الجُمهوريَّة العربيَّة الســـــوريَّة
جـــــــامعة دمـــشـــق
كليَّـة طـــــبّ الأســـــنان
قسم تعويضات الأسنان الثابتة

مقارنة انطباق القلوب والأوتاد الجذريَّة المعدنية المصبوبة المُصنَّعة تقليدياً مع المُصنَّعة بتقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد: دراسة سريرية

بحث قُدِّم لنيل درجة الماجستير في علوم طبِّ الأسنان في اختصاص تعويضات الأسنان الثابتة

إعداد الباحث:

مصطفى فوزي المغربي

إشراف:

الأستاذة الدكتورة ميرزا علّاف

أستاذة في قسم التعويضات الثابتة – جامعة دمشق

2025

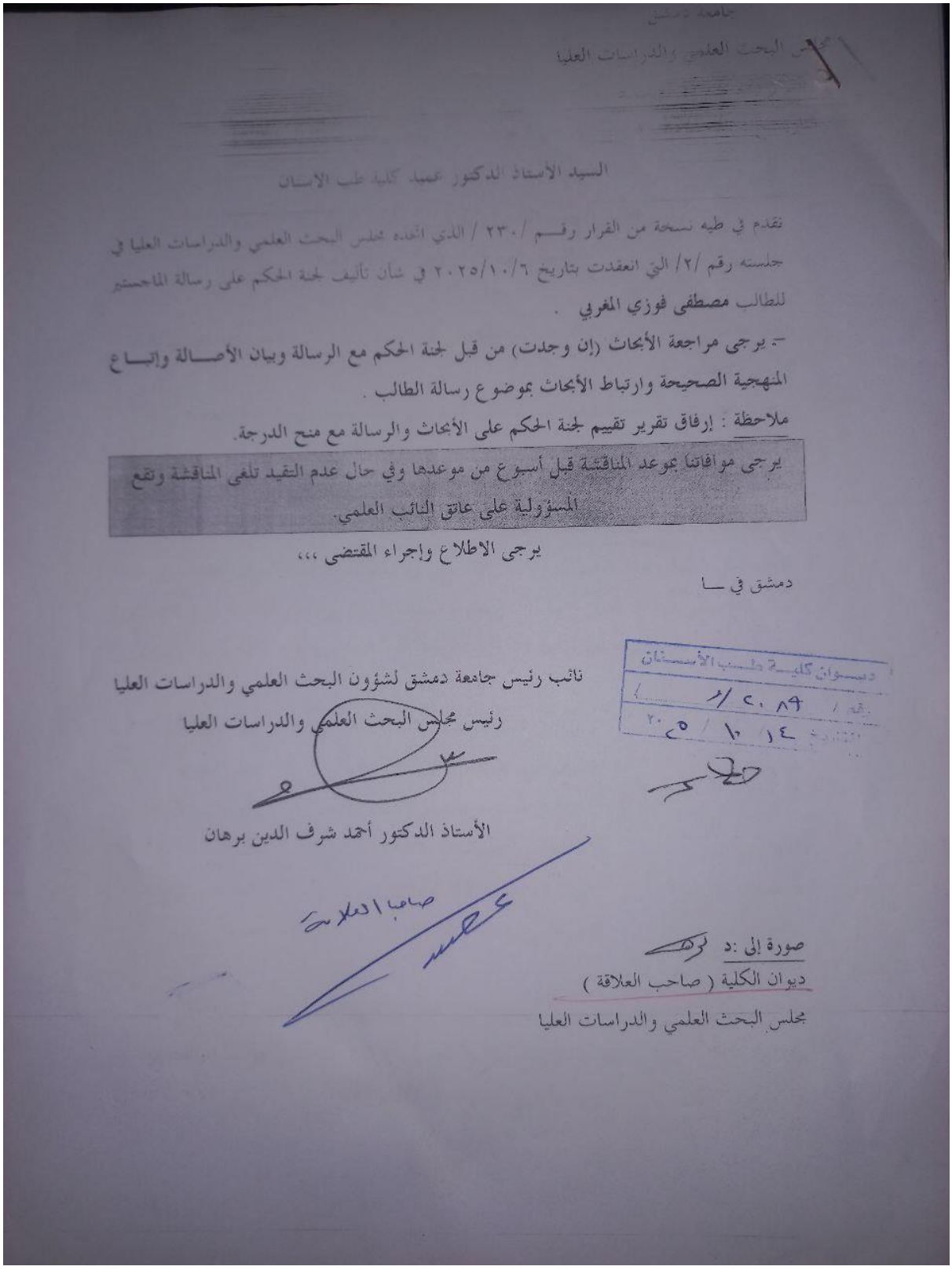
بسم الله الرحمن الرحيم

﴿ يَرْفَعُ اللَّهُ الَّذِيْنَ آمَنُوا مِنْكُمْ وَالَّذِيْنَ أُوتُوا الْعِلْمَ دَرَجَاتٍ﴾

صدق الله العظيم

[المجادلة: 11]

صورة قرار مجلس البحث العلمي والدِّراسات العليا (1)



جامعة دمشق

مجلس البحث العلمي والدراسات العليا

السيد الأستاذ الدكتور عميد كلية طب الأسنان

نتقدم في طيه نسخة من القرار رقم /٢٣٠/ الذي اتخذه مجلس البحث العلمي والدراسات العليا في جلسته رقم /٢/ التي انعقدت بتاريخ ٢٠٢٥/١٠/٦ في شأن تأليف لجنة الحكم على رسالة الماجستير للطالب **مصطفى فوزي المغربي** .

- يرجى مراجعة الأبحاث (إن وجدت) من قبل لجنة الحكم مع الرسالة وبيان الأصالة واتباع المنهجية الصحيحة وارتباط الأبحاث بموضوع رسالة الطالب .

ملاحظة : إرفاق تقرير تقييم لجنة الحكم على الأبحاث والرسالة مع منح الدرجة.

يرجى موافاتنا بموعد المناقشة قبل أسبوع من موعدها وفي حال عدم التقيد تلغى المناقشة وتقع المسؤولية على عاتق النائب العلمي.

يرجى الاطلاع وإجراء المقتضى ،،،

دمشق في ـــا

ديوان كلية طب الأسنان
الرقم / ٨٩ / ١ / ٢٠٢٥
التاريخ ١٤ / ١٠ / ٢٠٢٥

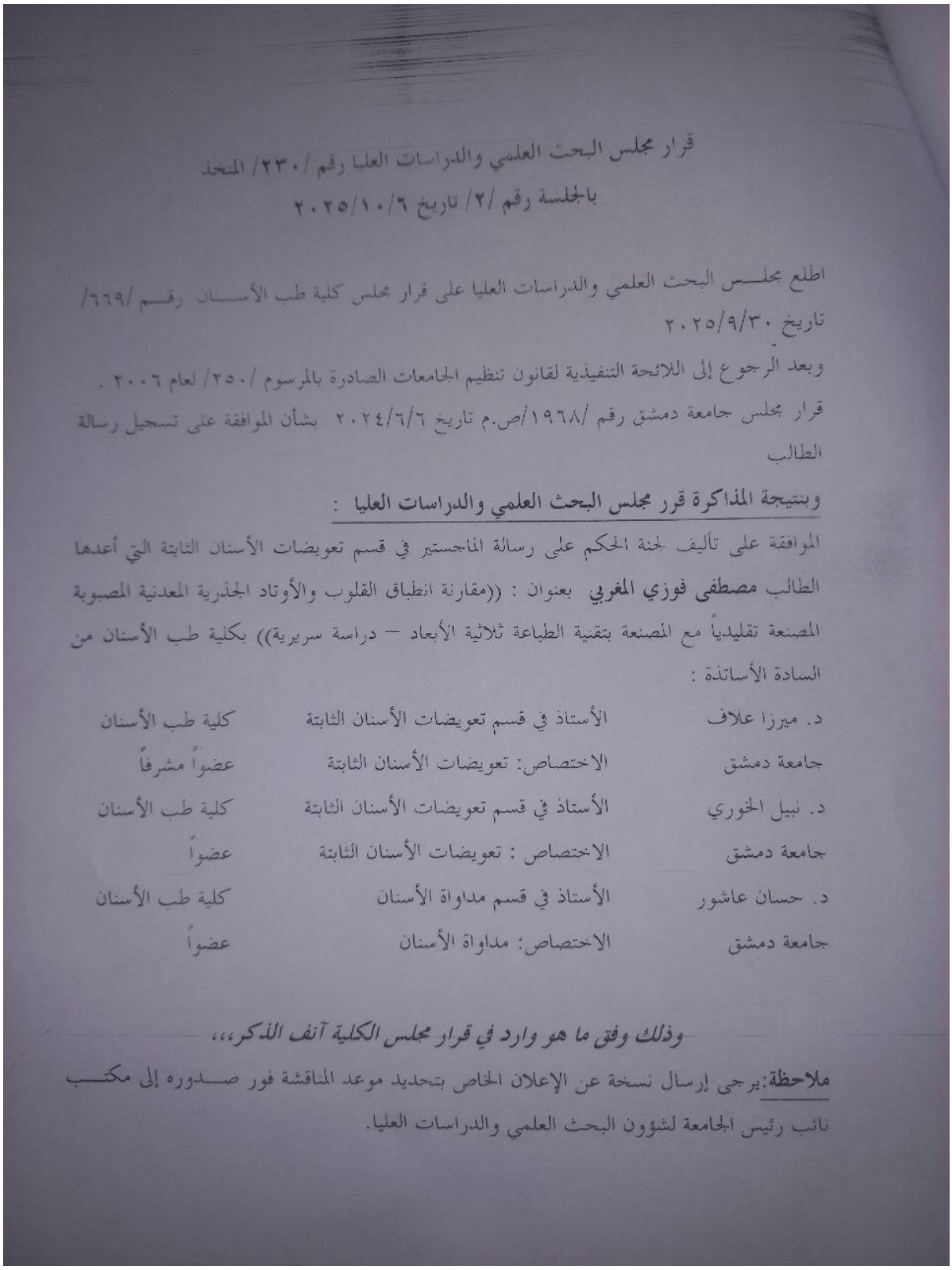
نائب رئيس جامعة دمشق لشؤون البحث العلمي والدراسات العليا
رئيس مجلس البحث العلمي والدراسات العليا

الأستاذ الدكتور أحمد شرف الدين برهان

صاحب العلاقة

صورة إلى :د
ديوان الكلية (صاحب العلاقة)
مجلس البحث العلمي والدراسات العليا

صورة قرار مجلس البحث العلمي والدِّراسات العليا (2)



قرار مجلس البحث العلمي والدراسات العليا رقم /٢٣٠/ المنعقد
بالجلسة رقم /٢/ تاريخ ٢٠٢٥/١٠/٦

اطلع مجلس البحث العلمي والدراسات العليا على قرار مجلس كلية طب الأسنان رقم /٦٦٩/ تاريخ ٢٠٢٥/٩/٣٠

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

قرار مجلس جامعة دمشق رقم /١٩٦٨/ص.م تاريخ ٢٠٢٤/٦/٦ بشأن الموافقة على تسجيل رسالة الطالب

وبنتيجة المذاكرة قرر مجلس البحث العلمي والدراسات العليا :

الموافقة على تأليف لجنة الحكم على رسالة الماجستير في قسم تعويضات الأسنان الثابتة التي أعدها الطالب **مصطفى فوزي المغربي** بعنوان : ((مقارنة انطباق القلوب والأوتاد الجذرية المعدنية المصبوبة المصنعة تقليدياً مع المصنعة بتقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد – دراسة سريرية)) بكلية طب الأسنان من السادة الأساتذة :

د. ميرزا علاف	الأستاذ في قسم تعويضات الأسنان الثابتة	كلية طب الأسنان
جامعة دمشق	الاختصاص: تعويضات الأسنان الثابتة	عضواً مشرفاً
د. نبيل الخوري	الأستاذ في قسم تعويضات الأسنان الثابتة	كلية طب الأسنان
جامعة دمشق	الاختصاص : تعويضات الأسنان الثابتة	عضواً
د. حسان عاشور	الأستاذ في قسم مداواة الأسنان	كلية طب الأسنان
جامعة دمشق	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.

تصريح:

"لا يوجد أي جزء من هذا البحث أُخِذ كاملاً من عملٍ آخر، أو أُنجِز للحصول على شهادةٍ أُخرى في هذه الجامعة أو في أيّة جامعة أُخرى أو أي معهدٍ تعليميّ"

كلمة الشكر:

بعد الحمد لله عدد خلقة ورضى نفسه وزنة عرشه ومداد كلماته والحمد لله ملء السماوات، والأرض، وما بينهما، وملء أي شيء بعد..

أتقدم بفائق الشكر والامتنان لرئاسة جامعة دمشق المتمثلة برئيس جامعة دمشق بالأستاذ الدكتور مصطفى صائم الدهر، وإلى كلية طب الأسنان المتمثلة بعميد كلية طب الأسنان الأستاذ الدكتور عمر حشمة، ونائب العميد للشؤون العلمية الأستاذ الدكتور مهند لفلوف، ونائب العميد للشؤون الإدارية الأستاذ الدكتور حسان عاشور لجهودهم المبذولة وعملهم الدؤوب لرفع السوية العلمية لجامعة دمشق. كذلك أود أن أظهر امتناني لكل من أعانني على إتمام هذا العمل، وأولهم أستاذتي الغالية الأستاذة الدكتورة ميرزا علاف لتكرمها بالإشراف على هذا البحث وعملها الدؤوب لإثراء هذا البحث بتوجيهاتها الحكيمة وخبرتها وعلمها الواسع، فلها مني كل الشكر والتقدير، كما أتوجه بالشكر إلى الأستاذ الدكتور حسان عاشور الأستاذ في قسم مداواة الأسنان لتفضله بقبول تحكيم هذا البحث، وإغنائه بتوجيهاته وملاحظاته، ومعرفته الواسعة، وكذلك أتوجه بالشكر إلى الأستاذ الدكتور نبيل الحوري الأستاذ في قسم التعويضات الثابتة لتفضله بقبول تحكيم هذا البحث، فضلاً عن مساعدته بخبراته ومعلوماته خلال سنوات الدراسة. وأخص بالشكر والامتنان الأستاذ الدكتور عصام جاموس الأستاذ في قسم تعويضات الأسنان الثابتة الذي أغنى البحث بمعلوماته القيمة وتنبيهاته الصائبة، لكم مني جزيل الشكر. واتوجه بخالص شكري إلى جميع أساتذة قسم تعويضات الأسنان الثابتة، ورئيس القسم الأستاذ الدكتور محمد لؤي مراد...

كما واتوجه بشكر إلى إدارة كلية الهندسة الميكانيكية في جامعة دمشق متمثلة بعميدها وأساتذتها الكرام...

كما واتوجه بالشكر إلى كل من كان عوناً لي في إنجاز هذا البحث وساعدني أثناء سنين الدراسة من أصدقائي وزملائي. وأخص بالذكر بشرى عقيل، عفران الأحمد، نور عصفور، حلا الأحمد، تسنيم حمد، علي يوسف، عبد الرحمن الشرارة، عمار البغا، علي عمير، عماد الدمري، أيهم نصار، ليلاس الرومي، سلام حديد، إليسا إسماعيل، بيان حبال، ليث رشيد.

الإهداء:

إلى قدوتي وحبيبي وشفيعي يوم القيامة سيدنا محمد صلى الله عليه وسلم...

إلى من تعبوا من أجلي وتحملوا وصبروا إلى أن يأتي هذا اليوم. إلى من أحبوني بدون مقابل وتمنوا أن أكون في أفضل حال. إلى من تحملوا معي مشقة طريق العلم وغمروني بفضلهم وحنانهم. إلى من لا أدري كيف أكافئهم، وانتظرت طويلاً لأرد الجميل لهم. إلى من أدعو الله أن يمن عليَّ لأرى ابتسامتهم وراحتهم وأرى نفسي قد رفعت رأسهم وطيبت خاطرهم وحققت كل أمانيهم.

إلى أغلا الناس، إلى عائلتي الحبيبة

إلى كل من تمنى عودتي إلى بلدي لأكمل دراستي ولم يضيعوا جهداً في دعمي ومساعدتي.

إلى أصدقائي الغاليين على قلبي صبحي التيناوي، محمد خالد مبارك، محمد اسويد، فادي درويش، عبد الله صالحي، لينا شعبان، مصعب العجلاني، سينا رامي، سوزان العبسي، هيلدا الأغبر.

إلى كل من يتمنى الخير لي، ودعا الله لي في ليلة من الليالي لأن الله أعلم كم كنت بحاجة إلى دعائه.

وأخيراً إلى أبطال وشهداء الثورة السورية المباركة، وإلى أبطال وشهداء فلسطين الحبيبة.

قائمة المحتويات – الفهرس (List of Contents):

التمهيد (Preface) 3

1- مشكلة البحث (Research Problem): 5

2- تساؤلات البحث (Research Questions): 5

3- أهداف البحث (Research Aims): 6

4- أهميَّة موضوع البحث (Important of the Research): 6

5- مسوِّغات البحث (Research Rationale): 7

6- محدوديّات البحث (Research Limitations): 7

2- المراجعة النظريَّة (Literature Review) 8

1.1. ترميم الأسنان المعالجة لبياً (Restoration of Endodontically Treated Teeth): 9

2.1. الترميمات المدعومة بالقلوب والأوتاد (Post and Core Restorations): 12

1.2.1. تصنيف أنظمة القلوب والأوتاد (Classifications of Post and Core Systems): 14

2.2.1. مبادئ تحضير السن لاستقبال القلوب والأوتاد (Principles of Tooth Preparation): 18

3.2.1. مراحل تحضير السن لاستقبال القلوب والأوتاد (Steps of Tooth Preparation): 25

4.2.1. مراحل صنع القلوب والأوتاد (Fabrication of Post and Cores): 27

5.2.1. القلوب والأوتاد المصنوعة بتقنية الطباعة الليزرية ثلاثية الأبعاد (3D Printed Post and Cores): 28

3.1. الدِّراسات السابقة (Previous Studies): 32

2- أدوات البحث ومنهجيّته (Materials and Methods) 37

1.2. تصميم الدِّراسة (Study Design): 38

2.2. مكان إجراء البحث (Study Setting): 38

3.2. عيّنة البحث (Study Sample): 38

1.3.2. تقدير حجم العيّنة (Estimation of Sample Size): 38

2.3.2. وصف عيّنة البحث (Characteristics of Study Sample): 40

3.3.2. معايير اختيار أفراد العينة (Selection Criteria of Sample): 40

4.2. مواد البحث (Research Materials): 42

1.4.2. أدوات العمل السريريّ (Clinical Procedure Instruments): 42

2.4.2. أدوات الدِّراسة السريريَّة (Clinical Study Instruments): 49
3.4.2. أدوات الدِّراسة المجهريَّة (Microscopic Study Instruments): 49
4.4.2. أدوات الدِّراسة الشعاعيَّة (Radiographic Study Instruments): 50
5.2. منهجيَّة البحث (Research Methodology): 51
6.2. الدِّراسة السريريَّة (Clinical Study): 60
1.6.2. تقييم الانطباق الحفافي سريرياً (Evaluation of Clinically Marginal Integrity): 60
7.2. الدِّراسة الشعاعيَّة (Radiographic Study): 61
1.7.2. تقييم الانطباق الحفافي شعاعياً (Evaluation of Radiographically Marginal Integrity): 61
2.7.2. تقييم وجود أو غياب الفجوة الذرويَّة (Evaluation of Presence/Absence of Apical Gap): 62
8.2. الدِّراسة المجهريَّة (Microscopic Study): 62
9.2. الدِّراسة الإحصائيَّة (Statistical Study): 66
1.9.2. فرضيات البحث (Research Hypothesis): 66
2.9.2. التحليل الإحصائيّ (Statistical Analysis): 67
3- النتائج والتحاليل الإحصائيَّة (Results and Statistical Analysis) 68
1.3. وصف العيّنة (Sample Characteristic): 69
2.3. الدراسة التحليليَّة الإحصائيَّة (Statistical Analysis Study): 70
1.2.3. دراسة درجة الانطباق الحفافي سريرياً: 70
2.2.3. دراسة وجود فجوة ذروية شعاعياً: 71
3.2.3. دراسة الانطباق الحفافي شعاعياً: 72
4.2.3. دراسة مقدار الفجوة الداخلية المُقاسة بالطريقة (A): 73
5.2.3. دراسة مقدار الفجوة الداخلية المُقاسة بالطريقة (B): 74
4- المناقشة (Discussion) 76
1.4. مناقشة فكرة البحث وهدفه (Discussion of Research Aim): 77
2.4. مناقشة بروتوكول البحث (Discussion of Research Protocol): 79
3.4. مناقشة نتائج البحث (Discussion of Research Results): 83
5- الاستنتاجات (Conclusions) 88
6- التوصيات والمقترحات (Recommendations and Suggestions) 90
1.6. التوصيات (Recommendations): 91

2.6. المقترحات (Suggestions): 91

7- المراجع (References) 92

8- الملاحق 99

(Appendixes) 99

قائمة الأشكال (List of Figures):

رقم الشكل	وصف الشكل	الصفحة
1	يوضح الأصناف من I إلى V وطريقة ترميمها	9
2	يوضح تصميم نظام القلب والوتد	11
3	يوضح مجموعة من الأوتاد المستدقة والمتوازية	13
4	يوضح مقطعاً محورياً في سن محضرة لاستقبال نظام قلو ووتد مصبوب، ويمكن ملاحظة ستة معالم أساسية في هذا التحضير؛ (1) ختم ذروي كافٍ، (2) التحضير الأصغري الكافي للقناة الجذرية دون التوسيع غير الضروري، (3) تحقيق الطول الكافي للوتد الجذري، (4) تحضير زائد للنسج التاجية، (5) إزالة نقاط التثبيت من الجدران المحورية الداخلية، (6) توضع حافة التحضير التي سيستند إليها التاج على نسج سنية سليمة	18
5	يوضح مقارنة بين جذرين سنيين مرممين باستعمال تعويض سني مدعوم باستعمال نظام للقلب والوتد، فعلى الجهة اليسرى تم تحقيق مبدأ الإحاطة، بينما لم يتم تحقيق هذا المبدأ على الجهة اليمنى	19
6	يوضح كلاً من الوتد القصير جداً، والوتد الطويل جداً، والوتد مناسب الطول ضمن القناة الجذرية	21
7	يوضح معالم التحضير التي تسمح بمقاومة الدوران	22
8	يوضح مراحل إزالة المادة الحاشية من القناة اللبية	23
9	يوضح مراحل تحضير القناة لاستقبال الوتد الجذري	24
10	يوضح مراحل تصميم وطباعة القلب والوتد المعدني، والتعويض النهائي فوقه	29
11	تقدير حجم العيّنة	37
12	سنابل البيزو	41
13	مبارد (H-File)	42
14	المطاط الكثيف والرخو	43
15	البوربات المستعملة في البحث	43
16	الأوتاد البلاستيكيَّة المستعملة في البحث	44
17	الماسح ثلاثي الأبعاد	45
18	برنامج التصميم المستعمل	46
19	إسمنت فوسفات الزنك	46
20	المطاط الرخو (بلون مختلف عن المطاط الرخو السابق)	47
21	المجهر المستعمل في البحث	48
22	تحضير القسم التاجي والذروي	51
23	أخذ الطبعة	52
24	الانطباق الشعاعي للقلب والوتد المصبوب	53
25	الانطباق الشعاعي للقلب والوتد المصنوعة بالطباعة ثلاثية الأبعاد	54
26	القلب والوتد المصبوب	54
27	القلب والوتد المطبوع	55

28	تحضير القسم التاجي والذروي	55
29	أخذ الطبعة	56
30	القلب والوتد المصبوب	56
31	القلب والوتد المطبوع	59
32	القلب والوتد المطبوع	59
33	إخراج القلب والوتد المصبوب (على اليمين) والمطبوع (على اليسار)	61
34	قطعة مطاطية مكعبة الشكل تحتوي في منتصفها القلب والوتد	61
35	مقطع دهليزي لساني باستعمال الشفرة الجراحية الموضوعة على الحامل عل كامل طول القلب والوتد	61
36	مخططات ترسيمية للنقاط المدروسة في المقطع الأنسي الوحشي (الصورة اليمنى)، والمقطع الدهليزي اللساني (الصورة اليسرى).	62
37	الدراسة المجهرية للوتد المصبوب	63
38	الدراسة المجهرية للوتد المطبوع	63

قائمة الجداول (List of Tables):

رقم الجدول	وصف الجدول	الصفحة
1	يلخص كل من محاسن ومساوئ كل تصميم من تصاميم الأوتاد الجذرية	15
2	مقارنة بين تقنيات تصنيع أنظمة القلوب والأوتاد المستعمل في طب الأسنان	17
3	نتائج اختبار (Mann–Whiney U) لدراسة دلالة الفروق في تكرارات درجة الانطباق الحفافي سريرياً	67
4	نتائج اختبار كاي مربع لدراسة دلالة الفروق في تكرارات وجود الفجوة الذروية شعاعياً	69
5	نتائج اختبار كاي مربع لدراسة دلالة الفروق في تكرارات درجة الانطباق الحفافي شعاعياً	70
6	الإحصاءات الوصفية لقيم مقدار الفجوة الداخلية المُقاسة بالطريقة (A)	71
7	نتائج اختبار (T) ستيودنت للعينات المستقلة لدراسة دلالة الفروق في متوسط قيم مقدار الفجوة الداخلية المُقاسة بالطريقة (A)	72
8	الإحصاءات الوصفية لقيم مقدار الفجوة الداخلية المُقاسة بالطريقة (B)	73
9	نتائج اختبار (Mann–Whitney U) لدراسة دلالة الفروق في متوسط قيم مقدار الفجوة الداخلية المُقاسة بالطريقة (B)	73

قائمة المخطّطات (List of Charts):

رقم المخطط	وصف المخطط	الصفحة
1	النسبة المئوية لتوزع الأسنان في عيّنة البحث	66
2	النسبة المئوية لنتائج الاستقصاء عن درجة الانطباق الحفافي سريرياً	67
3	النسبة المئوية لنتائج الاستقصاء عن وجود فجوة ذروية شعاعياً	69
4	النسبة المئوية لنتائج الاستقصاء عن درجة الانطباق الحفافي شعاعياً	70
5	المتوسط الحسابي لمقدار الفجوة الداخلية المُقاسة بالطريقة (A)	71
6	المتوسط الحسابي لمقدار الفجوة الداخلية المُقاسة بالطريقة (B)	73

قائمة الاختصارات (List of Abbreviations):

الاختصار	المصطلح باللغة العربية	المصطلح باللغة الإنكليزية
CAD/CAM	التصميم والتصنيع المقاد حاسوبياً	Computer assisted design/Computer assisted manufacturing
CCT	دراسة سريرية مقارنة	Comparison Clinical Trial
Co–Cr	كروم كوبالت	Cobalt–Chromium
PH	مستوى الحموضة	Potential of Hydrogen
SLM	الصهر الليزري الانتقائي	Selective Laser Melting
STL	المكتبة المعيارية	Standard Template Library

الملخص

الملخص:

خلفية البحث وهدفه: تُعَدُّ القلوب والأوتاد إحدى أهم الركائز المستعملة لترميم الأسنان المُعالجة لبياً، وقُدِّمت سابقاً القلوب والأوتاد المعدنية المصبوبة، وطُرحت لاحقاً القلوب والأوتاد المطبوعة. يهدف هذا البحث إلى تقييم فعالية القلب والوتد المطبوع مقارنة بالقلب والوتد المعدني المصبوب وذلك من حيث: تقييم الانطباق الحفافي سريرياً، وتقييم الانطباق الحفافي شعاعياً، وتقييم الفجوة الحفافية مجهرياً، وتقييم وجود أو غياب الفجوة الذروية.

أدوات البحث ومنهجيته: أُجريت دراسة سريريَّة مقارنة (CCT) على 16 مريض لديهم أسنان وحيدة الجذر متهدمة يُستطب إجراء القلب والوتد لها، حيث أُجري لكل منها نوعين من القلب والوتد مختلفين وفقاً لطريقة التصنيع. تم لدى كل مريض تجربة نوعين من القلب والوتد، وهما: أ- القلب والوتد المعدني المصبوب: تم تجربة القلب والوتد المعدني المصبوب لدى الـ16 مريض، وتسجيل المتغيرات السريرية والشعاعيَّة .ب- القلب والوتد المعدني المطبوع: تم تجربة القلب والوتد المعدني المطبوع لدى الـ16 مريض ذاتهم، وتسجيل المتغيرات السريرية والشعاعيَّة. تمت دراسة الانطباق الحفافي سريرياً باستعمال السابر السني، وشعاعياً باستعمال التصوير الذروي، ومجهرياً باستعمال طريقة (Silicone Replica)، كما تمت دراسة الفجوة الذروية شعاعياً.

النتائج: أظهرت نتائج هذه الدِّراسة أنّ مقدار الانطباق الحفافي سريرياً كان أعلى في مجموعة القلوب والأوتاد المصنوعة بتقنية الطباعة ثلاثيَّة الأبعاد، كما كانت مقدار الفجوة الداخلية شعاعياً أقل بصورة دالة إحصائيّاً في مجموعة القلوب والأوتاد المصنوعة بتقنية الطباعة ثلاثيَّة الأبعاد مقارنة بالقلوب والأوتاد المصبوبة بالطريقة التقليديَّة مهما كانت الطريقة المتّبعة في التقييم. لم تظهر أي فروقات دالة إحصائياً بين المجموعتين من حيث وجود الفجوة الذروية شعاعياً، وكذلك مقدار الانطباق الحفافي شعاعياً.

الاستنتاجات: ضمن حدود هذه الدِّراسة يمكن الاستنتاج أنّ استعمال القلوب والأوتاد المصنوعة بتقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد يحقق انطباقاً حفافياً سريرياً أفضل وقيماً أقل لمقدار الفجوة الداخلية مقارنة بالقلوب والأوتاد المصبوبة بالطريقة التقليديَّة.

الملخص

الكلمات المفتاحية: الأسنان المعالجة لبياً – القلب والوتد المعدني المصبوب – القلب والوتد المطبوع – الفجوة الحفافية – التصميم والتصنيع بمساعدة الحاسوب.

التمهيد

(Preface)

تُعَدُّ المعالجة اللبية (Endodontic treatment) من الإجراءات الأساسية في الحفاظ على الأسنان المصابة والتي لا يمكن إنقاذها بالعلاج المحافظ التقليدي. غير أنّ السن بعد المعالجة اللبية غالباً ما يفقد قدراً كبيراً من بنيته السِّنية نتيجةً لمجموعة من العوامل، مثل النخر السني الواسع، والإجراءات التحضيرية المتكرّرة، وإزالة النسيج السني أثناء فتح الحجرة وتحضير الأقنية. هذا الضياع في النسج الصلبة يجعل السن أكثر هشاشة وأضعف تحمّلاً للقوى الإطباقية والوظيفية، مما يزيد من خطورة حدوث الكسر أو الفقد في حال لم يُرمَّم الترميم المناسب. ويُعَدّ تأمين الختم التاجي (Coronal Seal) حجر الزاوية في نجاح المعالجة اللبية على المدى الطويل، حيث يُسهم في منع تسرّب الجراثيم والملوِّثات إلى الحجرة اللبية، كما يحافظ على متانة البنية السنية ويؤمّن للسن قابلية وظيفية وجمالية مُرضية. وتتنوع الوسائل المتاحة لترميم الأسنان المعالجة لبياً تبعاً لكمية النسج المتبقية، بدءاً من الترميمات البسيطة باستخدام المواد المباشرة كالراتنجات المركبة (Composite Resins) أو الأملغم، وصولاً إلى الترميمات المعقدة التي تتطلّب تدعيم السن بواسطة القلب والوتد (Post and Core).

يُعتبر القلب والوتد خياراً أساسياً في الحالات التي يتعرض فيها السن لفقد كبير في النسج السِّنية التاجية، حيث يُسهم الوتد في تثبيت البنية التاجية ضمن الجذر، بينما يعمل القلب كقاعدة لبناء التاج التعويضي لاحقاً. وتكمن أهمية هذا الإجراء في تأمين الدعامة الكافية للتعويض النهائي مع الحفاظ على توزيع متوازن للقوى على الجذر، الأمر الذي ينعكس على زيادة عمر السن وديمومته الوظيفية. وقد تطورت طرق تصنيع القلب والوتد عبر العقود لتلبية المتطلبات السريرية والوظيفية. فمنذ عقود كان القلب والوتد المعدني المصبوب هو المعيار التقليدي للتصنيع، حيث يوفّر ملاءمة دقيقة ومتانة عالية. وعلى الرغم من نجاح هذه التقنية وانتشارها، إلا أنّها تتطلب وقتاً طويلاً وعدداً من الجلسات، فضلاً عن إمكانية حدوث بعض المشكلات مثل التآكل المعدني أو المظهر غير الجمالي في الأسنان الأمامية. ومع التطور الرقمي في طب الأسنان، ظهرت تقنيات حديثة تعتمد على أنظمة التصميم والتصنيع بمساعدة الحاسوب (CAD/CAM) لإنتاج قلوب وأوتاد معدنية أو خزفية مطبوعة وتمتاز هذه الطريقة بسرعة إنجازها، وإمكانية تكرارها بدقة عالية، وتقليل الأخطاء البشرية المرتبطة بالإجراءات التقليدية. كما أنّها تتيح الاستفادة من مواد حديثة ذات خصائص ميكانيكية وجمالية محسنة.

1- مشكلة البحث (Research Problem):

تكون الأسنان المعالجة لبياً أكثر عرضة لفقدان النسج السنية الصلبة نتيجة النخر الواسع أو التحضيرات السنية المتكررة، مما يستدعي اللجوء إلى وسائل ترميمية معقدة تضمن إعادة الوظيفة والمتانة على المدى الطويل. ويُعَدّ القلب والوتد خياراً أساسياً في الحالات التي يكون فيها الفقد كبيراً، وقد استُخدم تاريخياً القلب والوتد المعدني المصبوب بوصفه المعيار الذهبي من حيث المتانة والدقة، إلا أنّ تحضيره يتطلب عدة خطوات سريرية ومخبرية تستغرق وقتاً طويلاً، فضلاً عن احتمال حدوث بعض المشكلات كتغير اللون أو الحاجة إلى أكثر من جلسة علاجية. في المقابل، أتاح التقدّم الرقمي وتقنيات التصميم والتصنيع بمساعدة الحاسوب (CAD/CAM) تطوير طرق بديلة أكثر سرعة ومرونة، مثل تصنيع القلب والوتد المعدني المطبوع، الذي يتميّز بإمكانية إنجازه بدقة عالية وضمن وقت قصير وبخطوات سريرية أبسط. غير أنّ الاعتماد على هذه التقنيات الحديثة ما يزال محدوداً، والبيانات السريرية والشعاعية المقارنة بين الطريقتين ما تزال غير كافية. ومن هنا تبرز مشكلة البحث، وهي الحاجة إلى تقييم موضوعي ومقارن بين القلب والوتد المصبوب تقليدياً ونظيره المطبوع بتقنية CAD/CAM بما يتيح توجيه الممارسة السريرية نحو الخيار الأمثل.

2- تساؤلات البحث (Research Questions):

في ضوء مشكلة البحث سابقة الذكر، يمكن طرح السؤال البحثي الآتي:

"هل يمكن للقلب والوتد المطبوع ثلاثي الأبعاد أن يكون أكثر كفاءة من حيث غياب الفجوات الحفافية والذروية سريرياً وشعاعياً ومجهرياً بعد استعماله لترميم الأسنان المتهدمة المعالجة لبياً مقارنة بالقلب والوتد المعدني المصبوب؟"

3- أهداف البحث (Research Aims):

يهدف هذا البحث إلى تقييم فعالية القلب والوتد المطبوع مقارنة بالقلب والوتد المعدني المصبوب وذلك من حيث:

1. تقييم الانطباق الحفافي سريرياً.
2. تقييم الانطباق الحفافي شعاعياً.
3. تقييم الفجوة الحفافية مجهرياً.
4. تقييم وجود أو غياب الفجوة الذروية.

4- أهميَّة موضوع البحث (Important of the Research):

تنبع أهميَّة هذا البحث من كونه من الدراسات السريرية القليلة التي تُجري مقارنة مباشرة بين فعاليّة القلب والوتد المعدني المصبوب والقلب والوتد المعدني المطبوع بتقنية CAD/CAM لدى نفس المرضى، مما يمنح الدراسة قوة في المقارنة وضبطاً للعوامل المربكة. ويُضيف هذا البحث إلى الأدبيات العلمية المنشورة معطيات قيّمة حول الجدوى السريرية والشعاعية لتقنيات التصنيع الرقمية الحديثة مقارنةً بالطريقة التقليدية التي ظلّت تُعَدّ المعيار الذهبي لعقود، الأمر الذي يساهم في توجيه الممارسات السريرية المعاصرة نحو الخيار الأمثل لضمان ديمومة الأسنان المعالجة لبياً.

5- مسوّغات البحث (Research Rationale):

إنّ المسوّغ الرئيس لإجراء هذا البحث هو الحاجة إلى التحقق من مدى كفاءة القلب والوتد المعدني المطبوع بتقنية CAD/CAM بوصفه خياراً علاجياً حديثاً يمكن أن يتفوق على القلب والوتد المصبوب التقليدي من حيث الدقة العالية للتصنيع. ويُحتمل أن يقدّم هذا الخيار فائدة عملية كبيرة للمرضى من خلال تقليل المضاعفات المرتبطة بالتقنية التقليدية، مع الحفاظ على المتانة والديمومة الوظيفية للأسنان المعالجة لبياً. ومن هنا تستدعي الضرورة إجراء دراسة سريرية منهجية ومقارنة مباشرة لاختبار هذه الفرضية وتوضيح ما إذا كان بالإمكان تبنّي هذا الخيار بشكل أوسع في الممارسة اليومية.

6- محدوديّات البحث (Research Limitations):

ضمن سياق هذا البحث والهدف المرجو منه، فقد اقتصر على تقييم فعالية القلب والوتد المصبوب والمطبوع في الأسنان وحيدة الجذر فقط، ولم يتناول الحالات ذات الجذور المتعددة أو الأسنان الخلفية ذات التعقيدات التشريحية. كما أنّ التقييم انحصر بالمتغيرات السريرية والشعاعية والمجهرية خلال فترة متابعة محدودة نسبياً، دون دراسة النتائج طويلة الأمد المتعلقة ببقاء التعويض النهائي أو تأثير العوامل الإطباقية والوظيفية على المدى البعيد.

2- المراجعة النظريَّة
(Literature Review)

1. المراجعة النظريَّة (Literature Review):

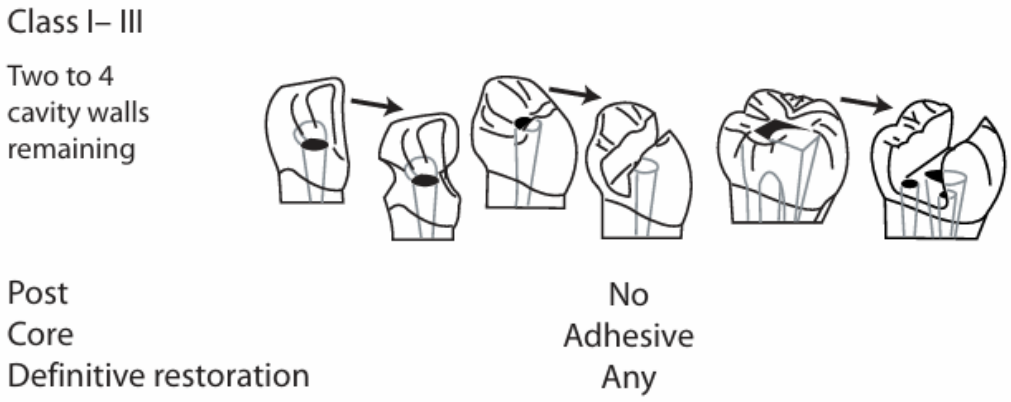
1.1. ترميم الأسنان المعالجة لبياً (Restoration of Endodontically Treated Teeth):

يجب على السن المعالجة لبياً أن تمتلك إنذاراً جيداً عند الانتهاء من المعالجة اللبية بحيث تستطيع السن أن تستعيد كامل وظائفها الإطباقية، فضلاً عن القدرة على استعمالها كدعامة لتعويض سنيّ ثابت أو متحرك. ولتحقيق هذا الهدف، يجب على الطبيب أن يطبّق مجموعة من التقنيات الخاصة بترميم هذه الأسنان، فعادة ما تنتهي معالجة الأسنان اللبية بخسارة كمية كبيرة من البنية السنية نتيجة للنخور السنية، أو إزالة الترميمات السابقة، أو الخطوات الخاصة بالمعالجة اللبية، حيث تؤدي هذه الخسارة إلى تعقيد الإجراءات الترميمية التالية، وتزيد من خطر انكسار السن خلال أداء وظيفتها الإطباقية (Caussin et al., 2024).

يلعب عاملان أساسيان دوراً عاماً في تحديد التقنية المتبعة لترميم الأسنان المعالجة لبياً؛ فيكون لنوع السن المعالجة (كونها من القواطع، أو الأنياب، أو الضواحك، أو الأرحاء)، فضلاً عن كمية النسج السنية التاجية المتبقية بعد انتهاء المعالجة السنية تأثيرٌ كبيرٌ على إنذار الحالة العلاجية للسن. ويكون للعامل الثاني الدور الأكبر في تحديد توجه الطبيب وخياراته المتاحة عند ترميم الأسنان المعالجة لبياً. ولهذا السبب قام الباحثون بوضع تصنيف عملي يهدف إلى تحديد الإجراء الترميمي الأفضل والمثبت علمياً في كل حالة من حالات فقد النسج السنية التاجية بعد المعالجة اللبية (Peroz, Blankenstein, Lange, & Naumann, 2005)، ويشمل هذا التصنيف ما يلي (الشكل 1):

1. الصنف الأول (Class I): بقاء أربعة جدران سليمة بعد الانتهاء من المعالجة اللبية (إزالة النسج التاجية لتحضير مدخل الحجرة اللبية فقط). ففي هذه الحالة تكون الجدران المحورية المتبقية بثخانة أكبر من 1 ملم، مما يستطب إجراء أي ترميم تاجي يراه الطبيب ملائماً (ترميم الكومبوزيت السني على سبيل المثال) دون الحاجة لإجراءات أكثر تعقيداً.

2. الصنف الثاني (Class II): بقاء ثلاث جدران سليمة بعد الانتهاء من المعالجة اللبية. نظراً لوجود مساحة سطح واسعة، فضلاً عن كمية كافية من النسج السنية السليمة في هذه الحالات، فيمكن استعمال الأوتاد المثبتة بأنظمة الإلصاق (Cores using adhesive systems) متبوعة بترميم تاجي باستعمال الكومبوزيت السني.
3. الصنف الثالث (Class III): بقاء جدارين سليمين بعد الانتهاء من المعالجة اللبية. أثبت الدراسات السريرية، والمخبرية إمكانية معاملة هذه الحالات بشكل مشابه للحالات المذكورة في الصنف الثاني، حيث تمتلك الأسنان جدارين سليمين متبقيين قادرين على دعم إجراء ترميم تاجي معتمد على الأوتاد المثبتة بأنظمة الإلصاق، متبوعة بترميم تاجي باستعمال الكومبوزيت السني.
4. الصنف الرابع (Class IV): بقاء جدار واحد سليم بعد الانتهاء من المعالجة اللبية. يستطب في هذه الحالة استعمال الأوتاد في إجراء الترميم، حيث وجدت الدراسات عدم وجود فرق في مقاومة الانكسار عند استعمال أي مادة من مواد الأوتاد سواء المعدنية أو غيرها، ولكن ولضمان النتائج التجميلية فيمكن استعمال الأوتاد غير المعدنية في معالجة الأسنان الأمامية، والأوتاد المعدنية أو غير المعدنية في معالجة الأسنان الخلفية.
5. الصنف الخامس (Class V): غياب جميع الجدران المحورية بعد الانتهاء من المعالجة اللبية. في هذه الحالات يستطب إجراء الأوتاد المعدنية ضمن الجذرية لدعم مادة القلب بشكلٍ كافٍ ولتحقيق ثبات واستقرار يضمن القدرة على إجراء ترميم تاجي يعيد للسن وظيفتها الإطباقية والتجميلية.



الشكل (1): يوضح الأصناف من I إلى V وطريقة ترميمها Peroz et al., 2005.)

2.1. الترميمات المدعومة بالقلوب والأوتاد (Post and Core Restorations):

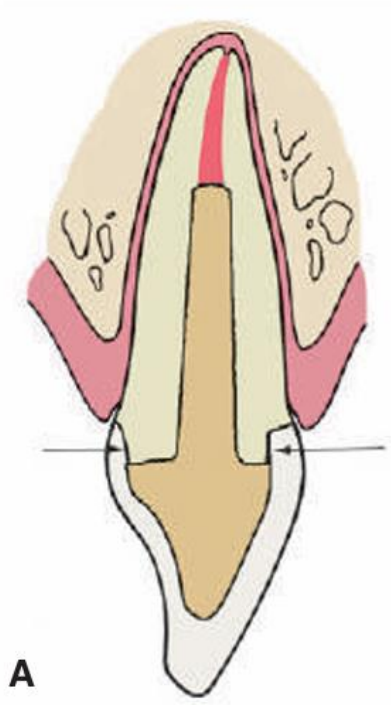
تُعدُّ الترميمات المدعومة بالقلوب والأوتاد إحدى أهم ركائز تعويضات الأسنان الثابتة، خاصة لترميم الأسنان المعالجة لبياً ذات الخسارة الكبيرة في النسج السنية التاجية، حيث تعمل القلوب والأوتاد على تقديم الدعم، والثبات الكافيين للترميمات التاجية فوقها (كالتيجان المفردة، أو الجسور)، مما يضمن إجراء ترميمات وظيفية تحقق الناحية الجمالية للمريض، وتكون الغاية الأساسية من استعمال القلوب والأوتاد توزيع الجهود الإطباقية بشكل متساوٍ على البنية السنية المتبقية، فضلاً عن المحافظة على سلامة البنية السنية الجذرية، وذلك لكون الأسنان المعالجة لبياً أكثر عرضة لحدوث الكسور نتيجة جفاف القنيات العاجية، وخسارة حيوية اللب السني، ونفص الاستقرار البنيوي (Structural Stability) (Dimitrova, Vlahova, & Kazakova, 2024).

يعود تطور مفهوم استعمال القلوب والأوتاد في طب الأسنان لأكثر من 200 عام، وذلك خلال البحث عن طريقة لتثبيت التعويضات السني على الأسنان غير الحية، فقد ظهر في القرن التاسع عشر ولأول مرة تاج ريشموند (Richmond Crown) على شكل نظام قطعة واحدة (one piece system) مصنوع من تاج معدني خزفي مع وتد معدني (Porcelain fused to metal post and crown system)، والذي تطور فيما بعد إلى تصميم يفصل بين القلب المعدني والوتد ضمن الجذري بحلول العام 1930، وذلك لتخفيف الضغوط على الجذر السني (Dimitrova et al., 2024).

وفي أربعينيات القرن الماضي أدى التطور في المواد السنية إلى ظهور الأوتاد المعدنية مسبقة الصنع من مادة الفولاذ غير القابل للصدأ (Stainless Steal)، أو خلائط الذهب، والتي هدفت إلى تحسين صلابة القلوب والأوتاد وزيادة قدرتها على تحمل الجهود الإطباقية. وفي حلول ثمانينيات وتسعينيات القرن الماضي، بدأت أوتاد الراتنج المقواة بالألياف (Fiber reinforced composite posts) بالانتشار، وذلك لما تمتلكه من خواص مرونة مشابهة للعاج السني، مما قلل من خطر انكسار مادة القلب والوتد لقصافتها (Dimitrova et al., 2024).

يتألف نظام القلب والوتد بشكل أساسي من مكونين يقوم كل منهما بدور أساسي في تحمل الجهود الإطباقية وتوزيعها إلى الأجزاء السنية (الشكل 2) (KOCACIKLI, 2023)، حيث يشمل هذين المكونين كلاً من:

1. الوتد ضمن الجذري (Post): يشكل هذا المكون الجزء الأكثر ذروية من مكونات نظام القلب والوتد، وهو يتوضع ضمن القناة الجذرية، وتكمن وظيفته الأساسية في استقبال الجهود الإطباقية الواقعة على التعويض المدعوم بنظام القلب والوتد ونقلها بشكل مضبوط ومتساوٍ إلى الجذر السني، بحيث يؤمن الوتد الاتصال المباشر والوثيق بين التعويض والسن الداعمة.
2. القلب التاجي (Core): يشكل هذ المكون الجزء التاجي من مكونات نظام القلب والوتد، وهو يكون على تماس مباشر مع الوتد الجذري بالاتجاه الذروي، والتعويض السني بالاتجاه التاجي والمحوري، ويلعب هذا المكون دور البديل للجزء التاجي من الدعامة السنية بالمفهوم التقليدي لها، بحيث يسمح بتوفر مساحة سطح واسعة ومناسبة لارتباط التعويض السني فوقه، فضلاً عن تأمين كل من الدعم والثبات والاستقرار لهذا التعويض، وينقل القوى الإطباقية إلى الوتد الجذري، والسن الداعمة.



الشكل (2): يوضح تصميم نظام القلب والوتد (Rosenstiel, Land, & Junhei, 2006).

1.2.1. تصنيف أنظمة القلوب والأوتاد (Classifications of Post and Core Systems):

تصنف أنظمة القلوب والأوتاد المستعملة في طب الأسنان بناءً على كل من تصميمها، أو المادة المستعملة في صنعها، أو طريقة تصنيع القلب والوتد. وتهدف هذه التصانيف إلى محاولة توحيد معايير توصيف الأنواع المختلفة لأنظمة القلوب والأوتاد المستعملة، وذلك تسهيل التواصل بين الأطباء الممارسين فضلاً عن توحيد معايير البحث العلمي حولها (Singh & Chandra, 2015).

أولاً: تصنيف القلوب والأوتاد تبعاً لتصميمها (Classification by the design):

يمكن أن تصنف القلوب والأوتاد المستعملة في المعالجات السنية بناء على ثلاث معايير متعلقة بتصميم القلب والوتد، وهي التصميم الخارجي، وتقنية تثبيت الوتد ضمن القناة، عدد الأجزاء التي يكون منها نظام القلب والوتد (الجدول 1). حيث تصنف القلوب والأوتاد بالاعتماد على التصميم الخارجي إلى (الشكل 3) (Zarow et al., 2018):

1. الأوتاد المستدقة (Tapered): وهي تمتلك شكلاً قمعياً يتوافق مع شكل القناة الجذرية التي يزداد استدقاقها كلما اتجهنا باتجاه الذروة الجذرية، ويمكن أن تكون هذه الأوتاد ملساء، أو محلزنة، أو مخرشة (Serrated).
2. الأوتاد المتوازية (Parallel): وهي تمتلك شكلاً اسطوانياً لا يستدق، وتكون جدران الوتد متوازية، وهي تستعمل في الأقنية الجذرية العريضة، ويمكن أن تكون أيضاً ملساء، أو محلزنة، أو مخرشة.

كما تصنف أنظمة القلوب والأوتاد بالاعتماد على تقنية التثبيت المتبعة إلى (Ghodsi, Aghamohseni, Arzani, Rasaeipour, & Shekarian, 2022):

1. التثبيت الفعّال (Active): بحيث يندخل الوتد ضمن بنية العاج الجذري المشكل لجدران القناة الجذرية، وتكون الأوتاد محلزنة أو مخرشة لتحقق الاشتباك المناسب مع جدران القناة، وتحقق الأوتاد ثباتاً عالياً جداً

باستعمال هذه التقنية، ولكن يرتفع خطر التعرض لانكسار الجذر عند استعمالها، ويشيع هذا النوع من التثبيت في الأوتاد مسبقة الصنع.

2. التثبيت المنفعل (Passive): بحيث يستمد الوتد ثباته ضمن القناة عن طريق استعمال الاسمنتات السنية، ويكون الوتد في هذه الحالة أملساً دون اشتباك حقيقي مع جدران القناة الجذرية، وتحقق هذه الأوتاد ثباتاً أقل بالمقارنة مع أوتاد التثبيت الفعال، ولكن تكون نسبة الأمان فيها أعلى، ويشيع هذا النوع من التثبيت في الأوتاد المصبوبة.

الشكل (3): يوضح مجموعة من الأوتاد المستدقة والمتوازية (Rosenstiel et al., 2006).

الجدول (1): يلخص كل من محاسن ومساوئ كل تصميم من تصاميم الأوتاد الجذرية (Ghodsi et al., 2022).				
نوع التصميم	**تقنية التثبيت**	**المحاسن**	**المساوئ**	**الاستعمال**
المستدقة	فعال/منفعل	تكيف جيد مع شكل القناة	ارتفاع الجهود في منطقة الذروة	الأقنية المستدقة
الاسطوانية	فعال/منفعل	التوزيع المتساوي للجهود	تحتاج إلى تحضير أكبر للقناة الجذرية	الأقنية المستقيمة والواسعة
المحلزنة	فعال	ثبات عالٍ	خطر عالٍ لانكسار الجذور	الجذور القصيرة

ثانياً: تصنيف القلوب والأوتاد تبعاً للمادة المستعملة في صنعها (Classification by the material used):

تمتلك المواد المختارة لصنع التعويضات داخل الفموية تأثيراً كبيراً على تفاعل وخواص التعويض ضمن البيئة الفموية، كالتقبل الحيوية، والنواحي التجميلية، والخواص الميكانيكية، ويمكن أن تصنف أنظمة القلوب والأوتاد المستعملة في طب الأسنان بالاعتماد على المادة المصنوعة إلى الآتي (Dimitrova et al., 2024):

1. الأوتاد المعدنية (Metallic Posts): حيث يمكن أن تصنع أنظمة القلوب والأوتاد من المعادن النفيسة كخلائط الذهب، أو المعادن غير النفيسة كالفولاذ غير القابل للصدأ، وخلائط الكروم كوبالت، فضلاً عن المعادة المتقبلة حيوياً كالتيتانيوم، وتتسم هذه الأنظمة بكونها عالية الصلابة، فضلاً عن كونها مقاومة للتأكل والصدأ، ويمكن أن تكون مصبوبة، أو مسبقة الصنع (كما سنشرح تالياً). وتتميز بديمومتها العالية حيث وجدت الدراسات أن نسبة نجاتها (Survival Rate) وصلت إلى أكثر من 90% بعد أكثر من 15 عاماً، وعلى الرغم من ذلك فهي تمتلك بعض المساوئ فيما يخص النتائج التجميلية للترميم التاجي النهائي، فضلاً عن التآكل الغلفاني (Galvanic corrosion)، وشدة صلابتها مما يعرضها للانكسار.
2. الأوتاد غير المعدنية (Non-metallic Posts): وهي تشمل الأوتاد المصنوعة من الراتنج المقوى بالألياف، فضلاً عن ألياف الكربون، والزجاج، والكوارتز، والخزف، والمواد الهجينة كالخزف النانوي (Nanoceramics). وقد بدأ تطوير هذه المواد في ثمانينيات القرن الماضي، وهي تتميز بالمرونة الأعلى من الأوتاد المعدنية، والتي تتقارب مرونة العاج السني، مما يقلل من خطر انكسار الأوتاد، فضلاً عن

تحسين النتائج التجميلية للترميمات التاجية فوقها، ولكنها تعاني من مشكلة خسارة الارتباط بعد الإلصاق (Debonding) وذلك في عدد كبير نسبياً من الحالات تبعاً لدراسات مختلفة، كما أنها تصعب من حالات إعادة المعالجة اللبية.

ثالثاً: تصنيف القلوب والأوتاد تبعاً لطريقة التصنيع (Classification by fabrication method)

يمكن تصنيف أنظمة القلوب والأوتاد المستعملة في طب الأسنان بناءً على طريقة التصنيع المستعمل إلى ثلاثة أنواعٍ أساسية (الجدول 2) (Jandyal, Chaturvedi, Wazir, Raina, & Haq, 2022)، وهي:

1. القلوب مسبقة الصنع (Pre-fabricated): والتي تكون مصممة للاستعمال الفوري، ويمكن أن تكون مصنوعة من الخلائط المعدنية (كالتيتانيوم، أو الفولاذ غير القابل للصدأ)، أو المواد غير المعدنية (كالراتنج المقوى بالألياف)، وهي تطبق ضمن الأقنية الجذرية المُحضرة وتثبت باستعمال أنظمة الإلصاق ضمن القناة، ثم يبنى فوقها القلب باستعمال الكومبوزيت السني، وهي مناسبة للحالات الروتينية التي يكون فيها شكل الأقنية السنية نموذجياً. وتتميز هذه القلوب بكونها لا تتطلب أكثر من جلسة علاجية لإنجازها، فضلاً عن تكلفتها الاقتصادية المقبولة، مقاومتها الأعلى للانكسار (خاصة القلوب الراتنجية). أما مساوئها فهي تشمل نقص انطباق وتكييف القلب مسبق الصنع مع جدران القناة الجذرية، خاصة في الأقنية غير النموذجية، فضلاً عن خطر زوال الالصاق (Decementation).
2. القلوب والأوتاد المصبوبة (Custom-Cast): وهي تصنع بتقنية الشمع الضائع (Lost wax technique)، ويمكن أن تصنع هذه الأوتاد بشكل مباشر، أو غير مباشر، وهي التطور المباشر لتاج ريشموند، تتميز بقدرتها العالية على الانطباق والتكيف مع الأقنية الجذرية معقدة التشريح، فضلاً عن مقاومتها العالية لقوى القص، ولكنها تحتاج لعدة جلسات علاجية، فضلاً عن تكلفتها المرتفعة نسبياً، وهي تترافق بمعدلات أعلى من انكسار الجذر السني، وخاصة في الحالات التي تكون فيها جدران القناة الجذرية رقيقة نسبياً.

3. الأوتاد المصنوعة رقمياً (Digitally Fabricated): تصمم وتنع هذه الأوتاد باستعمال تقنية التصميم والتصنيع المُقاد حاسوبياً (Computer assisted design–computer assisted manufacturing (CAD–CAM))، وذلك باستعمال الخراطة أو الطباعة الليزرية ثلاثية الأبعاد، وهي من التقنيات الحديثة والواعدة، ويمكن أن يصنف هذا النوع من أنظمة الأوتاد إلى الأوتاد المعدنية المطبوعة، والأوتاد الراتنجية وحيدة الكتلة (Monolithic)، وتتميز هذه الأوتاد بكونها عالية الدقة (بمستوى خطأ أقل من 50 مايكرون)، فضلاً عن سرعة إنجازها، والقابلية العالية لتخصيصها (Customization) قبل البدء بتصنيعها كونها مصممة باستعمال الحاسوب.

الجدول (2): مقارنة بين تقنيات تصنيع أنظمة القلوب والأوتاد المستعمل في طب الأسنان (Jandyal et al., 2022).

طريقة التصنيع	عدد الجلسات	التكلفة	دقة الانطباق	أمثلة
مسبقة الصنع	جلسة واحدة	منخفضة	متوسطة	أوتاد الفولاذ غير القابل للصدأ
المصبوبة	جلستين أو أكثر	عالية	عالية	خلاط الذهب أو الكروم كوبالت
الرقمية	بين الجلسة والجلستين	متوسطة إلى عالية	عالية جداً	التيتانيوم أو الزيركونيا

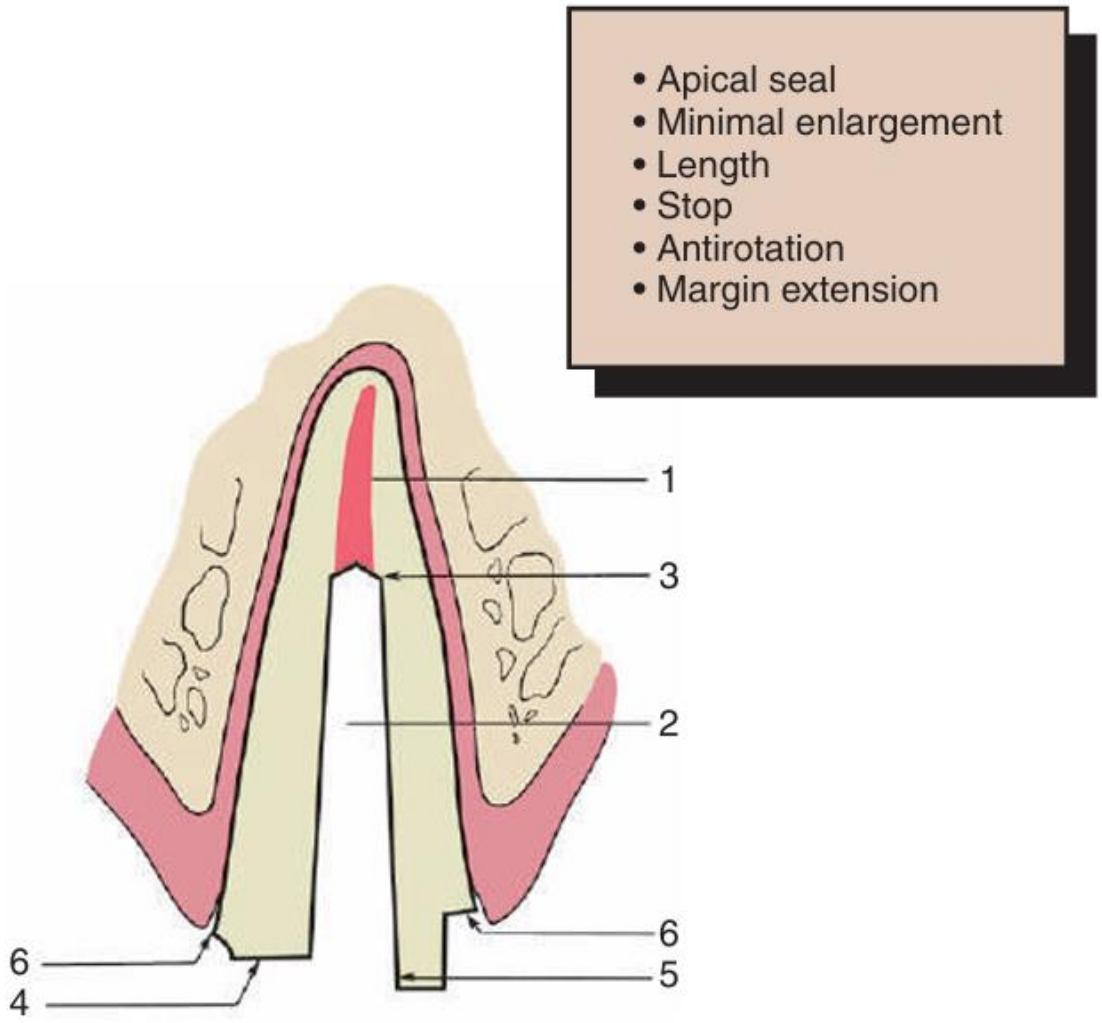
2.2.1. مبادئ تحضير السن لاستقبال القلوب والأوتاد (Principles of Tooth Preparation):

تتشابه مبادئ تحضير السن لاستقبال القلب والوتد بشكل كبير مع مبادئ تحضيرها لاستقبال أي تعويض ثابت، ولكن ولخصوصية القلب الوتد والسن المعالجة بهذا الخيار العلاجي، وجب التركيز على ثلاثة مبادئ إضافية تهدف إلى تحقيق نسبة النجاح، والنجاة الأعلى فيما يخص الترميمات المدعومة بأنظمة القلوب والأوتاد، وهي تشمل (Ricketts, Tait, & Higgins, 2005):

1. المحافظة على البنية السنية (Conservation of Tooth Structure).
2. تحقيق الشكل المثبت (Retention Form).
3. تحقيق الشكل المقاوم (Resistance Form).

أولاً: المحافظة على البنية السنية (Conservation of Tooth Structure):

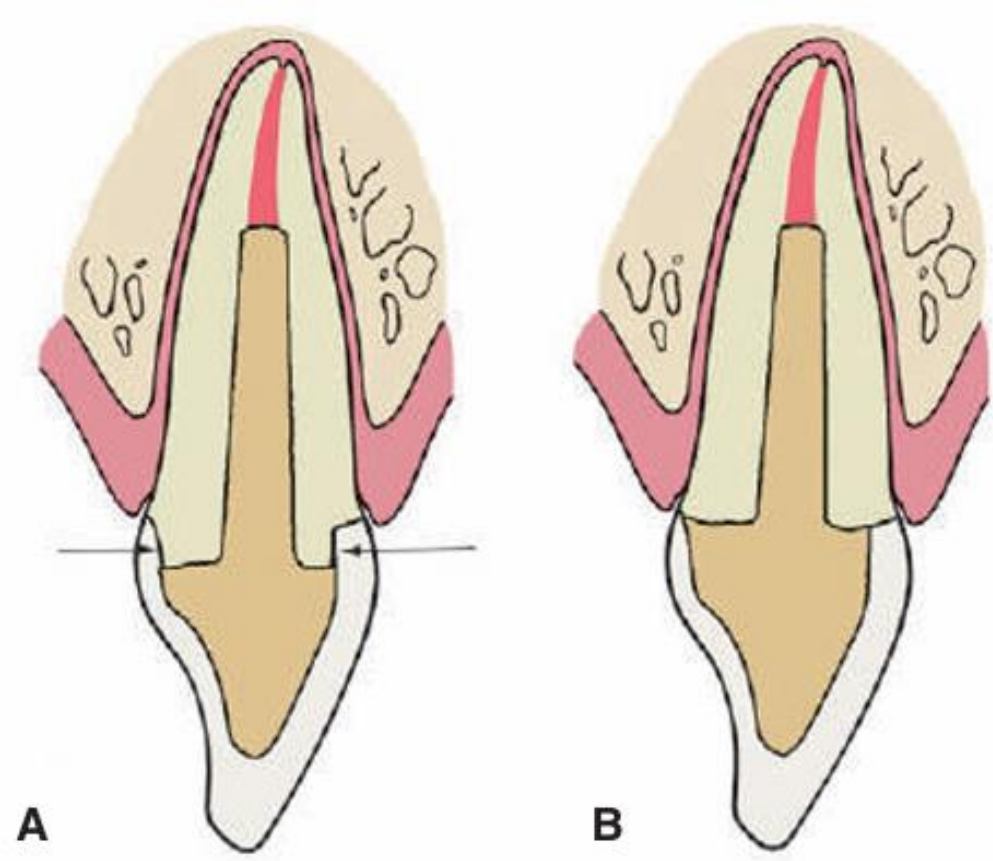
تشمل المحافظة على البنية السنية كلا من مرحلة تحضير القناة الجذرية لاستقبال الوتد، فضلاً عن تحضير النسج التاجية لاستقبال القلب، فعند تحضير القناة الجذرية يجب على الطبيب إزالة أقل كمية ممكنة من العاج القنيوي للمحافظة على ثخانة كافية من النسج العاجية القادرة على تحمل الجهود الإطباقية المنقولة إليها، فالتوسيع الجائر للقناة الجذرية يؤدي إلى التصدعات خلال مرحلة إلصاق الوتد أو تثبيته ضمن القناة الجذرية، أو خلال مرحلة التحميل الوظيفي، لهذا فعلى الطبيب تحضير القناة الجذرية بالشكل الكافي لضمان استقرار الوتد ضمن القناة دون الإضرار ببنية الجدران العاجية، وكقاعدة عملية فيكفي لتثبيت وتد مستدق توسيع القناة الجذرية لقياس أو قياسين أكبر من المبرد النهائي المستعمل في تحضير القناة المعالجة لبياً. أما عند تهيئة النسج التاجية فيجب بشكل أساسي المحافظة على كامل البنية التاجية المتبقية بعد الانتهاء من المعالجة اللبية للسن، وذلك لما تتعرض له النسج التاجية من خسارة بسبب وجود النخور السنية، أو الترميمات السابقة، وذلك عند استعمال أنظمة القلوب والأوتاد مسبقة الصنع والتي تثبت باستعمال اسمنتات الالصاق وتبنى باستعمال الراتنج المركب. أما عند تطبيق أنظمة القلوب والأوتاد المصبوبة، فيجب على الطبيب تحضير البنى التاجية الموجودة وذلك لإزالة نقاط التثبيت (Undercut) في مدخل القناة الجذرية، فضلاً عن ترك مسافة كافية حول الجدران المحورية الخارجية لاستقرار مادة التعويض الثابت (الشكل 4) (Ricketts et al., 2005).



الشكل (4): يوضح مقطعاً محورياً في سن محضرة لاستقبال نظام قلو ووتد مصبوب، ويمكن ملاحظة ستة معالم أساسية في هذا التحضير؛ (1) ختم ذروي كافٍ، (2) التحضير الأصغري الكافي للقناة الجذرية دون التوسيع غير الضروري، (3) تحقيق الطول الكافي للوتد الجذري، (4) تحضير زائد للنسج التاجية، (5) إزالة نقاط التثبيت من الجدران المحورية الداخلية، (6) توضع حافة التحضير التي سيستند إليها التاج على نسج سنية سليمة (Rosenstiel et al., 2006)

وعلى الرغم من الحاجة لتحضير الجدران التاجية، يجب على الطبيب أخذ الحيطة بالمحافظة على أكبر كمية ممكنة من النسج التاجية، وذلك لمنع تراكم الجهود على جدران عاجية ضعيفة قد تؤدي لكسر السن، حيث يجب السعي للحصول على جدران عاجية تاجية بسماكة 2 ملم لضمان مقاومة الانكسار المناسبة للنسج السنية. كما يجب على الطبيب السعي أيضاً لتأمين مبدأ الإحاطة (Ferrule) لمادة القلب، والتي تُعرف بأنها امتداد تحضير

الجدران المحورية للتاج السني بالاتجاه الذروي بما يضمن تحقيق وجود حلقة من المعدن الذي يحيط بمادة القلب والسن معاً مما يقدم الدعم الكافي للتعويض ويدعم بنية السن بتوزيع الجهود الإطباقية بشكل متساوٍ (الشكل 5) (Podhorsky, Rehmann, & Wöstmann, 2015).

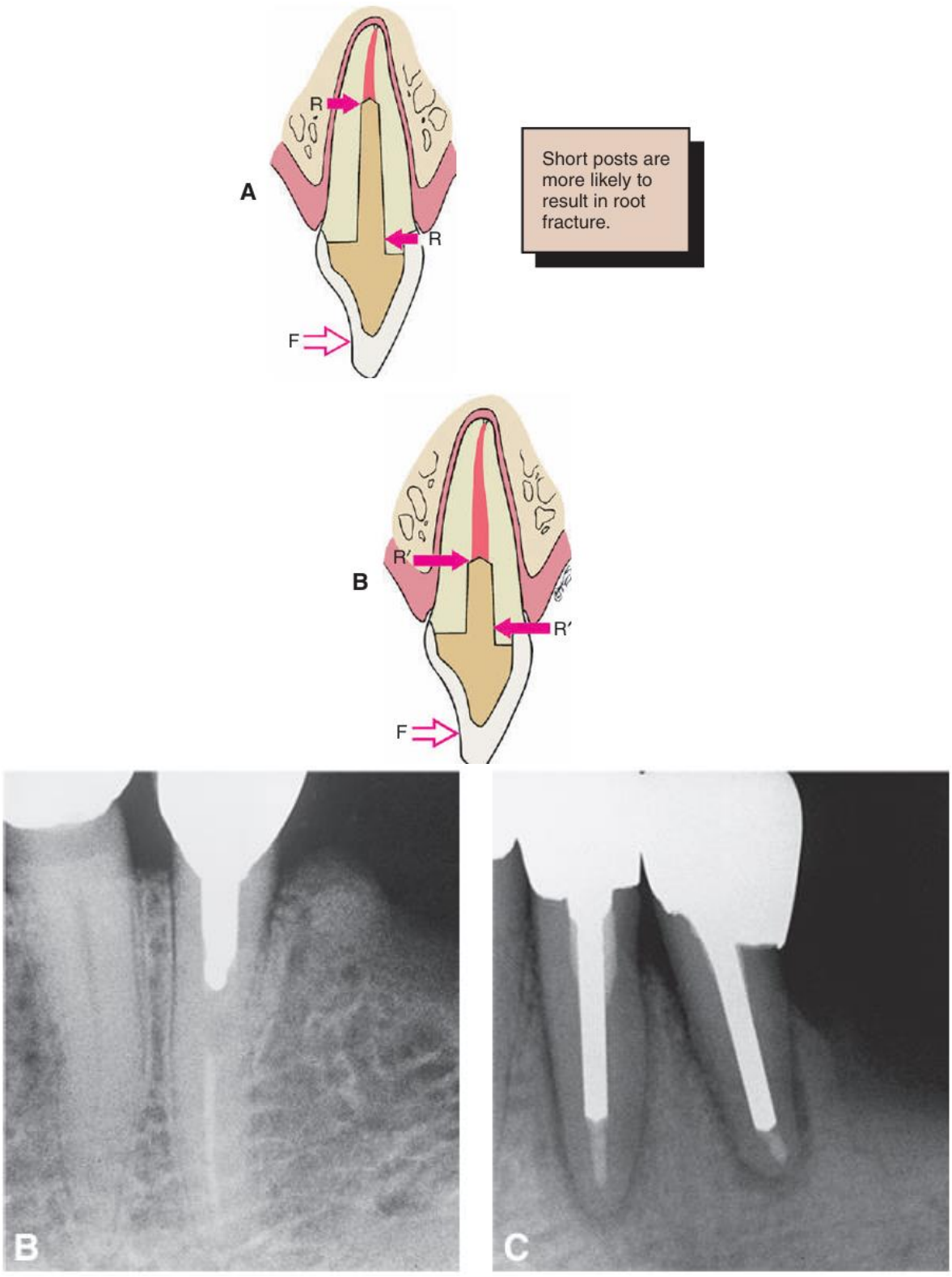


الشكل (5): يوضح مقارنة بين جذرين سنيين مرممين باستعمال تعويض سني مدعوم باستعمال نظام للقلب والوتد، فعلى الجهة اليسرى تم تحقيق مبدأ الإحاطة، بينما لم يتم تحقيق هذا المبدأ على الجهة اليمنى (Rosenstiel et al., 2006).

ثانياً: تحقيق الشكل المثبت (Retention Form):

إن عدم تحقيق الشكل المثبت الكافي خلال تحضير القناة الجذرية والنسج التاجية للسن الداعمة يؤدي إلى خسارة الارتباط بين النسج السنية ونظام القلب والوتد، مما يسبب خروج الوتد من القناة الجذرية. ويتأثر ثبات الوتد ضمن القناة الجذرية بمجموعة من العوامل (Rosenstiel et al., 2006):

1. شكل التحضير ضمن القنيوي لاستقبال الوتد الجذري (Preparation geometry): حيث تتمتع أقنية الأسنان الأمامية (الثنايا العلوية على سبيل المثال) بمقطع دائري يسمح للطبيب باستعمال أدوات تحضير ذات استدقاق أصغري (Minimal Taper) يسمح بوضع وتد غير مستدق يزيد من الثبات ضمن القناة. أما في الأسنان التي يكون فيها شكل القناة الجذرية هلالي أو غير منتظم فيمكن لطبيب الأسنان أن يستعمل أدوات مستدقة بنسبة 6 – 8 درجات لتحقيق الثبات الكافي للوتد ضمن القناة.
2. طول الوتد الجذري المستعمل (Post length): أظهرت نتائج الدراسات أن ثبات الوتد يتناسب طردياً مع طوله ضمن القناة الجذرية، مع الأخذ بعين الاعتبار الحاجة للمحافظة على ختم ذروي كافٍ في المنطقة الذروية، فلا يجب أن يكون الوتد قصيراً جداً فتنقص مساحة سطح التماس بين الوتد الجذري وجدران القناة، وألا يكون طويلاً جداً فلا يترك كمية كافية من مادة الحشو اللبية في المنطقة الذروية (الشكل 6).
3. قطر الوتد الجذري (Post Diameter): لا تؤدي الزيادة في قطر الوتد الجذري لزيادة ملموسة في ثبات الوتد، ولا يُنصح بزيادة قطر الوتد الجذري لما يسببه من إضعاف بنيوي للعاج الجذري، وقد وجدت الدراسات السريرية والمخبرية أن القطر الأمثل للوتد الجذري يجب ألا يتجاوز ثلث قطر الجذر بالكامل.
4. تضاريس سطح الوتد الجذري (Post surface texture): تمتلك الأوتاد الجذرية ذات السطح المحلزن أو المخرش ثباتاً أعلى من الأوتاد الملساء، بحيث تقوم هذه الأوتاد بالاشتباك المباشر مع جدران القناة الجذرية، فضلاً عن سطح التماس الأوسع مع إسمنت الإلصاق.
5. عامل الالصاق المستعمل (Luting agent): يسهم اختيار عامل الالصاق المناسب بشكل كبير في ديمومة الوتد ضمن القناة، حيث إن استعمال الاسمنتات الراتنجية يؤدي إلى ثبات أعلى للوتد الجذري.

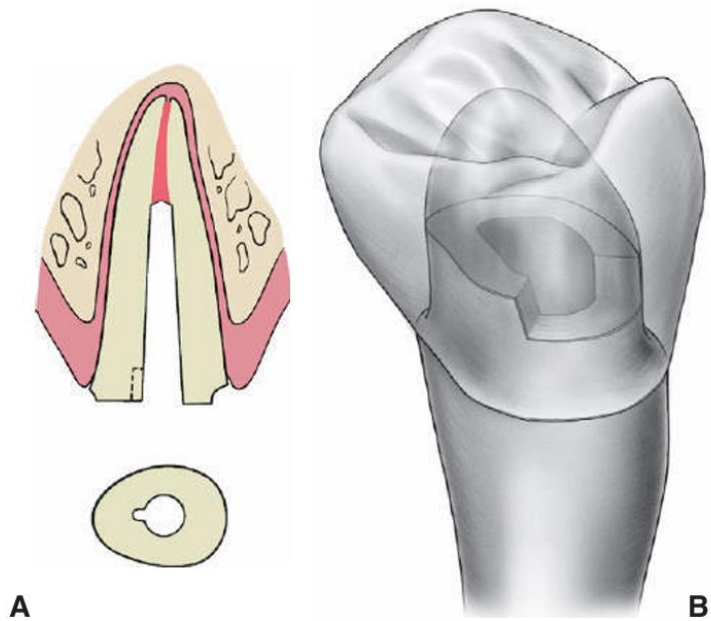


الشكل (6): يوضح كلاً من الوتد القصير جداً، والوتد الطويل جداً، والوتد مناسب الطول ضمن القناة الجذرية (Rosenstiel et al., 2006).

ثالثاً: الشكل المقاوم (Resistance Form):

يشمل مفهوم الشكل المقاوم جميع المعالم المستعملة من قبل الطبيب لزيادة مقاومة نظام القلب والوتد للفشل الناتج عن الأداء الوظيفي ضمن الحفرة الفموية، وتشمل مفاهيم الشكل المقاوم كلاً من (Rosenstiel et al., 2006):

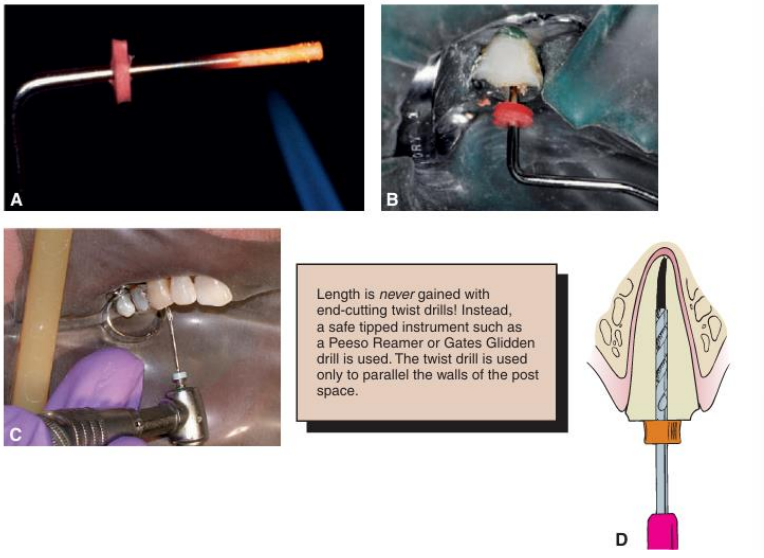
1. التوزيع المتساوي للجهود (Stress Distribution): تُعد مقاومة نظام القلب والوتد للقوى الجانبية من أهم الخواص التي تعمل عن طريق توزيع الجهود المطبقة على أوسع مساحة سطح ممكنة، فيجب أن يحقق تصميم القلب والوتد التوزيع المتساوي والمضبوط، فعلى سبيل المثال يسمح تطبيق الأوتاد الراتنجية المقواة بالألياف بتوزع القوى المطبقة عليها بشكل متساوٍ على جدران القناة الجذرية، وذلك لامتلاك هذه الأوتاد لمعامل مرونة مشابه للعاج السني.
2. مقاومة الدوران (Rotational Resistance): في الأقنية ذات الشكل الدائري يمكن أن يعاني نظام القلب والوتد من خطر الانفكاك نطراً لإمكانية دوران الوتد ضمن القناة الجذرية، فيجب على الطبيب أن يقوم بتحضير ميزاب استقرار في المنطقة الأكثر تاجية من القناة الجذرية (الشكل 7).



الشكل (7): يوضح معالم التحضير التي تسمح بمقاومة الدوران (Rosenstiel et al., 2006).

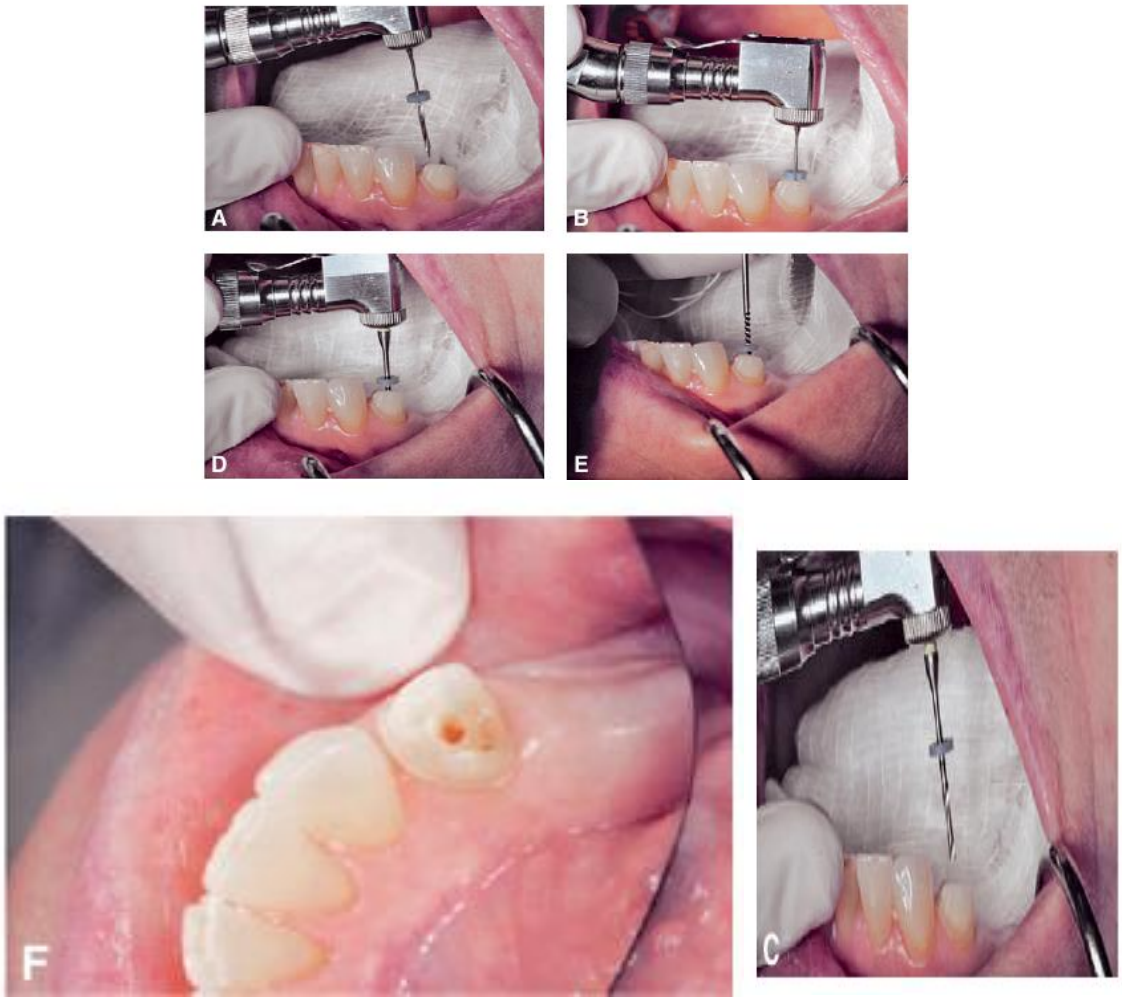
3.2.1. مراحل تحضير السن لاستقبال القلوب والأوتاد (Steps of Tooth Preparation):

تشمل مراحل تحضير الأسنان لاستقبال القلوب والأوتاد ثلاث مراحل أساسية، وهي تبدأ بإزالة المادة الحاشية من القناة الجذرية، ويتلوها توسيع القناة لاستقبال القلب، وتنتهي بتحضير النسج السنية التاجية. حيث وقبل البدء بتحضير السن لاستقبال نظام القلب والوتد يجب على الطبيب المعالج ضمان الحشو الكامل والكافي للقناة الجذرية، وذلك لتحقيق الختم الجانبي الجيد للأقنية اللبية الجانبية، والتي يجب التأكد من ختمها التام لضمان نجاح المعالجة التعويضية. وبعد التأكد من الختم الكامل والدقيق للقناة الجذرية يمكن للطبيب أن يبدأ بتفريغ المادة الحاشية، والتي عادة ما تكون الكوتابيركا. ويمكن للطبيب أن يستعمل إحدى تقنيتين في إزالة المادة الحاشية، حيث يمكن استعمال المكثفات اللبية المُحماة (Warmed endodontic pluggers)، أو الأدوات الدوارة (Rotary instruments)، بالمشاركة مع المُحلات الكيميائية في بعض الحالات (Chemical Agent). ويجب على الطبيب تفريغ طول كافٍ من المادة الحاشية للسماح للوتد بالحصول على الثبات الكافي، ولكن دون الإضرار بالختم الذروي للقناة، وكقاعدة عامة فيجب أن يكون الوتد بطول التاج السريري، أو بطول ثلثي القناة الجذرية، على أن يترك الطبيب 5 ملم من المادة الحاشية في المنطقة الذروية للحفاظ على الختم الذروي (ويمكن أن يترك الطبيب 3 ملم من المادة الحاشية في المنطقة الذروية في الأسنان القصيرة) (الشكل 8) (Wang et al., 2019).



الشكل (8): يوضح مراحل إزالة المادة الحاشية من القناة اللبية (Faria, Rodrigues, de Almeida Antunes, de Mattos, & Ribeiro, 2011).

يتلو عملية تفريغ القناة الجذرية من المادة الحاشية عملية تحضير القناة الجذرية لاستقبال الوتد الجذري، حيث يختلف تحضير القناة بحسب نوع الوتد المستعمل، بحيث تمتلك الاوتاد مسبقة الصنع، والأوتاد الراتنجية المدعمة بالألياف سنابل خاصة لتحضير القناة نكون مرفقة بالأوتاد، أما الأوتاد المصبوبة فيجب على الطبيب توسيع القناة الجذرية ليسمح بوجود قطر كافٍ من مادة الوتد لتكون قادرة على تحمل الجهود المطبقة، حيث يجب أن يكون قطر الوتد المستعمل ثلث قطر الجذر، وتستعمل السنابل الدوارة في تحضير الأقنية الجذرية لتأمين سطوح عاجية ملساء وخالية من نقاط التثبيت، فضلاً عن كون جدرانها أقرب ما تكون إلى التوازي دون وجود ميلان في أحد الجدران، ويوضح الشكل 9 مراحل تحضير القناة لاستقبال الوتد (Wang et al., 2019).



الشكل (9): يوضح مراحل تحضير القناة لاستقبال الوتد الجذري (Rosenstiel et al., 2006).

4.2.1. مراحل صنع القلوب والأوتاد (Fabrication of Post and Cores):

يمكن أن تصنع أنظمة القلوب والأوتاد الإفرادية (Custom-Made) من المعادن المصبوبة، أو الزيركونيا، أو بتقنية التصميم والتصنيع المقاد حاسوبياً (CAD-CAM). ويمكن أن تصنع القلوب والأوتاد المعدنية المصبوبة بطريقة مباشرة (Direct pattern fabrication) ضمن فم المريض، أو بطريقة غير مباشرة (Indirect pattern fabrication) في المخبر السني. وينصح باستعمال التقنية المباشرة باستعمال راتنج متصلب ضوئياً أو كيميائياً عند ترميم الأسنان وحيدة القناة ذات حالة سريرية جيدة، بينما ينصح باستعمال التقنية غير المباشرة في حالات الأسنان المتعددة المتجاورة، والتي لا يكون محور إدخالها المشترك واضحاً (de Andrade et al., 2023).

في التقنية غير المباشرة لصنع القلب والوتد المصبوب يقوم الطبيب بأخذ طبعة باستعمال مادة طابعة ذات لزوجة منخفضة مع تطبيق وتد راتنجي لمنع تشوع وتمزق المادة الطابعة ضمن القناة. حيث يجب القيام باختيار الوتد الراتنجي المناسب بحيث يتوضع ضمن القناة مع وجود مسافة كافية للمادة الطابعة، بحيث يكون الوتد أصغر بقياس أو قياسين من قناة المحضرة، وبعد اختيار الوتد المناسب. يجب إجراء تبعيد حواف اللثة باستعمال خيوط التبعيد اللثوي، ثم إجراء ترطيب للقناة وذلك للتأكد من عدم التصاق المادة الطابعة بجدرانها وتمزق المادة الطابعة، ثم يتم ملئ القناة باستعمال المادة الطابعة واستعمال البوربات في توزيع المادة الطابعة على جدران القناة بالتساوي، ثم يتم إدخال الوتد الراتنجي ثم يتم ملئ الجزء التاجي من القناة بالمادة الطابعة، ويجرى وضع المادة الطابعة على كامل أجراء السن المحضرة، وبالتوازي يملأ الطابع المناسب بالمادة الطابعة القاسية، وتؤخذ الطبعة للسن المحضرة (الشكل 10) (Fathi et al., 2022).

يقوم المخبر السني بعدها بإجراء صب للطبعة والقيام بتصميم القلب والوتد من الشمع، وتطبيق تقنية الشمع الضائع لصب القلب والوتد المعدني، ويرسل القلب والوتد المعدني المصبوب لإجراء التجربة السريرية ضمن العيادة السنية، وتلي هذه المرحلة تصميم التعويض الدائم المستند على السن الداعمة والقلب والوتد المعدني فوقها، وتصنع ضمن المخبر السني بالاعتماد على المادة المختارة للتعويض، والتي غالباً ما تكون من الخزف المرتبط على المعدن، وخاصة عند تطبيق القلب والوتد المعدني المصبوب على الأسنان الخلفية (الشكل 12) (Rosenstiel et al., 2006).

5.2.1. القلوب والأوتاد المصنوعة بتقنية الطباعة الليزرية ثلاثية الأبعاد (3D Printed Post and Cores):

تُعد صناعة القلوب والأوتاد المعدنية باستعمال تقنية الشمع الضائع، والمعروفة باسم القلوب والأوتاد المعدنية المصبوبة المعيار الذهبي في تصنيع أنظمة القلوب والأوتاد السنية، وهي التقنية المستعملة منذ بدء تطوير القلوب والأوتاد المعدنية. وفي السنوات الأخيرة، ظهرت تقنية تصنيع معدنية حديثة تعتمد على استعمال شعاع الليزر في صناعة التعويضات المعدنية، وهي تُعرف باسم الطباعة الليزرية ثلاثية الأبعاد، وهي تعتمد على تقنية الإذابة الليزرية الانتقائية ((Selective Laser Melting (SLM) في صناعة القلوب والأوتاد الإفرادية (Custom Post and Core Systems)، وذلك عن طريق تطبيق ليزر عالي الطاقة (High-powered Laser) وذلك لصهر حبيبات المعدن وتشكيل بنية معدنية صلبة وكتيمة. وتتميز تقنية الإذابة الليزرية الانتقائية بقدرتها على تشكيل أنظمة القلوب والأوتاد وحيدة القطعة ((Monolithic (One-piece) وذات التصاميم المعقدة (Gutiérrez, Guerrero, & Baldion, 2022).

وتُعرف تقنية الإذابة الليزرية الانتقائية علمياً على أنها عملية صهر انتقائي ودقيق لحبيبات معدنية تسمح بتصليب المعدن على شكل طبقات متتالية صغيرة الحجم، وذلك تحت حرارة عالية مضبوطة تنتج عن استعمال

شعاع ليزري عالي الاستطاعة بهدف الحصول على بنية معدنية متجانسة، وذات خواص ميكانيكية عالية الجودة. وتشمل هذه التقنية في التصنيع ثلاث مراحل متتالية (Al-Qarni, 2022):

1. التصميم الرقمي ((Pre-Processing (Digital Acquisition and Design Optimization).
2. التحام المعدن باستعمال الليزر عالي الاستطاعة (Laser-Induced Consolidation).
3. المعالجة النهائية (Post-Processing).

أولاً: التصميم الرقمي ((Pre-Processing (Digital Acquisition and Design Optimization).

تبدأ العملية بالحصول على تمثيل حقيقي ومطابق لواقع القناة الجذرية والسن الداعمة بعد التحضير لاستقبال القلب والوتد، ويتم ذلك باستعمال المسح الرقمي داخل الفموي (Intra-Oral 3D Scan) للحصول على الطبعة الرقمية، أو باستعمال تقنيات أخذ الطبعة الفموية التقليدية عن طريق المطاط السني، ثم إجراء مسح ثلاثي الأبعاد للطبعة، وذلك بهدف الحصول على الطبعة الرقمية ثلاثية الأبعاد. تُحفظ بيانات المسح رقمي ثلاثي الأبعاد بصيغة (STL)، وتستعمل برمجيات التصميم الرقمية ((Computer Aided Design (CAD) لتصميم بنية القلب والوتد المعدني المتوافقة مع معايير التصميم المذكور سابقاً، لتحقيق الثبات، والدعم، والاستقرار الكافيين لإعادة تأهيل السن الداعمة لاستقبال التعويض النهائي. وبعد الانتهاء من هذه المرحلة ينتقل بعدها المصنّع إلى مرحلة ضبط الإعدادات اللازمة لطباعة القلب والوتد بالمواصفات المناسبة، بحيث يجب ضبط ثخانة الطبقة الواحدة خلال عملية الطباعة (Layer deposition thickness) والتي تكون بسماكة 20 – 50 ميكرون، فضلاً عن تباعد خطوط المسح (Scan Line Spacing)، والتزوي الفراغي ثلاثي الأبعاد للبنية المطبوعة (Orientation) والتي تكون عادة 45 درجة مئوية لخفض التشوه قدر الإمكان. ثم يتم بعدها انتقاء مادة الطباعة التي ستستعمل في صناعة القلب والوتد المعدني، وعادة ما تستعمل خلائط الكروم كوبالت ((Cobalt-Chromium (Co-Cr) لما لها من خواص ميكانيكية عالية الجودة، فضلاً عن مقاومة الاهتراء الجيدة. كما تستعمل في بعض الحالات خلائط التيتانيوم (Titanium 6Al-4V) والتي تتمتع بتقبلها الحيوي العالية، وانخفاض كثافتها ووزنها. ويقوم

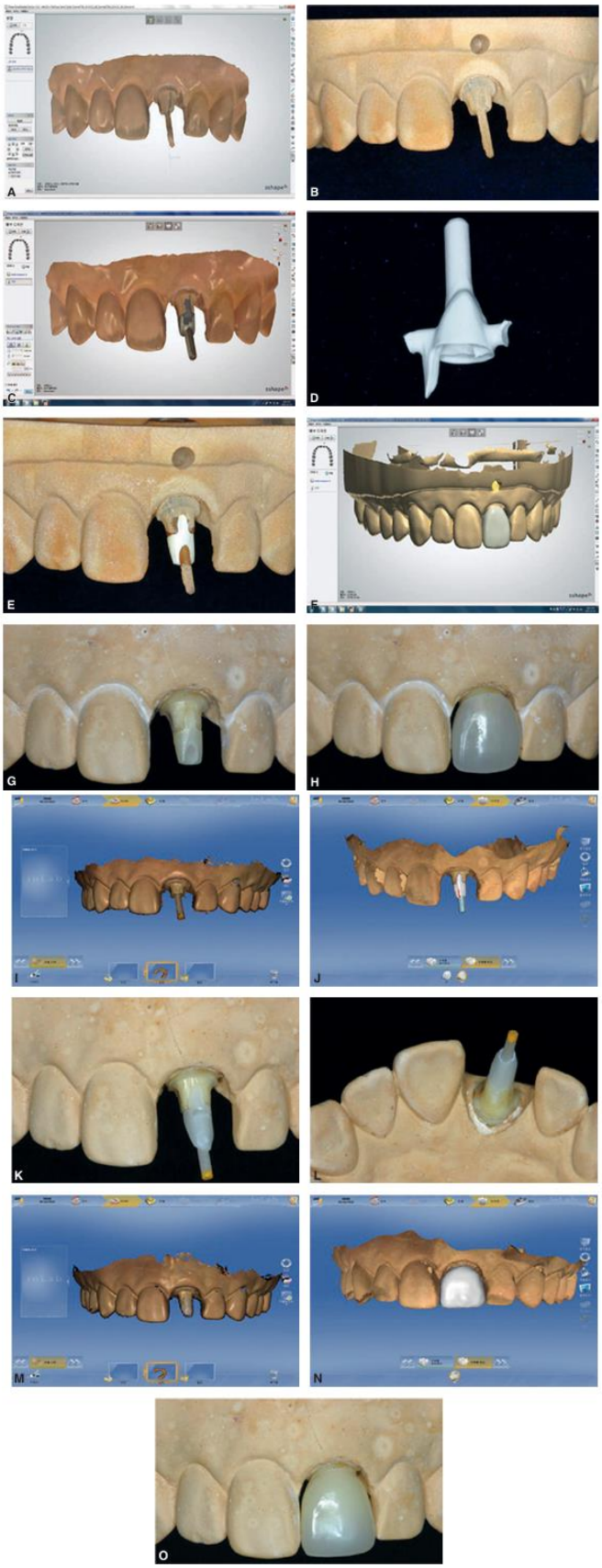
المصنع أيضاً باختيار حجم حبيبات المسحوق المعدني المستعملة والتي تتراوح بين 10 – 45 ميكرون، وذلك لضمان الالتحام المتجانس للحبيبات خلال عملية الطباعة (Ajamloo, Ibrahim, & Sergeant, 2024).

ثانياً: التحام المعدن باستعمال الليزر عالي الاستطاعة (Laser-Induced Consolidation):

تبدأ هذه المرحلة بالتوزيع المتجانس للمسحوق المعدني في حجرة كتيمة مملوءة بغاز خامل كيميائياً، كغاز الآرغون، أو النتيروجين، وذلك لمنع التآكل التأكسدي (Oxidative Degeneration) خلال عملية صهر المعدن. تبدأ عملية الطباعة بتحضير الطبقة الأولى من المسحوق المعدني، وذلك باستعمال ليزر اليتربيوم (ytterbium) المحمول باستعمال الألياف الضوئية بطاقة بين 200 – 500 واط، وطول موجة 10.07 ميكرومتراً، وتسليطه على كامل الطبقة بإجراء مسح واحد يرفع درجة حرارة المسحوق المعدني إلى 1700 درجة مئوية، مما يؤدي لتسييل حبيبات المعدن وبدئ عملية الصهر. وتبدأ عملية الطباعة طبقة تلو الأخرى بناء على الطبقة الأولى، بحيث يتحرك ليزر الطباعة بسرعة عالية تصل إلى 700 – 1200 ملم في الثانية الواحدة وذلك للمحافظة على المعدن في حالة الانصهار حتى انتهاء طباعة الطبقة والانتقال للطبقة التالية. وتنتهي الطباعة بالحصول على بنية معدنية كتيمة، ومتجانسة، تحمل الصفات الشكلية والحجمية للقلب والوتد المصمم سابقاً (Ajamloo et al., 2024).

ثالثاً: المعالجة النهائية (Post-Processing):

بعد الانتهاء من طباعة البنية المعدنية، يتم المحافظة على القلب والوتد المطبوع ضمن الحجرة المغلقة ليبرد بشكل تلقائي حتى الوصول إلى مرحلة الاعتدال الحراري، وتجري خلال هذه المرحلة إزالة بقايا مسحوق الطباعة من الحجرة، وذلك لإعادة استعمالها في طباعة بنى معدنية أخرى، وتعمل تقنية التبريد البطيء للمعدن على تقليل تجمع الجهود الداخلية ضمن البنية المعدنية، مما يحسن من الخواص الميكانيكية، ويقلل من التشوه التالي للطباعة. يتم بعدها إزالة البنية المعدنية من حجرة الطباعة، ويجري فحص البنية باستعمال التصوير الشعاعي لضمان التجانس الداخلي، وعدم وجود تصدعات أو فراغات بنيوية (Ajamloo et al., 2024).



الشكل (10): يوضح مراحل تصميم وطباعة القلب والوتد المعدني، والتعويض النهائي فوقه

.(Davidovich, Shay, Nuni, & Mijiritsky, 2020)

3.1. الدِّراسات السابقة (Previous Studies):

قيمت دراسة الباحثين (Hendi, Moharrami, Siadat, Hajmiragha, & Alikhasi, 2019) والتي قيمت استعمال كل من التقنية التقليدية، والتقنية الرقيمة في تصميم وتصنيع القلوب والأوتاد وذلك من حيث وجود أو غياب الفجوة الذروية، وقد شملت عينة الدراسة ثلاثين سناً رحوية سفلية مقلوعة حديثاً، حيث أجري للأسنان المعالجة اللبية المناسبة، وتحضير القناة الجذرية لاستقبال الوتد المعدني، فضلاً عن تحضير الجزء التاجي لاستقبال القلب المعدني، وأخذت طبعة الأسنان باستعمال المطاط المخصص لأخذ الطبعات السنية السريرية، وأجري مسح للطبعة رقمياً للحصول على نسخة مطابقة استعملت في تصميم القلب والوتد المعدني المنوع باستعمال الطباعة ثلاثية الأبعاد، وقد خلصت نتائج الدراسة إلى أن القلوب والاوتاد المصنوعة باستعمال تقنية الشمع الضائع كان أكثر دقة، وأفضل انطباقاً فضلاً عن غياب وجود الفجوة الحفافية بالمقارنة مع القلوب والأوتاد المصنوعة باستعمال الطباعة ثلاثية الأبعاد. ويمكن أن يعزى سبب الاختلاف في النتائج إلى تضمين الباحثين للأسنان الخلفية السفلية متعددة الجذور، وذلك نظراً لتعقيد البنية التشريحية لهذه الأسنان، فضلاً عن المعيقات المتعددة التي قد تمنع مادة القلب والوتد من الحصول على مدخل تاجي مناسب للوصول إلى كامل طول القناة دون إعاقة.

قيمت دراسة الباحثين (Basha, Bhuyan, Basha, Venkaiah, & Sankar, 2020) قيم الطباعة المعدنية ثلاثية الأبعاد في تصنيع القلوب والأوتاد المعدنية، حيث شملت هذه الدراسة مراجعة أدبية للمنشورات الطبية المتعلقة بالموضوع قبل العام 2020، وقد شملت عدداً كبيراً من الدراسات التي تفاوتت في تقييمها لتقنية الطباعة المعدنية ثلاثية الأبعاد في تصنيع التعويضات السنية الثابتة، وفيما يتعلق بالقلوب والأوتاد، خلصت نتائج الدراسة إلى أن استعمال تقنية الطباعة المعدنية ثلاثية الأبعاد أعطت نتائج انطباق داخلي ممتاز مع جدران القناة الجذرية المحضرة.

قيمت دراسة الباحثين (Alqarni et al., 2022) والتي قيمت استعمال الطباعة ثلاثية الأبعاد في صنع أنظمة القلوب والأوتاد، وقد شملت العينة المخبرية خمسة عشر سناً وحيدة الجذر، أجري لها المعالجة اللبية،

وتحضير القناة لاستقبال الوتد، فضلاً عن تحضير البنية التاجية لاستقبال القلب، وأجري كما في الدراسات السابقة أخذ الطبعة باستعمال مطاط أخذ الطبعات السنية، ثم أجري مسح للطبعة للحصول على نسخة الكترونية جاهزة لتصميم نظام القلب والوتد. بعد الانتهاء من تصميم وطباعة نظام القلب والوتد، قيم الباحثون انطباقها على السن المحضرة، وقد خلصت نتائج الدراسة إلى أنَّ استعمال الطباعة ثلاثية الأبعاد لتصنيع القلب والوتد أدى إلى الحصول على انطباق جيد عند الإلصاق.

قيمت دراسة الباحثين (Mehta, Paul, Shivkumar, Dube, & Pandey, 2023) والتي قيمت كلا من القلوب والأوتاد المعدنية التقليدية المصبوبة باستعمال تقنية الشمع الضائع، والقلوب والأوتاد المعدنية المصنوعة باستعمال الطباعة المعدنية الليزرية ثلاثية الأبعاد، حيث شملت عينة الدراسة خمسة عشر سناً وحيدة الجذر مقلوعة حديثاً، وأجريت المعالجة اللبية المناسبة لهذه الأسنان، فضلاً عن تحضير القناة الجذرية والجزء التاجي من السن لاستقبال القلوب والأوتاد، وقد خلصت نتائج الدراسة إلى أن استعمال القلوب والأوتاد المصنوعة باستعمال الطباعة المعدنية ثلاثية الأبعاد قدمت نتائج أفضل من حيث وجود أو غياب الفجوة الذروية بالمقارنة مع القلوب والأوتاد التقليدية المعدنية المصبوبة باستعمال تقنية الشمع الضائع.

وقيمت أيضاً دراسة الباحثين (Piangsuk, Dawson, El-Kerdani, & Lindquist, 2023) دقة انطباق مجموعة من تقنيات تصنيع القلب والوتد المعدني، حيث شملت عينة الدراسة ثلاثة عشر سناً مقلوعة وحيدة الجذر، وقد أجري لها المعالجة اللبية، والتحضير القنيوي، ثم أجري التحضير التاجي لاستقبال القلب المعدني، وأجريت طبعة باستعمال مطاط أخذ الطبعات السنية، وحضرت القلوب والأوتاد لكل سن باستعمال تقنية الصب بالشمع الضائع، والطباعة ثلاثية الأبعاد، وقد خلصت نتائج الدراسة إلى أن القلوب والأوتاد المطبوعة باستعمال الطباعة ثلاثية الأبعاد، حققت نتائج جيدة من حيث دقة الانطباق بالمقارنة مع المعيار الذهبي وهو القلب والوتد المصبوب.

كما وقد قيمت دراسة الباحثين (Öge, Küden, & Ekren, 2024) والتي قيمت استعمال الطباعة ثلاثية الأبعاد في صناعة القلوب والأوتاد السنية، حيث شملت عينة الدراسة المخبرية خمسة عشر سناً وحيدة الجذر قلعت لأسباب تقويمية، أو تعويضية، وأجري لها المعالجة اللبية، وتحضير المساحة القنوية لاستقبال الوتد المعدني، ثم تبع ذلك بتحضير البنية التاجية لاستقبال القلب المعدني، وأجريت الطبعة باستعمال مطاط أخذ الطبعات السنية، ثم أجري مسح الطبعة باستعمال جهاز المسح الالكتروني للحصول على نسخة إلكترونية من الطبعة لتصميم القلب والوتد المعدني، وقد خلصت نتائج الدراسة إلى أنَّ استعمال الطباعة ثلاثية الأبعاد لصناعة القلب والوتد المعدني أدى إلى الحصول على نتائج جيدة فيما يتعلق بانطباق نظام القلب والوتد على السن المحضرة.

قيمت المراجعة المنهجية التي قام بها الباحثون (de Melo–Soares, Yi, Dos Reis, & da Costa Valente, 2025) والتي شملت الأدبيات الطبية المنشورة قبل عام 2024، وذلك لتقييم تأثير مادة القلب والوتد، فضلاً عن تقنية التصنيع المتبعة على الانطباق الداخلي بين الوتد المعدني، وجدران القناة المُحضرة، وقد شملت هذه المراجعة أربعة عشر ورقة بحثية وافقت معايير قبول المراجعة المنهجية، وقد خلصت نتائج الدراسة إلى أن استعمال التقنيات الرقمية أو التقنيات الهجينة (الرقمية التقليدية) في صناعة القلوب والأوتاد المعدنية يعطي نتائج جيدة فيما يتعلق بالانطباق الداخلي بين الوتد المعدني، وجدران القناة الجذرية المُحضرة.

يوضح الجدول الآتي الدراسات السابقة لبحثنا:

الباحث وعام الدراسة	العينة	النتيجة
de Melo-Soares et al.,) (2025	مراجعة منهجية شملت الأدبيات الطبية المنشورة قبل عام 2024	خلصت نتائج الدراسة إلى أن استعمال التقنيات الرقمية أو التقنيات الهجينة (الرقمية التقليدية) في صناعة القلوب والأوتاد المعدنية يعطي نتائج جيدة فيما يتعلق بالانطباق الداخلي بين الوتد المعدني، وجدران القناة الجذرية المُحضرة
(Öge et al., 2024)	شملت عينة الدراسة المخبرية خمسة عشر سناً وحيدة الجذر قلعت لأسباب تقويمية، أو تعويضية	خلصت نتائج الدراسة إلى أنَّ استعمال الطباعة ثلاثية الأبعاد لصناعة القلب والوتد المعدني أدى إلى الحصول على نتائج جيدة فيما يتعلق بانطباق نظام القلب والوتد على السن المحضرة، فضلاً عن مقاومة السن للانكسار
(Piangsuk et al., 2023)	شملت عينة الدراسة المخبرية ثلاثة عشر سناً مقلوعة وحيدة الجذر	خلصت نتائج الدراسة إلى أن القلوب والأوتاد المطبوعة باستعمال الطباعة ثلاثية الأبعاد، حققت نتائج جيدة من حيث دقة الانطباق بالمقارنة مع المعيار الذهبي وهو القلب والوتد المصبوب
(Mehta et al., 2023)	شملت عينة الدراسة خمسة عشر سناً وحيدة الجذر مقلوعة حديثاً	خلصت نتائج الدراسة إلى أن استعمال القلوب والأوتاد المصنوعة باستعمال الطباعة المعدنية ثلاثية الأبعاد قدمت نتائج أفضل من حيث وجود أو غياب الفجوة الذروية بالمقارنة مع القلوب والأوتاد التقليدية المعدنية المصبوبة باستعمال تقنية الشمع الضائع
(Alqarni et al., 2022)	شملت العينة المخبرية خمسة عشر سناً وحيدة الجذر	خلصت نتائج الدراسة إلى أنَّ استعمال الطباعة ثلاثية الأبعاد لتصنيع القلب والوتد أدى إلى الحصول على انطباق جيد عند الإلصاق

(Basha et al., 2020)	شملت هذه الدراسة مراجعة أدبية للمنشورات الطبية المتعلقة بالموضوع قبل العام 2020	خلصت نتائج الدراسة إلى أن استعمال تقنية الطباعة المعدنية ثلاثية الأبعاد أعطت نتائج انطباق داخلي ممتاز مع جدران القناة الجذرية المحضرة
(Hendi et al., 2019)	شملت عينة الدراسة ثلاثين سناً رحوية سفلية مقلوعة حديثاً	خلصت نتائج الدراسة إلى أن القلوب والاوتاد المصنوعة باستعمال تقنية الشمع الضائع كان أكثر دقة، وأفضل انطباقاً فضلاً عن غياب وجود الفجوة الحفافية بالمقارنة مع القلوب والأوتاد المصنوعة باستعمال الطباعة ثلاثية الأبعاد

2- أدوات البحث ومنهجيّته

(Materials and Methods)

2. أدوات البحث ومنهجيته (Materials and Methods):

1.2. تصميم الدِّراسة (Study Design):

أُجريت دراسة سريرية مقارنة ((Comparison Clinical Trial (CCT) على 16 مريضاً لديهم أسنان وحيدة الجذر متهدمة يُستطب إجراء القلب والوتد المعدني لها، حيث أُجري لكل منها نوعين من القلب والوتد مختلفين وفقاً لطريقة التصنيع، وذلك على مرضى بالغين أصحاء من مُراجعي قسم تعويضات الأسنان الثابتة في كليّة طب الأسنان – جامعة دمشق.

وثقت جميع الحالات السريريَّة أثناء العمل السريريّ، وكذلك قياس المتغيرات المدروسة حتى نهاية المعالجة.

2.2. مكان إجراء البحث (Study Setting):

أُجري هذا البحث في عيادات الدراسات العليا التابعة لقسم تعويضات الأسنان الثابتة، في كليّة طب الأسنان – جامعة دمشق.

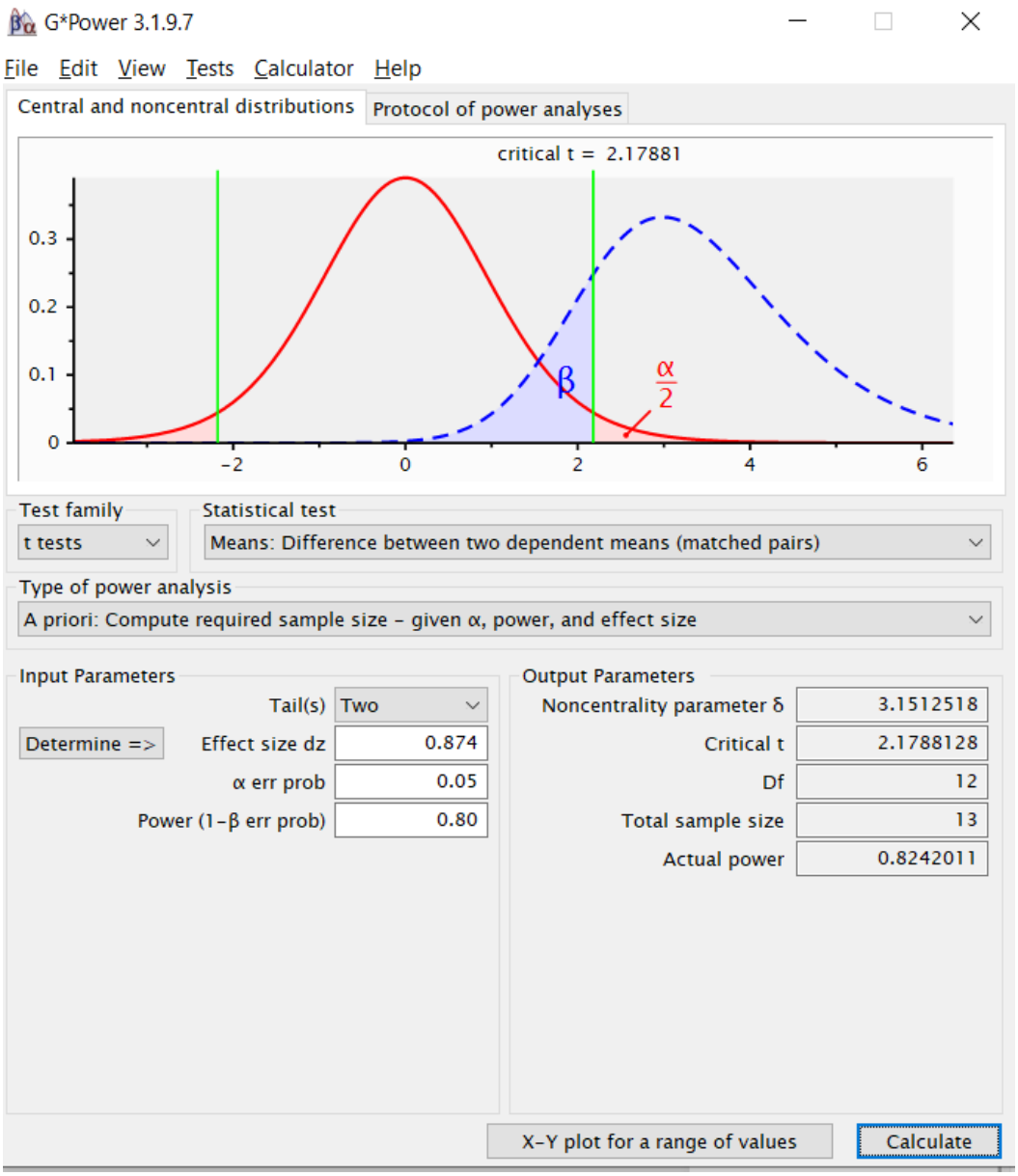
3.2. عيّنة البحث (Study Sample):

1.3.2. تقدير حجم العيّنة (Estimation of Sample Size):

تم تقدير حجم العيّنة بناءً على إحدى الدِّراسات المشابهة بافتراض حجم الأثر (Effect Size) يساوي 0.874 بالاعتماد على الفرق المتوقع سريرياً في ثخانة الفجوة الحفافيَّة بين نوعي القلب والوتد والذي يبلغ 10 ميكرون، وباستعمال أعلى انحراف معياري تم الإبلاغ عنه في الدِّراسة المذكورة وهي (Dimitrova, et al 2024) والذي بلغ 11.44 وبإدخال البيانات السابقة على برنامج (G power[1])، باستعمال اختبار (t–test – Means: Difference between two dependent means (matched pairs)).

[1] Franz Faul, University of Kiel, Germany) G power version 3.1.9.7 .

تبيّن أنّ حجم العيّنة المكوَّن من 13 مريض كان مناسباً للحصول على الخطأ من النمط الأوّل بمعدّل $\alpha = 0.05$، وقوّة الدراسة 80%، كما في الشكل الآتي:



الشكل (11): تقدير حجم العيّنة.

2.3.2. وصف عيّنة البحث (Characteristics of Study Sample):

كما لوحظ سابقاً، أنّ حجم العيّنة الكلي الأدنى هو 13 مريض؛ ولحساب نسبة انسحاب أو فقدان العيّنة المقدر 15%، تم زيادة الحجم الكلي للعيّنة ليصبح 16 مريضاً، بحيث تم لكل مريض تجربة نوعين من القلب والوتد هما:

أ- **القلب والوتد المعدني المصبوب:** تمت تجربة القلب والوتد المعدني المصبوب لدى الـ16 مريض، سُجلت المتغيرات السريرية والشعاعيَّة.

ب- **القلب والوتد المعدني المطبوع:** تمت تجربة القلب والوتد المعدني المطبوع لدى الـ16 مريض ذاتهم، سُجلت المتغيرات السريرية والشعاعيَّة.

3.3.2. معايير اختيار أفراد العينة (Selection Criteria of Sample):

1.2.3.2. معايير التضمين (Inclusion Criteria):

أُدخِل المرضى، وقبلوا في عيّنة البحث ممن توافرت فيهم الشروط الآتية:

1. سن دائمة وحيدة الجذر والقناة.
2. أن تكون القناة مستقيمة على الأقل بثلثيها التاجيين.
3. وجود 2 ملم من النسج السنية تاجياً بالنسبة لحافة اللثة (مبدأ الإحاطة).
4. أن تحقق المعالجة اللبيَّة معايير النجاح السريري والشعاعي.
5. وجود دعم عظميّ كافٍ وعدم وجود حركة في السن المُراد معالجتها.
6. عمر المريض أكبر من 18 عاماً.

2.2.3.2. معايير الاستبعاد (Exclusion Criteria):

استبعد من عيّنة البحث المرضى ذوي:

1. الأسنان ذات الجذور المتعددة أو متعددة القناة.
2. الأقنية المنحنية.
3. الأقنية المتضيقة.
4. وجود اختلاطات لبيَّة (أدوات مكسورة – انثقابات...).
5. عدم وجود دعم عظمي كافٍ (حركة سنيَّة درجة II أو أكبر).
6. كسور أو تصدعات في الجذور.
7. وجود مرض حول سني فعّال أو آفة ذروية.

4.2. مواد البحث (Research Materials):

1.4.2. أدوات العمل السريريّ (Clinical Procedure Instruments):

أولاً – أدوات الفحص السريريّ، والتشخيص:

1. المرآة السنيَّة.
2. الملقط التشريحي.
3. السابر السنيّ.

ثانياً – أدوات تهيئة موقع العمل:

1. فاتح فم بلاستيكي.
2. شانة مريض.
3. لفافات قطنيَّة.
4. ماصة لعاب بلاستيكيَّة.

ثالثاً – مواد أخذ الطبعة الأوليَّة:

1. مادة الألجينات (Cavex).
2. مكاييل (مكيال أسطواني بلاستيكي للماء، ومكيال بلاستيكي ملعقي الشكل لمسحوق الألجينات).
3. كجّة مطاطيَّة، وملوق معدني متين وعريض.
4. طوابع جاهزة (بلاستيكيّة أو معدنيَّة).
5. محلول مطهر رذاذ (هيبوكلورايد الصوديوم (0.05))، وكيس بلاستيكي.

6. جبس أصفر لصب الطبعة.

رابعاً – أدوات تحضير القلب والوتد:

- **التحضير التاجي:**

1. قبضة مكروتور ذات سرعة بطيئة.
2. سنبلة كروية للمكروتور لتجريف العاج ذات قطر 0.5 ملم.
3. قبضة توربينية ذات سرعة عالية مزوَّدة بتبريد هوائي مائي.
4. سنابل ماسية مخروطيَّة مدوَّرة الرأس، وشاقة، وكروية (قطر رأس السنبلة 0.5 ملم).

- **التحضير الجذري:**

5. سنابل البيزو (Pezo) ذات الرأس غير العامل بقياس (2 و3) (Mani, Japan).
6. المصل الفيزيولوجي.
7. مبارد (H–File) (Rogin dental, China).

الشكل (12): سنابل البيزو.

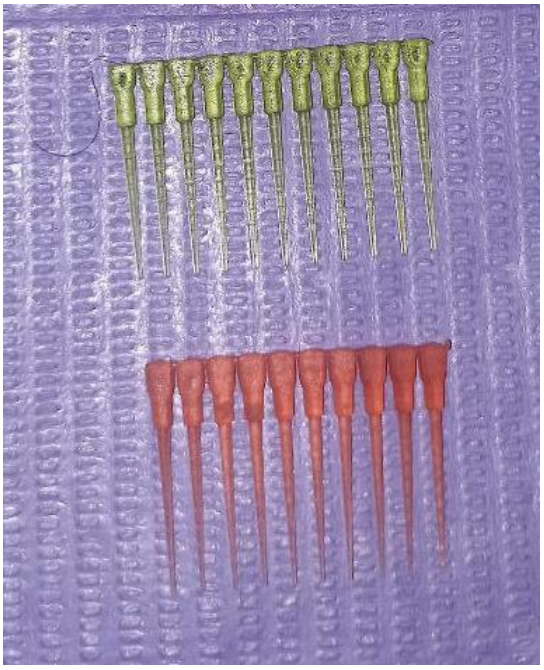
الشكل (13): مبارد (H–File.)

خامساً – مواد كشف الحد العنقي، وأخذ الطبعة النهائيَّة، وتصنيع التعويض المؤقت:

1. خيط قطني مشرَّب بالأدرينالين بقياس (00) أو (000) حسب حجم الميزاب اللثويّ.
2. أداة دك خيط كشف الحد العنقي.
3. مطاط السيليكون الإضافي (بنوعيه الكثيف والرخو) (Kromopan, Italy).
4. بوربات.
5. أوتاد بلاستيكيَّة.
6. طوابع بلاستيكيَّة.
7. شمع.
8. الأكريل المؤقت ذاتي التصلب.
9. إسمنت أكسيد الزنك والأوجينول.
10. دليل ألوان (VITA) لاختيار لون التاج النهائي.

الشكل (14): المطاط الكثيف والرخو.

الشكل (15): البوربات المستعملة في البحث.

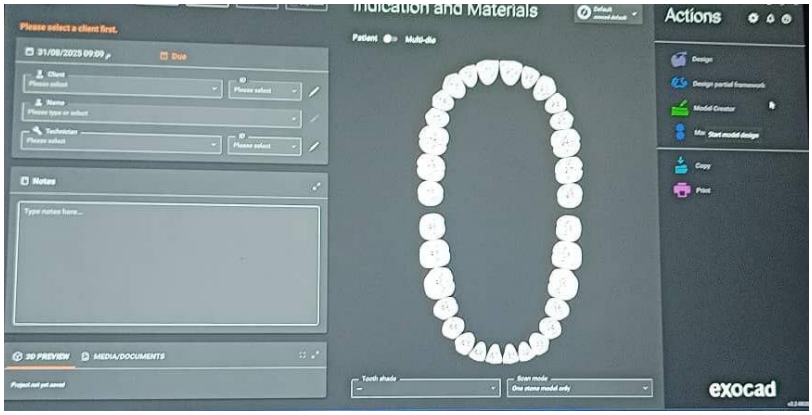


الشكل (16): الأوتاد البلاستيكيَّة بقياسات مختلفة المستعملة في البحث.

سادساً – تصنيع العوض النهائي:

1. الماسح خارج الفموي (Aidite, A-15 Pro China).
2. جهاز التصميم بمساعدة الحاسوب (CAD) والتصنيع بمساعدة الحاسوب (CAM) المعروف باسم جهاز الطباعة ثلاثية الأبعاد بتقنية الإذابة بالليزر الانتقائي (Riton dual-150).
3. البرمجيّات (Software) المتعلقة بتصميم القلب والوتد (Exocad).

الشكل (17): الماسح ثلاثي الأبعاد (Aidite, A-15 Pro China) في الأعلى، وجهاز الإذابة بالليزر الانتقائي في الأسفل (Riton dual-150).



الشكل (18): برنامج التصميم المستعمل.

سابعاً – مواد الإلصاق النهائي:

1. لفافات قطنيَّة مع ماصات لعابية بلاستيكيَّة لتحقيق عزل تام للمنطقة.

2. إسمنت فوسفات الزنك المكوّنة من سائل أكسيد الزنك + بودرة فسفات الزنك.

الشكل (19): إسمنت فوسفات الزنك.

2.4.2. أدوات الدِّراسة السريريَّة (Clinical Study Instruments):

1. مطاط إضافي بلونين مختلفين.
2. سابر سني.

3.4.2. أدوات الدِّراسة المجهريَّة (Microscopic Study Instruments):

1. المجهر الضوئي (Olympus MPI an FL N, Japan).
2. نوعين من المطاط الإضافي الرخو مختلفين عن بعضهما باللون.
3. فرد الحقن.
4. حنجور مكعب الشكل.
5. شفرة جراحية.
6. حامل شفرة.

الشكل (20): المطاط الرخو (بلون مختلف عن المطاط الرخو السابق).

الشكل (21): المجهر المستعمل في البحث (Olympus MPI an FL N, Japan).

4.4.2. أدوات الدِّراسة الشعاعيَّة (Radiographic Study Instruments):

1. جهاز التصوير الرقمي الحسّاس (Sensor).
2. جهاز الأشعة الحائطي.

5.2. منهجيَّة البحث (Research Methodology):

1. الاستجواب:

أُخِذت القصة السريريَّة الكاملة للمرضى المراجعين لقسم التعويضات الثابتة في كليّة طب الأسنان في جامعة دمشق بغرض إجراء قلب ووتد. متضمنةً المعلومات الشخصيَّة للمريض، والقصة المرضيَّة العامّة، والقصة السنيَّة، والقصة الاجتماعيَّة، وفقاً لاستمارة معدة خصيصاً للبحث.

2. الفحص السريريّ:

* فحص مقدار فتحة الفم، والفحص خارج الفموي للعضلات، والمفصل الفكي الصدغي.

* فحص الأنسجة الداعمة، وتحرّي المرض حول السني في حال وجوده.

* فحص موقع العمل من خلال تسجيل الآتي:

– تحديد مكان إجراء القلب والوتد (بالفك العلوي أو السفلي)، وجهته.

– التأكد من وجود 2 ملم من النسج سنية تاجي حافة اللثة.

3. الفحص الشعاعي:

* تقييم جودة المعالجة اللبيَّة.

* مقدار الدعم العظميّ.

* تحري وجود الآفات الذروية، والأكياس، وحالة الجذور والأقنية، والتأكد من عدم وجودها.

4. قبول المرضى، ودخولهم ضمن عيَّنة البحث:

1. بعد إجراء الاستجواب، والفحوصات السريريَّة، والشعاعيَّة، أُدخِل المرضى المحققون لمعايير التضمين ضمن البحث.
2. زوِّد كل مريض بمعلومات مكتوبة مع شرحها لفظيّاً عن الدراسة، وطريقة العمل، ومواعيد المتابعة المُحدَّدة.
3. أُخِذت الموافقة المستنيرة (Informed Consent) على إجراء العمل، والدخول بالبحث.

سُجلت جميع المعلومات المتعلقة بالمريض، والمعلومات التشخيصيَّة، والموافقة المستنيرة في بطاقة المرضى الموضّحة في الملاحق رقم (1)، و(2)، و(3).

❖ **مرحلة العمل السريريّ:**

1. تحضير القسم التاجي:

- تمت إزالة كافة النسج المؤوفة والميناء غير المدعومة باستعمال قبضة الميكروتور.
- أُجري التحضير التاجي لاستقبال التاج لاحقاً باستعمال قبضة التوربين بخط إنهاء شبه كتف، كما في الشكل (22).

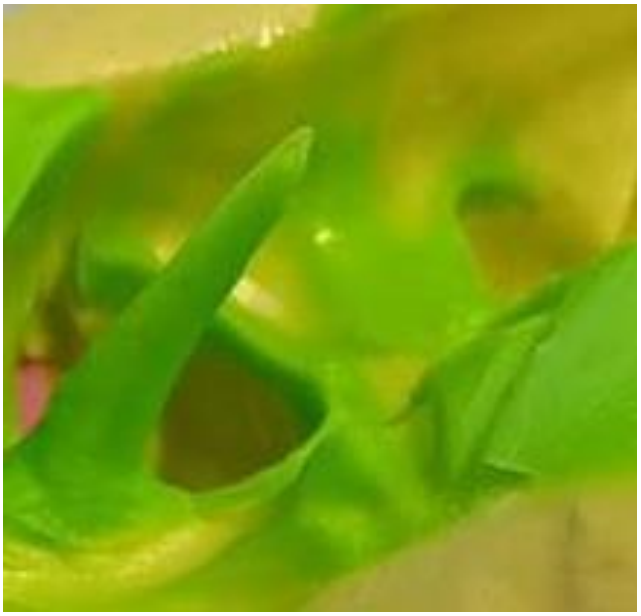
2. تحضير القسم الذروي:

- أُدخلت سنابل البيزو من أجل إزالة أقماع الكوتا–بيركا ضمن القناة، حيث تمت إزالة نحو ثلثي طول القناة، وترك الثلث الذروي (حوالِ 4 – 5 ملم) من الكوتا–بيركا.
- أُجري تنعيم الجدران وإزالة البقايا باستعمال مبارد (H) بقياس يتوافق مع قياس تحضير القناة.
- أُجري الغسل باستعمال المصل الفيزيولوجي العقيم.

الشكل (22): تحضير القسم التاجي والذروي.

3. أخذ الطبعة:

- تم دك خيط تبعيد اللثة ضمن الميزاب اللثوي.
- تمت تجربة الوتد البلاستيكي الذي ستؤخذ بوساطته طبعة القناة.
- تم تحضير المطاط الإضافي الرخو.
- تم إدخال المطاط الرخو لداخل القناة باستعمال كل من المحاقن والبوربات، ثم تم إدخال الوتد البلاستيكيّ لداخل القناة.
- تم تحضير المطاط الإضافي الرخو والكثيف وتطبيقهما ضمن الطابع، ثم أخذ الطبعة الكاملة.
- بعد تمام تصلب المطاط، وإخراج الطابع، يخرج معه الوتد البلاستيكيّ آخذاً طبعة القناة، كما في الشكل (23).



الشكل (23): أخذ الطبعة.

4. تصنيع التعويض المؤقت خلال جلسة تحضير السن:

- قبل صناعة القلب والوتد:
  - نستخدم وتد جاهز مع حشوة كومبوزيت لبناء السن كتعويض مؤقت.
- بعد الصاق القلب والوتد:
  - على مثال الدِّراسة الأولي، تم تشكيل التاج في مكان السن المُراد علاجها باستعمال الشمع.
  - ثم تم أخذ طبعة مطاط كثيف على هذا المثال بعد التشميع (إجراء الدليل السيلكوني).
  - وُضِع الأكريل المؤقت ذاتي التصلب في مكان السن المُراد معالجتها على القالب السيلكوني، ثم طُبِّق القالب داخل فم المريض ليأخذ شكل السن المُعالجة، ثم أُزيل القالب بعد تصلب الأكريل، وشُذِبت حواف التعويض المؤقت، بعدها تم إلصاق التعويض المؤقت باستعمال أسمنت أكسيد الزنك والأوجينول، مع الفازلين.

4. الإجراءات المخبريَّة:

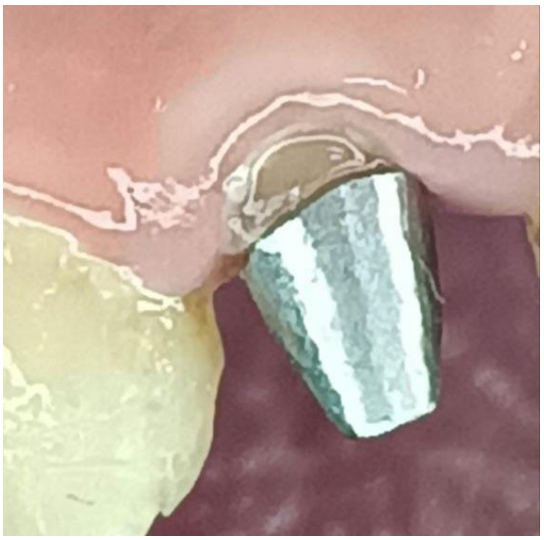
- تم إجراء مسح للطبعة الناتجة قبل صبها باستعمال الماسح خارج الفموي، من أجل تصميم القلب والوتد (باستعمال الطباعة ثلاثية الأبعاد)، وطباعته.
- ثم تم إجراء صب الطبعة، والتشميع في المخبر، من أجل تصنيع القلب والوتد المصبوب.

5. التجربة والإلصاق النهائي:

- تم التأكد من انطباق القلب والوتد باستعمال المطاط الرخو الإضافي وكذلك شعاعياً كما سيرد في الدراسة السريرية والشعاعيَّة، بحيث تم التأكد من القلب والوتد المصبوب والقلب والوتد المطبوع للمريض ذاته.
- تم إلصاق القلب والوتد المصبوب (الشكل 24)، أو القلب والوتد المطبوع (الشكل 25) باستعمال إسمنت فسفات الزنك، وذلك أعتماداً على الوتد الأكثر انطباقاً.

الشكل (24): الانطباق الشعاعي للقلب والوتد المصبوب.

الشكل (25): الانطباق الشعاعي للقلب والوتد المصنوعة بالطباعة ثلاثية الأبعاد.



الشكل (26): القلب والوتد المصبوب.

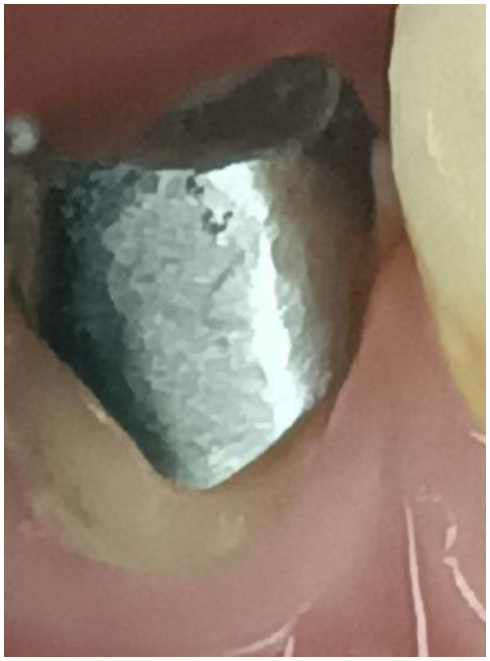
الشكل (27): القلب والوتد المطبوع.

❖ **حالة سريريَّة تظهر مراحل العمل:**

الشكل (28): تحضير القسم التاجي والذروي.

الشكل (29): أخذ الطبعة.

الشكل (30): القلب والوتد المصبوب.



الشكل (31): القلب والوتد المطبوع.

6.2. الدِّراسة السريريَّة (Clinical Study):

1.6.2. تقييم الانطباق الحفافي سريرياً (Evaluation of Clinically Marginal Integrity):

تم تقييمه باستعمال مسبر حاد في ست نقاط حول القلب (أنسي دهليزي، دهليزي، وحشي دهليزي، وحشي لساني، لساني، أنسي لساني) عبر معايير (Ryge)، وهي (Schmalz & Rage, 2005):

- Alpha: انطباق تام – لا يمكن إدخال المسبر في أي نقطة.
- Bravo: طباق غير تام طفيف – يمكن إدخال المسبر لكن بدون انفتاح واضح.
- Charlie: انفتاح واضح أو فجوة – يتطلب تصحيح أو إعادة.

7.2. الدِّراسة الشعاعيَّة (Radiographic Study):

1.7.2. تقييم الانطباق الحفافي شعاعياً (Evaluation of Radiographically Marginal Integrity):

تم تقييم جودة الانطباق الحفافيّ، وذلك باستعمال التصوير الذروي (Peri-apical X-ray) وملاحظة وجود أو غياب الاستمراريَّة بين القلب والنسج السنيَّة عند الحواف (كما في الشكلين الآتيين).

الشكل (32): القلب والوتد المطبوع.

الشكل (33): القلب والوتد المصبوب.

2.7.2. تقييم وجود أو غياب الفجوة الذرويَّة (Evaluation of Presence/Absence of Apical Gap):

تم تقييم وجود أو عدم وجود الفجوة الذروية بين الوتد والمادة الحاشية للقناة الجذريَّة (الكوتا–بيركا) على الصور الشعاعيَّة الذرويَّة.

8.2. الدِّراسة المجهريَّة (Microscopic Study):

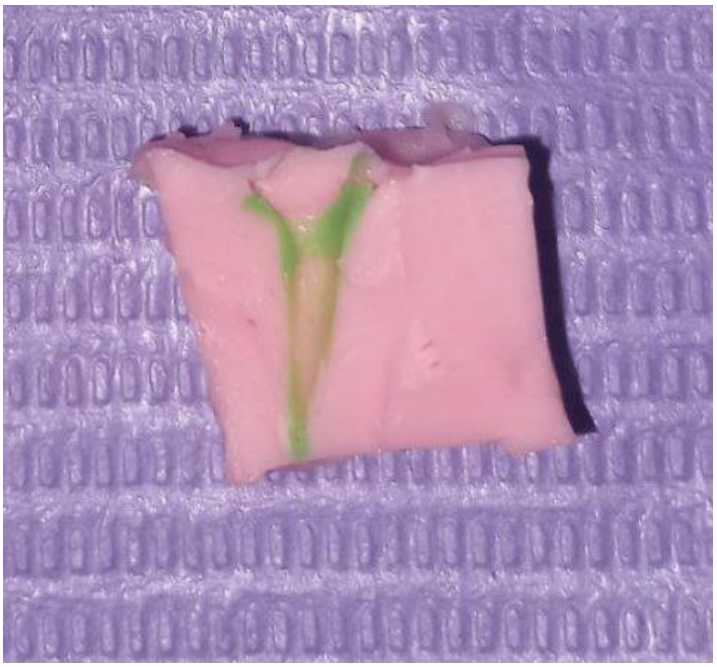
أُجريت الدِّراسة المجهريَّة بالطريقة الآتية:

1. استعملت تقنية (Silicon Replica) حيث تم إدخال المطاط الإضافي الرخو باستعمال محاقن لداخل القناة، ثم استعملت البوربات لضمان وصول المطاط الرخو للنهاية الذروية لمكان التحضير.
2. ثم أُدخِل إحدى أنواع القلب والوتد لداخل ضمن القناة الجذريَّة.
3. بعد انتظار تصلُّب المطاط، أزيل القلب والوتد بحذر شديد جداً لضمان خروج المطاط ملتصقاً بالقلب والوتد دون تمزق (الشكل 34).
4. ثم وضع مطاط إضافي رخو بلون مختلف عن لون المطاط السابق ضمن حنجور صغير مكعّب الشكل ارتفاعه يتناسب مع ارتفاع الوتد، ويوضع القلب والوتد المُزال من القناة الجذرية ضمن هذا الحنجور.
5. أعيدت الخطوات السابقة لتجربة النوع الآخر من القلب والوتد ضمن القناة نفسها.
6. ثم حُضِّرت العيّنات لدراستها تحت المجهر بطريقتين وفقاً لما يأتي:

- **الطريقة الأولى (A):**
  - تم تثبيت القطعة التي تم الحصول عليها بعد تصلب المطاط في الحنجور (قطعة مطاطيَّة مكعبة الشكل تحوي في منتصفها القلب والوتد) (الشكل 35).
  - أُجري مقطع دهليزي لساني باستعمال الشفرة الجراحيَّة الموضوعة على الحامل على كامل طول القلب والوتد (من التاجي باتجاه الذروي) (الشكل 36).

الشكل (34): إخراج القلب والوتد المصبوب (على اليمين) والمطبوع (على اليسار).

الشكل (35): قطعة مطاطيَّة مكعبة الشكل تحوي في منتصفها القلب والوتد.



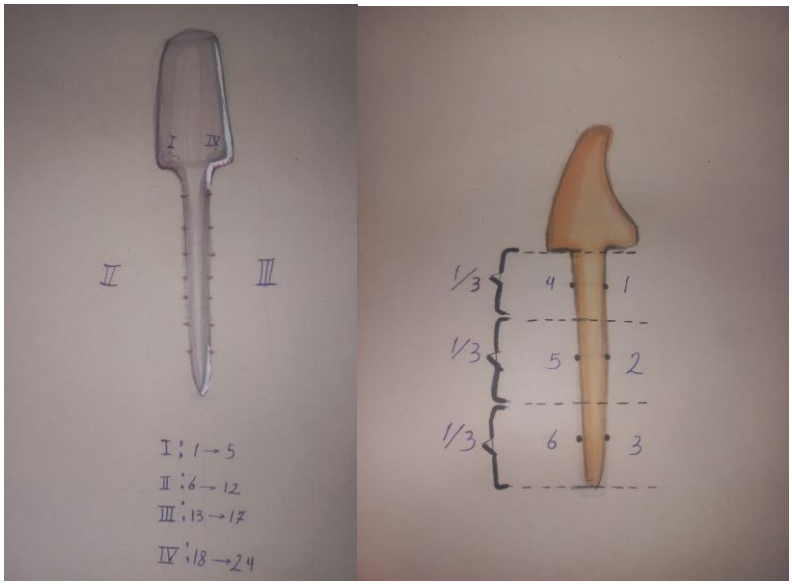
الشكل (35): مقطع دهليزي لساني باستعمال الشفرة الجراحيَّة الموضوعة على الحامل على كامل طول القلب والوتد.

- تم اختيار 6 نقطة مقسمة على ثلاث أثلاث الوتد (الثلث العنقي أو التاجي، والثلث المتوسط، والثلث الذروي)، أي كل ثلث يضم نقطتين (نقطة دهليزية، ونقطة لسانية) (الشكل 36).
- بعد إجراء مستوى القطع، وتقسيم طول الوتد إلى ثلاث أثلاث متساوية، تم أخذ في كل ثلث نقطتين باستعمال الشبكة الموجودة على المجهر، وذلك لإمكانية إجراء القياسات ذاتها على كلا نوعي القلب والوتد.

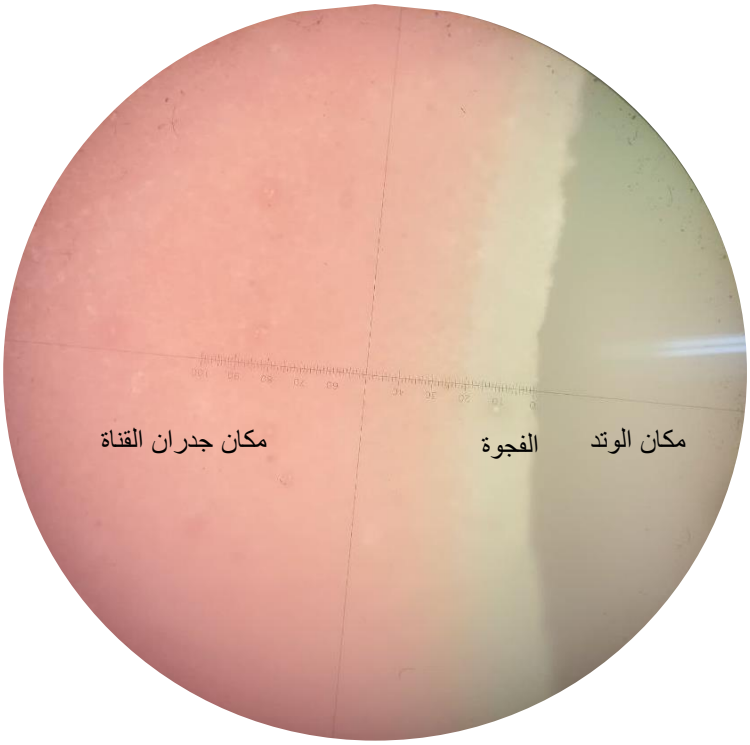
- **الطريقة الثانية (B):**

- هنا تم إجراء مقطع أنسي وحشي باستعمال الشفرة الجراحيَّة الموضوعة على الحامل على كامل طول القلب والوتد (من التاجي باتجاه الذروي) (الشكل 36).
- تم اختيار 24 نقطة على مسافات متساوية بينها توزعوا على النحو الآتي:
  - 10 نقاط على القلب: 5 من الناحية الأنسية، و5 من الناحية الوحشية.
  - 14 نقطة على الوتد: 7 نقاط من الناحية الأنسية، و7 نقاط من الناحية الوحشية.

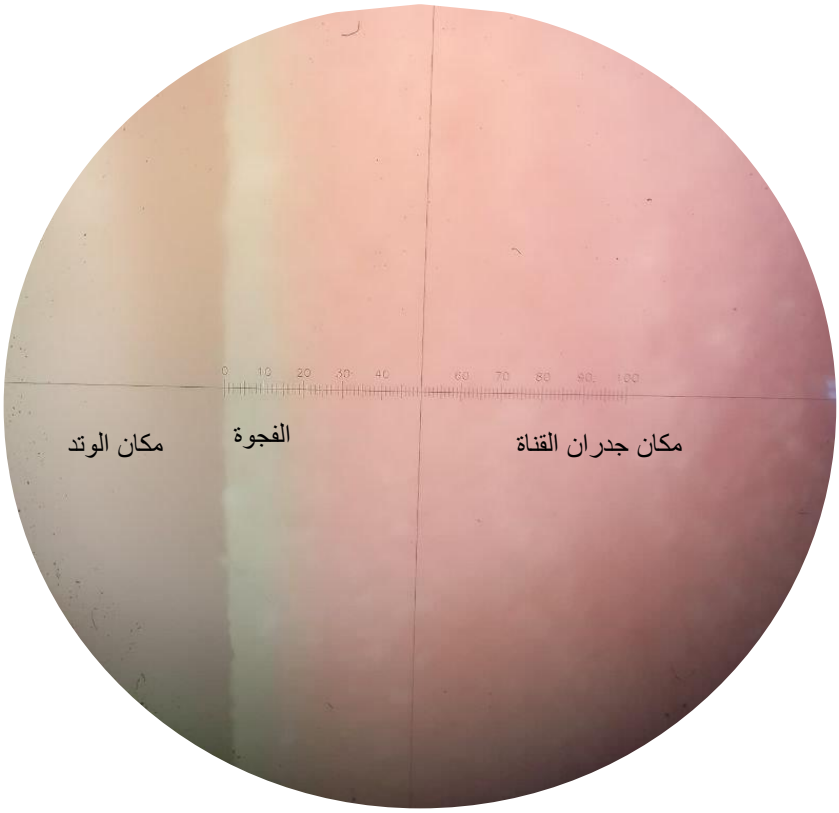
7. وضعت بعدها العينات المأخوذة تحت المجهر، ودُرِست ثخانتها.



الشكل (36): مخططات ترسيمية للنقاط المدروسة في المقطع الأنسي الوحشي (الصورة اليمنى)، والمقطع الدهليزي اللساني (الصورة اليسرى).



الشكل (37): الدراسة المجهرية للوتد المصبوب.



الشكل (38): الدراسة المجهرية للوتد المطبوع.

9.2. الدِّراسة الإحصائيَّة (Statistical Study):

1.9.2. فرضيات البحث (Research Hypothesis):

- بالنسبة للمتغيرات المعلميَّة:

فرضية العدم الأولى (H0) μ: لا توجد فروق ذات دلالة إحصائية في متوسط كل من المتغيرات المعلمية المقاسة (ثخانة الفجوة الحفافيَّة...) بين الطريقتين المدروستين.

الفرضية البديلة الأولى (H1) μ: توجد فروق ذات دلالة إحصائية في متوسط كل من المتغيرات المعلمية المقاسة (ثخانة الفجوة الحفافيَّة...) بين الطريقتين المدروستين.

- بالنسبة للمتغيرات اللامعلميَّة (الرتبية):

فرضية العدم الثانية (H0) μ: لا توجد فروق ذات دلالة إحصائية في تكرارات فئات كل من المتغيرات الرتبية المدروسة (الفجوة الحفافية سريرياً، الفجوة الذرويَّة، ...) بين الطريقتين المدروستين.

الفرضية البديلة الثانية (H1) μ: توجد فروق ذات دلالة إحصائية في تكرارات فئات كل من المتغيرات الرتبية المدروسة (الفجوة الحفافية سريرياً، الفجوة الذرويَّة، ...) بين الطريقتين المدروستين.

2.9.2. التحليل الإحصائيّ (Statistical Analysis):

بعد جمع البيانات وترتيبها ضمن جداول، استعمِل البرنامج الإحصائي SPSS الإصدار 23 لإجراء الاختبارات الآتية:

– أُجري اختبار (Kolmogorov–Smirnov): لدراسة التوزع الطبيعي لقيم كل من المتغيرات المعلمية المدروسة (ثخانة الفجوة الحفافيَّة...)، فكانت نتائج توزع القيم طبيعيّة؛ لذلك أجريت الاختبارات الآتية:

- اختبار (تحليل التباين أحادي الجانب ANOVA): لدراسة دلالة الفروق في متوسط قيم كل من المتغيرات المعلمية المدروسة بين الطريقتين المدروستين.
- اختبار (T ستيودنت للعينات المترابطة): لدراسة دلالة الفروق الثنائية بين الطريقتين.

واستخدمِت الاختبارات اللامعلميَّة الآتية:

- اختبار (Kruskal Wallis) للمقارنة في الفحوة الحفافية سريرياً، الفجوة الذرويَّة... بين المجموعتين المدروستين، وعند وجود فروق دالة، استُعمِل اختبار (Mann–Whitney U) للمقارنة الثنائية بين كل زوج من الطرق المدروسة على حدة.

3- النتائج والتحاليل الإحصائيَّة

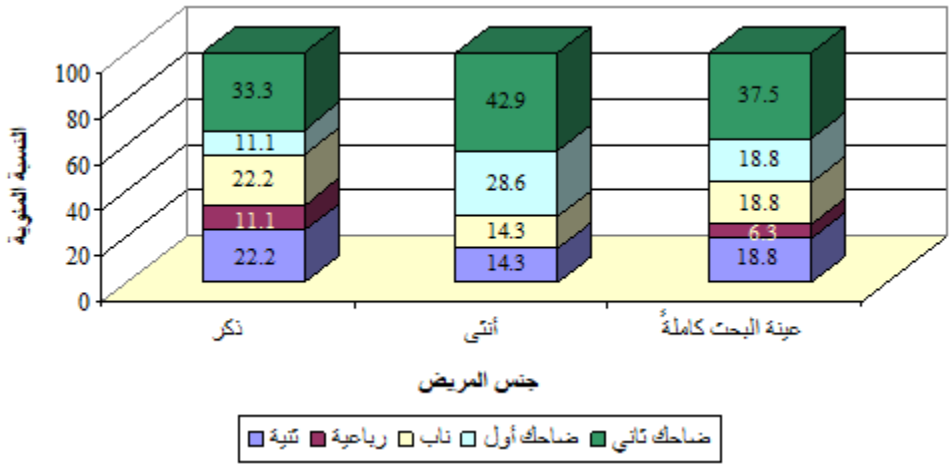
(Results and Statistical Analysis)

3. النتائج والتحاليل الإحصائيَّة (Results and Statistical Analysis):

1.3. وصف العيّنة (Sample Characteristic):

تألفت عينة البحث من 32 قلب ووتد جذري تم تصنيعها لـ 16 سناً وحيد الجذر والقناة لدى 16 مريضاً ومريضةً تراوحت أعمارهم بين 24 و40 عاماً، إذ تم تصنيع قلبين ووتدين اثنين أحدهما بتقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد والآخر بالطريقة التقليدية) لكل سن من الأسنان المدروسة في عينة البحث، فكانت القلوب والأوتاد في عينة البحث مقسمةً إلى مجموعتين رئيستين اثنتين متساويتين وفقاً لنوع القلب والوتد المدروس (قلب ووتد مصنّع بتقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد، قلب ووتد مصبوب بالطريقة التقليدية).

بلغ المتوسط الحسابي لأعمار المرضى المشاركين في البحث 32.1 ± 5.6 سنة. وبلغت نسبة المرضى الذكور في عيّنة البحث 56.3%، ونسبة المرضى الإناث في عيّنة البحث 43.8%. يُبيّن المخُطّط (1) النسبة المئوية لتوزع الأسنان في عيّنة البحث وفقاً لنوع السن المدروس وجنس المريض.

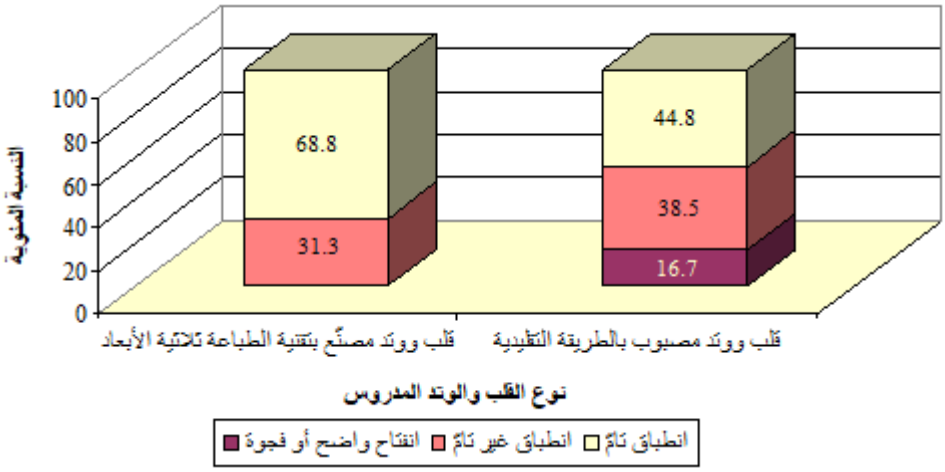


المُخطّط (1): النسبة المئوية لتوزع الأسنان في عيّنة البحث.

2.3. الدراسة التحليليَّة الإحصائيَّة (Statistical Analysis Study):

1.2.3. دراسة درجة الانطباق الحفافي سريرياً:

يُبيّن المُخطَّط (2) النسبة المئوية لنتائج الاستقصاء عن درجة الانطباق الحفافي سريرياً في عيّنة البحث وفقاً لنوع القلب والوتد المدروس. بلغ متوسط الرتب لدرجة الانطباق الحفافي سريرياً في مجموعة القلب والوتد المصبوب بالطريقة التقليدية 82.50، وفي مجموعة القلب والوتد المصنّع بتقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد 110.50. بيّنت نتائج اختبار (Mann–Whitney U) لدراسة دلالة الفروق في تكرارات درجة الانطباق الحفافي سريرياً وجود فروق دالّة إحصائياً بين المجموعتين كما في الجدول (4)، وبدراسة متوسطات الرتب السابقة نستنتج أن درجة الانطباق الحفافي سريرياً في مجموعة القلوب والأوتاد المصنّعة بتقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد كانت أعلى منها في مجموعة القلوب والأوتاد المصبوبة بالطريقة التقليدية في عينة البحث.

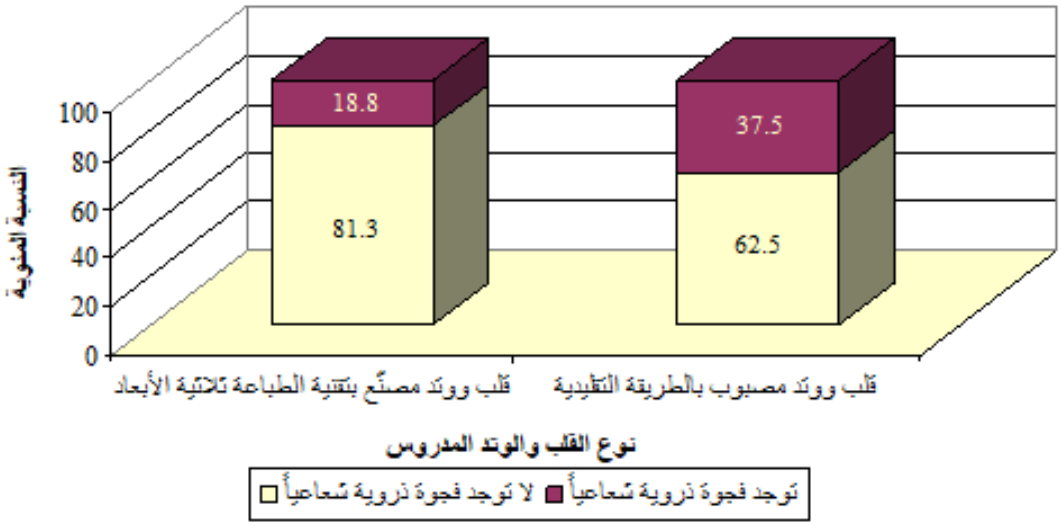


المُخطّط (2): النسبة المئوية لنتائج الاستقصاء عن درجة الانطباق الحفافي سريرياً.

الجدول (4): نتائج اختبار (Mann–Whiney U لدراسة دلالة الفروق في تكرارات درجة الانطباق الحفافي سريرياً.)		
قيمةU	قيمة مستوى الدلالة	دلالة الفروق
3264.0	0.000	توجد فروق دالة

2.2.3. دراسة وجود فجوة ذروية شعاعياً:

يُبيّن المُخطَّط (4) النسبة المئوية لنتائج الاستقصاء عن وجود فجوة ذروية شعاعياً في عيّنة البحث وفقاً لنوع القلب والوتد المدروس. بيّنت نتائج اختبار كاي مربع لدراسة دلالة الفروق في تكرارات وجود فجوة ذروية شعاعياً عدم وجود فروق دالّة إحصائياً بين مجموعة القلوب والأوتاد المصنّعة بتقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد ومجموعة القلوب والأوتاد المصبوبة بالطريقة التقليدية في عينة البحث، كما في الجدول (6).



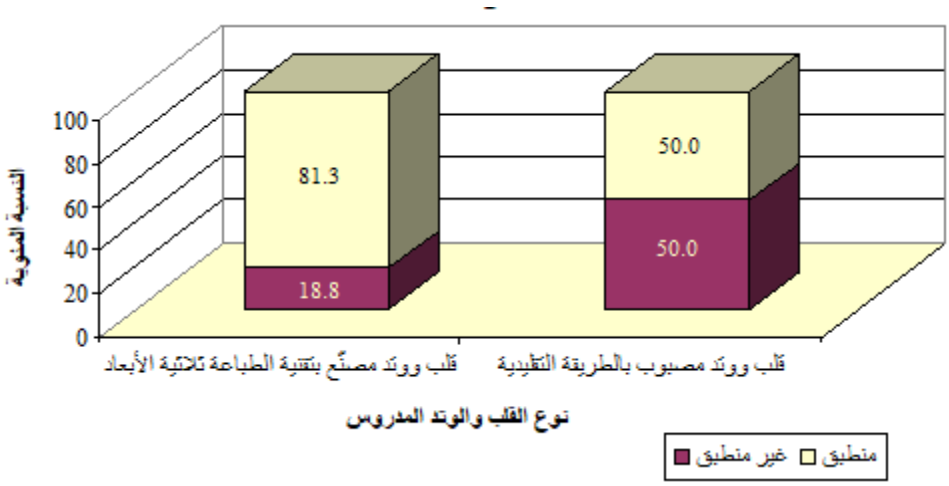
المُخطّط (4): النسبة المئوية لنتائج الاستقصاء عن وجود فجوة ذروية شعاعياً.

الجدول (6): نتائج اختبار كاي مربع لدراسة دلالة الفروق في تكرارات وجود الفجوة الذروية شعاعياً.

عدد القلوب والأوتاد	قيمة كاي مربع	درجات الحرية	قيمة مستوى الدلالة	دلالة الفروق
32	1.391	1	0.238	لا توجد فروق دالة

3.2.3. دراسة الانطباق الحفافي شعاعياً:

يُبيّن المُخطَّط (5) النسبة المئوية لنتائج الاستقصاء عن درجة الانطباق الحفافي شعاعياً في عيّنة البحث وفقاً لنوع القلب والوتد المدروس. بيّنت نتائج اختبار كاي مربع لدراسة دلالة الفروق في تكرارات درجة الانطباق الحفافي شعاعياً عدم وجود فروق دالّة إحصائياً بين مجموعة القلوب والأوتاد المصنّعة بتقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد ومجموعة القلوب والأوتاد المصبوبة بالطريقة التقليدية في عينة البحث، كما في الجدول (7).



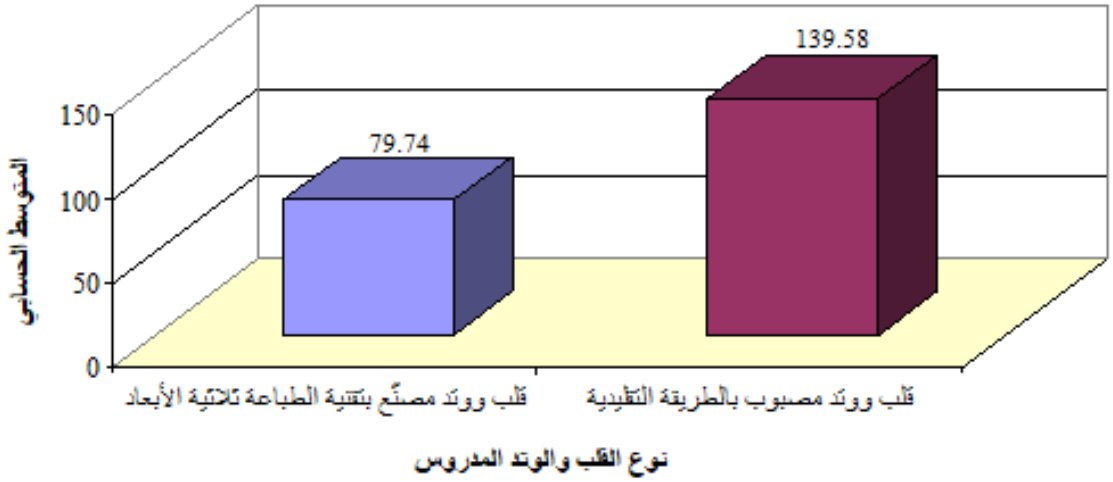
المُخطّط (5): النسبة المئوية لنتائج الاستقصاء عن درجة الانطباق الحفافي شعاعياً.

الجدول (7): نتائج اختبار كاي مربع لدراسة دلالة الفروق في تكرارات درجة الانطباق الحفافي شعاعياً.

عدد القلوب والأوتاد	قيمة كاي مربع	درجات الحرية	قيمة مستوى الدلالة	دلالة الفروق
32	3.463	1	0.063	لا توجد فروق دالة

4.2.3. دراسة مقدار الفجوة الداخلية المُقاسة بالطريقة (A):

يُبيّن المُخطَّط (6) المتوسط الحسابي لقيم مقدار الفجوة الداخلية المقاسة بالطريقة (A) (بالميكرون) في عيّنة البحث وفقاً لنوع القلب والوتد المدروس. يُبيّن الجدول (8) الإحصاءات الوصفيَّة لقيم مقدار الفجوة الداخلية المُقاسة بالطريقة (A). أُجري اختبار (T) ستيودنت للعينات المستقلة لدراسة دلالة الفروق في متوسط قيم مقدار الفجوة الداخلية المقاسة بالطريقة (A) (بالميكرون) بين مجموعة القلوب والأوتاد المصنّعة بتقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد ومجموعة القلوب والأوتاد المصبوبة بالطريقة التقليدية في عينة البحث، ونتائجه موضّحة في الجدول (9).



المُخطّط (6): المتوسط الحسابي لمقدار الفجوة الداخلية المُقاسة بالطريقة (A).

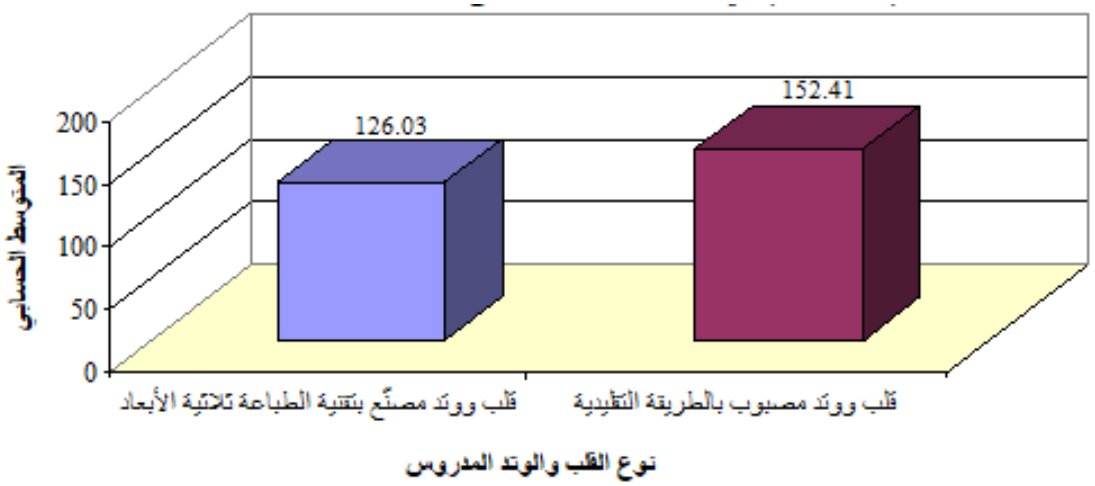
الجدول (8): الإحصاءات الوصفية لقيم مقدار الفجوة الداخلية المُقاسة بالطريقة (A).						
نوع القلب والوتد المدروس	عدد القياسات	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	الخطأ المعياري	الحد الأدنى	الحد الأعلى
قلب ووتد مصنّع بتقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد	96	79.74	28.59	2.92	25	170
قلب ووتد مصبوب بالطريقة التقليدية	96	139.58	58.35	5.96	50	310

الجدول (9): نتائج اختبار T ستيودنت للعينات المستقلة لدراسة دلالة الفروق في متوسط قيم مقدار الفجوة الداخلية المُقاسة بالطريقة (A)			
الفرق بين المتوسطين	قيمة t المحسوبة	قيمة مستوى الدلالة	دلالة الفروق
−59.84	−9.023	0.000	توجد فروق دالة

يبين الجدول أعلاه أن قيمة مستوى الدلالة أصغر بكثير من القيمة 0.05، أي أنه عند مستوى الثقة 95% توجد فروق دالة إحصائياً في متوسط قيم مقدار الفجوة الداخلية المقاسة بالطريقة (A) (بالميكرون) بين مجموعة القلوب والأوتاد المصنّعة بتقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد ومجموعة القلوب والأوتاد المصبوبة بالطريقة التقليدية في عينة البحث، وبما أن الإشارة الجبرية للفرق بين المتوسطين سالبة نستنتج أن قيم مقدار الفجوة الداخلية المقاسة بالطريقة (A) (بالميكرون) في مجموعة القلوب والأوتاد المصنّعة بتقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد كانت أصغر منها في مجموعة القلوب والأوتاد المصبوبة بالطريقة التقليدية في عينة البحث.

5.2.3. دراسة مقدار الفجوة الداخلية المُقاسة بالطريقة (B):

يُبيّن المُخطَّط (7) المتوسط الحسابي لقيم مقدار الفجوة الداخلية المقاسة بالطريقة (B) (بالميكرون) في عيّنة البحث وفقاً لنوع القلب والوتد المدروس. يُبيّن الجدول (10) الإحصاءات الوصفيَّة لقيم مقدار الفجوة الداخلية المُقاسة بالطريقة (B). أُجري اختبار (Mann–Whitney U) لدراسة دلالة الفروق في متوسط قيم مقدار الفجوة الداخلية المقاسة بالطريقة (B) (بالميكرون) بين مجموعة القلوب والأوتاد المصنّعة بتقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد ومجموعة القلوب والأوتاد المصبوبة بالطريقة التقليدية في عينة البحث، ونتائجه موضّحة في الجدول (11).



).B(: المتوسط الحسابي لمقدار الفجوة الداخلية المُقاسة بالطريقة (7المُخطّط (

الجدول (10): الإحصاءات الوصفية لقيم مقدار الفجوة الداخلية المُقاسة بالطريقة (B).						
نوع القلب والوتد المدروس	عدد القياسات	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	الخطأ المعياري	الحد الأدنى	الحد الأعلى
قلب ووتد مصنّع بتقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد	384	126.03	17.45	0.89	50	140
قلب ووتد مصبوب بالطريقة التقليدية	384	152.41	46.23	2.36	50	250

الجدول (11): نتائج اختبار Mann–Whitney U لدراسة دلالة الفروق في متوسط قيم مقدار الفجوة الداخلية المُقاسة بالطريقة (B)			
الفرق بين المتوسطين	قيمة tالمحسوبة	قيمة مستوى الدلالة	دلالة الفروق
−26.38	43309.5	0.000	**توجد فروق دالة**

يبين الجدول أعلاه أن قيمة مستوى الدلالة أصغر بكثير من القيمة 0.05، أي أنه عند مستوى الثقة 95% توجد فروق دالة إحصائياً في متوسط قيم مقدار الفجوة الداخلية المقاسة بالطريقة B (بالميكرون) بين مجموعة القلوب والأوتاد المصنّعة بتقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد ومجموعة القلوب والأوتاد المصبوبة بالطريقة التقليدية في عينة البحث، وبما أن الإشارة الجبرية للفرق بين المتوسطين سالبة نستنتج أن قيم مقدار الفجوة الداخلية المقاسة بالطريقة B (بالميكرون) في مجموعة القلوب والأوتاد المصنّعة بتقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد كانت أصغر منها في مجموعة القلوب والأوتاد المصبوبة بالطريقة التقليدية في عينة البحث.

4- المناقشة

(Discussion)

4. المناقشة (Discussion):

تألفت عينة البحث من 32 قلب ووتد جذري تم تصنيعها لـ 16 سناً وحيد الجذر والقناة لدى 16 مريضاً ومريضةً تراوحت أعمارهم بين 24 و40 عاماً، إذ تم تصنيع قلبين ووتدين اثنين (أحدهما بتقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد والآخر بالطريقة التقليدية) لكل سن من الأسنان المدروسة في عينة البحث، فكانت القلوب والأوتاد في عينة البحث مقسمةً إلى مجموعتين رئيستين اثنتين متساويتين وفقاً لنوع القلب والوتد المدروس (قلب ووتد مصنّع بتقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد، قلب ووتد مصبوب بالطريقة التقليدية).

1.4. مناقشة فكرة البحث وهدفه (Discussion of Research Aim):

يتطلب ترميم الأسنان المعالجة لبياً مجموعة من المُحددات التي تحتم على الطبيب انتقاء تقنيات خاصة في التعويض عن النسج السنية بحيث يكون قادراً على ترميم السن للقيام بوظائفها السريرية، كتحمل الجهود الإطباقية، فضلاً عن الوظائف التجميلية والتصويتية. تنتهي المعالجة اللبية للأسنان عادة بخسارة كمية كبيرة من النسج السنية نتيجة للنخور السنية، أو الترميمات المعيبة التي يكون من الضروري إزالتها فضلاً عن خطوات المعالجة اللبية نفسها، مما يترك السن عرضة للكسر والخسارة مالم تُعالج بالطريقة التي تضمن استقرارها البنيوي (Mannocci & Cowie, 2014).

تُعدُّ الترميمات السنية المدعومة بأنظمة القلوب والأوتاد إحدى أهم ركائز ترميم الأسنان المُعالجة لبياً، بحيث يقوم القلب والوتد بالتعويض عن بنية السن المفقودة بعد المعالجة اللبية، ويقوم مقام الدعامة السنية المحضرة. يندخل الوتد ضمن القناة الجذرية ليؤمن مساحة اتصال واسعة مع سطح السن تضمن نقل الجهود المطبقة على نظام القلب والوتد وتوزيعها بشكل مضبوط ومتساوٍ على البنية السنية الجذرية المتبقية، والتي بدورها تنقل إلى الرباط حول السني، ومنه إلى العظم السنخي، مما يؤمن الحفاظ على سن وظيفية ضمن الإطباق وتعمل القلوب والأوتاد على تقديم الدعم، والثبات الكافيين للترميمات التاجية فوقها (كالتيجان المفردة، أو الجسور)، مما يحقق الناحية الجمالية للمريض (Caussin et al., 2024).

تُعد القلوب والأوتاد المعدنية المصنوعة باستعمال تقنية الشمع الضائع، والمعروفة باسم القلوب والأوتاد المعدنية المصبوبة المعيار الذهبي في تصنيع أنظمة القلوب والأوتاد السنية، وهي التقنية المستعملة منذ بدء تطوير القلوب والأوتاد المعدنية. ويمكن أن تصنع هذه الأوتاد بتشميع مباشر، أو غير مباشر، وتتميز بقدرتها العالية على الانطباق والتكيف مع الأقنية الجذرية معقدة التشريح، فضلاً عن مقاومتها العالية لقوى القص، ولكنها تحتاج لعدة جلسات علاجية، فضلاً عن تكلفتها المرتفعة نسبياً، وتترافق بمعدلات أعلى من انكسار الجذر السني، وخاصة في الحالات التي تكون فيها جدران القناة الجذرية رقيقة نسبياً. وعلى الرغم من تفوق هذا النوع من أنظمة القلوب والأوتاد على غيره من الأنظمة الأخرى إلا أنَّ الدراسات السريرية لاحظت انخفاضاً للدقة في صب هذه الأوتاد نتيجة مجموعة من العوامل التي تلعب دوراً في تراكم التشوه خلال مرحلة أخذ الطبعة السريرية والتصنيع المخبري، مما يقلل من قدرة هذه الأوتاد على الانطباق الجيد ويعرض السن للكسر، فضلاً عن تجمع اللويحة السنية، وتطور المرض حول السني، مما يهدد بخسارة السن المرممة (Al-Qarni, 2022; Dimitrova et al., 2024a; Lalama, Rocha, O'Neill, & Zoidis, 2022).

طورت مؤخراً الأوتاد والقلوب المصنوعة رقمياً التي تُصمم وتصنع باستعمال تقنية التصميم والتصنيع المُقاد حاسوبياً (Computer assisted design-computer assisted manufacturing (CAD-CAM)، وذلك عن طريق الخراطة أو الطباعة الليزرية ثلاثية الأبعاد، وهي من التقنيات الحديثة والواعدة، ويمكن أن يصنف هذا النوع من أنظمة الأوتاد إلى الأوتاد المعدنية المطبوعة، والأوتاد الراتنجية وحيدة الكتلة (Monolithic)، وتتميز هذه الأوتاد بكونها عالية الدقة (بمستوى خطأ أقل من 50 مايكرون)، فضلاً عن سرعة إنجازها (Dimitrova et al., 2024a; Fathey, Azer, & Abdelraheem, 2024; Prakash et al., 2022).

2.4. مناقشة بروتوكول البحث (Discussion of Research Protocol):

شملت عينة البحث السريري هذا الأسنان الدائمة، حيث يُعتمد مبدأ استعمال أنظمة القلوب والأوتاد في الأسنان الدائمة كونها أسنان مكتملة التطور، ومنغلقة الذروة، ودائمة الوجود ضمن الحفرة الفموية، حيث أنَّ استعمال أنظمة القلوب والأوتاد يتطلب الحشو الكامل والدقيق للقناة الجذرية المكتملة باستعمال مادة حشو دائمة تضمن الختم الذروي الدقيق، وتعمل على حماية المركب حول الجذري خلال قيام السن بوظائفها السريرية، فاستبعاد الأسنان المؤقتة كان لعدم توفر هذه الشروط الأساسية فيها. واختيرت الأسنان وحيدة الجذر، وحيدة القناة، لضمان وجود اتساق وتوحيد المعايير بين الأسنان المختلفة التي سوف يطبق عليها أحد نظامي المعالجة المذكورين، لأن وجود نظام قنوي جذري لبي مقعد يزيد من احتمال وجود العوامل المشتتة (Confounding Factors)، التي قد تؤدي لظهور نتائج سريرية إيجابية أو سلبية كاذبة لإحدى المجموعتين أو كلتيهما (Martin, Shivashakarappa, Arumugam, & Sundaramurthy, 2021; Shankla, Sambrook, Fine, Blizard, & Leung, 2021; Sikri, Kalra, Sikri, & Marwaha).

ومن المعايير التي طُبقت لقبول الأسنان ضمن البحث، أن تكون القناة الجذرية المفردة مستقيم في ثلثيها التاجيين على الأقل، وهي من المعايير الهامة لنجاح أنظمة القلوب والأوتاد التقليدية، وعلى الرغم من وجود أنظمة خاصة تسمح بتدبير هذا النوع من الأسنان إلا أننا لم نتطرق لتطبيق هذه الأنظمة في هذا البحث، كون المقارنة تمت بين التقنية الحديثة والتقنية التي تُعد معياراً ذهبياً في المعالجة، وذلك لضمان بقاء الدراسة من نوع الدراسات السريرية المضبوطة المعشاة. والسبب الذي يمنع تطبيق نظام القلب والوتد المعدني المصبوب التقليدي في الأقنية ذات الانحناء الشديد أو التشريح المُعقد، هو عدم قدرة المعدن على الوصول إلى كامل أجزاء القناة، فضلاً عن وجود محاور إدخال متعددة عند استعمال القلب والوتد المعدني المصبوب، ذو القطعة الواحدة، مما يمنع من دخول النظام إلى كامل طول القناة الضروري لدعم البنية التاجية ونقل الجهود الإطباقية بشكل مضبوط ومتساوٍ إلى البنى السنية الجذرية (Dimitrova et al., 2024b; Sharma, Sharma, Jayan, & Chakrabarty, 2022).

وتمت مراعات مبدأ الإحاطة وذلك بوجود 2 ملم من البنى السنية السليمة فوق الحافة اللثوية، مما يضمن القدرة على وجود حلقة معدنية تاجية حول القلب المعدني مما يؤمن الدعم والثبات والاستقرار للتاج فوق القلب المعدني، فضلاً عن حماية القلب المعدني من القوى الجانبية، التي يمكن أن تؤثر على الاستقرار البنيوي لنظام القلب والوتد (Dimitrova et al., 2024a).

واشترطت الأسنان ذات المعالجة اللبية الناجحة، سريرياً، وشعاعياً، بحيث يجب أن تكون السن خالية من الأعراض السريرية المرتبطة بالمرض اللبي، كالألم العفوي، أو الألم على القرع الجانبي، أو وجود خراج، أو التهاب حول ذروي، فضلاً عن غياب الأعراض الشعاعية، كالتصلب العظمي حول الجذري، أو وجود آفة شافة شعاعياً حول جذرية، والتي تعني عدم نجاح المعالجة اللبية، فضلاً عن التأكد من وصول المادة الحاشية لجميع أجزاء القناة الجذرية، بما فيها الختم التاجي الذي يضمن إتمام الحشو للأقنية الجانبية، دون وجود فراغات في مادة الحشو اللبية، مما يدل على قلة التكثيف الجذري، فضلاً عن وجود الختم الذروي، والذي يضمن عزل القناة الجذرية عن المحيط حول الذروي، ويدعم نجاح المعالجة باستعمال القلب والوتد المعدني (Dotto et al., 2024; Naved, Khowaja, & Umer, 2024).

كما روعي أيضاً الأسنان ذات الدعم العظمي الكافي، والذي يؤكد شعاعياً، بحيث يجب على السن المعالجة باستعمال القلوب والأوتاد أن تمتلك دعماً عظمياً كافياً يسمح بانتقال الجهود بشكل كامل من الجذر السني إلى مساحة كافية من العظم السنخي، فعند عدم وجود مساحة اتصال وكمية كافية من العظم السنخي حول الجذري السني يسمح بتوزيع الجهود على كامل الارتفاع السنخي، يؤدي ذلك إلى تجمع كمية أكبر من الجهود على مساحة منخفضة من العظم السنخي مما يجعل من القوى المطبقة قوى غير فيزيولوجية، تتجاوز الحدود الطبيعية التي يمكن أن يستقبلها العظم السنخي، مما يؤدي لحدوث رد فعل التهابي نتيجة للجهود المفرطة، وخسارة العظم السنخي المحيط بالسن، وألا تعاني من الحركة السنية سريرياً، حيث تترافق الحركة وتنتج بشكل أساسي عن المرض حول السني الفعال، والذي يعني عدم وجود قدرة للعظم السنخي المحيط بجذر السن على القيام بوظائفه بالشكل السليم، كما في الحالة الطبيعية للنسج حول السنية (Abusteit, Hosney, ElSheshtawy, & Zapata, 2022;

Almansour, Madfa, Alotaibi, Alturki, & Alshammari, 2024; Ferrari, Pontoriero, Ferrari Cagidiaco, & Carboncini, 2022).

استبعدت جميع الأسنان ذات الجذور المتعددة، أو الأقنية المتعددة في نفس الجذر، أو الأقنية المنحنية، أو الأقنية المتضيقة، وذات المعالجة اللبية غير الجيدة، أو ذات الاختلاطات اللبية، كالأدوات المكسورة، أو الانثقابات الجذرية، أو التاجية، وذات الدعم العظمي غير الكافي، أو التي تعاني من حركة سنية من الدرجة الثانية أو أكثر، والجذور المكسورة، أو المتصدعة، أو ذات المرض حول السني الفعال، أو وجود آفة حول جذرية (Abusteit et al., 2022; Almansour et al., 2024; Ferrari et al., 2022).

بعد الانتهاء من تحضير السن لاستقبال القلب والوتد، وإجراء الطبعة المطاطية للقناة الجذرية المحضرة، والسن، تم تحضير التاج الموقت باستعمال تقنية الدليل السليليكوني، والأكريل المؤقت ذاتي التصلب، وذلك لأهمية حماية النسج السنية المُحضرة من العوامل المختلفة الموجودة في البيئة الفموية، فعلى الرغم من كون السن المُحضرة معالجة لبياً، إلا أنَّ حماية النسج السنية ضرورية، وذلك لاحتواء النسج العاجية على قنيات مجهرية تكون مكشوفة بعد التحضير، ويؤدي تعرضها لعوامل البيئة الفموية، كالجراثيم، واللويحة، والأطعمة والمشروبات المختلفة، فضلاً عن اللعاب، وتغيرات مستويات الـ(PH) إلى إضعاف بنيتها، ونقص قدرة النسج السنية المتبقية بعد التحضير على تحمل الجهود الإطباقية بشكل سليم، مما ينذر بانكسار السن، أو فشل الإلصاق التالي لإنهاء المعالجة (Bhuva, Giovarruscio, Rahim, Bitter, & Mannocci, 2021).

وبعد وصول الطبعة المطاطية إلى المخبر، تم استعمال الماسح الرقمي خارج الفموي (Digital Extra-oral Scan) لإجراء مسح للطبعة، وتشكيل نسخة رقمية مطابقة للطبعة الخاصة بالقلب والوتد، وتُعد هذه الخطوة أساسية للحصول على المكونات الرقمية الضرورية لتصميم القلب والوتد المطبوع باستعمال الليزر ثلاثي الأبعاد، حيث تسبق عملية الطباعة بإجراء التصميم الدقيق والتفصيلي مكونات نظام القلب والوتد بحيث يُحقق القلب والوتد النهائي الوظيفة المطلوبة منه، كالوصول إلى كامل طول القناة المُحضرة (غمد الوتد)، فضلاً عن الانطباق الدقيق مع جدران القناة. كما وقد صُبت الطبعة المطاطية المذكورة باستعمال الجبس الحجري المُحسن، وذلك لصنع القلب

والوتد الثاني المصبوب بتقنية الشمع الضائع، وذلك لضمان دقة المقارنة بين نمطي القلب والوتد، بحيث استخدمت الطبعة ذاتها لصنع كل من نظامي القلب والوتد (Almalki et al., 2024; Jardim & Lemos, 2024).

وبعد وصول القلب والوتد المصبوب، والمطبوع باستعمال الليزر إلى العيادة جرى اختبار الانطباق باستعمال الاختبار المطاطي (Silicon Test)، لكل من نوعي القلب والوتد على السن المحضرة نفسها، ثم جرى التأكد من الانطباق الحفافي باستعمال اختبار المسبر السني، وذلك بتمرير المسبر الحاد بالاتجاه التاجي الذروي عند حافة الاتصال بين القلب والمعدني والسن المحضرة، وجى أيضاً التأكد من هذه النتائج على الصور الشعاعية حول الذروية، فقد قيم الانطباق الداخلي، فضلاً عن تقييم وجود فجوة حفافية باستعمال الصور الشعاعية، وسجلت البيانات في ملف المريض (Fathey et al., 2024).

استعملت أيضاً تقنية النسخة السيلكونية (Silicon Replica) للحصول على نسخة سلبية مطابقة للفجوة الموجودة بين الوتد المعدني، وجدران القناة الجذرية المُحضرة، وتهدف هذه التقنية إلى الحصول على النتيجة الأدق لحساب ثخانة المسافة المتوفرة بين القلب المعدني وجدار القناة، وهي ذاتها المسافة المتوفرة لإسمنت الالصاق، وكلما كانت هذه المسافة أصغر، كان انطباق الوتد المعدني أفضل، مع السن المحضرة (Dimitrova et al., 2024b).

وبعد الحصول على النسخة السلبية للفجوة بين السن المحضرة والقلب المعدني، أجري باستعمال شفرة جراحية مقطع دهليزي لساني على كامل طول القلب والوتد، وذلك ليجري دراستها تحت المجهر الضوئي، واختيرت 6 نقطة مقسمة على ثلاث أثلاث الوتد (الثلث العنقي أو التاجي، والثلث المتوسط، والثلث الذروي)، أي كل ثلث يضم نقطتين (نقطة دهليزية، ونقطة لسانية) لتجرى فيها دراسة ثخانة المنطقة الفاصلة بين القلب المعدني وجدار القناة المحضرة، وذلك باستعمال الشبكة الموجودة على المجهر. كما وقد تم أيضاً مقطع أنسي وحشي باستعمال الشفرة الجراحيَّة الموضوعة على الحامل على كامل طول القلب والوتد (من التاجي باتجاه الذروي)، واختيرت 24 نقطة على مسافات متساوية بينها على كامل طول الوتد، وذلك للحصول على بيانات كافية لدراسة انطباق الوتد

المعدني ضمن القناة في المستويين الدهليزي اللساني والأنسي الوحشي (Fathey et al., 2024; Sichi & Araújo, 2025).

3.4. مناقشة نتائج البحث (Discussion of Research Results):

أولاً: الانطباق الحفافي السريري والشعاعي:

بينت نتائج دراستنا عدم وجود فروق دالّة إحصائياً بين مجموعة القلوب والأوتاد المصنّعة بتقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد ومجموعة القلوب والأوتاد المصبوبة بالطريقة التقليدية شعاعياً (على الصور الشعاعية)، وقد بلغ متوسط الرتب لدرجة الانطباق الحفافي سريرياً في مجموعة القلب والوتد المصبوب بالطريقة التقليدية 82.50، وفي مجموعة القلب والوتد المصنّع بتقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد 110.50 سريرياً، حيث خلصت نتائج الدراسة إلى وجود فروق دالة إحصائياً بين المجموعتين، ونستنتج أن درجة الانطباق الحفافي سريرياً في مجموعة القلوب والأوتاد المصنّعة بتقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد كانت أعلى منها في مجموعة القلوب والأوتاد المصبوبة بالطريقة التقليدية في عينة البحث.

تتميز الطباعة المعدنية ثلاثية الأبعاد باستعمال الليزر المعتمدة على تقنية الصهر الليزري الانتقائي ((Selective Laser Melting (SLM) بتطبيق ليزر عالي الطاقة يعمل على رفع درجة حرارة الحبيبات المعدنية حتى تصل إلى درجة الانصهار في موقع محدود ودقيق دون التأثير على المواقع المجاورة، مما يعطي دقة أكبر في الوصول إلى الشكل المطلوب للقلب والوتد، مما يؤمن الانطباق الحفافي الجيد للقلب المعدني مع النسج السنية (Gutiérrez et al., 2022).

اتفقت نتائج دراستنا مع دراسة الباحثين (Piangsuk et al., 2023) والتي قيمت دقة انطباق مجموعة من تقنيات تصنيع القلب والوتد المعدني، حيث شملت عينة الدراسة ثلاثة عشر سناً مقلوعة وحيدة الجذر، وقد أجري لها المعالجة اللبية، والتحضير القنيوي، ثم أجري التحضير التاجي لاستقبال القلب المعدني، وأجريت طبعة باستعمال مطاط أخذ الطبعات السنية، وحضرت القلوب والأوتاد لكل سن باستعمال تقنية الصب بالشمع الضائع،

والطباعة ثلاثية الأبعاد، وقد خلصت نتائج الدراسة إلى أن القلوب والأوتاد المطبوعة باستعمال الطباعة ثلاثية الأبعاد، حققت نتائج جيدة من حيث دقة الانطباق بالمقارنة مع المعيار الذهبي وهو القلب والوتد المصبوب.

كما اتفقت نتائج دراستنا أيضاً مع دراسة الباحثين (Öge et al., 2024) والتي قيمت استعمال الطباعة ثلاثية الأبعاد في صناعة القلوب والأوتاد السنية، حيث شملت عينة الدراسة المخبرية خمسة عشر سناً وحيدة الجذر قلعت لأسباب تقويمية، أو تعويضية، وأجري لها المعالجة اللبية، وتحضير المساحة القنوية لاستقبال الوتد، ثم تبع ذلك بتحضير البنية التاجية لاستقبال القلب، وأجريت الطبعة باستعمال مطاط أخذ الطبعات السنية، ثم أجري مسح الطبعة باستعمال جهاز المسح الالكتروني للحصول على نسخة إلكترونية من الطبعة لتصميم القلب والوتد، وقد خلصت نتائج الدراسة إلى أنَّ استعمال الطباعة ثلاثية الأبعاد لصناعة القلب والوتد المعدني أدى إلى الحصول على نتائج جيدة فيما يتعلق بانطباق نظام القلب والوتد على السن المحضرة، فضلاً عن مقاومة السن للانكسار.

كما وقد اتفقت أيضاً نتائج دراستنا مع دراسة الباحثين (Alqarni et al., 2022) والتي قيمت استعمال الطباعة ثلاثية الأبعاد في صنع أنظمة القلوب والأوتاد، وقد شملت العينة المخبرية خمسة عشر سناً وحيدة الجذر، أجري لها المعالجة اللبية، وتحضير القناة لاستقبال الوتد، فضلاً عن تحضير البنية التاجية لاستقبال القلب، وأجري كما في الدراسات السابقة أخذ الطبعة باستعمال مطاط أخذ الطبعات السنية، ثم أجري مسح للطبعة للحصول على نسخة الكترونية جاهزة لتصميم نظام القلب والوتد. بعد الانتهاء من تصميم وطباعة نظام القلب والوتد، قيم الباحثون انطباقها على السن المحضرة، وقد خلصت نتائج الدراسة إلى أنَّ استعمال الطباعة ثلاثية الأبعاد لتصنيع القلب والوتد أدى إلى الحصول على انطباق جيد عند الإلصاق.

ثانياً: تقييم وجود أو غياب الفجوة الذروية:

بيّنت نتائج اختبار كاي مربع لدراسة دلالة الفروق في تكرارات وجود فجوة ذروية شعاعياً عدم وجود فروق دالّة إحصائياً بين مجموعة القلوب والأوتاد المصنّعة بتقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد ومجموعة القلوب والأوتاد المصبوبة بالطريقة التقليدية.

اختلفت نتائج دراستنا مع دراسة الباحثين (Hendi et al., 2019) والتي قيمت استعمال كل من التقنية التقليدية، والتقنية الرقمية في تصميم وتصنيع القلوب والأوتاد وذلك من حيث وجود أو غياب الفجورة الذروية، وقد شملت عينة الدراسة ثلاثين سناً رحوية سفلية مقلوعة حديثاً، حيث أجري للأسنان المعالجة اللبية المناسبة، وتحضير القناة الجذرية لاستقبال الوتد المعدني، فضلاً عن تحضير الجزء التاجي لاستقبال القلب المعدني، وأخذت طبعة الأسنان باستعمال المطاط المخصص لأخذ الطبعات السنية السريرية، وأجري مسح للطبعة رقيماً للحصول على نسخة مطابقة استعملت في تصميم القلب والوتد المعدني المنوع باستعمال الطباعة ثلاثية الأبعاد، وقد خلصت نتائج الدراسة إلى أن القلوب والاوتاد المصنوعة باستعمال تقنية الشمع الضائع كان أكثر دقة، وأفضل انطباقاً فضلاً عن غياب وجود الفجوة الحفافية بالمقارنة مع القلوب والأوتاد المصنوعة باستعمال الطباعة ثلاثية الأبعاد. ويمكن أن يعزى سبب الاختلاف في النتائج إلى تضمين الباحثين للأسنان الخلفية السفلية متعددة الجذور، وذلك نظراً لتعقيد البنية التشريحية لهذه الأسنان، فضلاً عن المعيقات المتعددة التي قد تمنع مادة القلب والوتد من الحصول على مدخل تاجي مناسب للوصول إلى كامل طول القناة دون إعاقة.

واختلفت نتائج دراستنا مع دراسة الباحثين (Mehta et al., 2023) والتي قيمت كلا من القلوب والأوتاد المعدنية التقليدية المصبوبة باستعمال تقنية الشمع الضائع، والقلوب والأوتاد المعدنية المصنوعة باستعمال الطباعة المعدنية الليزرية ثلاثية الأبعاد، حيث شملت عينة الدراسة خمسة عشر سناً وحيدة الجذر مقلوعة حديثاً، وأجريت المعالجة اللبية المناسبة لهذه الأسنان، فضلاً عن تحضير القناة الجذرية والجزء التاجي من السن لاستقبال القلوب والأوتاد، وقد خلصت نتائج الدراسة إلى أن استعمال القلوب والأوتاد المصنوعة باستعمال الطباعة المعدنية ثلاثية

الأبعاد قدمت نتائج أفضل من حيث وجود أو غياب الفجوة الذروية بالمقارنة مع القلوب والأوتاد التقليدية المعدنية المصبوبة باستعمال تقنية الشمع الضائع.

ثالثاً: الدراسة المجهرية:

بينت نتائج دراستنا أنه عند مستوى الثقة 95% توجد فروق دالة إحصائياً في متوسط قيم مقدار الفجوة الداخلية المقاسة بالطريقة (A)، والطريقة (B) (بالميكرون) بين مجموعة القلوب والأوتاد المصنّعة بتقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد ومجموعة القلوب والأوتاد المصبوبة بالطريقة التقليدية في عينة البحث، وبما أن الإشارة الجبرية للفرق بين المتوسطين سالبة نستنتج أن قيم مقدار الفجوة الداخلية المقاسة بالطريقة (A) (بالميكرون) في مجموعة القلوب والأوتاد المصنّعة بتقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد كانت أصغر منها في مجموعة القلوب والأوتاد المصبوبة بالطريقة التقليدية في عينة البحث.

يُعد التقييم المجهري الأداة الأكثر دقة للتأكد من الانطباق الداخلي للوتد المعدني مع جدران القناة الجذرية، حيث يمكن باستعمال المجهر الضوئي قياس المسافة الموجودة بين جدار الوتد المعدني، والقناة الجذرية للحصول على تقييم دقيق للفجوة الخاصة بإسمنت الإلصاق حول الوتد المعدني. ويمكن أن يُعزى تفوق الوتد المعدني المصنوع باستعمال الطباعة المعدنية ثلاثية الأبعاد على الوتد المعدني المصنوع باستعمال تقنية الصب بالشمع الضائع إلى الدقة الأعلى في مراحل تصنيع القلب والوتد المعدني المطبوع، بحيث تكون كافة إجراءات التصميم والتحضير قبل إجراء طباعة القلب والوتد رقمية دون تدخل مباشر من يد بشرية، مما يلغي تراكم الأخطاء البشرية التي تتالى خلال مراحل تصنيع القلب والوتد المعدني المصبوب، مما يعطي دقة انطباق أعلى للقلب والوتد المعدني المطبوع، يؤدي لثبات أعلى وقدرة أكبر على مقاومة الجهود الإطباقية.

اتفقت نتائج دراستنا مع دراسة الباحثين (Basha et al., 2020) قيم الطباعة المعدنية ثلاثية الأبعاد في تصنيع القلوب والأوتاد المعدنية، حيث شملت هذه الدراسة مراجعة أدبية للمنشورات الطبية المتعلقة بالموضوع قبل العام 2020، وقد شملت عدداً كبيراً من الدراسات التي تفاوتت في تقييمها لتقنية الطباعة المعدنية ثلاثية

الأبعاد في تصنيع التعويضات السنية الثابتة، وفيما يتعلق بالقلوب والأوتاد، خلصت نتائج الدراسة إلى أن استعمال تقنية الطباعة المعدنية ثلاثية الأبعاد أعطت نتائج انطباق داخلي ممتاز مع جدران القناة الجذرية المحضرة.

اتفقت أيضاً نتائج دراستنا مع نتائج المراجعة المنهجية التي قام بها الباحثون (de Melo-Soares et al., 2025) والتي شملت الأدبيات الطبية المنشورة قبل عام 2024، وذلك لتقييم تأثير مادة القلب والوتد، فضلاً عن تقنية التصنيع المتبعة على الانطباق الداخلي بين الوتد المعدني، وجدران القناة المُحضرة، وقد شملت هذه المراجعة أربعة عشر ورقة بحثية وافقت معايير قبول المراجعة المنهجية، وقد خلصت نتائج الدراسة إلى أن استعمال التقنيات الرقمية أو التقنيات الهجينة (الرقمية التقليدية) في صناعة القلوب والأوتاد المعدنية يعطي نتائج جيدة فيما يتعلق بالانطباق الداخلي بين الوتد المعدني، وجدران القناة الجذرية المُحضرة.

5- الاستنتاجات

(Conclusions)

5. الاستنتاجات (Conclusions):

ضمن حدود هذه الدِّراسة يمكن استنتاج ما يأتي:

1. حقّقت القلوب والأوتاد المصنّعة بتقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد درجة انطباق حفافي سريرياً أعلى من القلوب والأوتاد المصبوبة بالطريقة التقليديَّة.
2. حقّقت القلوب والأوتاد المصنّعة بتقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد مقدار أقل في قيم الفجوة الداخلية سواء المُقاسة بالطريقة (A) أو الطريقة (B) مقارنة بالقلوب والأوتاد المصبوبة بالطريقة التقليديَّة.
3. لم تبدِ القلوب والأوتاد المصنّعة بتقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد اختلافاتٍ جوهريّة عن القلوب والأوتاد المصبوبة التقليديَّة من حيث الفجوة الذروية شعاعياً والانطباق الحفافي شعاعياً.

6- التوصيات والمقترحات

(Recommendations and Suggestions)

6. التوصيات والمقترحات (Recommendations and Suggestions):

1.6. التوصيات (Recommendations):

ضمن حدود هذه الدِّراسة يمكن التوصية بما يأتي:

1. استعمال القلوب والأوتاد المصنوعة بتقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد كبديل للقلوب والأوتاد المصبوبة بالطريقة التقليدية لما أبدته من انطباق حفافي سريري وقيماً أقل لمقدار الفجوة الداخلية.

2.6. المقترحات (Suggestions):

ضمن حدود هذه الدِّراسة يمكن اقتراح إجراء الدراسات المستقبليَّة الآتية:

1. إجراء دراسة سريرية طويلة الأمد لمقارنة ديمومة القلوب والأوتاد المعدنية المصبوبة مقابل القلوب والأوتاد المعدنية المصنوعة بتقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد.

2. إجراء دراسة سريرية لمقارنة أنماط الفشل بين القلوب والأوتاد المصبوبة والمطبوعة ثلاثياً (كالفشل الكسرّي، انفصال الإلصاق، نكس النخر، أو النخر الثانوي).

3. إجراء دراسة مخبرية لتقييم مقاومة الكسر وتحمل الجهود الإطباقية للقلوب والأوتاد المعدنية المصبوبة مقارنة بالمصنوعة بتقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد.

4. إجراء دراسة مقارنة بين تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد وتقنية القطع بالحفر (CAD/CAM Milling) من حيث دقة الانطباق.

5. إجراء دراسة سريرية لتقييم رضا المرضى من حيث الراحة، الزمن العلاجي بين الطريقتين.

6. إجراء دراسة مخبرية باستعمال تقنيات تصوير متقدمة مثل (Micro-CT) لمقارنة الفجوة الداخلية والانطباق بدقة عالية بين القلوب والأوتاد المعدنية المصبوبة والمطبوعة.

7- المراجع
(References)

7. المراجع (References):

(A)

Abusteit, Omar E, Hosney, Sherif, ElSheshtawy, Ahmed S, & Zapata, Ronald Ordinola. (2022). Outcome of endodontic treatment through existing full coverage restorations: an endodontic practice case series. **Journal of Endodontics**, *48*(3), 388-395.

Ajamloo, Akbar Mohammadi, Ibrahim, Mohamed N, & Sergeant, Peter. (2024). *A review on properties of 3d printed magnetic cores for electrical machines: Additive manufacturing methods and materials.* Paper presented at the 2024 **International Conference on Electrical Machines (ICEM)**. 55(4), 219-255.

Al-Qarni, Faisal D. (2022). Customized post and cores fabricated with CAD/CAM technology: a literature review. **International journal of general medicine**, 44(2) 4771-4779.

Almalki, A, Conejo, J, Kutkut, N, Blatz, M, Hai, Q, & Anadioti, E. (2024). Evaluation of the accuracy of direct intraoral scanner impressions for digital post and core in various post lengths: an in-vitro study. **Journal of Esthetic and Restorative Dentistry**, *36*(4), 673-679.

Almansour, Moazzy I, Madfa, Ahmed A, Alotaibi, Alanoud N, Alturki, Rawan T, & Alshammari, Ahad F. (2024). Radiographic assessment of the quality of post and core restorations performed by general dental practitioners in Saudi Arabia. **Heliyon Journal International**, *10*(11), 325-344.

Alqarni, Hatem, AlHelal, Abdulaziz A, Jekki, Rami, Kattadiyil, Mathew T, Sayed, Mohammed E, Jain, Saurabh, . . . Dehom, Salem. (2022). In vitro study comparing retention of custom post and cores fabricated using conventional, CAD/CAM milling and 3D-printing techniques. **Applied Sciences**, *12*(23), 11896.

(B)

Basha, SM, Bhuyan, M, Basha, MM, Venkaiah, N, & Sankar, MR. (2020). Laser polishing of 3D printed metallic components: a review on surface integrity. **Materials Today: Proceedings**, *26(4)*, 2047-2054.

Bhuva, B, Giovarruscio, M, Rahim, N, Bitter, K, & Mannocci, F. (2021). The restoration of root filled teeth: a review of the clinical literature. **International endodontic journal**, *54*(4), 509-535.

(C)

Caussin, Elisa, Izart, Mathieu, Ceinos, Romain, Attal, Jean-Pierre, Beres, Fleur, & François, Philippe. (2024). Advanced material strategy for restoring damaged endodontically treated teeth: a comprehensive review. **Materials Journal**, *17*(15), 3736.

(D)

de Andrade, Guilherme Schmitt, Saavedra, Guilherme de Siqueira Ferreira Anzaloni, Augusto, Marina Gullo, Leon, Génesis Alfonzo, Brandão, Hellen Cristina Budel, Tribst, João Paulo Mendes, & Dal Piva, Amanda Maria de Oliveira. (2023). Post-endodontic restorative treatments and their mechanical behavior: A narrative review. **Dentistry Review**, *3*(1), 100-117.

de Melo-Soares, Victor, Yi, Giovanna Santos, Dos Reis, Andréa Cândido, & da Costa Valente, Mariana Lima. (2025). Influence of fabrication material and manufacturing technique on the internal adaptation of post-and-cores: A systematic review. **The Journal of prosthetic dentistry**, *10*(9), 325-329.

Dimitrova, Mariya, Vlahova, Angelina, & Kazakova, Rada. (2024). Assessment of CAD/CAM Fabrication Technologies for Post and Core Restorations—A Narrative Review. **Medicina Journal**, *60*(5), 748-751.

Dotto, Lara, Girotto, Luiza Paloma S, Sousa, Yara Teresinha Correa Silva, Pereira, Gabriel Kalil Rocha, Bacchi, Ataís, & Sarkis-Onofre, Rafael. (2024). Factors influencing the clinical performance of the restoration of endodontically treated teeth: An assessment of systematic reviews of clinical studies. **The Journal of prosthetic dentistry**, *131*(6), 1043-1050.

(F)

Fathey, Islam T, Azer, Amir Shoukry, & Abdelraheem, Islam M. (2024). Fracture resistance and failure mode of three esthetic CAD-CAM post and core restorations. **BMC Oral Health**, *24*(1), 523-529.

Fathi, Amirhossein, Ebadian, Behnaz, Dezaki, Sara Nasrollahi, Mardasi, Nahal, Mosharraf, Ramin, Isler, Sabire, & Tabatabaei, Shiva Sadat. (2022). An umbrella review of systematic reviews and meta-analyses evaluating the success rate of prosthetic restorations on endodontically treated teeth. **International Journal of Dentistry**, *202*(1), 474-482.

Ferrari, Marco, Pontoriero, Denise IK, Ferrari Cagidiaco, Edoardo, & Carboncini, Fabio. (2022). Restorative difficulty evaluation system of endodontically treated teeth. **Journal of Esthetic and Restorative Dentistry**, *34*(1), 65-80.

(G)

Ghodsi, Safoura, Aghamohseni, Mohammad Mostafa, Arzani, Sarah, Rasaeipour, Sasan, & Shekarian, Mina. (2022). Cement selection criteria for different types of intracanal posts. **Dental research journal**, *19*(1), 51-56.

Gottfried Schmalz; Gunmar Ryge. (2005). Reprint of Criteria for the clinical evaluation of dental restorative materials. **International Journal of Dentistry**, 9(4), 215–232.

Gutiérrez, Maira Alejandra, Guerrero, Camilo Alejandro, & Baldion, Paula Alejandra. (2022). Efficacy of CAD/CAM glass fiber posts for the restoration of endodontically treated teeth. **International Journal of Biomaterials**, *2022*(1), 862-877.

(H)

Hendi, Amir Reza, Moharrami, Mohammad, Siadat, Hakimeh, Hajmiragha, Habib, & Alikhasi, Marzieh. (2019). The effect of conventional, half-digital, and full-digital fabrication techniques on the retention and apical gap of post and core restorations. **The Journal of prosthetic dentistry**, *121*(2), 361-364.

(J)

Jandyal, Anketa, Chaturvedi, Ikshita, Wazir, Ishika, Raina, Ankush, & Haq, Mir Irfan Ul. (2022). 3D printing–A review of processes, materials and applications in industry 4.0. **Sustainable Operations and Computers**, *3(5)*, 33-42.

Jardim, Jacqueline Salomão, & Lemos, Cleidiel Aparecido Araujo. (2024). The role of intraoral scanning in the fully digital workflow for post and core restorations: A scoping review. **Journal of Dentistry**, *147*(5), 100-105.

(K)

KOCACIKLI, MUSTAFA. (2023). General Consideration of Post Systems. **Cumhuriyet Dental Journal**, *26*(1) 115-121.

(L)

Lalama, Martin, Rocha, Mateus Garcia, O'Neill, Edgar, & Zoidis, Panagiotis. (2022). Polyetheretherketone (PEEK) post and core restorations: a 3D accuracy analysis between heat-pressed and CAD-CAM fabrication methods. **Journal of Prosthodontics**, *31*(6), 537-542.

(M)

Mannocci, F, & Cowie, J. (2014). Restoration of endodontically treated teeth. **British Dental Journal**, *216*(6), 341-346.

Martin, Adeline G, Shivashakarappa, Prathima Gajula, Arumugam, Selvabalaji, & Sundaramurthy, Nandakumar. (2021). Posts in primary teeth–past to present: A review of literature. **International journal of clinical pediatric dentistry**, *14*(5), 705-708.

Mehta, Srishti, Paul, Bonny, Shivkumar, Mantri, Dube, Kavita, & Pandey, Sushil. (2023). Digital post-core or conventional post-core: An invitro study. **Journal of Advanced Medical and Dental Sciences Research**, *11*(12), 37-41.

(N)

Naved, Nighat, Khowaja, Asif R, & Umer, Fahad. (2024). Restoration of endodontically treated teeth: a cost-effectiveness analysis of an endocrown versus a complete crown. **The Journal of prosthetic dentistry**, *121*(2), 361-364.

(O)

Öge, S Çelik, Küden, Cihan, & Ekren, Orhun. (2024). Evaluation of the Mechanical properties of 3D-Printed Post and Core systems. **Int J Prosthodont**, *37*(7), 127-131.

(P)

Peroz, Ingrid, Blankenstein, Felix, Lange, Klaus-Peter, & Naumann, Michael. (2005). Restoring endodontically treated teeth with posts and cores--a review. **Quintessence international**, *36*(9) 115-126.

Piangsuk, Tarin, Dawson, Deborah V., El-Kerdani, Tarek, & Lindquist, Terry J. (2023). The Accuracy of Post and Core Fabricated with Digital Technology. **Journal of Prosthodontics**, *32*(3), 221-226.

Podhorsky, Anke, Rehmann, Peter, & Wöstmann, Bernd. (2015). Tooth preparation for full-coverage restorations—a literature review. **Clinical oral investigations**, *19*(5), 959-968.

Prakash, Jayant, Golgeri, Mahesh Suganna, Haleem, Shaista, Kausher, Hina, Gupta, Prashant, Singh, Pushpraj, & GC, Shivakumar. (2022). A comparative study of success rates of post and core treated anterior and posterior teeth using cast metal posts. **Cureus**, *14*(10) 122-126.

(R)

Ricketts, DNJ, Tait, CME, & Higgins, AJ. (2005). Post and core systems, refinements to tooth preparation and cementation. **British Dental Journal**, *198*(9), 533-541.

Rosenstiel, Stephen F, Land, Martin F, & Junhei, F. (2006). Contemporary Fixed Prosthodontics Rosenstiel. **In: St. Louis: Mosby Elsevier**, 22(4) 167-172.

(S)

Shankla, K, Sambrook, R, Fine, P, Blizard, R, & Leung, A. (2021). Assessing dentists' knowledge and experience in restoring endodontically treated teeth using post & cores. **Journal of Dentistry**, *114(5)*, 103-108.

Sharma, Sourabh, Sharma, Sonali, Jayan, Balakrishnan, & Chakrabarty, Anubhav. (2022). A clinical and radiographic comparative evaluation of treatment outcome of different fiber post systems with conventional cast metal post and core system. **Journal of Dentistry Defense Section**, *16*(2), 130-138.

Sichi, Luigi G Bernardo, & Araújo, Rodrigo M. (2025). Novel method for using a single impression and additive technologies to fabricate a metal post and core and metal coping. **Journal of Oral Science**, *67*(3), 127-133.

Sikri, Arpit, Kalra, Vaishali, Sikri, Jyotsana, & Marwaha, Urvi. Custom Cast Post and Core: The Key to Successful Endodontic Restoration of Anterior Teeth—Case Report. **British Dental Journal**, *198*(9), 546-547.

Singh, Sougaijam Vijay, & Chandra, Anil. (2015). Need of a new classification for post and core failure. **Dental Hypotheses**, *6*(4), 141-145.

Sun, Zhumei, Vladimirov, Gleb, Nikolaev, Evgeny, & Velásquez-García, Luis Fernando. (2018). Exploration of metal 3-D printing technologies for the microfabrication of freeform, finely featured, mesoscaled structures. **Journal of Microelectromechanical Systems**, *27*(6), 1171-1185.

(W)

Wang, Xiaodong, Shu, Xin, Zhang, Yingbin, Yang, Bin, Jian, Yutao, & Zhao, Ke. (2019). Evaluation of fiber posts vs metal posts for restoring severely damaged endodontically treated teeth: a systematic review and meta-analysis. **Quintessence international**, *50*(1) 117-122.

(Z)

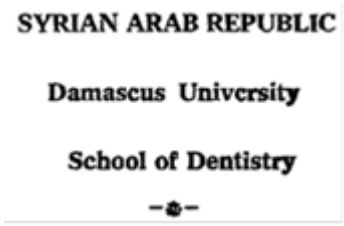
Zarow, M, Ramírez-Sebastià, A, Paolone, G, de Ribot Porta, J, Mora, J, Espona, J, . . . Roig, M. (2018). A new classification system for the restoration of root filled teeth. **International endodontic journal**, *51*(3), 318-334.

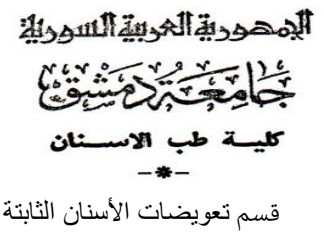
8- الملاحق

(Appendixes)

8. الملاحق (Appendixes):

الملحق (1): استمارة استجواب المريض.





قسم تعويضات الأسنان الثابتة

عنوان بحث الماجستير " مقارنة انطباق القلوب والأوتاد الجذريَّة المعدنية المصبوبة المُصنَّعة تقليدياً مع المُصنَّعة بتقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد: دراسة سريرية"

اسم المريض: ..... العمر: ..... الجنس: ..... المهنة: .....

السكن: ..... رقم الهاتف: ..... التدخين: .....

الأمراض الجهازية العامة:.....

.....

الأدوية المتناولة: .....

.....

التشخيص الاولي: .....

.....

الشخيص النهائي وخطة العلاج: .....

.....

ملاحظات: .....

.....

توقيع المريض	توقيع الطبيب المنجز للبحث	توقيع الأستاذ المشرف
	د. مصطفى المغربي	أ.د. ميرزا علاف

الملحق رقم (2): الموافقة المستنيرة المأخوذة من المرضى.

SYRIAN ARAB REPUBLIC
Damascus University
School of Dentistry

الجمهورية العربية السورية
جامعة دمشق
كلية طب الاسنان

الموافقة المستنيرة (Informed Consent)

عنوان البحث **مقارنة انطباق القلوب والأوتاد الجذريَّة المعدنية المصبوبة المُصنَّعة تقليدياً مع المُصنَّعة بتقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد: دراسة سريرية**

يهدف هذا البحث إلى إجراء نوعين من القلوب والأوتاد (نوع تقليدي مصبوب، ونوع مطبوع طباعة ثلاثية الأبعاد)، وسينجز هذا البحث من قبل الباحث مصطفى المغربي بإشراف الأستاذة الدكتورة ميرزا علّاف ضمن قسم تعويضات الأسنان الثابتة، في كلية طب الأسنان، ضمن جامعة دمشق، وسيشرح الباحث للمريض كافة خطوات العمل، والمحاسن والمساوئ المتوقعة، والمدة الزمنيّة المحتملة لإجراء البحث ومتابعته، كما سيُعلَم المريض بحقه في الانسحاب حالما يشاء دون ذكر الأسباب، وسيُعلم بأنّ جميع المعلومات ستكون سريَّة، ولن يخبر بها أحد سوى المعنيين بهذا البحث.

أنا الموقع أدناه ..... الرقم الوطني: .....

بعد اطّلاعي على كافة مراحل البحث، ومعرفتي المدة الزمنية وجلسات المتابعة، والاستفسار عن جميع الأسئلة، أقرّ بما يأتي:

1. موافقتي المعلنة على المشاركة في هذا البحث العلميّ بشكل طوعي، وأملك الحق الكامل للانسحاب.
2. أتفهم أنّ المعلومات الطبيَّة الخاصة بي قد يطّلع عليها الأطباء المعنيين بالبحث. وعليه أوقع:

التاريخ: / /

اسم المريض وتوقيعه	توقيع الطبيب الباحث
.....	د. مصطفى المغربي

الملحق رقم (3): استمارة فحص المريض ومتابعته.

اسم المريض: ..... العمر: ..... الجنس: .....

السن المُراد إجراء القلب والوتد عليها: .....

*** القياسات المتعلقة بالقلب والوتد المصبوب:**

1- الدراسة السريرية والشعاعية:

الانطباق الحفافي السريري	Alpha	Bravo	Charlie
الفجوة الذروية	وجود	غياب	
الانطباق الحفافي الشعاعي	منطبق	غير منطبق	

2- الدراسة المجهريّة:

- الطريقة (A):

الثلث	الموضع	السماكة (بالميكرون)
العنقي	دهليزي	
	لساني	
المتوسط	دهليزي	
	لساني	
الذروي	دهليزي	
	لساني	

- الطريقة (B):

النقطة (قلب)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
السماكة										

النقطة (وتد)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
السماكة														

*** القياسات المتعلقة بالقلب والوتد المطبوع:**

1- الدراسة السريرية والشعاعية:

الانطباق الحفافي السريري	Alpha	Bravo	Charlie
الفجوة الذروية	وجود	غياب	
الانطباق الحفافي الشعاعي	منطبق	غير منطبق	

2- الدراسة المجهريّة:

- الطريقة (A):

الثلث	الموضع	السماكة (بالميكرون)
العنقي	دهليزي	
	لساني	
المتوسط	دهليزي	
	لساني	
الذروي	دهليزي	
	لساني	

- الطريقة (B):

النقطة (قلب)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
السماكة										

النقطة (وتد)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
السماكة														

Abstract:

Background and Aim: Posts and cores are among the most widely used restorations for endodontically treated teeth. Traditionally, cast metal posts and cores have been employed, while more recently, additively manufactured (3D-printed) posts and cores have been introduced. This study aimed to compare the clinical performance of 3D-printed metal posts and cores with conventionally cast counterparts by evaluating: clinical marginal adaptation, radiographic marginal adaptation, microscopic marginal gap, presence or absence of apical gaps.

Materials and Methods: A comparative clinical trial (CCT) was conducted on 16 patients presenting with structurally compromised, single-rooted teeth requiring post and core restorations. Each patient received two types of posts and cores fabricated with different techniques: (a) Cast metal post and core: evaluated clinically and radiographically in all patients. (b) 3D-printed metal post and core: evaluated in the same patients using identical criteria. Marginal adaptation was assessed clinically with a dental probe, radiographically using periapical radiographs, and microscopically with the *Silicon Replica Technique*. Apical gaps were assessed radiographically.

Results: The 3D-printed group demonstrated significantly superior clinical marginal adaptation and significantly lower internal gap values on radiographic evaluation compared with conventionally cast posts and cores, regardless of the method of assessment. No statistically significant differences were observed between groups regarding apical gaps or radiographic marginal adaptation.

Conclusions: Within the limitations of this study, 3D-printed metal posts and cores exhibited superior clinical marginal adaptation, and reduced internal gap values compared with conventionally cast metal posts and cores.

Keywords: Endodontically treated teeth – Cast metal post and core – 3D-printed post and core – Marginal gap – CAD/CAM.

Syrian Arab Republic

Damascus University

Faculty of Dental Medicine

Department of Fixed Prosthodontics

Comparative The Adaptability of Casted Metal Posts and Cores with Fabricated Using 3D Printing Technology: A Clinical Study

A Research Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Master in Fixed Prosthodontics

By:

Mustafa Fouzi Almaghrabi

Supervisor:

Prof. Mirza Allaf

Professor at the Department of Fixed Prosthodontics – Damascus University

2025