباط حول السِّني، ولكن هذه المادة لا يمكن التَّحكم بسماكتها على سطح الأسنان، كما أنَّها قد تذوب عند تعرضها للحرارة (عند صب الأسنان بالقواعد الأكريلية)، ثم صُبَّت الجذور ضمن قواعد أكريليَّة لمحاكاة الواقع السَّريري في أثناء إجراء اختبار الكسر لهذه الأسنان، حيث تكون الأسنان ضمن الحفرة الفمويَّة محاطة بالنُّسج العظميَّة.

اختير أن تكون القوة موازية للمحور الطُّولي للسن (عموديَّة على سطح السِّن) لمحاكاة الواقع السَّريري، فمعظم الأسباب التي تؤدي لحدوث كسور عموديَّة في جذور الأسنان ناتجة عن قوى عموديَّة على سطح السِّن مثل القوى الإطباقيَّة (Sender & Strait, 2023)، وتم ضبط سرعة الرَّأس المخروطي في جهاز الاختبارات العام المنتج للقوة على القيمة 1 ملم/ د وذلك حسب توصيات Demiriz وBodrumlu عام 2018، ثم تم تسجيل القوة لحظة حدوث الكسر مقدرة بالنيوتن (Demiriz & Bodrumlu, 2018).

4.3 مناقشة نتائج البحث:

خلصت نتائج هذه الدِّراسة اعتماداً على التَّحاليل الإحصائيَّة المُجراة، إلى ما يأتي:

- عدم وجود فروق دالة إحصائيَّاً بين المجموعات التَّجريبيَّة، والتي اُستُخدِمَ فيها كل من MTA، وBioceramic، وBC HiFlow، في الحشو القنوي الجذري، حيث استطاعت جميع هذه المواد زيادة مقاومة الكسر لكل من الجذور ذات الكسور العموديَّة غير المكتملة الصُّنعيَّة، والجذور غير الحاوية على الكسر، أظهرت هذه النَّتيجة أنَّ المواد ذات أساس Bioceramic لديها القدرة على زيادة مقاومة الجذور للكسر، وقد أفادت العديد من الدِّراسات السَّابقة أنَّ المواد ذات أساس Bioceramic قد تقوي بنية السِّن للعديد من الأسباب، أولاً عدم حدوث تقلص تصلبي لها أثناء التَّصلب (Ersahan & Aydin, 2010)، فضلاً عن قدرتها على الارتباط كيميائيَّاً مع العاج، من خلال تشكل منطقة الارتشاح المعدني (Chellapandian al., 2022)، وهذا عامل آخر يجعل هذه المواد قادرة على تقوية بنية الجذر، وزيادة مقاومته للكسر، فقوة ارتباط أكبر لمعجون الحشو مع العاج، تعني مقاومة أكبر للكسر (Cobankara et al., 2002).

فمثلاً بعض المواد مثل معجون الحشو MTA Fillapex، تحوي في تركيبها على سيليكات الكالسيوم والرَّاتنج معاً، ومن المعروف أنَّ أهم عائق يواجه المواد ذات الأساس الرَّاتنجي هو التَّقلص الذي يحدث لها في أثناء التَّصلب (Taschieri et al., 2016)، إذ أنَّ التَّقلص التَّصلبي له تأثير سلبي على مقاومة الكسر، لأنَّه يُضعِف قوة الارتباط بين معجون الحشو وجدران العاج (Bueno et al., 2016)، وهذا ما يفسر إذاً قدرة المواد التي تتمتع بثبات الأبعاد أثناء التَّصلب، والقابليَّة للارتباط كيميائيَّاً مع العاج، على زيادة مقاومة الجذور الكسر.

- وجود فروق دالَّة إحصائيَّاً بين متوسطات قيم القوة المطبقة لمقاومة الكسر لكل من المجموعتين الشَّاهدتين (السَّلبيَّة والإيجابيَّة) ومجموعتي الـ BC HiFlow (بشقيها مع وبدون كسر) فقط، إذ تبين عدم وجود فروق دالَّة إحصائيَّاً بين متوسطات قيم القوة المطبقة لمقاومة الكسر للمجموعتين الشَّاهدتين (السَّلبيَّة والإيجابيَّة) مع بقية المجموعات التَّجريبيَّة، وبذلك فإنَّ مادة الـ BC HiFlow فقط لم تستطع جعل مقاومة الكسر للجذور غير الحاوية على كسر، والجذور ذات الكسور العموديَّة غير المكتملة الصُّنعيَّة، مشابهة لمقاومة الكسر للجذور غير المعالجة لبيَّاً، وقد يُعزى ذلك لاستخدام تقنية الحشو الحراري معها، فقد تؤدي القوة التي طُبِقَت بوساطة المكثفات العموديَّة اليَّدويَّة في الثُّلث الذُّروي، وتكثيف الكوتابيركا الملدَّنة حراريَّاً بعد حقنها في الثُّلثين المتوسط والتَّاجي، والحرارة المطبقة في أثناء الحشو إلى التَّمدد الحراري في العاج الجذري، مما يؤثر سلباً على مقاومة الكسر (Punjabi et al., 2017)، كما أنَّ قوة الارتباط تقل عند استخدام الحشو الحراري مع معاجين الحشو ذات أساس Bioceramic، حيث تؤثر الحرارة على قدرتها على إنتاج هيدروكسي الأباتيت في أثناء تصلبها، لأن الرُّطوبة تصبح أقل نتيجة تبخر الماء المتبقي ضمن القنيَّات العاجيَّة، وهذا يؤثر سلباً على مقاومة العاج للكسر (Lim et al., 2020)، وعلى الرُّغم من عدم وجود فروق دالة إحصائيَّاً بين المجموعتين الشَّاهدتين (السَّلبيَّة والإيجابيَّة) والمجموعات التَّجريبيَّة المعالجة باستخدام كل من MTA و Bioceramic، إلا أنَّه يوجد فروق بين قيم المتوسطات الحسابيَّة، حيث كانت القيم الأكبر لصالح الأسنان غير المعالجة لبيَّاً دون كسر جذري عمودي، ثم تليها الأسنان غير المعالجة لبيَّاً مع كسر جذري عمودي، وهذا يرجع إلى كون الجذور غير محضرة، ولم يحدث فقدان للنُّسج العاجيَّة نتيجة عدم استخدام أية أدوات، فإنَّ إزالة النُّسج العاجيَّة في أثناء مرحلة التَّحضير القنوي الجذري، تقلل من مقاومة الجذر للكسر (Teixeira et al., 2004).

- عدم وجود فروق دالة إحصائيًّاً بين مجموعات الجذور الحاوية على كسور عموديَّة غير مكتملة صنعيَّة ومجموعات الجذور السَّليمة (غير الحاوية على كسور عموديَّة غير مكتملة صنعيَّة)، سواء في المجموعتين الشَّاهدتين (السَّلبيَّة والإيجابيَّة) أو المجموعات التَّجريبيَّة، وقد يعزى ذلك إلى كون الكسر في هذه الدِّراسة عبارة عن كسر غير مكتمل شامل لسطح واحد فقط، وشامل لنصف طول الجذر فقط، بالإضافة إلى أنَّ جميع المواد التي أُستِخدِمَت في هذا البحث كانت قادرة على اختراق خط الكسر، وختم حوافه الخارجيَّة وبالتالي ربط طرفي الكسر معاً.

معظم الأبحاث والدِّراسات التي تناولت موضوع معالجة كسور الجذر العموديَّة كانت عبارة عن تقارير حالة، وبسبب قلة الدِّراسات المخبريَّة التي تبحث في تأثير معاجين الحشو القنوي الجذري على مقاومة الكسر للجذور ذات الكسور العموديَّة غير المكتملة الصُّنعيَّة (دراسة واحدة فقط مشابهة لهذا البحث)، فإنّه قورِنت نتائج هذا البحث مع الأبحاث والدِّراسات المخبرية التي تناولت موضوع تأثير معاجين الحشو القنوي الجذري على مقاومة الكسر للجذور السَّليمة غير الحاوية على الكسور.

تشابهت نتائج هذه الدّراسة بشكل جزئي مع نتائج دراسة Demiriz وBodrumlu في عام 2018 والتي قيمت مخبريًّاً تأثير استخدام كل من الـ MTA Fillapex وWell Root ST في الحشو القنوي الجذري على مقاومة الكسر للجذور ذات الكسور العموديَّة غير المكتملة الصُّنعيَّة، وهي معاجين حشو ذات أساس سيليكات كالسيوم، حيث استنتجت هذه الدِّراسة أن كِلا المعجونين زادا من مقاومة الكسر للجذور ذات الكسور العموديَّة غير المكتملة الصُّنعيَّة، ويفسر ذلك بأنَّها مواد ذات طبيعة مشابهة تماماً للمواد المستخدمة في هذا البحث، فضلاً عن أنَّ أبعاد الكسر في هذه الدِّراسة مساوية تماماً للأبعاد في الدِّراسة الحاليَّة، ولكن اختلفت الدِّراسة الحاليَّة مع هذه الدِّراسة بوجود فرق بين معجوني الحشو على الرغم من أنَّ المعجونين من المعاجين ذات أساس سيليكات الكالسيوم، حيث أظهرت الأسنان التي استُخدم فيها الـ Well Root ST مقاومة أعلى للكسر مقارنةً بالأسنان التي استُخدم فيها الـ MTA Fillapex، وقد يفسر ذلك بأنَّ الـ MTA Fillapex يدخل في تركيبه الرَّاتنج بالإضافة إلى سيليكات الكالسيوم، بينما المواد المستخدمة في الدِّراسة الحاليَّة هي مواد ذات أساس سيليكات كالسيوم فقط (Demiriz & Bodrumlu, 2018).

كما تشابهت نتائج الدِّارسة الحاليَّة مع نتائج كل من Yendrembam وزملائه عام 2019، وMohammad والـ Al-Zaka عام 2020، و Varghese وزملائه عام 2022 ، والذين قاموا بإجراء دراسة مخبريَّة لتأثير الـ Bioceramic Sealer على زيادة مقاومة الكسر للأسنان المعالجة لبيَّاً، حيث خَلُصَت نتائج جميع هذه الدِّراسات إلى أنَّ الـ Bioceramic Sealer كان قادراً على زيادة مقاومة الكسر للجذور المعالجة لبيَّاً، وقد يعزى هذا التَّشابه في النَّتائج إلى استخدام الأسمنت ذاته بتقنية الحشو ذاتها المستخدمة في الدِّراسة الحاليَّة وهي تقنية القمع المفرد (Yendrembam et al., 2019; Mohammed & Al-Zaka, 2020; Varghese et al., 2022).

تشابهت أيضاً نتائج الدِّراسة الحاليَّة بشكل جزئي مع نتائج دراسة Alskaf وزملائه عام 2022 والذين قاموا بدراسة مخبرية لتأثير كل من الـ EndoSequence Bioceramic والـ EndoSequence BC HiFlow والـ AH Plus، على زيادة مقاومة الكسر للأسنان المعالجة لبيَّاً، حيث بيَّنت النَّتائج أنَّ كِلا معجوني الحشو الـ Bioceramic والـ BC HiFlow كانا قادرين على زيادة مقاومة الكسر للجذور المعالجة لبيَّاً دون وجود فروق دالَّة إحصائيَّاً بينهما، وذلك نتيجة استخدام مواد مشابهة للمواد المستخدمة في الدِّراسة الحاليَّة، وبروتوكول العمل ذاته، ولكن اختلفت نتائج الدِّراسة الحاليَّة مع هذه الدِّارسة بكون الـ BC HiFlow كان قادراً على زيادة مقاومة العاج للكسر بصورة مشابهة تماماً لـ Bioceramic، ويمكن تفسير ذلك باختلاف طريقة الحشو المتبعة مع معجون الحشو BC HiFlow، حيث استُخدِمَ في الدِّراسة الحاليَّة الحشو الحراري، وفي هذه الدِّراسة استُخدِمَت تقنية القمع المفرد (Abdulsamad Alskaf et al., 2022).

إنَّ نتائج هذا البحث مفيدة في تقييم مواد الحشو القنوي الجذري المستخدمة في الدِّراسة الحاليَّة، في هذا النَّوع من الكسور فقط (بالمواصفات المذكورة ضمن البحث)، وقد تختلف النَّتائج باختلاف طبيعة مواد الحشو القنوي الجذري المستخدمة، أو باختلاف مواصفات الكسر المدروس (عرضه، أو طوله، أو مكانه، أو امتداده، كأن يكون كسراً مكتملاً يشمل كلا سطحي الجذر)، أيضاً من المحدوديَّات الأخرى هو الطَّبيعة المخبريَّة لهذه الدِّارسة، التي قد لا تعكس بالكامل الظُّروف المعقدة داخل الفم، والظُّروف الخاصة بكل حالة على حدة، مثل وجود الجراثيم والآفات حول الذُّرويَّة، والقوى الدِّينامِيكيَّة المختلفة في أثناء المضغ، والتي لا تقتصر على القوى العموديَّة فقط، لذلك لابد من إجراء المزيد من البحوث والدِّراسات لتأكيد وتوسيع نتائج هذا البحث.

الباب الخامس

الاستنتاجات

Conclusions

5.1 الاستنتاجات Conclusions:

ضمن حدود هذه الدِّراسة المخبريَّة، فإنَّه يمكن استنتاج ما يأتي:

1- استطاعت كل من مادة الـ MTA ومادة الـ Bioceramic زيادة مقاومة الكسر لكل من الجذور ذات الكسور العموديَّة غير المكتملة الصُّنعيَّة، والجذور السَّليمة المعالجة بهذه المواد.

2- حققت مادة الـ BC HiFlow الفعاليَّة الأقل في زيادة مقاومة الكسر لكل من الجذور ذات الكسور العموديَّة غير المكتملة الصُّنعيَّة، والجذور السَّليمة المعالجة بهذه المواد.

3- كانت مقاومة الكسر للجذور ذات الكسور العموديَّة غير المكتملة الصُّنعيَّة، والجذور السَّليمة المعالجة باستخدام مادتي الـ MTA والـ Bioceramic مشابهة لمقاومة الكسر للجذور غير المعالجة لبيًّاً ذات الكسور العمودية غير المكتملة الصُّنعية والسَّليمة.

4- كانت مقاومة الكسر للجذور ذات الكسور العموديَّة غير المكتملة الصُّنعيَّة المعالجة باستخدام مادتي الـ MTA والـ Bioceramic مشابهة لمقاومة الكسر للجذور السَّليمة (غير الحاوية على كسر) المعالجة بمواد الحشو القنوي الجذري السَّابقة ذاتها.

5- أظهرت النَّتائج عند مقارنة المتوسطات الحسابيَّة لقيم القوة المطبقة لمقاومة الكسر للجذور ذات الكسور العموديَّة غير المكتملة الصُّنعيَّة المعالجة باستخدام مادة الـ Bioceramic قيم أعلى منها في تلك الجذور ذات الكسور العموديَّة غير المكتملة الصُّنعيَّة المعالجة باستخدام مادة الـ MTA ولكن دون وجود فروق دالَّة إحصائيًّاً.

6- كانت مقاومة الكسر للجذور غير المعالجة لبِيًّاً دون كسر جذر عمودي غير مكتمل فيها مشابهة لمقاومة الكسر للجذور غير المعالجة لبِيًّاً مع كسر جذر عمودي غير مكتمل فيها.

الباب السَّادس

التَّوصيات والمقترحات

Recommendations and Suggestions

6.1 التَّوصيات: Recommendations

بناءً على نتائج هذه الدِّراسة المخبريَّة، فإنَّه يُوصى بما يأتي:

1- استخدام كل من مادتي الـ MTA مفردةً، والـ Bioceramic مع الكوتابيركا بتقنية القمع المفرد في الحشو القنوي الجذري في سياق المعالجات اللُّبية بهدف زيادة مقاومة الأسنان تجاه الكسور العموديَّة غير المكتملة.

2- إمكانية الحفاظ على الأسنان المشخصة بكسور جذر عموديَّة غير مكتملة وعدم قلعها ومعالجتها باستخدام كل من مادتي الـ MTA مفردةً، ومادة الـ Bioceramic مع الكوتابيركا بتقنية القمع المفرد.

3- عدم استخدام مادة الـ BC HiFlow مع الكوتابيركا بتقنية الحشو الحراري في الحشو القنوي الجذري في سياق المعالجات اللُّبية للأسنان المشخصة بكسور جذريَّة عموديَّة غير مكتملة.

4- استخدام طريقة إنشاء الكسور الصُّنعيَّة المعتمدة في هذا البحث، في الأبحاث المخبريَّة التي تدرس موضوع معالجة وتشخيص كسور الجذر العموديَّة.

6.2 المقترحات: Suggestions

ضمن حدود هذه الدِّراسة المخبريَّة، فإنه يُقتَرَح ما يأتي:

1- إجراء دراسات مخبريَّة مشابهة لهذه الدِّراسة، ولكن باستخدام معاجين حشو مختلفة نظراً لتنوعها.

2- إجراء دراسات مخبريَّة مشابهة لهذه الدِّراسة، تقارن تأثير مواد الحشو السَّابقة على مقاومة الكسر للجذور ذات الكسور العموديَّة غير المكتملة الصُّنعيَّة والجذور السَّليمة ولكن بتقنيات حشو متعددة لكل مادة، بهدف معرفة تأثير تقنية الحشو المتبعة على مقاومة الكسر لهذه الجذور.

3- إجراء دراسات سريريَّة طويلة الأمد على أسنان مشخصة بكسور جذر عموديَّة غير مكتملة معالجة بمواد الحشو القنوي الجذري المستخدمة في هذه الدِّراسة المخبريَّة لإسقاط نتائجها سريرياً، ومراقبة نجاح المعالجة أو فشلها بامتداد خط الكسر.

4- إجراء دراسات سريريَّة طويلة الأمد تبحث عن عوامل أخرى تؤثر في نجاح المعالجة اللُّبيَّة للأسنان المشخصة بكسور عموديَّة، والتي لا بدَّ من وجودها في المواد التي ستُستخدم في حشو القناة الجذريَّة وختم حواف الكسر، غير تأثيرها على مقاومة الجذور للكسر العمودي من جديد، مثل خصائص المادة المضادة للجراثيم وغيرها.

الباب السَّابع

المراجع

References

7.1 المراجع: References

(A)

1. Abbott, P. V. (2019). Diagnosis and Management of Transverse Root Fractures. ***Journal of Endodontics,*** *45*(12):13-27.
2. Abdel-Aal, H., & Achour, H. (2021). In Vitro Study to Investigate the Role of Bioceramic-Based Root Canal Sealer in Enhancing Root Structure. ***Homs University Journal -Series of Medical and Health,*** *43*(12):1-27.
3. Abdulsamad Alskaf, M. K., Achour, H., & Alzoubi, H. (2022). The Effect of Bioceramic HiFlow and EndoSequence Bioceramic Sealers on Increasing the Fracture Resistance of Endodontically Treated Teeth: An In Vitro Study. ***Cureus,*** *14*(12): 2-7.
4. Al-Haddad, A., & Che Ab Aziz, Z. A. (2016). Bioceramic-Based Root Canal Sealers: A Review. ***International Journal of Biomaterials,*** *2016*(4):1-10.
5. Al-Hezaimi, K., Al-Shalan, T. A., Naghshbandi, J., Oglesby, S., Simon, J. H., & Rotstein, I. (2006). Antibacterial Effect of Two Mineral Trioxide Aggregate (MTA) Preparations Against Enterococcus Faecalis and Streptococcus Sanguis In Vitro. ***Journal of Endodontics,*** *32*(11):1053-1056.
6. Alkahtany, S. M., AlHussain, A. A., AlMthen, H. A., AlDokhi, H. D., Bukhary, S. M., Almohaimede, A. A., & AlNeshmi, B. (2024). Obturation Quality of Bioceramic Sealers with Different Obturation Techniques: A Micro-CT Evaluation. ***Scientific Reports,*** *14*(1):1-10.
7. Al-Omiri, M. K., Mahmoud, A. A., Rayyan, M. R., & Abu-Hammad, O. (2010). Fracture Resistance of Teeth Restored with Post-Retained Restorations: An Overview. ***Journal of Endodontics,*** *36*(9):1439-1449.
8. American Association of Endodontists. Endodontics: Colleagues for Excellence- ***Cracking the Cracked Tooth Code: Detection and Treatment of Various Longitudinal Tooth Fractures,*** Chicago, IL: Fall/ Winter 2008.
9. American Association of Endodontists. Endodontics: Colleagues for Excellence- ***Restoration of Endodontically Treated Teeth,*** Chicago, IL: Fall/ Winter 2004.

10. Aminoshariae, A., Johnson, W., Kulild, K., & Tay, F. (2020). Obturation of the Cleaned and Shaped Root Canal System. ***Cohen's Pathways of the Pulp.*** Rotstein, I. 12th Edition, Elsevier Health Sciences. Cambridge. P:1064-1188.
11. Andersson, L., Petti, S., Day, P., Kenny, K., Glendor, U.. & Andreasen, J.O. (2019). Classification, Epidemiology and Etiology, ***Textbook and Color Atlas of Traumatic Injuries to the Teeth***. Andreasen, J. O., Andreasen, F. M., & Andersson, L. 5th Edition, Wiley-Blackwell, Hoboken. P:217-244.
12. Anitha, S., & Rao, D. S. (2015). Hemisection: A Treatment Option for an Endodontically Treated Molar with Vertical Root Fracture. ***Journal of Contemporary Dental Practice,*** *16*(2):163-165.
13. Arens, D. E., & Torabinejad, M. (1996). Repair of Furcal Perforations with Mineral Trioxide Aggregate: Two Case Reports. ***Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontics,*** *82*(1):84-88.
14. Asgary, S., Parirokh, M., Eghbal, M. J., & Brink, F. (2005). Chemical Differences between White and Gray Mineral Trioxide Aggregate. ***Journal of Endodontics,*** *31*(2):101-103.
15. Atav, A., Arıcan, B., & Olcay, K (2024). Bioceramics in Clinical Endodontics, ***Bioceramics in Endodontics,*** Chopra, V. 1th Edition, Wiley-Blackwell, Hoboken. P:71-103.
16. Atmeh, A. R., Chong, E. Z., Richard, G., Festy, F., & Watson, T. F. (2012). Dentin-Cement Interfacial Interaction: Calcium Silicates and Polyalkenoates. ***Journal of Dental Research,*** *91*(5):454–459.

(B)

17. Bakland, L.K. & Tamse, A. (2015). Categorization of Dental Fractures, V***ertical Root Fractures in Dentistry***. Tamse, A., Tsesis, I., & Rosen, E. 1th Edition, Springer, Switzerland. P:7-28.
18. Barakat, R. M., Almohareb, R. A., Alsuwaidan, M., Faqehi, E., Alaidarous, E., & Algahtani, F.N. (2024). Effect of Sodium Hypochlorite Temperature and Concentration on the Fracture Resistance of Root Dentin. ***BMC Oral Health,*** *24*(1):1-6.

19. Baranwal, H. C., Singh, N., Kumar, N., Garg, R., Yadav, J., & Tripathi, R. (2020). New Approach in the Management of Vertical Root Fracture with the Help of Biodentine and CBCT. ***Case Reports in Dentistry,*** *2020*(1): 2-6.
20. Barkhordar, R. A. (1991). Treatment of Vertical Root Fracture: A Case Report. ***Quintessence International,*** *22*(9):707-709.
21. Belío-Reyes, I. A., Bucio, L., & Cruz-Chavez, E. (2009). Phase Composition of ProRoot Mineral Trioxide Aggregate by X-ray Powder Diffraction. ***Journal of Endodontics,*** *35*(6):875-878.
22. Berman, L. H., & Kuttler, S. (2010). Fracture Necrosis: Diagnosis, Prognosis Assessment, and Treatment Recommendations. ***Journal of Endodontics,*** *36*(3):442-446.
23. Berutti, E., & Marini, R. (1996). A Scanning Electron Microscopic Evaluation of the Debridement Capability of Sodium Hypochlorite at Different Temperatures. ***Journal of Endodontics,*** *22*(9):467–470.
24. Berzins, D.W (2014). Chemical Properties of MTA, ***Mineral Trioxide Aggregate: Properties and Clinical Applications.*** Torabinejad, M. 1th Edition, Wiley Blackwell, California. P:17-31.
25. Bezerra, I. S., Neves, F. S., Vasconcelos, T. V., Ambrosano, G. M., & Freitas, D. Q. (2015). Influence of the Artefact Reduction Algorithm of Picasso Trio CBCT System on the Diagnosis of Vertical Root Fractures in Teeth with Metal Posts. ***Dentomaxillofacial Radiology,*** *44*(6):2-8.
26. Bhatty, J. I. (1991). A Review of the Application of Thermal Analysis to Cement-Admixture Systems. ***Thermochimica Acta,*** *189*(2):313-350.
27. Bogen, G., & Kuttler, S. (2009). Mineral Trioxide Aggregate Obturation: A Review and Case Series. ***Journal of Endodontics,*** *35*(6):777-790.
28. Bogen, G., I. Lawaty, N. & Chandler, N. (2014). MTA Root Canal Obturation, ***Mineral Trioxide Aggregate: Properties and Clinical Applications***. Torabinejad, M. 1th Edition,Wiley Blackwell, California. P:208-236.
29. Bolbolian, M., Mostafaei, F. S., & Faegh, S. (2020). Evaluation of the Marginal Adaptation of ProRoot MTA, Biodentine, and RetroMTA as Root-end Filling Materials. ***Dental Hypotheses,*** *11*(4):97-102.

30. Boyadzhieva, E., Dimitrova, S., Filipov, I., & Zagorchev, P. (2017). Setting Time and Solubility of Premixed Bioceramic Root Canal Sealer when Applicated with Warm Gutta Percha Obturation Techniques. ***Journal of Dental and Medical Sciences,*** *16*(3):125-129.

31. Budig, C. G., & Eleazer, P. D. (2008). In Vitro Comparison of the Setting of Dry ProRoot MTA by Moisture Absorbed through the Root. ***Journal of Endodontics,*** *34*(6):712-714.

32. Bueno, C. R., Valentim, D., Marques, V. A., Gomes-Filho, J. E., Cintra, L. T., Jacinto, R. C., & Dezan-Junior, E. (2016). Biocompatibility and Biomineralization Assessment of Bioceramic-, Epoxy-, and Calcium Hydroxide-Based Sealers. ***Brazilian Oral Research,*** *30*(1):806-832.

(C)

33. Cagidiaco, M. C., García-Godoy, F., Vichi, A., Grandini, S., Goracci, C., & Ferrari, M. (2008). Placement of Fiber Prefabricated or Custom Made Posts Affects the 3-year Survival of Endodontically Treated Premolars. ***American Journal of Dentistry,*** *21*(3):179-184.

34. Calt, S., & Serper, A. (2002). Time-Dependent Effects of EDTA on Dentin Structures. ***Journal of Endodontics,*** *28*(1):17-19.

35. Camilleri, J. (2008). Characterization of Hydration Products of Mineral Trioxide Aggregate. ***International Endodontic Journal,*** *41*(5):408-417.

36. Candeiro, G., Correia, F. C., Duarte, M., Ribeiro-Siqurira, D., & Gavini, G. (2012). Evaluation of Radiopacity, PH, Release of Calcium Ions, and Flow of a Bioceramic Root Canal Sealer. ***Journal of Endodontics,*** *38*(6): 842-5.

37. Castellucci, A. (2019). Obturation of the Radicular Spaces, ***Ingle's Endodontics.*** Rotstein, I. & Ingle, J. I. 7th Edition, PMPH USA. Nourth carolina. P: 694-753.

38. Chedella, S. C., & Berzins, D. W. (2010). A Differential Scanning Calorimetry Study of the Setting Reaction of MTA. ***International Endodontic Journal,*** *43*(6): 509-518.

39. Chellapandian, K., Reddy, T. V. K., Venkatesh, V., & Annapurani, A. (2022). Bioceramic Root Canal Sealers: A Review. ***International Journal of Health Sciences,*** *6*(3):5693–5706.

40. Chen, B., Haapasalo, M., Mobuchon, C., Li, X., Ma, J., & Shen, Y. (2020). Cytotoxicity and the Effect of Temperature on Physical Properties and Chemical Composition of a New Calcium Silicate-based Root Canal Sealer. ***Journal of Endodontics,*** *46*(4): 531-538.

41. Chng, H. K., Islam, I., Yap, A. U., Tong, Y. W., & Koh, E. T. (2005). Properties of a New Root-End Filling Material. ***Journal of Endodontics,*** *31*(9):665-668.

42. Cobankara, F. K., Ungör, M., & Belli, S. (2002). The Effect of Two Different Root Canal Sealers and Smear Layer on Resistance to Root Fracture. ***Journal of Endodontics,*** *28*(8):606-609.

43. Cohen, S., Blanco, L., & Berman, L. (2003). Vertical Root Fractures: Clinical and Radiographic Diagnosis. ***Journal of the American Dental Association,*** *134*(4):434-441.

44. Coomaraswamy, K. S., Lumley, P. J., & Hofmann, M. P. (2007). Effect of Bismuth Oxide Radioopacifier Content on the Material Properties of an Endodontic Portland Cement-Based (MTA-like) System. ***Journal of Endodontics,*** *33*(3):295-298.

45. Corbella, S., Del Fabbro, M., Tamse, A., Rosen, E., Tsesis, I., & Taschieri, S. (2014). Cone Beam Computed Tomography for the Diagnosis of Vertical Root Fractures: A Systematic Review of the Literature and Meta-Analysis. ***Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontics,*** *118*(5):593-602.

46. Curylofo-Zotti, F. A., Lorencetti-Silva, F., de Almeida Coelho, J., Monteiro, R. M., Watanabe, E., & Corona, S. A. M. (2018). Human Teeth Biobank: Microbiological Analysis of the Teeth Storage Solution. ***Microscopy Research and Technique,*** *81*(3): 332–337.

(D)

47. Darvell, B. W., & Wu, R. C. (2011). "MTA"-an Hydraulic Silicate Cement: Review Update and Setting Reaction. ***Dental Materials,*** *27*(5):407-422.

48. De Lima Dias-Junior, L.C., Corrêa, M., Da Silveira Teixeira, C., De Souza, D.L., Tay, F.R., Estrela, C., Da Fonseca Roberti Garcia, L., & Bortoluzzi, E.A. (2023). Development and Validation of a Method for Creating Incomplete Vertical Root Fracture in Extracted Teeth. ***Odontology,*** *111*(3):750-758.
49. Demiriz, L., & Bodrumlu, E. H. (2018). Fracture resistance of Simulated Incomplete Vertical Fractured Teeth Treated with Different Bioceramic Based Root Canal Sealers. ***International Journal of Applied Dental Science,*** ***4***(3): 25-30.
50. Dibaji, F., Afkhami, F., Bidkhori, B., & Kharazifard, M. J. (2017). Fracture Resistance of Roots after Application of Different Sealers. ***Iranian Endodontic Journal,*** *12*(1):50–54.
51. Ding, S. J., Kao, C. T., Shie, M. Y., Hung, C., Jr., & Huang, T. H. (2008). The Physical and Cytological Properties of White MTA Mixed with Na2HPO4 as an accelerant. ***Journal of Endodontics,*** *34*(6):748-751.
52. Durack, C. & Brady, E. (2013). Root Canal Filling, ***Principles of Endodontics,*** Patel, SH., & Barnes, J. 2th Edition, Oxford University Press. Oxford. P:90-111.

(E)

53. Edlund, M., Nair, M. K., & Nair, U. P. (2011). Detection of Vertical Root Fractures by Using Cone-Beam Computed Tomography: A Clinical Study. ***Journal of Endodontics,*** *37*(6):768-772.
54. Ersahan, S., & Aydin, C. (2010). Dislocation Resistance of iRoot SP, a Calcium Silicate-Based Sealer, from Radicular Dentine. ***Journal of Endodontics,*** *36*(12):2000-2002.
55. Escobar, P. M., Silva-Sousa, A. C., Camargo, R. V., Simões-Carvalho, M., Silva-Sousa, Y. T., Mazzi-Chaves, J. F., DE-Deus, G., & Sousa-Neto, M. D. (2023). Influence of Bioceramic Intracanal Medication on the Bond Strength of Bioceramic Root Canal Sealer. ***Brazilian Oral Research,*** *37*(4):56-73.

(F)

56. Fernández, R., Restrepo, J. S., Aristizábal, D. C., & Álvarez, L. G. (2016). Evaluation of the Filling Ability of Artificial Lateral Canals Using Calcium Silicate-Based and Epoxy Resin-Based Endodontic Sealers and Two Gutta-Percha Filling Techniques. ***International Endodontic Journal,*** *49*(4):365–373.
57. Fidler, A., Plotino, G., & Kuralt, M. (2021). A Critical Review of Methods for Quantitative Evaluation of Root Canal Transportation. ***Journal of Endodontics,*** *47*(5):721-731.
58. Floratos, S. G., & Kratchman, S. I. (2012). Surgical Management of Vertical Root Fractures for Posterior Teeth: Report of Four Cases. ***Journal of Endodontics,*** *38*(4):550-555.

(G)

59. Gancedo-Caravia, L., & Garcia-Barbero, E. (2006). Influence of Humidity and Setting Time on the Push-Out Strength of Mineral Trioxide Aggregate Obturations. ***Journal of Endodontics,*** *32*(9):894-896.
60. Gandolfi, M. G., Taddei, P., Tinti, A., & Prati, C. (2010). Apatite-Forming Ability (bioactivity) of ProRoot MTA. ***International Endodontic Journal,*** *43*(10):917-929.
61. Garouachi, E., Kikly, A., Jaâfoura, S., Zokkar, N., & Nabiha, D. (2024). The Effect of the Smear Layer on the Adhesion Capacity of Bioceramic Sealers to Root Dentin: A Systematic Review of the Literature. ***Journal of Dentistry and Oral Medicine,*** *6*(6):133-145.
62. Guerreiro, J. C. M., Ochoa-Rodrígez, V. M., Rodrigues, E. M., Chavez-Andrade, G. M., Tanomaru-Filho, M., Guerreiro-Tanomaru, J. M., & Faria, G. (2021). Antibacterial Activity, Cytocompatibility and Effect of Bio-C Temp Bioceramic Intracanal Medicament on Osteoblast Biology. ***International Endodontic Journal,*** *54*(7):1155–1165.
63. Gasic, J., Popovic, J., Živković, S., Petrovic, A., Barac, R., & Nikolic, M. (2012). Ultrastructural Analysis of the Root Canal Walls after Simultaneous Irrigation of Different Sodium Hypochlorite Concentration and 0.2% Chlorhexidine Gluconate. ***Microscopy Research and Technique,*** 75(8):1099-1103.

64. Geogi, C., Rawat, A., Dubey, S., & Singh, P. (2023). Bioceramics in Endodontics – A Review. ***Indian Journal of Conservative and Endodontics,*** *7*(4):163-17

65. Goldberg, F., Frajlich, S., Kuttler, S., Manzur, E., & Briseño-Marroquín, B. (2008). The Evaluation of Four Electronic Apex Locators in Teeth with Simulated Horizontal Oblique Root Fractures. ***Journal of Endodontics,*** *34*(12):1497-1499.

66. Gopikrishna, V. (2021a). ***Grossman's Endodontic Practice.*** 14th Edition, Wolters Kluwer, New Delhi. Ch.1. P: 1-34.

67. Gopikrishna, V. (2021b). ***Grossman's Endodontic Practice.*** 14th Edition, Wolters Kluwer, New Delhi. Ch.14. P: 265-295.

68. Gutmann, J. L. (1992). The Dentin-Root Complex: Anatomic and Biologic Considerations in Restoring Endodontically Treated Teeth. ***Journal of Prosthetic Dentistry,*** *67*(4):458-467.

(H)

69. Hadrossek, P. H., & Dammaschke, T. (2014). New Treatment Option for an Incomplete Vertical Root Fracture--A Preliminary Case Report. ***Head & Face Medicine,*** *11*(12):1375-1395.

70. Hermansson, L. (2014). ***Nanostructural Bioceramics: Advances in Chemically Bonded Ceramics.*** 1th Edition, Jenney Stanford. New Delhi. Ch 8. P: 57-67.

71. Holcomb, J. Q., Pitts, D. L., & Nicholls, J. I. (1987). Further Investigation of Spreader Loads Required to Cause Vertical Root Fracture During Lateral Condensation. ***Journal of Endodontics,*** *13*(6):277-284.

72. Huang, T. J., Schilder, H., & Nathanson, D. (1992). Effects of Moisture Content and Endodontic Treatment on Some Mechanical Properties of Human Dentin. ***Journal of Endodontics,*** *18*(5):209-215.

(I)

73. Islam, I., Chng, H. K., & Yap, A. U. (2006). Comparison of the Physical and Mechanical Properties of MTA and Portland Cement. ***Journal of Endodontics,*** *32*(3):193-197.

(J)

74. Jacobovitz, M., Vianna, M. E., Pandolfelli, V. C., Oliveira, I. R., Rossetto, H. L., & Gomes, B. P. (2009). Root Canal Filling with Cements Based on Mineral Aggregates: An In Vitro Analysis of Bacterial Microleakage. ***Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontics,*** *108*(1):140-144.

75. Jafari, F., Jafari, S., & Etesamnia, P. (2017). Genotoxicity, Bioactivity and Clinical Properties of Calcium Silicate Based Sealers: A Literature Review. ***Iranian Endodontic Journal,*** *12*(4):407-413.

(K)

76. Kadali, N., Alla, R. K., Guduri, V., Av, R., Sajjan, M. C. S., & Venkateswara Raju, R. (2020). Mineral Trioxide Aggregate: an Overview of Composition, Properties and Clinical Applications. ***International Journal of Dental Materials,*** *2*(1):11-18

77. Karygianni, L., Krengel, M., Winter, M., Stampf, S., & Wrbas, K. T. (2014). Comparative Assessment of the Incidence of Vertical Root Fractures between Conventional Versus Surgical Endodontic Retreatment. ***Clinical Oral Investigations,*** *18*(8):2015-2021.

78. Kishen, A., Kumar, G. V., & Chen, N. N. (2004). Stress-Strain Response in Human Dentine: Rethinking Fracture Predilection in Postcore Restored Teeth. ***Dental Traumatology,*** *20*(2):90-100.

79. Kogan, P., He, J., Glickman, G. N., & Watanabe, I. (2006). The Effects of Various Additives on Setting Properties of MTA. ***Journal of Endodontics,*** *32*(6):569-572.

80. Koh, E. T., Ford, T. R., Kariyawasam, S. P., Chen, N. N., & Torabinejad, M. (2001). Prophylactic Treatment of Dens Evaginatus Using Mineral Trioxide Aggregate. ***Journal of Endodontics,*** *27*(8):540-542.

81. Komabayashi, T., Colmenar, D., Cvach, N., Bhat, A., Primus, C., & Imai, Y. (2020). Comprehensive Review of Current Endodontic Sealers. ***Dental Materials Journal,*** *39*(5):703–720.

82. Kumar, A. P. S., Jothilatha, H., Vijayabharathi, S., Jayalakshmi, R., & Kishen, S. (2016). A. Diagnosis of Vertical Root Fractures in Restored Endodontically Treated Teeth. ***Journal of Endodontics,*** 42(1):1175–1180.

(L)

83. Ladley, R. W., Campbell, A. D., Hicks, M. L., & Li, S. H. (1991). Effectiveness of Halothane Used with Ultrasonic or Hand Instrumentation to Remove Gutta-Percha from the Root Canal. ***Journal of Endodontics,*** *17*(5):221-224.

84. Langalia, A. K., Dave, B., Patel, N., Thakkar, V., Sheth, S., & Parekh, V. (2015). Comparative Evaluation of Fracture Resistance of Endodontically Treated Teeth Obturated with Resin Based Adhesive Sealers with Conventional Obturation Technique: An In vitro Study. ***Journal of International Oral Health,*** *7*(2):6-12.

85. Lee, S. J., Monsef, M., & Torabinejad, M. (1993). Sealing Ability of a Mineral Trioxide Aggregate for Repair of Lateral Root Perforations. ***Journal of Endodontics,*** *19*(11):541-544.

86. Li, F., Diao, Y., Wang, J., Hou, X., Qiao, S., Kong, J., & Jiang, H. (2021). Review of Cracked Tooth Syndrome: Etiology, Diagnosis, Management, and Prevention. ***Pain Research and Management,*** *2021*(6):1-12.

87. Li, J., Li, L., & Pan, Y. (2013). Anatomic Study of the Buccal Root with Furcation Groove and Associated Root Canal Shape in Maxillary First Premolars by Using Micro-Computed Tomography. ***Journal of Endodontics,*** *39*(2):265-268.

88. Liao, W.-C., Chen, C.-H., Pan, Y.-H., Chang, M.-C., & Jeng, J.-H. (2021). Vertical Root Fracture in Non-Endodontically and Endodontically Treated Teeth: Current Understanding and Future Challenge. ***Journal of Personalized Medicine,*** 11(12):1375.

89. Lim, M., Jung, C., Shin, D-H., Cho, Y-B., & Song, M. (2020). Calcium Silicate-Based Root Canal Sealers: A Literature Review. ***Restorative Dentistry and Endodontics,*** 45(3):35-39.

90. Llena-Puy, M. C., Forner-Navarro, L., & Barbero-Navarro, I. (2001). Vertical Root Fracture in Endodontically Treated Teeth: A Review of 25 Cases. ***Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontics,*** *92*(5):553-555.

91. Luebke, R. G. (1984) .Vertical Crown-Root Fractures in Posterior Teeth. ***Dental Clinics of North America***, *28*(4): 883-94.

92. Lustig, J. P., Tamse, A., & Fuss, Z. (2000). Pattern of Bone Resorption in Vertically Fractured, Endodontically Treated Teeth. ***Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontics,*** *90*(2):224-227.

(M)

93. Macwan, C., & Deshpande, A. (2014). Mineral Trioxide Aggregate (MTA) in Dentistry: A Review of Literature. ***Journal of Oral Research and Review,*** *6*(1):71-74.

94. Mehari Abraha, H., Iriarte-Diaz, J., Ross, C. F., Taylor, A. B., & Panagiotopoulou, O. (2019). The Mechanical Effect of the Periodontal Ligament on Bone Strain Regimes in a Validated Finite Element Model of a Macaque Mandible. ***Frontiers in Bioengineering and Biotechnology,*** *7*(1):1-15.

95. Meneses, C. B., Gambini, A. F., Olivi, L. T., Santos, M. D., & Sipert, C. R. (2019). Effect of CPoint, EndoSequence BC, and Gutta-percha Points on Viability and Gene Expression of Periodontal Ligament Fibroblasts. ***European Endodontic Journal,*** *4*(2):57–61.

96. Metska, M. E., Aartman, I. H., Wesselink, P. R., & Özok, A. R. (2012). Detection of Vertical Root Fractures In Vivo in Endodontically Treated Teeth by Cone-Beam Computed Tomography Scans. ***Journal of Endodontics,*** *38*(10):1344-1347.

97. Mohammed, Y. T., & Al-Zaka, I. M. (2020). Fracture Resistance of Endodontically Treated Teeth Obturated with Different Root Canal Sealers (A Comparative Study). ***Journal of Contemporary Dental Practice,*** *21*(5):490-493.

98. Mora, M. A., Mol, A., Tyndall, D. A., & Rivera, E. M. (2007). In Vitro Assessment of Local Computed Tomography for the Detection of Longitudinal Tooth Fractures. ***Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontics,*** *103*(6):825-829.

99. Moule, A. J., & Kahler, B. (1999). Diagnosis and Management of Teeth with Vertical Root Fractures. ***Australian Dental Journal,*** *44*(2):75-87.

100. Munitic, M. S., Marijan, S., Kero, D., & Bago, I. (2022). Antibacterial Efficacy of Bioceramic Root Canal Sealers against Planktonic Enterococcus Faecalis after Different Contact and Setting Time: An: In Vitro: Study. ***Saudi Endodontic Journal,*** *12*(1):56-60.

(N)

101. Nicholson, J. & Czarnecka, B. (2016). Materials for Root Canal Filling, ***Materials for the Direct Restoration of Teeth.*** Nicholson, J. & Czarnecka, B. 1th Edition, Woodhead Publishing. Cambridge. P**:** 197-219.

102. Nicopoulou-Karayianni, K., Bragger, U., & Lang, N. P. (1997). Patterns of Periodontal Destruction Associated with Incomplete Root Fractures. ***Dentomaxillofacial Radiology,*** *26*(6):321-326.

103. Nikhil, V., Gupta, S., Jaiswal, S., & Jha, P. (2024). Bioceramics in Dentisrty, ***Bioceramics in Endodontics.*** Chopra, V. 1th Edition, Wiley-Blackwell. Hoboken. P:1-41.

104. Nogueira Leal da Silva, E. J., Romao Dos Santos, G., Liess Krebs, R., & Coutinho-Filho Tde, S. (2012). Surgical Alternative for Treatment of Vertical Root fracture: A Case Report. ***Iranian Endodontic Journal,*** *7*(1):40-44.

105. Nurrohman, H., Nikaido, T., Sadr, A., Takagaki, T., Kitayama, S., Ikeda, M., & Tagami, J. (2011). Long-Term Regional Bond Strength of Three MMA-Based Adhesive Resins in Simulated Vertical Root Fracture. ***Dental Materials Journal,*** *30*(5):655-663.

(O)

106. Oliveira, D. S., Cardoso, M. L., Queiroz, T. F., Silva, E. J., Souza, E. M., & De-Deus, G. (2016). Suboptimal Push-Out Bond Strengths of Calcium Silicate-Based Sealers. ***International Endodontic Journal,*** *49*(8):796-801.

107. Onnink, P. A., Davis, R. D., & Wayman, B. E. (1994). An In Vitro Comparison of Incomplete Root Fractures Associated with Three Obturation Techniques. ***Journal of Endodontics,*** *20*(1):32-37.

108. Ozer, S. Y., Unlu, G., & Deger, Y. (2011). Diagnosis and Treatment of Endodontically Treated Teeth with Vertical Root Fracture: Three Case Reports with Two-Year Follow-Up. ***Journal of Endodontics,*** *37*(1):97-102.

(P)

109. Panzarini, S. R., Gulinelli, J. L., Poi, W. R., Sonoda, C. K., Pedrini, D., & Brandini, D. A. (2008). Treatment of Root Surface in Delayed Tooth Replantation: A Review of Literature. ***Dental Traumatology,*** *24*(3):277-282.

110. Paranjpe, A., & Noblett, C. (2021). Management of Traumatic Dental Injuries, ***Endodontics : principles and practice.*** Fouad, A. F., Torabinejad, M., & Walton, R. E. 6th Edition, Elsevier Health Sciences. Cambridge. P:196-224

111. Pinto, M. G. O., Rabelo, K. A., Sousa Melo, S. L., Campos, P. S. F., Oliveira, L., Bento, P. M., & Melo, D. P. (2017). Influence of Exposure Parameters on the Detection of Simulated Root Fractures in the Presence of Various Intracanal Materials. ***International Endodontic Journal,*** *50*(6):586-594.

112. Pitts, D. L., & Natkin, E. (1983). Diagnosis and Treatment of Vertical Root Fractures. ***Journal of Endodontics,*** *9*(8):338-346.

113. Poggio, C., Dagna, A., Ceci, M., Meravini, M. V., Colombo, M., & Pietrocola, G. (2017). Solubility and PH of Bioceramic Root Canal Sealers: A Comparative Study. ***Journal of Clinical and Experimental Dentistry,*** *9*(10):1189–1194.

114. Porter, M. L., Bertó, A., Primus, C. M., & Watanabe, I. (2010). Physical and Chemical Properties of New-Generation Endodontic Materials. ***Journal of Endodontics,*** *36*(3):524-528.

115. PradeepKumar, A. R., JothiLatha, S., Durvasulu, A., Muralidhar, L., Vimalesh Alagu, J., Shereen, J., & Kishen, A. (2024). Impact of Type 2 Diabetes Mellitus on the Occurrence of Vertical Root Fracture: A Case Control Study. ***Journal of Endodontics,*** *50*(4):450-455.

116. Prado, M., Gusman, H., Gomes, B. P. F. A., & Simão, R. A. (2011). The Importance of Final Rinse after Disinfection of Gutta-Percha and Resilon Cones. ***Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology,*** *111*(6):21-24.

117. Punjabi, M., Dewan, R. G., & Kochhar, R. (2017). Comparative Evaluation of Fracture Resistance of Root Canals Obturated with Four Different Obturating Systems. ***Journal of Conservative Dentistry and Endodontics,*** *20*(6):445-450.

118. Pushpalatha, C., Dhareshwar, V., Sowmya, S. V., Augustine, D., Vinothkumar, T. S., Renugalakshmi, A., & Patil, S. (2022). Modified Mineral Trioxide Aggregate-A Versatile Dental Material: An Insight on Applications and Newer Advancements. ***Frontiers in Bioengineering and Biotechnology,*** *10*(1):1-15.

(Q)

119. Qian, W., Shen, Y., & Haapasalo, M. (2011). Quantitative Analysis of the Effect of Irrigant Solution Sequences on Dentin Erosion. ***Journal of Endodontics,*** *37*(10):1437-1441.

(R)

120. Rahimi, S., Janani, M., Lotfi, M., Shahi, S., Aghbali, A., Vahid Pakdel, M., Salem Milani, A., & Ghasemi, N. (2014). A Review of Antibacterial Agents in Endodontic Treatment. ***Iranian Endodontic Journal,*** *9*(3):161–168.

121. Ramachandran, V., Paroli, R., Beaudoin, J., & Delgado, A. (2003). ***Handbook of Thermal Analysis of Construction Materials.*** 1th Edition, William Andrew. New York: Ch.2. P:35-67.

122. Ramirez, I., Alves dos Santos, G. N., Castro, G. P. A. d., Costa Guedes, D. F., Sousa-Neto, M. D., Ramos, A. P., Mazzi-Chaves, J. F. (2025). How Can Calcium Silicate-Based Sealers Impact the Mineral Phase of Root Dentin after the Use of Intracanal Medications? A Chemical and Spectroscopic Analysis. ***International Journal of Adhesion and Adhesives,*** *140*(1): 1-10.

123. Razumova, S., Brago, A., Howijieh, A., Barakat, H., Manvelyan, A., & Kozlova, Y. (2020). An In Vitro Evaluation Study of the Geometric Changes of Root Canal Preparation and the Quality of Endodontic Treatment. ***International Journal of Dentistry,*** *2020*(1):1-6.

124. Ricardo, S., Marissa, C., Usman, M., Suprastiwi, E., Yusuf, R., & Meidyawati, R. (2020). Comparison of Three Bioceramic Sealers in Terms of Dentinal Sealing Ability in The Root Cana. ***International Journal of Applied Pharmaceutics,*** *12*(2): 4-7.

125. Rivera, E., & Walton, R. (2007). Longitudinal Tooth Fractures: Findings that Contribute to Complex Endodontic Diagnoses. ***Endodontic Topics,*** *16*(1): 82-111.

126. Rodríguez-Lozano, F. J., López-García, S., García-Bernal, D., Tomás-Catalá, C. J., Santos, J. M., Llena, C., & Forner, L. (2020). Chemical Composition and Bioactivity Potential of the New Endosequence BC Sealer Formulation HiFlow. ***International Endodontic Journal,*** *53*(9):1216-1228.

(S)

127. Santos, J. M., Coelho, C. M., Sequeira, D. B., Marques, J. A., Pereira, J. F., Sousa, V., & Santos, A. C. (2021). Subcutaneous Implantation Assessment of New Calcium-Silicate Based Sealer for Warm Obturation. ***Biomedicines,*** *9*(1): 24-37.

128. Santos, A. D., Araújo, E. B., Yukimitu, K., Barbosa, J. C., & Moraes, J .C. (2008). Setting Time and Thermal Expansion of Two Endodontic Cements. ***Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontics,*** *106*(3):77-79.

129. Sarıyılmaz, Ö., & Sessiz, R. (2023). Do Age and Sex Factors Affect Dentin Thickness of Mandibular Incisors?. ***Turkish Endodontic Journal,*** *8*(3):123-128.

130. Sarkar, N. K., Caicedo, R., Ritwik, P., Moiseyeva, R., & Kawashima, I. (2005). Physicochemical Basis of the Biologic Properties of Mineral Trioxide Aggregate. ***Journal of Endodontics,*** *31*(2):97-100.

131. Schetritt, A., & Steffensen, B. (1995). Diagnosis and Management of Vertical Root Fractures. ***Journal of the Canadian Dental Association,*** *61*(7):607-613.

132. Schmitt, D., Lee, J., & Bogen, G. (2001). Multifaceted Use of ProRoot MTA Root Canal Repair Material. ***Pediatric Dentistry Journal,*** *23*(4):326-330.

133. Selden, H. S. (1996). Repair of Incomplete Vertical Root Fractures in Endodontically Treated Teeth--In Vivo Trials. ***Journal of Endodontics,*** *22*(8):426-429.

134. Sender, R. S., & Strait, D. S. (2023). The Biomechanics of Tooth Strength: Testing the Utility of Simple Models for Predicting Fracture in Geometrically Complex Teeth. ***Journal of the Royal Society, Interface,*** *20*(203):1-15.

135. Sfeir, G., Zogheib, C., Patel, S., Giraud, T., Nagendrababu, V., & Bukiet, F. (2021). Calcium Silicate-Based Root Canal Sealers: A Narrative Review and Clinical Perspectives. ***Materials (Basel),*** *14*(14):1-21.

136. Shamsy, E., Nassani, M. Z., Habib, A. A., & Doumani, M. (2019). Evaluation of the Apical Seal of Mineral Trioxide Aggregate in the Absence and Presence of Smear Layer. ***Journal of Contemporary Dental Practice,*** *20*(3):298–303.

137. Shashank, S., Jaiswal, S., Nikhil, V., Gupta, S., Mishra, P., & Raj, S. (2019). Comparative PH and Calcium Ion Release in Newer Calcium Silicate-Based Root Canal Sealers. ***Endodontology,*** 31(1):29-34.

138. Siqueira, J. F., Jr., da Silva, C. H., Cerqueira, M. d. D., Lopes, H. P., & de Uzeda, M. (1998). Effectiveness of Four Chemical Solutions in Eliminating Bacillus Subtilis Spores on Gutta-Percha Cones. ***Endodontics and Dental Traumatology,*** *14*(3):124-126.

139. Slutzky-Goldberg, I., Maree, M., Liberman, R., & Heling, I. (2004). Effect of Sodium Hypochlorite on Dentin Microhardness. ***Journal of Endodontics,*** *30*(12): 880–882.

140. Sluyk, S. R., Moon, P. C., & Hartwell, G. R. (1998). Evaluation of Setting Properties and Retention Characteristics of Mineral Trioxide Aggregate when Used as a Furcation Perforation Repair Material. ***Journal of Endodontics,*** *24*(11):768-771.

141. Stewart, G. G. (1988). The Detection and Treatment of Vertical Root Fractures. ***Journal of Endodontics,*** *14*(1): 47-53.

142. Storm, B., Eichmiller, F. C., Tordik, P. A., & Goodell, G. G. (2008). Setting Expansion of Gray and White Mineral Trioxide Aggregate and Portland Cement. ***Journal of Endodontics,*** *34*(1):80-82.

(T)

143. Tamse, A. (2006) Vertical Root Fractures in Endodontically Treated Teeth: Diagnostic Signs and Clinical Management. ***Endodontic Topics,*** *13*(1):84–94.

144. Tamse, A., Berman, L. H (2019). Vertical Root Fractures, ***Ingle's Endodontics.*** Rotstein, I. & Ingle, J. I. 7th Edition, PMPH USA. Nourth carolina. P:405-419.

145. Tamse, A., Fuss, Z., Lustig, J., & Kaplavi, J. (1999). An Evaluation of Endodontically Treated Vertically Fractured Teeth. ***Journal of Endodontics,*** *25*(7):506-508.

146. Tamse, A., Kaffe, I., Lustig, J., Ganor, Y., & Fuss, Z. (2006). Radiographic Features of Vertically Fractured Endodontically Treated Mesial Roots of Mandibular Molars. ***Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontics,*** *101*(6):797-802.

147. Tamse, A., Katz, A., & Pilo, R. (2000). Furcation Groove of Buccal Root of Maxillary First Premolars--A Morphometric Study. ***Journal of Endodontics,*** *26*(6):359-363.

148. Tamse, A., Chai, H. (2015). Etiology of Vertical Root Fractures, ***Vertical Root Fractures in Dentistry.*** Tamse, A., Tsesis, I., & Rosen, E. 1th Edition, Springer. Switzerland. P:29-48

149. Tang, W., Wu, Y., & Smales, R. J. (2010). Identifying and Reducing Risks for Potential Fractures in Endodontically Treated Teeth. ***Journal of Endodontics,*** *36*(4), 609-617.

150. Taschieri, S., Del Fabbro, M., El Kabbaney, A., Tsesis, I., Rosen, E., & Corbella, S. (2016). Microsurgical Re-treatment of an Endodontically Treated Tooth with an Apically Located Incomplete Vertical Root Fracture: A Clinical Case Report. ***Restorative Dentistry and Endodontics,*** *41*(4):316-321.

151. Taschieri, S., Tamse, A., Del Fabbro, M., Rosano, G., & Tsesis, I. (2010). A New Surgical Technique for Preservation of Endodontically Treated Teeth with Coronally Located Vertical Root Fractures: A Prospective Case Series. ***Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontics,*** *110*(6):45-52.

152. Teixeira, F. B., Teixeira, E. C., Thompson, J. Y., & Trope, M. (2004). Fracture Resistance of Roots Endodontically Treated with a New Resin Filling Material. ***Journal of the American Dental Association,*** *135*(5):646-652.

153. Torabinejad, M., & Chivian, N. (1999). Clinical Applications of Mineral Trioxide Aggregate. ***Journal of Endodontics,*** *25*(3):197-205.

154. Torabinejad, M., Hong, C. U., McDonald, F., & Pitt Ford, T. R. (1995). Physical and Chemical Properties of a New Root-End Filling Material. ***Journal of Endodontics,*** *21*(7):349-353.

155. Trope, M., & Rosenberg, E. S. (1992). Multidisciplinary Approach to the Repair of Vertically Fractured Teeth. ***Journal of Endodontics,*** *18*(9): 460-463.

156. Tsesis, I., Tamse, A., Lustig, J., & Kaffe, I. (2006). Vertical Root Fractures in Endodontically Treated Teeth Part I: Clinical and Radiographic Diagnosis. ***Refuat Hapeh Vehashinayim,*** *23*(1):13-17.

(U)

157. Ulusoy, Ö. İ., Nayır, Y., & Darendeliler-Yaman, S. (2011). Effect of Different Root Canal Sealers on Fracture Strength of Simulated Immature Roots. ***Oral surgery, oral medicine, oral pathology, oral radiology, and endodontics,*** *112*(4):544–547.

(V)

158. Valois, C. R., & Costa, E. D. (2004). Influence of the Thickness of Mineral Trioxide Aggregate on Sealing Ability of Root-End Fillings In Vitro. ***Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontics,*** *97*(1):108-111.

159. Varghese, R., Koshy, M., Anirudhan, S., Roja, J., Srinivas, V., & Parthasarathy, A. (2022). A Comparative Evaluation of Fracture Resistance of Teeth Obturated with a Novel Sealer: Chitra CPC with Endosequence BC Sealer, MTA Fillapex and AH Plus. ***Journal of Pharmaceutical Research International,*** *34*(21):14-20.

160. Vertucci, F. J. (1985). Management of a Vertical Root Fracture. ***Journal of Endodontics,*** *11*(3):126-131.

161. Von Arx, T., & Bosshardt, D. (2017). Vertical Root Fractures of Endodontically Treated Posterior Teeth: A Histologic Analysis with Clinical and Radiographic Correlates. ***Swiss Dental Journal SSO,*** *127*(1):14-23.

(W)

162. Walker, M. P., Diliberto, A., & Lee, C. (2006). Effect of Setting Conditions on Mineral Trioxide Aggregate Flexural Strength. ***Journal of Endodontics,*** *32*(4):334-336.

163. Walton, R. E. (2017). Vertical Root Fracture: Factors Related to Identification. ***Journal of the American Dental Association,*** *148*(2):100-105.

164. Walton, R.E., & Tamse, A. (2015). Diagnosis of Vertical Root Fractures, V***ertical Root Fractures in Dentistry***. Tamse, A., Tsesis, I., & Rosen, E. 1th Edition, Springer. Switzerland. P:49-65.

165. Walton, R. E., Michelich, R. J., & Smith, G. N. (1984). The Histopathogenesis of Vertical Root Fractures. ***Journal of Endodontics,*** *10*(2):48-56.

166. Wang, Z. (2015). Bioceramic Materials in Endodontics. ***Endodontic Topics,*** *32*(1):3-30.

(X)

(Y)

167. Yang, S. F., Rivera, E. M., & Walton, R. E. (1995). Vertical Root Fracture in Nonendodontically Treated Teeth. ***Journal of Endodontics,*** *21*(6):337-339.

168. Yazdi, K. A., Bayat-Movahed, S., Aligholi, M., Hayes, S. J., & Nekoofar, M. H. (2009). Microleakage of Human Saliva in Coronally Unsealed Obturated Root Canals in Anaerobic Conditions. ***Journal of the California Dental Association,*** *37*(1):33-37.

169. Yendrembam, B., Mittal, A., Sharma, N., Dhaundiyal, A., Kumari, S., & Abraham, A. (2019). Relative Assessment of Fracture Resistance of Endodontically Treated Teeth with Epoxy Resin-Based Sealers, AH Plus, MTA Fillapex, and Bioceramic Sealer: An In Vitro Study. ***Indian Journal of Dental Sciences,*** *11*(1): 46-50.

(Z)

170. Zadik, Y., Sandler, V., Bechor, R., & Salehrabi, R. (2008). Analysis of Factors Related to Extraction of Endodontically Treated Teeth. ***Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontics,*** *106*(5):31-35.

171. Zhang, W., Li, Z., & Peng, B. (2009) Assessment of a New Root Canal Sealer's Apical Sealing Ability. ***Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontics,*** *107*(6):79–82.

172. Zhong, X., Yan, P., & Fan, W. (2022). New Approach for the Treatment of Vertical Root Fracture of Teeth: A Case Report and Review of Literature. ***World Journal of Clinical Cases,*** *10*(17):5816-5824.

173. Zhou, H. M., Du, T. F., Shen, Y., Wang, Z. J., Zheng, Y. F., & Haapasalo, M. (2015). In Vitro Cytotoxicity of Calcium Silicate-Containing Endodontic Sealers. ***Journal of Endodontics,*** 41(1):56-61.

7.2 المواقع الالكترونيَّة: Websites

1. Amazon (n.d.). 3 Pcs Dental Root Canal Plugger 1/3, 5/7, 9/11. Amazon. Retrieved March 22, 2025, from https://www.amazon.com/Pcs-Dental-Root-Plugger-Instruments/dp/B01N9SPSHY.
2. Dentsply Sirona. (n.d.). Schilder pluggers and spreaders. Maillefer. Retrieved February 14, 2025, from https://maillefer.com/product/schilder-pluggers-spreaders/.
3. Medidenta. (n.d.). MTA Carrier Endo Gun Straight. Medidenta. Retrieved March 23, 2025, from https://medidenta.com/product/mta-carrier-endo-gun-straight/.
4. Premier Dental. (n.d.). Glick 1 - Hand instrument for dental professionals. Premier Dental. Retrieved March 23, 2025, from https://www.premierdentalco.com/product/dental-instruments/endodontic/specialty-endo/glick-1/.

English Abstract

Background and Aim: Vertical root fractures (VRFs) are one of the most common reason for tooth extraction; Therefore, it is essential to find a method to treat these teeth to prevent their extraction. An ideal endodontic material for root canal filling should enhance the fracture resistance of teeth; So, the aim of this *in vitro* study was to evaluate the effect of using MTA, Bioceramic, and BC HiFlow in root canal filling on the fracture resistance of simulated incomplete vertical fractured roots by comparing them and knowing which one achieves the best results in this field.

Materials and Methods: Eighty single-rooted, single-canal permanent human teeth were used in the study, randomly divided into four equal main groups, (n=20), according to the type of filling material, and each main group was randomly divided into two subgroups (n=10) according to the presence or absence of a vertical root fracture, G1 (A): Control group in which the root canals were uninstrumented, and unobturated, divided into: (A1): without VRF (Negative control), (A2): with VRF (Positive control), G2 (B): first experimental group, in which the root canals were filled with MTA, divided into: (B1): without VRF, (B2): with VRF, G3 (C): second experimental group, in which the root canals were filled with Bioceramic + GP, divided into: (C1): without VRF, (C2): with VRF, G4 (D): third experimental group, in which the root canals were filled with BC HiFlow + GP, divided into: (D1): without VRF, (D2): with VRF, each sample was tested for the fracture in universal testing machine with a tapered cylindrical head with a peak diameter of 3 mm, at a speed of (1.0 mm/min-1). The fracture resistance of each sample was recorded with Newton (N), and the obtained data were statistically analyzed using One-Way ANOVA test, and Bonferroni test, with (P-*Value* ≤ 0.05) as the level of significance.

Results: Negative and positive control groups showed higher fracture resistance with statistically significant differences in comparison to BC HiFlow groups ($P < 0.05$), and there were no significant differences between other experimental groups.

Conclusions: Within the limitations of this *in vitro* study, it can be concluded that MTA and Bioceramic significantly increased the fracture resistance of simulated incomplete vertical fractured roots in the first place, followed by BC HiFlow in the second place.

Keywords: Vertical Root Fractures, VRFs, Simulated Vertical Fractures, Fracture Resistance, MTA, Bioceramic Sealer, BC HiFlow Sealer.

Syrian Arab Republic
Damascus University
Faculty of Dental Medicine
Department of Operative Dentistry and Endodontics

The Effect of Using MTA, Bioceramic, and BC HiFlow in Root Canal Filling on the Fracture Resistance of Simulated Incomplete Vertical Fractured Roots
(A Comparative in Vitro Study)

A dissertation submitted in partial fulfillment of the requirements for the Master Degree in Operative Dentistry and Endodontics

By
Heba-Allah Husien Ateyah

Supervisor
Assoc. Prof. Dr. Helen Ayoubi
Associate Professor in Department of Operative Dentistry and Endodontics – Faculty of Dental Medicine – Damascus University

2025-1446