الجمهورية العربية السورية

جامعة دمشق

كلية طب الأسنان

قسم جراحة الفم والفكين

تحليل ميكانيكي حيوي لكسور زاوية الفك السفلي وتقنيات تثبيتها باستخدام طريقة العناصر المنتهية

A Biomechanical Analysis of Mandibular Angle Fractures and their Fixation Techniques Using Finite Element Method

أطروحة قُدمت إلى جامعة دمشق لنيل درجة الماجستير في علوم طب الأسنان

قسم جراحة الفم والفكين

إعداد الباحث

محمد يامن أيمن الشربجي المزيك

إشراف

أ.م.د. خلدون درويش

المشرف المشارك

د.م. محمد أيهم درويش

ماجستير

1437 هـ / 2016 م

الجمهورية العربية السورية

جامعة دمشق

قرار مجلس البحث العلمي والدراسات العليا رقم /١٦٦٨/ المتخذ بالجلسة رقم /١٦/ تاريخ ٢٠١٦/٤/١٨

اطلع مجلس البحث العلمي والدراسات العليا على قرار مجلس كلية طب الأسنان رقم /٣٥٥/ تاريخ ٢٠١٦/٤/٥

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

قرار مجلس جامعة دمشق رقم /٩٢٤٦/ص تاريخ ٢٠١٢/٩/١١ بشأن الموافقة على تسجيل رسالة الطالب

قرار مجلس جامعة دمشق رقم /٢٤٦٢/ص تاريخ ٢٠١٤/٥/٢٨بشأن الموافقة على تعديل عنوان وتسمية مشرف مشارك

يستفيد الطالب من المرسوم رقم /٣٣٥/ تاريخ ٢٠١٤/١٠/٢٩ ويمنح سنة إضافية اعتباراً من ٢٠١٥/٩/١١ لغاية ٢٠١٦/٩/١١

وبنتيجة المذاكرة قرر مجلس البحث العلمي والدراسات العليا :

الموافقة على تأليف لجنة الحكم على رسالة الماجستير في قسم جراحة الفم والفكين التي أعدها الطالب **محمد ياهن الشوبجي المزيك** بعنوان : ((تحليل ميكانيكي حيوي لكسور زاوية الفك السفلي وتقنيات تثبيتها باستخدام طريقة العناصر المنتهية)) بكلية طب الأسنان من السادة الأساتذة :

د. هيثم نحاح	الأستاذ في قسم جراحة الفم والفكين	كلية طب الأسنان
جامعة دمشق	الاختصاص: جراحة الفم والفكين	عضواً
د. خلدون درويش	الأستاذ المساعد في قسم جراحة الفم والفكين	كلية طب الأسنان
جامعة دمشق	الاختصاص : جراحة الفم والفكين	عضواً مشرفاً
د. عدنان عبد المجيد	المدرس في كلية الهندسة الطبية	عضواً
جامعة الأندلس الخاصة للعلوم الطبية	الاختصاص:نظم تصوير طبية متقدمة	

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 هذه الأطروحة تم أخذه بالكامل من عمل آخر أو أنجز للحصول على شهادة أخرى في هذه الجامعة أو في أية جامعة أخرى أو أي معهد تعليمي"

الإهداء Dedication

إلى من فارقنا جسده ولكن روحه بقيت معي في كل لحظة والدي رحمه الله

إلى نبع العطاء ورمز الحنان وأغلى ما عندي في هذه الحياة والدتي حفظها الله

إلى صديقتي وحبيبتي وسعادتي أختي الغالية

إلى الشقيق والسند والزميل أخي الحبيب

أهدي عملي هذا ...

كلمة شكر Acknowledgment

بعد أن تم إنجاز هذا البحث لا يسعني سوى أن أتوجه بجزيل الشكر إلى الأستاذ المساعد الدكتور خلدون درويش لتفضله بالإشراف على إنجاز هذا البحث ولما تكبده من عناء المتابعة الدقيقة لخطوات العمل ودعمه اللامحدود في جميع المجالات فله مني عميق الامتنان والتقدير.

كما أتقدم بالشكر إلى الدكتور المهندس محمد أيهم درويش لتفضله بالمشاركة في الإشراف على إنجاز البحث ولما قدمه من ملاحظات ساهمت بإغنائه فله مني كل الشكر والاحترام.

وأتوجه بالشكر العميق للأستاذ الدكتور هيثم بحاح لتفضله بقبول تحكيم هذا البحث وإغنائه بملاحظاته القيمة فله مني كل الاحترام والتقدير.

كما أتوجه بالشكر للدكتور المهندس عدنان عبد المجيد لتفضله بقبول تحكيم هذا البحث ورفع مستواه بتوجيهاته الدقيقة والبنّاءة فله مني كل الامتنان والعرفان.

ولا أنسى أساتذتي الأفاضل في قسم جراحة الفم والفكين ممثلين بالأستاذ الدكتور عمر حشمة رئيس القسم، أتوجه إليهم بعميق الشكر والامتنان على كل ما قدموه لي خلال سنوات دراستي.

والشكر موصول إلى زملائي طلاب الدراسات العليا الذين ساهمو بإنجازي لهذا البحث وأخص بالشكر د. رواد الغزي، د. رامي الشربجي المزيك، د. أحمد البزم، د. شادي يازجي ...

ختاماً لا بد من الوقوف بكل احترام وتقدير أمام هذا الصرح العلمي جامعة دمشق، مقدرا جهود رئاسة الجامعة وجهود إدارة الكلية ممثلة بالأستاذ الدكتور محمد سالم ركاب عميد الكلية والأستاذ الدكتور عمار مشلح نائب العميد للشؤون العلمية والأستاذ الدكتور محمد إياد الحفار نائب العميد للشؤون الإدارية لما يبذلونه من جهود في سبيل تطوير البحث العلمي في الكلية...

المحتويات Contents

المقدمة Introduction 9

هدف البحث Aim of Study 10

1- الفصل الأول: المراجعة النظريّة Literature Review 11

1-1- الفك السفلي : لمحة تشريحية 12

1-1-1- عظم الفك السفلي 12

1-1-2- المفصل الفكي الصدغي 14

1-1-3- عضلات المضغ 15

1-2- كسور الفك السفلي 17

1-2-1- تواتر وأسباب حدوث كسور الفك السفلي 17

1-2-2- تصنيف كسور الفك السفلي 18

1-3- معالجة كسور زاوية الفك السفلي 21

1-4- لمحة ميكانيكية 31

1-4-1- تعاريف أساسية 31

1-4-2- وسائل الاختبارات الميكانيكية 34

1-5- الميكانيك الحيوي 35

1-5-1- بنية العظم 35

1-5-2- الخواص الميكانيكية للعظم 36

1-5-3- الميكانيك الحيوي الخاص بكسور زاوية الفك السفلي 36

1-6- تحليل العناصر المنتهية 38

1-6-1- تاريخ طريقة العناصر المنتهية 39

1-6-2- فوائد طريقة العناصر المنتهية 40

1-6-3- مساوئ طريقة العناصر المنتهية 40

1-6-4- تطبيقات طريقة العناصر المنتهية في مجال جراحة الفم والوجه والفكين 41

1-7- الدراسات السابقة 43

1-7-1- الدراسات السريرية 43

1-7-2- الدراسات المخبرية وتحليل العناصر المنتهية 49

2- الفصل الثاني: المواد والطرائق Materials & Methods 56

2-1- تصميم الدراسة Study Design 57

2-2- عينة الدراسة Sample 57

2-3- المواد Materials 58

2-4- الطرائق Methods 59

2-4-1- تصميم النموذج الحاسوبي ثلاثي الأبعاد 59

2-4-2- مرحلة المعالجة الأولية للبيانات 72

2-4-3- مرحلة المعالجة وإجراء تحليل العناصر المنتهية 78

3 – الفصل الثالث: النتائج Results 80

3 –1 – دراسة القيمة العظمى للإجهاد المكافئ في صفائح التثبيت 81

3 –2 – دراسة القيمة العظمى للإجهاد المكافئ في براغي التثبيت 84

3 –3 – دراسة القيمة العظمى للإجهاد الأساسي الأعظمي في العظم القشري 87

3 –4 – دراسة متوسط الانفعال الأساسي الأعظمي في الدشبذ 90

3 –5 – دراسة القيمة العظمى للانزياح في موقع خط الكسر 93

3 –6 – نتائج اختبار الارتباط لسبيرمان 94

4 – الفصل الرابع: المناقشة Discussion 95

4 –1 – مناقشة طرائق البحث 98

4 –2 – مناقشة اختيار مجموعات الدراسة 101

4 –3 – مناقشة اختيار المعايير المدروسة 103

4 –4 – مناقشة النتائج 104

5 – الفصل الخامس: الاستنتاجات Conclusions 110

6 – الفصل السادس: المقترحات والتوصيات Suggestions & Recommendations 113

7 – الفصل السابع: المراجع References 116

الملخص 137

Abstract 139

قائمة الجداول List of Tables

الرقم	الموضوع	الصفحة
1-1	الدراسات السريرية لـ Ellis وزملاؤه حول طرائق تثبيت كسور زاوية الفك	44
2-1	نسبة حدوث الاختلاطات بعد تثبيت كسر زاوية الفك السفلي باستخدام طريقة Champy	47
3-1	دراسات استخدمت تحليل العناصر المنتهية FEA لتقييم طرائق تثبيت مختلفة للعيوب العظمية	55
1-2	خصائص المواد لمكونات النماذج المدروسة	74
2-2	عدد العناصر Elements والعقد Nodes في نماذج مجموعات الدراسة	75
3-2	مركبات قوى عضلات المضغ بالجهتين في حالة الضغط الرحوي أحادي الجانب عند المريض بعد الجراحة	77

قائمة الأشكال List of Figures

الرقم	الموضوع	الصفحة
1-1	شكل ترسيمي للفك السفلي يظهر فيه الوجه الخارجي (على اليمين) والوجه الداخلي (على اليسار)	13
2-1	شكل ترسيمي يوضح أجزاء المفصل الفكي الصدغي	14
3-1	شكل ترسيمي يوضح العضلتين الصدغية والماضغة	16
4-1	شكل ترسيمي يوضح العضلتين الجناحيتين الأنسية والوحشية	16
5-1	توزع مناطق حدوث كسور الفك السفلي	19
6-1	تصنيف كسور اللقمة	20
7-1	كسر مستحب أفقياً (اليمين)، وكسر غير مستحب أفقياً (اليسار)	21
8-1	كسر غير مستحب شاقولياً (اليمين)، وكسر مستحب شاقولياً (اليسار)	21
9-1	موقع حدوث كسر زاوية الفك السفلي "في المنطقة مابين الخطين"	21
10-1	صورة شعاعية بانورامية تظهر تثبيت كسر زاوية الفك السفلي باستخدام الخياطة السلكية بالمشاركة مع التثبيت بين الفكي	22
11-1	شكل ترسيمي يوضح آلية عمل الصفائح الضاغطة	23
12-1	مناطق الشد (-) والضغط (+) كما وصفها Champy	24
13-1	خط انعدام القوة كما وصفه Champy	24
14-1	طريقة تثبيت كسر زاوية الفك السفلي باستخدام برغي Lag كما وصفها Niederdellman	24
15-1	صورة شعاعية بانورامية يظهر فيها كسر زاوية فك سفلي معالج باستخدام صفيحتين ضاغطتين ديناميكياً على الحافتين العلوية والسفلية للكسر حسب طريقة AO الأصلية	25
16-1	صورة شعاعية بانورامية يظهر فيها كسر زاوية فك سفلي معالج باستخدام صفيحة سفلية ضاغطة وصفيحة علوية صغيرة حسب طريقة AO المعدّلة	26
17-1	صورة شعاعية بانورامية يظهر فيها كسر زاوية فك سفلي معالج باستخدام صفيحة إعادة بناء Reconstruction Plate مثبتة على الحافة السفلية للكسر	26
18-1	تثبيت كسر زاوية الفك السفلي باستخدام صفيحتين صغيرتين غير ضاغطتين على حافتي الكسر العلوية والسفلية	27

1–19	صورة شعاعية بانورامية يظهر فيها كسر زاوية فك سفلي معالج باستخدام صفيحتين صغيرتين غير ضاغطتين على حافتي الكسر العلوية والسفلية	27
1–20	الخطوط المثالية لتثبيت الصفائح المعدنية كما وصفها Champy عام 1976	28
1–21	تثبيت كسر زاوية الفك السفلي باستخدام صفيحة صغيرة مفردة فوق الخط المنحرف الظاهر وفق طريقة Champy	29
1–22	تثبيت كسر زاوية الفك السفلي باستخدام صفيحة صغيرة مفردة على السطح الوحشي للفك السفلي مباشرة تحت الخط المنحرف الظاهر وفق طريقة Champy المعدلة	29
1–23	صورة شعاعية بانورامية يظهر فيها كسر زاوية فك سفلي معالج باستخدام صفيحة صغيرة مفردة غير ضاغطة فوق الخط المنحرف الظاهر وفق طريقة Champy	29
1–24	صورة شعاعية بانورامية يظهر فيها كسر زاوية فك سفلي معالج باستخدام صفيحة ثلاثية الأبعاد 3D Plate	30
1–25	منحني إجهاد/انفعال	32
1–26	تأثير اتجاه الشد العضلي على شكل التبدل الحاصل في كسور زاوية الفك السفلي	37
2–1	الأقنعة النهائية لكل من: العظم القشري – العظم الإسفنجي – الأسنان	60
2–2	المجسمات ثلاثية الأبعاد التي تم إنشاؤها ضمن برنامج ®Mimics بدءاً من صورة CBCT	61
2–3	المجسمات ثلاثية الأبعاد النهائية بعد إجراء محاكاة كسر زاوية الفك السفلي	62
2–4	تقسيم سطح النموذج إلى رقع وتوليد سطوح NURBS ضمن برنامج 3Matic	63
2–5	الرسم التخطيطي ثنائي الأبعاد Sketch لصفيحة تثبيت صغيرة بأربعة ثقوب	64
2–6	النموذج النهائي ثلاثي الأبعاد 3D لصفيحة تثبيت صغيرة بأربعة ثقوب	65
2–7	ثني وتكييف شكل الصفيحة باستخدام التعليمتين Bend و Twist ضمن برنامج Solidworks	66
2–8	التكييف النهائي لصفيحة التثبيت مع وضع البراغي ضمن برنامج Solidworks	66
2–9	تحويل نموذج الفك السفلي من سطوح NURBS إلى مجسم صلب Solid باستخدام برنامج PowerSHAPE	68
2–10	النماذج النهائية لمجموعات الدراسة "1"	70
2–11	النماذج النهائية لمجموعات الدراسة "2"	71

12–2	مشاريع الدراسة ضمن واجهة برنامج ®Ansys	72
13–2	الربط الشبكي Mesh ضمن برنامج ®Ansys	74
14–2	الشروط الحدية Boundary Conditions لنموذج الدراسة	77
1–3	القيمة العظمى للإجهاد المكافئ Von–Mises في صفائح التثبيت أثناء الضغط الرحوي أحادي الجانب	81
2–3	توزع الإجهاد المكافئ Von–Mises Stress (MPa) في صفائح التثبيت (1)	82
3–3	توزع الإجهاد المكافئ Von–Mises Stress (MPa) في صفائح التثبيت (2)	83
4–3	القيمة العظمى للإجهاد المكافئ Von–Mises في براغي التثبيت أثناء الضغط الرحوي أحادي الجانب	84
5–3	توزع الإجهاد المكافئ Von–Mises Stress (MPa) في براغي التثبيت (1)	85
6–3	توزع الإجهاد المكافئ Von–Mises Stress (MPa) في براغي التثبيت (2)	86
7–3	القيمة العظمى للإجهاد الأساسي الأعظمي في العظم القشري أثناء الضغط الرحوي أحادي الجانب	87
8–3	توزع الإجهاد الأساسي الأعظمي (MPa) في العظم القشري حول براغي التثبيت (1)	88
9–3	توزع الإجهاد الأساسي الأعظمي (MPa) في العظم القشري حول براغي التثبيت (2)	89
10–3	الانفعال المتشكل في منطقة خط الكسر أثناء التحميل الإطباقي بالضغط الرحوي أحادي الجانب	90
11–3	القيمة المتوسطة للانفعال الأساسي الأعظمي في الدشبذ أثناء الضغط الرحوي أحادي الجانب	91
12–3	القيمة العظمى للانفعال الأساسي الأعظمي في الدشبذ أثناء الضغط الرحوي أحادي الجانب	92
13–3	الانفعال المتشكل في الدشبذ (المجموعة A)	92
14–3	تمثيل الانزياح (مم) في نموذج الفك السفلي أثناء الضغط الرحوي في جهة الكسر	93
15–3	القيمة العظمى للانزياح في موقع خط الكسر أثناء الضغط الرحوي أحادي الجانب	94
1–4	انفتاح الحافة السفلية لكسر الزاوية بعد تطبيق صفيحة صغيرة علوية مفرد وفق طريقة Champy	108

قائمة الاختصارات List of Abbreviations

الاختصار	المصطلح
ORIF	**Open Reduction and Internal Fixation**
FEA	**Finite Element Analysis**
TMJ	**Temporomandibular Joint**
MMF	**Maxillomandibular Fixation**
AO	**Arbeitsgemeinschaft Für Osteosyathescfragen**
RIF	**Rigid Internal Fixation**

المقدمة Introduction :

تُعدّ كسور الفك السفلي من أكثر الكسور الوجهية الفكية شيوعاً حيث تحتل المرتبة الثانية بعد كسور الأنف (Ellis, 1995) (Haug et al., 1990) (Ellis et al., 1985)، كما تحظى كسور زاوية الفك السفلي بإشكالية خاصة بين كسور المنطقة الوجهية بسبب ترافقها مع نسبة عالية من الاختلاطات بعد إجراء المعالجة من جهة، والصعوبة النسبية للإجراء الجراحي في هذه المنطقة من جهة أخرى (Gear et al., 2005) (Haug et al., 2001) (Ellis, 1999)، هذا ويُعدّ حدوث كلّ من الإنتان وعدم الالتحام شائعاً بعد إجراء الرد المفتوح والتثبيت الداخلي Open Reduction and Internal Fixation (ORIF) لهذه الكسور (Mathog et al., 2000).

تُعتبر طريقة الرد المفتوح والتثبيت الداخلي باستخدام الصفائح والبراغي المعدنية حالياً الطريقة القياسية في معالجة كسور الفك السفلي (Lovald et al., 2009)، وعلى الرغم من وجود عدد كبير من الدراسات عن طرائق تثبيت كسور زاوية الفك السفلي إلا أنه حتى الآن لا يوجد إجماع حول طريقة التثبيت المثلى لهذا النوع من الكسور (Gear et al., 2005) (Feller et al., 2003) (Ellis, 1999).

كما أنه توجد علاقة مباشرة بين نمط التثبيت المستخدم في معالجة كسور الفك السفلي – والمتمثل في مادة تصنيع الصفائح والبراغي المستعملة للتثبيت وشكلها الهندسي ومكان توضعها– والسلوك الميكانيكي الحيوي للفك السفلي (Vollmer et al., 2000)، ونظراً لصعوبة تفسير السلوك الميكانيكي الحيوي للفك السفلي في دراسات سريرية مجراة على البشر وبفضل التطور العلمي والتقاني وظهور تقنية تحليل العناصر المنتهية Finite Element Analysis (FEA) التي تسمح بالحصول على نتائج رقمية تقدم تحليلاً وتفسيراً لحالات تحاكي الواقع تماماً جاءت فكرة هذا البحث في توظيف تحليل العناصر المنتهية FEA لتحري عدّة تراكيب لاستعمال صفائح التثبيت المصنوعة من التيتانيوم والمستخدمة لتثبيت كسور زاوية الفك السفلي.

هدف البحث Aim of Study :

تهدف هذه الدراسة التحليلية العددية إلى :

– إجراء مقارنة من الناحية الميكانيكية الحيوية بين طرائق مختلفة لاستخدام الصفائح والبراغي المعدنية في تثبيت كسر مفرد غير متشظي في زاوية الفك السفلي دون إجراء تثبيت بين فكي وذلك باستخدام تحليل العناصر المنتهية Finite Elements Analysis .

– تحليل توزع الإجهادات في عناصر التثبيت المختلفة من صفائح وبراغي معدنية وفي العظم القشري المحيط بالبراغي، وتحليل توزع الانفعال ومقدار الانزياح الحاصل في منطقة خط الكسر أثناء التحميل الوظيفي.

الفصل الأول

المراجعة النظرية

Literature Review

1-1- الفك السفلي : لمحة تشريحية

1-1-1- عظم الفك السفلي Mandible :

يُعتبر الفك السفلي أكبر وأقوى عظام الوجه، ويتمفصل مع قاعدة الجمجمة بالمفصل الفكي الصدغي ليشكل العظم الوحيد المتحرك بين عظام الجمجمة، ويتكون الفك السفلي من جسم أفقي Body بشكل نعل الفرس وجزأين عموديين يدعى كل منهما الرأد Ramus، ويدعى مكان التقاء الجسم مع الرأد بزاوية الفك السفلي Angle of the mandible. (Snell, 2012) (Hiatt & Leslie, 2010)

جسم الفك السفلي :

يوجد على السطح الخارجي لجسم الفك السفلي عند منطقة الخط الناصف حافة غير واضحة تشير إلى مكان خط التحام نصفي الفك السفلي خلال التطور، تدعى هذه الحافة بالارتفاق الذقني symphysis menti وتتوضع إلى الأسفل منه مباشرةً الناشزة الذقنية mental protuberance ذات الشكل المثلثي، يُطلق اسم الحفيرة القاطعة incisive fossa على الانخفاض الضحل المتوضع بين القواطع السفلية والناشزة الذقنية، كما يمكن رؤية الثقبة الذقنية mental foramen إلى الأسفل من الضاحك الثاني وهي تنفتح إلى الخلف ليخرج منها العصب الذقني الفرع الانتهائي للعصب السنخي السفلي والأوعية المرافقة. (Snell, 2012) (Gray, 2008) (Hiatt & Leslie, 2010)

يمتد الخط المنحرف الظاهر external oblique line من الناشزة الذقنية حتى الحافة الأمامية للرأد ويكون خفياً وسطحياً في الأمام حتى منطقة الرحى الأولى حيث يصبح بارزاً، وفي سوية الرحى الثانية يبدأ بالتقوس باتجاه الخلف والأعلى ليتمادى مع الحافة الأمامية الحادة للرأد.

تشاهد الشوكات الذقنية mental spines على السطح الداخلي لجسم الفك السفلي عند المستوي الناصف وتشكل منشأ للعضلات الذقنية اللسانية في الأعلى والذقنية اللامية في الأسفل .

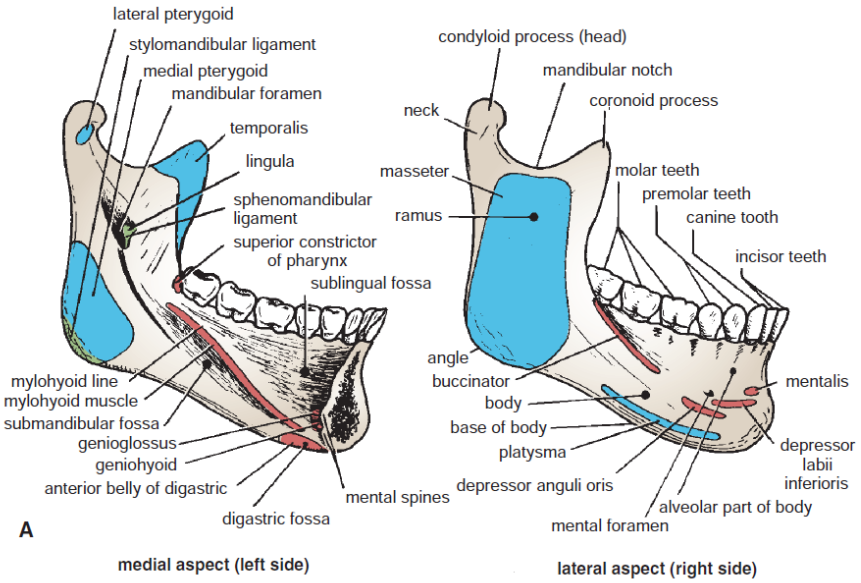
يمكن رؤية الخط الضرسي اللامي كحافة مائلة تبدأ من منطقة الشوكات الذقنية وتمتد باتجاه الخلف والوحشي إلى منطقة تحت وخلف الرحى الثالثة السفلية. تقع الحفرة تحت الفك والتي

يسكنها القسم السطحي من الغدة تحت الفك السفلي تحت القسم الخلفي من الخط الضرسي اللامي، بينما تقع الحفرة تحت اللسان والتي تسكنها الغدة تحت اللسان تحت القسم الأمامي من هذا الخط. (Gray, 2008) (Norton, 2012) (Snell, 2012)

تُدعى الحافة العلوية لجسم الفك السفلي بالقسم السنخي Alveolar Part والذي يحتوي عند البالغ على 16 تجويفاً تدعى الأسناخ وتسكنها جذور الأسنان السفلية.

يمتد الرأد بشكل عمودي وينتهي في الأعلى بناتئين هما الناتئ المنقاري في الأمام والناتئ اللقمي في الخلف، ويفصل بين الناتئين ثلمة الفك السفلي Mandibular Notch وتدعى أيضاً بالثلمة السينية Sigmoid Notch. ترتكز ألياف العضلة الصدغية على الحافة الأمامية والعلوية والسطح الأنسي للناتئ المنقاري، ويتألف الناتئ اللقمي من رأس يدعى اللقمة Condyle تحته عنق قصير neck. (Gray, 2008) (Norton, 2012) (Snell, 2012)

توجد على السطح الوحشي للرأد علامات ارتكاز العضلة الماضغة، ومن السطح الأنسي يمكن رؤية ثقبة الفك السفلي Mandibular Foramen مدخل قناة الفك السفلي التي يمر منها العصب السنخي السفلي والأوعية المرافقة، يوجد أمام الثقبة بروز عظمي يدعى اللسينة Lingula يشكل مرتكز الرباط الوتدي الفكي. (Snell, 2012) (الشكل 1-1)



الشكل 1-1: شكل ترسيمي للفك السفلي يظهر فيه الوجه الخارجي (على اليمين) والوجه الداخلي (على اليسار) (Snell, 2012)

1-1-2- المفصل الفكي الصدغي Temporomandibular joint (TMJ)

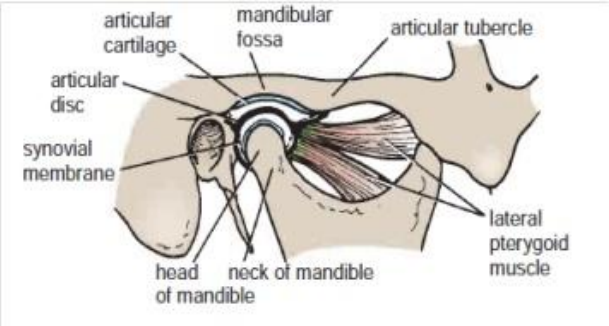
يتألف المفصل الفكي الصدغي تشريحياً من :

أ- السطوح العظمية المفصلية :

يحدث التمفصل بين لقمة الفك السفلي من الأسفل، والحديبة المفصلية والقسم الأمامي من حفيرة الفك السفلي في العظم الصدغي من الأعلى، وتكون السطوح العظمية للمفصل مغطاة بغضروف ليفي . (Snell, 2012) (الشكل 1-2)

ب - القرص المفصلي :

قرص ثنائي التقعر يتألف من نسيج ضام ليفي كثيف، يتوضع بين السطوح المفصلية ليفصل المنطقة إلى جوفين: مسافة مفصلية علوية وأخرى سفلية. (Hiatt & Leslie, 2010) (Gray, 2008)



الشكل 1-2: شكل ترسيمي يوضح أجزاء المفصل الفكي الصدغي (Snell, 2012)

ج- المحفظة المفصلية :

يعد المفصل الفكي الصدغي من المفاصل الزليلية، وكما هو الحال في أي مفصل زليلي تقوم المحفظة المفصلية بتحديد الأجزاء التشريحية والوظيفية للمفصل الفكي الصدغي، وتكون بشكل بنية ليفية رخوة نسبياً مبطنة بغشاء زليلي تحيط بالسطح المفصلي للقمة وترتبط من الأعلى فوق الحديبة المفصلية وحواف حفرة الفك السفلي في العظم الصدغي، ومن الأسفل ترتبط في منطقة عنق اللقمة. (Snell, 2012) (Gray, 2008)

د- الأربطة المفصلية :

تتكون أربطة المفصل الفكي الصدغي من ألياف الكولاجين، ويتجلى عملها في تقييد حركة اللقمة والقرص المفصلي وهي تقسم بصورة رئيسية إلى:

1 . أربطة وظيفية رئيسية: (الجانبي + المحفظي + الفكي الصدغي).

2 . أربطة ثانوية: (الوتدي الفكي + الإبري الفكي) بالرغم من ارتباطها إلى بنى عظمية بعيدة نسبياً عن المفصل فإنها تمارس نوعاً من التقييد المنفعل Passive لحركة الفك السفلي. (Gray, 2008) (Snell, 2012)

1-1-3 عضلات المضغ Muscles of Mastication :

مجموعة من أربع عضلات ثنائية الجانب، تنشأ جميعها ما عدا العضلة الماضغة من الحفرتين الصدغية وتحت الصدغية، وترتكز جميعها في الفك السفلي أو حول المفصل الفكي الصدغي، وتشمل وظائفها حركات الرفع والحركات الأمامية والخلفية والجانبية للفك السفلي.

تتألف عضلات المضغ من: العضلة الصدغية – العضلة الماضغة – العضلة الجناحية الأنسية– العضة الجناحية الوحشية. (Hiatt & Leslie, 2010)

العضلة الصدغية Temporalis muscle :

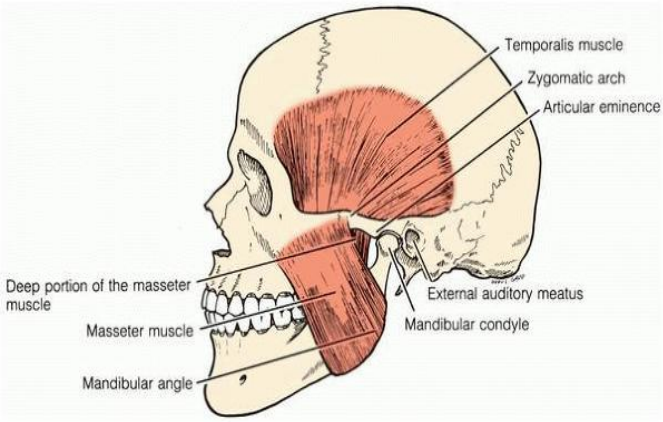
تنشأ من أرض الحفرة الصدغية بين الخطين الصدغيين العلوي والسفلي، وترتكز على شكل وتر على الناتئ المنقاري والحافة الأمامية للرأد حتى حدود الرحى الثالثة في الأمام والأسفل، يمكن تقسيم أليافها إلى أمامية ومتوسطة وخلفية، تتلخص وظيفة الألياف الأمامية والمتوسطة برفع الفك السفلي، بينما تلعب الألياف الخلفية دوراً في فعل إرجاع الفك السفلي.

(Hiatt & Leslie, 2010) (Snell, 2012)

العضلة الماضغة Masseter muscle :

تتألف من جزأين سطحي وعميق، ينشأ الجزء السطحي من الناتئ الوجني للعظم الفكي والثلثين الأماميين من الحافة السفلية للقوس الوجنية، في حين ينشأ الجزء العميق من الوجه الأنسي والثلث الخلفي للحافة السفلية للقوس الوجنية.

ترتكز ألياف هذه العضلة على الوجه الوحشي لرأد الفك السفلي وزاوية الفك السفلي حتى الرحى الأخيرة كأبعد منطقة أمامية، أما أبعد حدود علوية فهي قاعدة الناتئ المنقاري. وتتلخص وظيفتها في رفع الفك السفلي. (الشكل 1-3) (Snell, 2012) (Hiatt & Leslie, 2010)

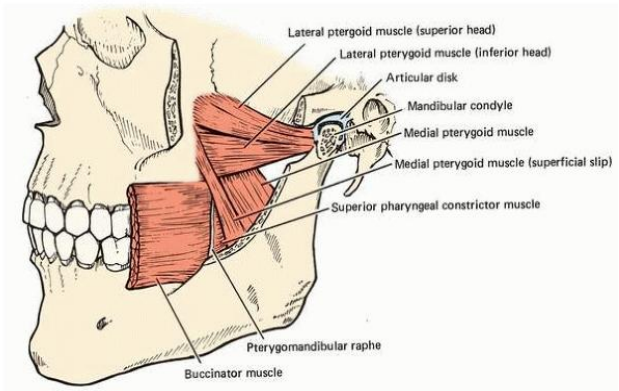


الشكل 1-3: شكل ترسيمي يوضح العضلتين الصدغية والماضغة (Hiatt & Leslie, 2010)

العضلة الجناحية الأنسية Medial pterygoid muscle :

تنشأ من الحفرة الجناحية والسطح الأنسي للصفيحة الجناحية الوحشية وينشأ جزء صغير منها من الجزء الوحشي للناتئ الهرمي من العظم الحنكي مقابل الحدبة الفكية.

وترتكز على السطح الأنسي لرأد الفك السفلي في منطقة الزاوية وتصل حتى الرباط الوتدي الفكي في الأعلى، وتتلخص وظيفتها في رفع الفك السفلي. (Hiatt & Leslie, 2010)



الشكل 1-4: شكل ترسيمي يوضح العضلتين الجناحيتين الأنسية والوحشية (Hiatt & Leslie, 2010)

العضلة الجناحية الوحشية Lateral pterygoid muscle :

تتألف من رأسين علوي وسفلي: ينشأ الرأس العلوي من الجناح الكبير للعظم الوتدي والعرف تحت الصدغي، وينشأ الرأس السفلي من السطح الوحشي للصفيحة الجناحية الوحشية.

يرتكز الرأس العلوي على المحفظة المفصلية للمفصل الفكي الصدغي، وعلى القرص المفصلي والجزء العلوي من عنق اللقمة. أما الرأس السفلي فهو يرتكز على الوجه الأمامي لعنق لقمة الفك السفلي. (الشكل 1-4)

وظيفياً يعمل الرأس العلوي على استقرار لقمة الفك السفلي، في حين يقوم الرأس السفلي بسحب عنق اللقمة نحو الأمام والمساهمة في حركة الفتح في حال التقلص ثنائي الجانب والحركة الجانبية في حال التقلص أحادي الجانب. (Hiatt & Leslie, 2010)

1-2- كسور الفك السفلي

1-2-1- تواتر وأسباب حدوث كسور الفك السفلي :

يُعدّ الفك السفلي من أكثر عظام الوجه تعرضاً للرضوض بسبب موقعه البارز في الهيكل العظمي الوجهي، (Inaoka et al., 2009) كما تعد كسور الفك السفلي ثاني حالات الرضوض الوجهية شيوعاً بعد كسور الأنف. (Ellis, 1995)

ويلاحظ مشاركتها مع 70% من حالات الكسور الوجهية الأخرى علماً أنه في 50% من الحالات تكون كسور الفك السفلي متعددة بحيث تشمل أكثر من منطقة، (Barrera & Batuello, 2015) هذا وتعد الفئة العمرية بين (20-29) عاماً الأكثر تعرضاً لكسور الفك السفلي، والذكور أكثر إصابة من الإناث بنسبة 3 :1 (Keim et al., 2008)

تشمل أسباب كسور الفك السفلي كلاً من :

- حوادث السير 43%
- الاعتداء 34%
- إصابات العمل 7%
- السقوط 7%
- الإصابات الرياضية 4%
- أسباب أخرى مثل كسور الفك الضامر والكسور المرضية والكسور علاجية المنشأ 5%
(Ellis & Price, 2008) (Barrera & Batuello, 2015)

1-2-2- تصنيف كسور الفك السفلي :

يمكن تصنيف كسور الفك السفلي اعتماداً على طبيعة الكسر أو مكان الكسر أو حسب شد العضلات ...

أ- تصنيف كسور الفك السفلي حسب طبيعة الكسر :

- ✓ الكسر البسيط أو المغلق Simple or closed fracture: يتكون من خط كسر وحيد ليس له اتصال مع الوسط الخارجي .
- ✓ الكسر المركب أو المفتوح Compound or open fracture: وهو الكسر المتصل مع الوسط الخارجي عن طريق الانفتاح على الجلد أو المخاطية الفموية (غالباً عبر الرباط السني السنخي لأحد الأسنان) .
- ✓ الكسر المتشظي (المتفتت) Comminuted fracture: يلاحظ وجود عدة قطع عظمية في موقع واحد للكسر وغالباً يكون ناتجاً عن تطبيق قوة كبيرة .
- ✓ الكسر المعقد Complex fracture: وفيه تشمل الأذية بالإضافة إلى العظم البنى المجاورة للعظم كالأوعية الدموية الكبيرة والأعصاب...
- ✓ كسر الغصن النضيرGreenstick fracture : يحصل عند الأطفال بسبب مرونة العظم وفيه ينكسر العظم غالباً من قشرة واحدة والقشرة الأخرى تنحني ولا تنكسر وهذا يؤدي إلى تشوه دون حركة القطع العظمية .
- ✓ الكسر المنحشر Impacted fracture: وفيه تتثبت قطع الكسر إلى بعضها بقوة ولا يبدو خط الكسر واضحاً.
- ✓ الكسر المباشر Direct fracture: كسر مكان تطبيق القوة تماماً.
- ✓ الكسر غير المباشر Indirect fracture: كسر بعيد عن مكان تطبيق القوة.
- ✓ الكسر المتعدد multiple fractures: عدة كسور غير متصلة مع بعضها.
- ✓ الكسر المرضي Pathologic fracture: ينتج عن مرض عام أو موضعي تسبب في إضعاف بنية العظم، ويحث هذا النوع من الكسور خلال الوظيفة الطبيعية أو عند

التعرض لرض بسيط لا يسبب كسراً في الحالة الطبيعية.

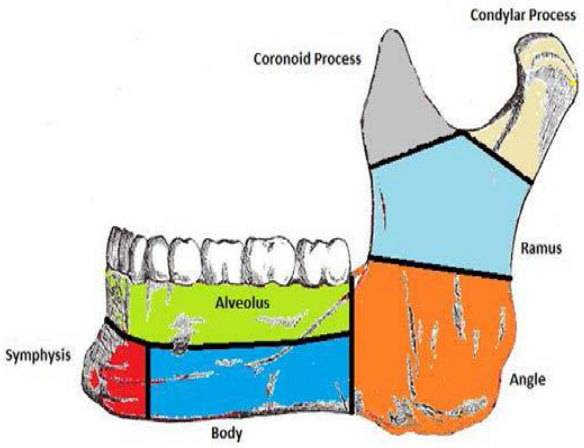
- ✓ الكسر المتبدل Displaced fracture: وفيه يتحرك أحد جزأي الكسر أو كلاهما ليتشكل فراغ أو تراكب أو زاوية بينهما.
- ✓ الكسر غير المتبدل Non-displaced fracture: وفيه يحافظ جزأي الكسر على علاقتهما التشريحية الأصلية مع وجود خط كسر بينهما.

(Chacon & Larsen, 2004) (Brennan et al., 2012) (Fonseca et al., 2013)

ب- تصنيف كسور الفك السفلي حسب مكان الكسر :

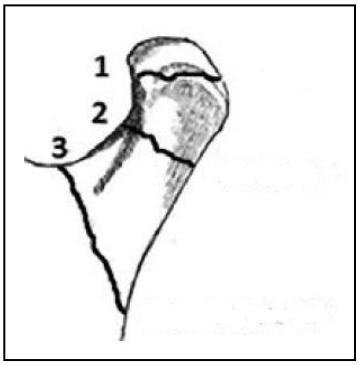
تصنف كسور الفك السفلي حسب الموقع التشريحي لخط الكسر وفق (Brennan et al., 2012) (Chacon & Larsen, 2004) إلى : (الشكل 1-5)

- ✓ كسر الناتئ السنخي Alveolar process fracture
- ✓ كسر الارتفاق Symphysis fracture
- ✓ كسر نظير الارتفاق Parasymphysis fracture
- ✓ كسر جسم الفك Body fracture
- ✓ كسر الزاوية Angle fracture
- ✓ كسر الرأد Ramus fracture
- ✓ كسر الناتئ المنقاري Coronoid process fracture
- ✓ كسور الناتئ اللقمي Condylar process fractures وتصنف حسب موقع الكسر بالنسبة للقمة إلى : (الشكل 1-6)



الشكل 1-5: توزع مناطق حدوث كسور الفك السفلي
(Brennan et al., 2012)

- كسور رأس اللقمة "داخل المحفظة"
- كسور عنق للقمة "خارج المحفظة"
- كسور تحت اللقمة "خارج المحفظة"

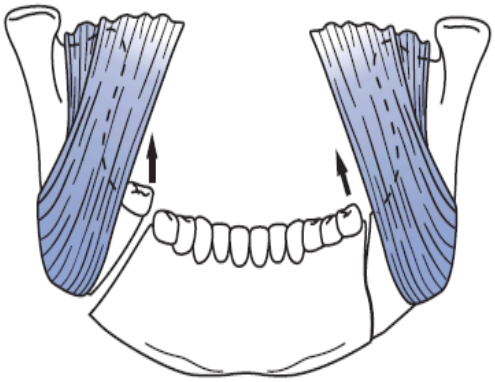


الشكل 1-6: تصنيف كسور اللقمة (Brennan et al., 2012)
1. كسر رأس اللقمة 2. كسر عنق اللقمة 3. كسر تحت اللقمة

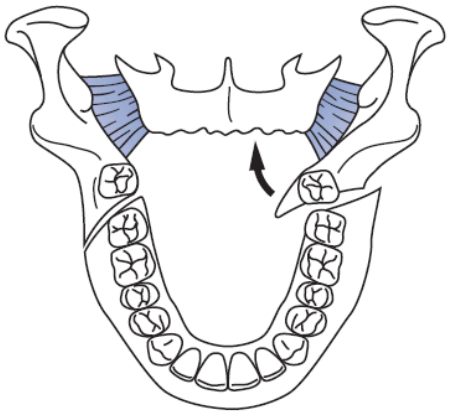
ج- تصنيف كسور الفك السفلي حسب شد العضلات :

يرتبط هذا التصنيف باتجاه خط الكسر وتأثير عمل عضلات المضغ في قطعتي الكسر، حيث تصنف الكسور إلى :

- كسر مستحب أفقياً Horizontally favorable fracture: وفيه يكون اتجاه خط الكسر معاكساً للقوى العضلية المسببة للتبدل بالاتجاه العلوي مثل سحب العضلات الماضغة والصدغية باتجاه الأعلى وذلك عند النظر إليها بمستوي أفقي (جانبي) وبالتالي تعمل العضلات على تقريب طرفي الكسر من بعضهما وزيادة ثبات الكسر.
- كسر غير مستحب أفقياً Horizontally unfavorable fracture: وفيه يكون اتجاه خط الكسر موافقاً للقوى العضلية المسببة للتبدل بالاتجاه العلوي، وبالتالي تعمل العضلات على المباعدة بين طرفي الكسر. (الشكل 1-7)
- كسر مستحب شاقولياً Vertically favorable fracture: وفيه يكون اتجاه خط الكسر معاكساً للقوى العضلية المسببة للتبدل بالاتجاه الأنسي مثل سحب العضلات الجناحية الأنسية والوحشية وذلك عند النظر إليها بمستوي عمودي (من الأعلى)...
- كسر غير مستحب شاقولياً Vertically unfavorable fracture: وفيه يكون اتجاه خط الكسر موافقاً للقوى العضلية المسببة للتبدل بالاتجاه الأنسي. (الشكل 1-8) (Chacon & Larsen, 2004) (Fonseca et al., 2013)



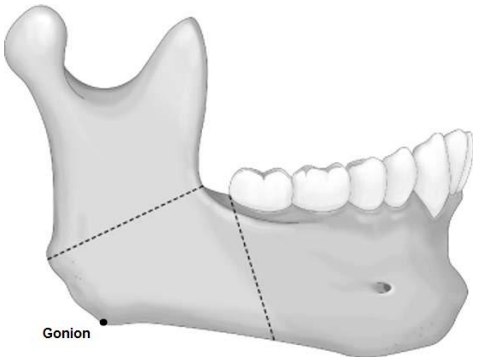
الشكل 1-7: كسر مستحب أفقياً (اليمين)، وكسر غير مستحب أفقياً (اليسار) (Chacon & Larsen, 2004)



الشكل 1-8: كسر غير مستحب شاقولياً (اليمين)، وكسر مستحب شاقولياً (اليسار) (Chacon & Larsen, 2004)

1-3- معالجة كسور زاوية الفك السفلي

يُعرّف كسر زاوية الفك السفلي بأنه كل خط كسر يمتد بين الرحى الثالثة السفلية أو مكان توضعها في الأعلى حتى الحافة السفلية للفك السفلي، وأحياناً يمتدّ للخلف لينتهي عند أو فوق النقطة Gonion بقليل (Al-moraissi & Ellis, 2014) (الشكل 1-9)، وتكون نهاية خط الكسر في كسور زاوية الفك السفلي تماماً عند النقطة Gonion في 8% من الحالات فقط، وفي معظم الحالات تكون أمامها، وأحياناً قليلة جداً خلفها. (Ellis, 2009)



الشكل 1-9: موقع حدوث كسر زاوية الفك السفلي "في المنطقة مابين الخطين" (Ellis, 2009)

تعتبر كسور زاوية الفك السفلي شائعة الحدوث وذلك بسبب صغر مساحة المقطع العرضي للعظم في هذه المنطقة بالمقارنة مع جسم الفك ومناطق نظير الارتفاق والارتفاق في الأمام (Ellis, 2009) (Gear et al., 2005)، وتشكل كسور زاوية الفك السفلي حوالي 30% من مجمل كسور الفك السفلي في البلدان المتقدمة. (Al-moraissi & Ellis, 2014)

تقتصر المعالجة المحافظة بالرد المغلق Closed Reduction والتثبيت بين الفكي (MMF) Maxillomandibular fixation لكسور زاوية الفك السفلي على حالات الكسور البسيطة Simple وغير المتبدلة Non-displaced من النمط المستحب Favorable للشد العضلي حيث تعمل العضلات على تقريب جزأي الكسر من بعضهما وتثبيت هذا الكسر. (Ellis, 2009) (Feller et al., 2003)

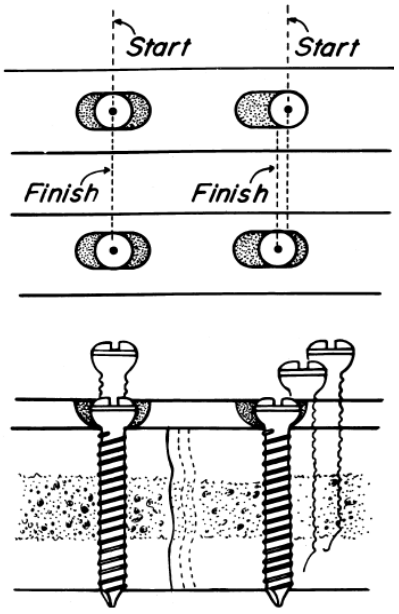
تُعالج غالبية كسور زاوية الفك السفلي بالرد المفتوح والتثبيت الداخلي(ORIF) Open Reduction & Internal Fixation، وحتى الكسور غير المتبدلة يمكن معالجتها بالرد المفتوح والتثبيت الداخلي للحفاظ على ارتصاف جزأي الكسر وإلغاء الحاجة لإجراء تثبيت بين فكي MMF بعد الجراحة. (Ellis, 2009)

استُخدم سابقاً لتثبيت كسور زاوية الفك السفلي طرائق مختلفة كالخياطة السلكية داخل العظمية Intraosseous Wiring (عند إجراء الرد المفتوح) (الشكل 1-10)، والدبابيس الخارجية External Pins (عند اتباع طريقة الرد المغلق أو وجود كسر متفتت)، وذلك بالمشاركة مع التثبيت بين الفكي MMF. أما حالياً فيتم استخدام وسائل التثبيت الداخلي المتمثلة بالصفائح والبراغي المعدنية. (Ellis, 2009) (Gear et al., 2005)

الشكل 1-10: صورة شعاعية بانورامية تظهر تثبيت كسر زاوية الفك السفلي باستخدام الخياطة السلكية بالمشاركة مع التثبيت بين الفكي (Ellis, 1999)

أول من وصف الرد المفتوح والتثبيت الداخلي لكسور الفك السفلي كان shede في العام 1888 وقام باستخدام صفائح وبراغي من الفولاذ (Fonseca et al., 2013)، وكانت نتائج المحاولات الأولى للرد المفتوح والتثبيت الداخلي ORIF سيئة بسبب حدوث تآكل المعدن وتعرضه للتعب (Fatigue)، وقد سيطرت تقنيات التثبيت الخارجي حتى ستينات القرن الماضي حيث قدم Luhr صفائح ضاغطة مصنوعة من الفيتاليوم، وساعد على تطور التثبيت الداخلي اكتشاف مواد متقبلة حيوياً ومقاومة للتآكل كالتيتانيوم والفيتاليوم . (Gear et al., 2005)

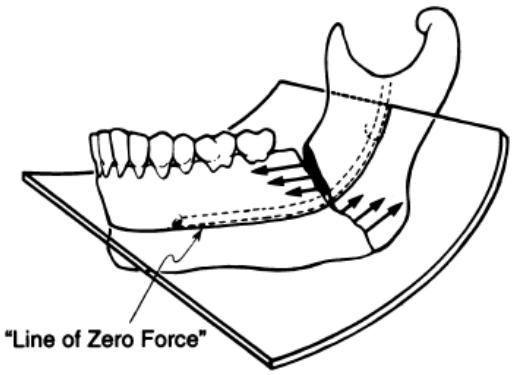
طوّر schmocker و spiessl في بداية السبعينيات صفائح ضاغطة ديناميكية لتثبيت كسور الفك السفلي توضع فيها البراغي بشكل لا مركزي eccentric لتوليد الضغط (الشكل 1-11). (Gear et al., 2005) وبالتزامن مع هذا بدأ Michelet وزملاؤه بإجراء تجارب على صفائح صغيرة miniplates غير ضاغطة مثبتة ببراغي أحادية القشرة. (Michelet et al., 1973)



الشكل 1-11: شكل ترسيمي يوضح آلية عمل الصفائح الضاغطة (Gear et al., 2005)

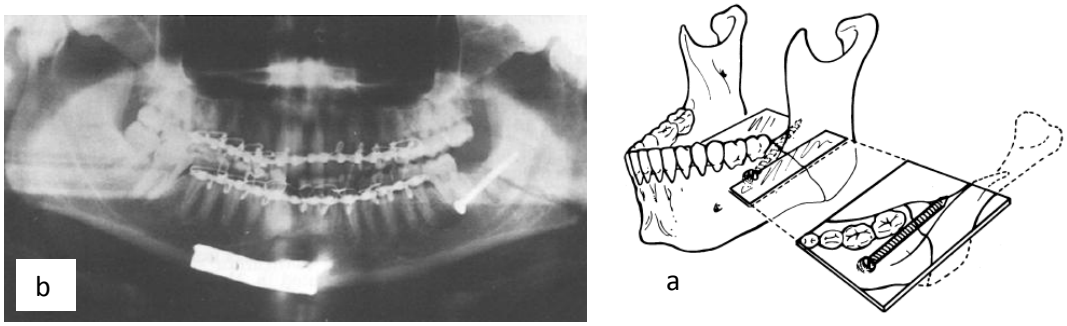
أظهر Champy وزملاؤه أنه في حالة كسور زاوية الفك السفلي تخضع الحافة العلوية للفك السفلي لقوى شد tension في حين تخضع الحافة السفلية للفك السفلي لقوى ضغط compression (الشكل 1-12)، وأن منطقة الانتقال بين مناطق الشد والضغط وتدعى بخط انعدام القوة (line of zero force) وينطبق هذا الخط مع مسار العصب السنخي السفلي (الشكل1-13). (Champy et al., 1978) (Champy et al., 1976)

الشكل 1-12: مناطق الشد (-) والضغط (+) كما وصفها Champy (Gear et al., 2005)



الشكل 1-13: خط انعدام القوة كما وصفه Champy (Gear et al., 2005)

اتبع Niederdellman وزملاؤه في منتصف السبعينيات تقنية أخرى لتثبيت كسور زاوية الفك السفلي دون استعمال صفائح التثبيت وهي باستخدام البراغي الضاغطة أو براغي Lag التي ولدت بدورها تثبيتاً بالضغط (الشكل1-14) ولكن اعتبرت هذه الطريقة صعبة التطبيق سريرياً وغالباً تتطلب قلع الرحى الثالثة ليتمكن الجراح من وضع البرغي بشكل صحيح. (Gear et al., 2005)



الشكل 1-14: طريقة تثبيت كسر زاوية الفك السفلي باستخدام برغي Lag كما وصفها Niederdellman

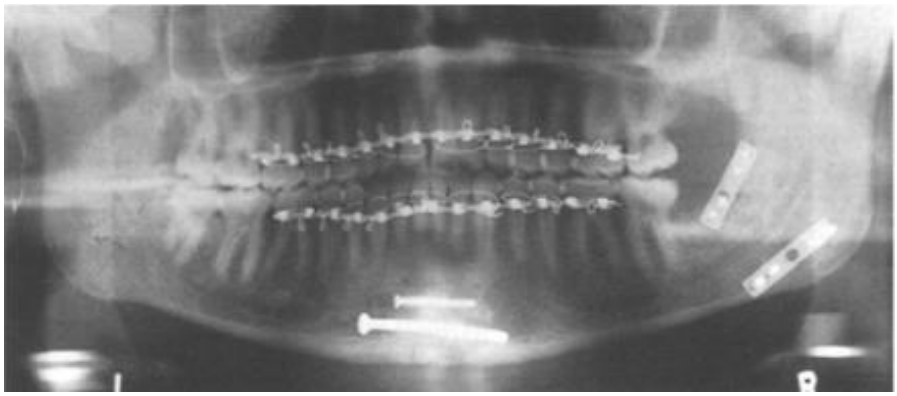
a- شكل ترسيمي (Gear et al., 2005) b- صورة شعاعية بانورامية (Ellis, 1999)

جمعية *AO/ ASIF* (Arbeitsgemeinschaft Für Osteosynthesefragen)
: Association for study of internal fixation

وهي مؤسسة عالمية غير ربحية مقرها سويسرا أُسّست عام 1958 تعنى بدراسة وتدريس تقنيات التثبيت الداخلي، ولها فرع يختص برضوض المنطقة الوجهية الفكية.

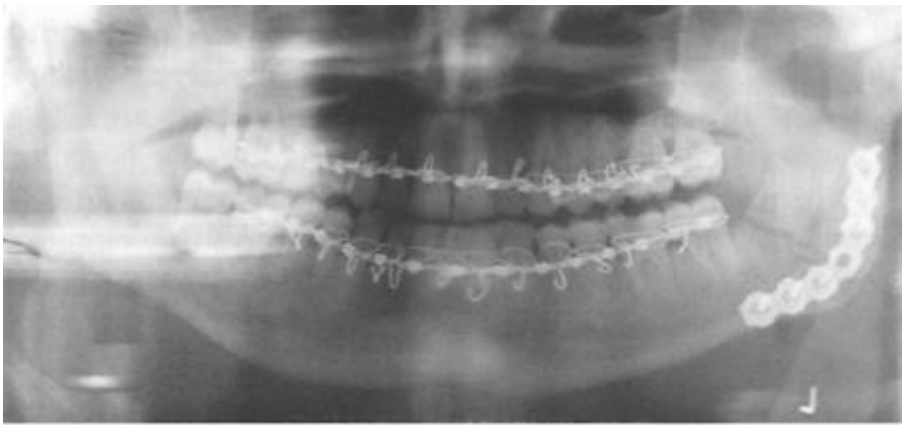
أكدت هذه الجمعية كنتيجة للأبحاث المجراة على العظام الطويلة على ضرورة الاستقرار التام لمنع حركة جزأي الكسر وحدوث شفاء عظمي أولي لذلك تم تطوير تقنيات تثبيت كصفائح إعادة البناء وأنظمة الصفائح الضاغطة لتحقيق شفاء عظمي أولي ودعيت تقنيات التثبيت هذه بالتثبيت الداخلي الصلب Rigid Internal Fixation (RIF). (Gear et al., 2005)

تضمنت طريقة جمعية AO الأصلية لتثبيت كسور زاوية الفك السفلي تثبيت صفيحتين ضاغطتين على الحافتين العلوية والسفلية للكسر (الشكل 1-15)، ثم عُدّلت هذه الطريقة باستبدال الصفيحة العلوية بصفيحة صغيرة غير ضاغطة معاكسة لقوى الشد دعيت Tension Band والإبقاء على الصفيحة الضاغطة السفلية (الشكل1-16)، كما اقترحت جمعية AO طريقة بديلة تتمثل باستخدام صفائح كبيرة تدعى صفائح إعادة البناء Reconstruction Plates تثبت على الحافة السفلية للفك السفلي (الشكل 1-17). وكانت الاختلاطات بعد الجراحة كالإنتان وسوء الالتحام تُعزى لعدم كفاية التثبيت وحدوث حركة أجزاء الكسر. (Ellis, 1999)



الشكل 1-15 : صورة شعاعية بانورامية يظهر فيها كسر زاوية فك سفلي معالج باستخدام صفيحتين ضاغطتين ديناميكياً على الحافتين العلوية والسفلية للكسر حسب طريقة AO الأصلية (Ellis, 1999)

الشكل 1-16 : صورة شعاعية بانورامية يظهر فيها كسر زاوية فك سفلي معالج باستخدام صفيحة سفلية ضاغطة وصفيحة علوية صغيرة حسب طريقة AO المعدّلة (Ellis, 1999)



الشكل 1-17: صورة شعاعية بانورامية يظهر فيها كسر زاوية فك سفلي معالج باستخدام صفيحة إعادة بناء Reconstruction Plate مثبتة على الحافة السفلية للكسر (Ellis, 1999)

اعتبر Champy أن تطبيق الصفائح التي تولّد ضغطاً للقطعتين العظميتين على بعضهما غير محبذ للأسباب التالية :

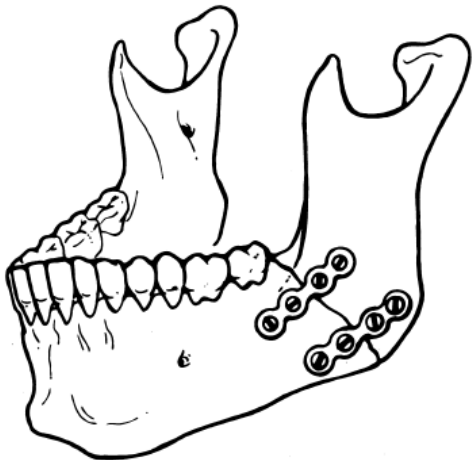
1. يوجد انضغاط طبيعي عند الحافة السفلية للفك بسبب فعل عضلات المضغ.

2. من المستحيل قياس شدة قوة الضغط المتشكلة بين قطعتي الكسر بفعل الصفائح الضاغطة، وبالتالي قد تكون هذه القوة شديدة لدرجة تولد امتصاصاً عظمياً.

3. صعوبة تأمين إطباق طبيعي عند استخدام الصفائح الضاغطة بسبب صعوبة تكييف هذه الصفائح لتنطبق على سطح العظم بدقة وذلك نظراً لكبر حجمها.

4. تطبيق الصفائح الضاغطة يتطلب مدخل خارج فموي عبر الجلد. (Champy et al., 1978)

كما لوحظ ترافق استعمال الصفائح الضاغطة لمعالجة كسور الفك السفلي بنسبة مرتفعة من الاختلاطات، وبناء على ذلك تم اقتراح إلغاء استخدام الصفائح الضاغطة وتعديل طريقة جمعية AO وتطبيق صفيحتين صغيرتين غير ضاغطتين على الحافتين العلوية والسفلية لكسر الزاوية (الأشكال 1-18، 1-19). (Ellis, 1999)

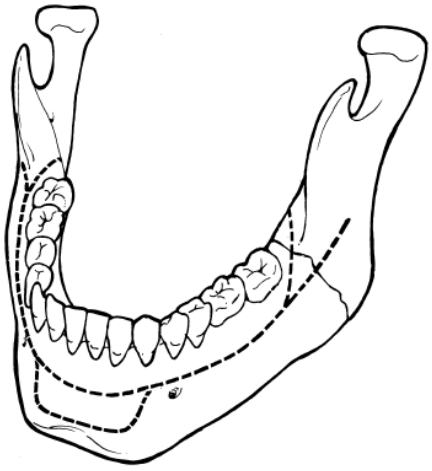


الشكل 1-18: تثبيت كسر زاوية الفك السفلي باستخدام صفيحتين صغيرتين غير ضاغطتين على حافتي الكسر العلوية والسفلية (Gear et al. 2005)

الشكل 1-19: صورة شعاعية بانورامية يظهر فيها كسر زاوية فك سفلي معالج باستخدام صفيحتين صغيرتين غير ضاغطتين على حافتي الكسر العلوية والسفلية (Ellis 1999)

وصف Michelet وزملاؤه عام 1973 طريقة لعلاج كسور زاوية الفك السفلي البسيطة وغير المتفتتة تضمنت تطبيق صفيحة صغيرة غير ضاغطة سهلة التكييف عبر مدخل داخل فموي تثبت ببراغي أحادية القشرة فوق الحافة العلوية للكسر، هذه الطريقة عاكست تأكيدات كل من(Spiessl 1971، Luhr 1972، Schilli 1973، وجمعية AO) حول أهمية الضغط والاستقرار التام وصلابة التثبيت المطلقة. (Gear et al., 2005) (Champy et al., 1978) (Michelet et al., 1973)

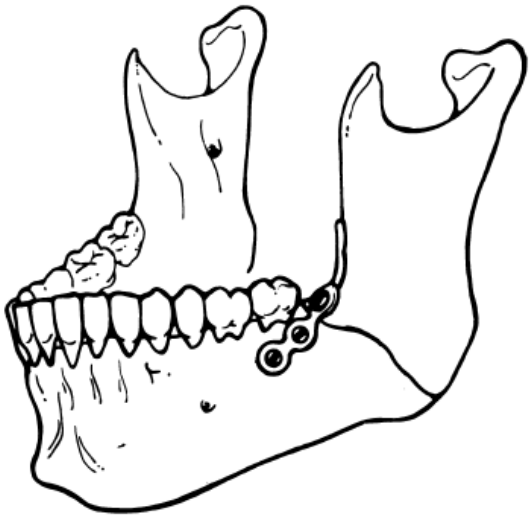
وأجرى Champy فيما بعد سلسلة من الاختبارات السريرية والميكانيكية الحيوية على الصفائح الصغيرة انتهت باقتراحه لما يسمى "الخطوط المثالية لتثبيت الصفائح المعدنية" في الفك السفلي (الشكل 1-20).



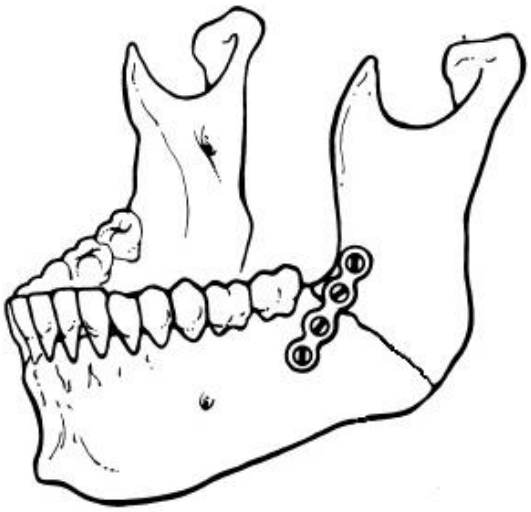
الشكل 1–20: الخطوط المثالية لتثبيت الصفائح المعدنية كما وصفها Champy عام 1976 (Gear et al., 2005)

اعتقد Champy أن وضع الصفائح على امتداد هذه الخطوط يؤمن ثباتاً واستقراراً مثالياً، وأن المكان المثالي لوضع صفائح تثبيت كسور زاوية الفك السفلي هو على الحافة العلوية للفك السفلي فوق الخط المنحرف الظاهر (الأشكال1–21، 1–23)، وفي الحالات التي لا يمكن وضع الصفيحة فوق الخط المنحرف الظاهر بسبب ضيق المساحة فوق الخط المنحرف الظاهر (كوجود رحى ثالثة سفلية منطمرة – وجود كسر سنخي – المريض صغير في السن ...إلخ) عندها يجب وضع الصفيحة أعلى مايمكن على السطح الوحشي للفك السفلي تحت الخط المنحرف الظاهر، ويتم ذلك عبر المدخل داخل الفموي نفسه، ولكن يتم تثبيت البراغي عبر الجلد باستخدام التروكار والرؤية من المدخل الدهليزي (الشكل 1–22)، وقال Champy أنه عند تثبيت الصفيحة على السطح الخارجي للرأد يكون التثبيت صلباً ما يكفي لتحمل الانفعال " التشوه " الناجم عن القوى العضلية، ولكن مقاومة الشد في الصفيحة تكون أصغر بـ 10% من الطريقة التقليدية فوق الخط المنحرف الظاهر، وبما أن الصفائح المستخدمة صغيرة و البراغي أحادية القشرة فإنه يمكن تثبيت هذه الصفائح دون المخاطرة بأذية جذور الأسنان المجاورة. (Champy et al., 1976) (Champy et al., 1978) (Gear et al., 2005)

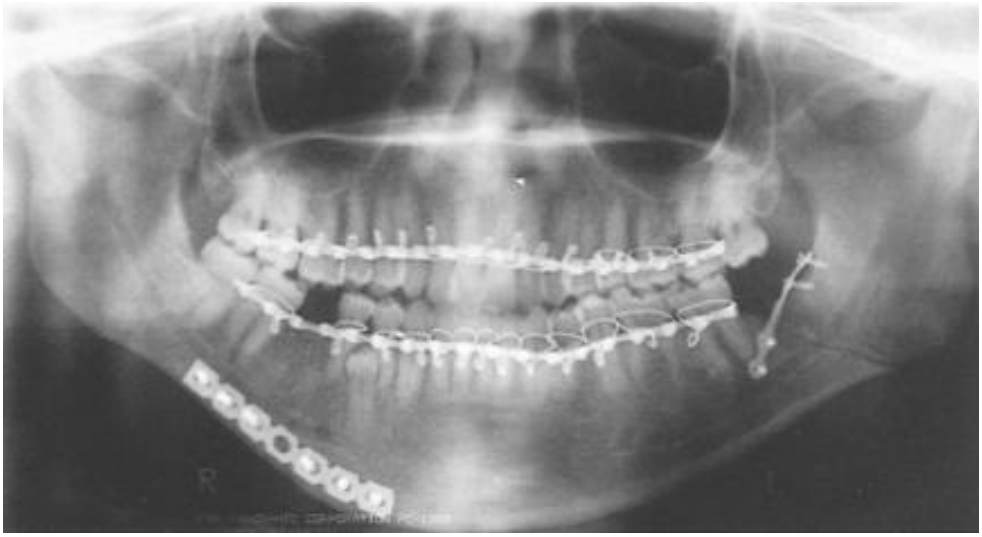
وقد أيّدت الدراسات اللاحقة فعالية طريقة Champy (Al–moraissi & Ellis, 2014) (Barber, 1999) (Ellis, 1999) (Ellis, 2009) (Braasch & Abubaker, 2013) (Ellis & Walker, 1996) (Neiderhagen et al., 1996) (Schierle et al., 1997) (Levy et al., 1991).



الشكل 1-21 : تثبيت كسر زاوية الفك السفلي باستخدام صفيحة صغيرة مفردة فوق الخط المنحرف الظاهر وفق طريقة Champy (Gear et al., 2005)



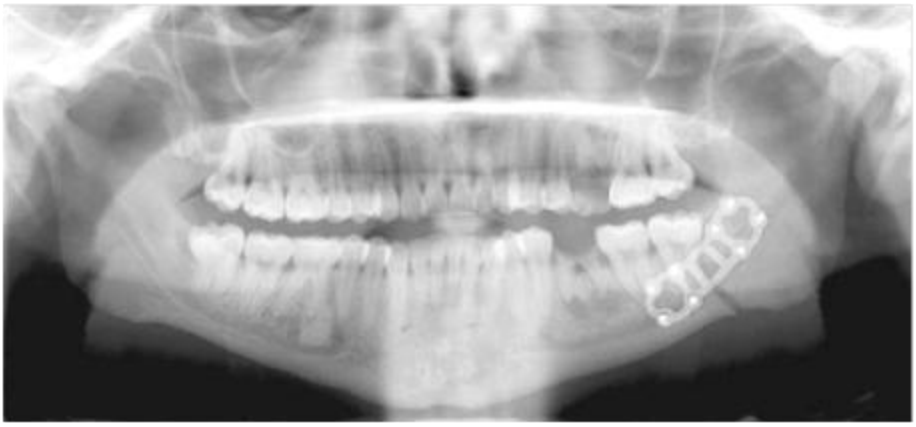
الشكل 1-22 : تثبيت كسر زاوية الفك السفلي باستخدام صفيحة صغيرة مفردة على السطح الوحشي للفك السفلي مباشرة تحت الخط المنحرف الظاهر وفق طريقة Champy المعدلة (Gear et al., 2005)



الشكل 1-23 : صورة شعاعية بانورامية يظهر فيها كسر زاوية فك سفلي معالج باستخدام صفيحة صغيرة مفردة غير ضاغطة فوق الخط المنحرف الظاهر وفق طريقة Champy (Ellis, 1999)

كما تم في تسعينيات القرن الماضي وصف استخدام الصفائح ثلاثية الأبعاد (الهندسية) وهي صفائح ذات شكل مربع أو مستطيل كبديل لطريقة تثبيت الصفيحتين الصغيرتين للحصول على

تثبيت داخلي صلب RIF مماثل لصفائح إعادة البناء (الشكل 1-24)، ويمكن وضع هذه الصفائح بمدخل داخل فموي وتثبت البراغي عبر الجلد باستخدام التروكار Trocar (Wittenberg et al., 1997)



الشكل 1-24 : صورة شعاعية بانورامية يظهر فيها كسر زاوية فك سفلي معالج باستخدام صفيحة ثلاثية الأبعاد 3D Plate (Ellis, 1999)

تحمل كسور زاوية الفك السفلي أعلى نسبة لحدوث الاختلاطات بعد المعالجة بين جميع كسور الفك السفلي، كما يعتبر موضوع المعالجة المثالية لكسور زاوية الفك السفلي من أكثر المواضيع المثيرة للجدل في مجال الرضوض الوجهية الفكية، حيث يأتي هذا الموضوع في المرتبة الثانية بعد معالجة كسور الناتئ اللقمي للفك السفلي. (Kimsal et al., 2010) (Ellis, 2009)

هذا وتتنافس مدرستان في موضوع التثبيت الداخلي لكسور زاوية الفك السفلي هما:

* مدرسة التثبيت الداخلي الصلب RIF والمتمثلة باستخدام براغي Lag أو صفيحتين علوية صغيرة وسفلية كبيرة ضاغطة حسب طريقة AO أو صفيحة إعادة بناء Reconstruction Plate كبيرة عند الحافة السفلية للفك أو صفيحتين صغيرتين علوية وسفلية أو صفيحة هندسية ثلاثية الأبعاد 3D Geometric Plate.

* مدرسة التثبيت الداخلي غير الصلب أو الاستقرار الوظيفي Functional Stability والمتمثلة بتثبيت كسر زاوية الفك السفلي البسيط أو المركب وغير المتفتت باستخدام صفيحة

صغيرة مفردة سهلة التكييف توضع بمدخل داخل فموي وتثبت ببراغي أحادية القشرة على الحافة العلوية للكسر حسب طريقة Champy. (Feller et al., 2003)

توجد حالتان من كسور زاوية الفك السفلي تتطلبان صلابةً في التثبيت أكبر مما يؤمنه التثبيت بصفيحة واحدة فقط، ويتوجب عند معالجة أي من هاتين الحالتين اللجوء إلى طرائق التثبيت الداخلي الصلب RIF، هاتين الحالتين هما:

1. الكسور المتفتتة التي تحتاج تثبيتاً قادراً على تحمل كامل القوى المطبقة على الفك من قبل عضلات المضغ Load Bearing Fixation، وتعالج هذه الكسور عادة باستخدام صفيحة إعادة بناء كبيرة مثبتة بثلاثة براغي على الأقل عند كل من جهتي الكسر.

2. عندما يترافق كسر الزاوية بوجود كسر أو أكثر في مكان آخر من الفك السفلي مثل كسر في لقمة الجهة المقابلة، وتكون خطة معالجة الكسر الآخر إما بالرد المغلق أو بالرد المفتوح مع التثبيت الداخلي غير الصلب مع عدم اللجوء للتثبيت بين الفكي MMF، عندها يتوجب استخدام إحدى طرائق التثبيت الداخلي الصلب لكسر الزاوية .

"القاعدة: عند وجود كسرين في الفك السفلي يعالج الكسر ذو إمكانية الوصول الأسهل بالتثبيت الصلب باستخدام صفيحيتين والكسر الآخر يثبت باستخدام صفيحة واحدة (تثبيت غير صلب)". (Ellis, 2009)

1-4- لمحة ميكانيكية

1-4-1- تعاريف أساسية :

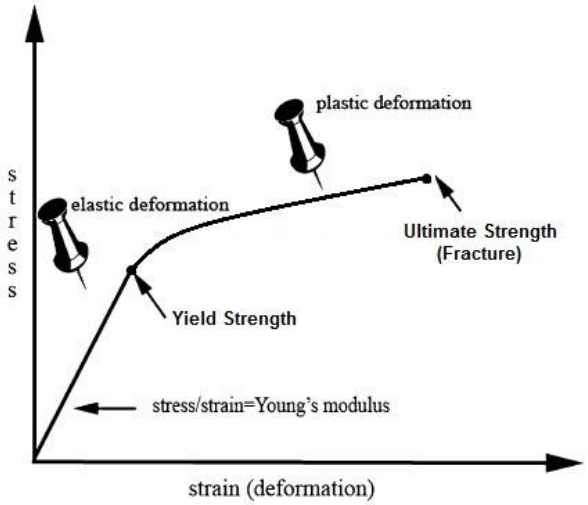
عندما تؤثر **قوة Force** في جسم معين، يتشكل في هذا الجسم رد فعل أو مقاومة تعاكس هذه القوة بالاتجاه وتساويها بالشدة، وتتوزع هذه المقاومة على مساحة الجسم لينشأ ما يسمى بالإجهاد Stress.

إذاً يُعرّف **الإجهاد Stress** بأنه القوة على مساحة الجسم، وواحدة قياسه هي الباسكال (Pa) ويكون ($1Pa=1N/m^2$) وعادة يُعبّر عن الإجهاد بالميغاباسكال حيث ($1MPa=10^6$ Pa)

ويمكن تصنيف الإجهادات حسب اتجاه القوة المؤثرة في الجسم إلى أنواع مثل إجهادات الشد والضغط والقص واللي. (Shyam Sundar et al., 2012) (Craig & Powers, 2002)

يعاني الجسم عندما يتعرض لقوة ما من تشوه يتوافق ونوع الإجهاد الحاصل، فالتشوه الحاصل عند تطبيق قوة شد هو تطاول الجسم باتجاه القوة المطبقة بينما تسبب قوة الضغط تقاصراً في الجسم في جهة تطبيق القوة نفسها، يدعى هذا التشوه بالانفعال Strain .

إذاً يُعرّف **الانفعال Strain** بأنه نسبة التغير في طول الجسم إلى الطول الأصلي لهذا الجسم عند تعرضه للإجهاد، هذا ويختلف مقدار الانفعال الحاصل باختلاف شدة القوة المطبقة وباختلاف طبيعة مادة الجسم أيضاً، وباعتبار الانفعال عبارة عن نسبة فهو لا يملك واحدة قياس خاصة به ويُمثّل عادةً بنسبة مئوية. (Craig & Powers, 2002)



الشكل 1-25 منحني إجهاد/انفعال
(Shyam Sundar et al., 2012)

تُدعى المواد التي يتناسب فيها الانفعال مع الإجهاد طردياً بالمواد المرنة خطياً Linear elastic، وعند تمثيل المنحني إجهاد/انفعال (الشكل1-25) فإن انحدار القسم الخطي لعلاقة الإجهاد بالانفعال يدعى **بمعامل المرونة أو معامل يونغ Young's Modulus of Elasticity** ويرمز له بالحرف E وواحدة قياسه الميغاباسكال (MPa) وهو يمثل قساوة المادة الداخلية ضمن المدى المرن، وباعتبار أن خاصية المرونة هذه

تعتمد على قوى التجاذب بين الجزيئية داخل المادة فإنها تبقى نفسها سواء تعرضت المادة لقوى ضغط أو شد. (Shyam Sundar et al., 2012) (Craig & Powers, 2002)

وتكون العلاقة بين الإجهاد والانفعال خطية حتى الوصول لنقطة تدعى إجهاد الخضوع Yield Stress تبدأ المادة بعدها بالتشوه وتفقد مرونتها (لا تعود لشكلها الأصلي بعد زوال القوة المطبقة) .

ويُعرّف **إجهاد الخضوع Yield Stress** بأنه أقل إجهاد لازم لإحداث تشوه دائم في شكل الجسم، وبعده لا تعود العلاقة بين الإجهاد والانفعال خطية. وعند استمرار تطبيق القوة يصل الجسم إلى نقطة يحدث فيها الفشل Failure المتمثل بالكسر Fracture وتدعى هذه النقطة **بالإجهاد المطلق Ultimate Stress**.

عندما يخضع جسم ما لقوة شد فإنه يميل ليصبح أقل ثخانة والعكس صحيح، وهذا يدعى بأثر بواسون Poisson's effect.

نسبة بواسون Poisson's Ratio: هي نسبة التقلص العرضي العمودي على محور القوة إلى التمدد الطولي الموازي لهذا المحور عند تطبيق قوة شد على الجسم، ويرمز لها بالحرف ν.

معامل الكتلة Bulk Modulus: يصف رد فعل الجسم تجاه قوة ضغط متجانسة مثل الضغط على كرة من المادة من جميع الاتجاهات بقوة متساوية.

معامل القص Shear Modulus: يشير إلى التشوه الحاصل في جسم ما عند تطبيق قوة موازية لأحد سطوحه وقوة معاكسة تماماً للقوة الأولى في السطح المقابل.

الكثافة Density : يشير مصطلح الكثافة إلى كمية جزيئات المادة في واحدة الحجم.

تعرف خصائص المواد الصلبة الأساسية بكل من: معامل المرونة، نسبة بواسون، إجهاد الخضوع، معامل الكتلة، معامل القص، والكثافة. (Shyam Sundar et al., 2012) (Craig & Powers, 2002)

1-4-2- طرائق الاختبارات الميكانيكية :

توجد عدة طرائق تمكّن الباحثين من إجراء الاختبارات والفحوص الميكانيكية على المواد المختلفة، أشهرها:

** الاختبارات الميكانيكية العامة General mechanical tests :*

وتشمل الطرائق التجريبية التي تستخدم أجهزة خاصة تقوم بتطبيق وقياس القوى المختلفة، من مساوئ هذه الطريقة أنه مهما بلغت دقة الإعدادات فيها فإن العينات المدروسة لا تماثل الواقع السريري بشكل كامل من ناحية شكل العينة أو من ناحية شروط البيئة المحيطة الموجودة في الواقع السريري ولا يمكن تمثيلها بشكل دقيق أثناء إجراء هذا الشكل من الاختبارات، كما أنها تحتاج لتجهيزات خاصة ذات تكلفة مادية عالية. (Craig & Powers, 2002) (Vollmer et al., 2000)

** اختبارات انتشار الضوء في الأجسام المرنة Photoelastic Examinations :*

تعتمد هذه الطريقة على تغير انكسار الضوء وانتشاره في بعض المواد الشفافة عندما تخضع للإجهاد حيث ينقسم الشعاع الضوئي الوارد الذي يخترقها إلى شعاعين ضمنها، تكون المادة الشفافة عادة ذات خواص متماثلة (Isotropic) تتحول إلى خواص غير متماثلة عند تطبيق الحمولة، مما يؤدي إلى ظهور هالات ضوئية في مناطق الإجهاد، وتتعلق شدة الإجهاد بعدد الحلقات المتشكلة ونظام ترتيبها وبحسب تقاربها أو تباعدها(Rossi et al., 2014 a) (Craig & Powers, 2002) (Matthias et al., 2009)

** أجهزة قياس الانفعال Strain Gauge :*

تعطي هذه الطريقة قيماً رقمية للانفعالات الحاصلة عند تطبيق قوة على جسم ما ولكن استخدامها محدود بالتطبيق على السطح الخارجي للجسم. (Matthias et al., 2009)

** طريقة العناصر المنتهية Finite Element Method :*

يتم تقسيم الشكل الهندسي المعقد للجسم المدروس إلى عدد من الأجزاء الصغيرة بسيطة الشكل ليتم تحليلها حاسوبياً باستخدام طرائق تحليلية رقمية للحصول على الحل. تسمح هذه الطريقة بإعطاء رؤية مفصلة لتوزع الإجهادات والانفعالات والانزياحات ضمن الجسم المدروس، وتُعدّ طريقة العناصر المنتهية أو النمذجة الحاسوبية عبارة عن إعادة بناء للأجسام والحوادث الميكانيكية الحاصلة لها في الواقع ضمن بيئة رقمية افتراضية. (Shyam Sundar et al., 2012) (Matthias et al., 2009) (Vollmer et al., 2000)

1-5- الميكانيك الحيوي

1-5-1- بنية العظم :

يتألف النسيج العظمي من مكونات لاعضوية هي أملاح الكالسيوم والفوسفور بشكل بلورات الهيدروكسي أباتيت، ومكونات عضوية هي ألياف الكولاجين بشكل أساسي وبروتينات أخرى لا كولاجينية وبعض عديدات السكاكر المخاطية، تشكل جميع هذه المكونات 60-75% من كتلة النسيج العظمي بينما يؤلف الماء حوالي 25-30% منها. (Bankoff, 2012)

تتأثر قوة النسيج العظمي بكل من شكله الهندسي ودرجة تمعدنه، فازدياد نسبة الأملاح المعدنية يزيد من قساوة العظم Stiffness ولكن بالمقابل يصبح أكثر قصافة Brittle وسوف يحتاج قوة أقل لينكسر، بينما تُعدّ ألياف الكولاجين مسؤولة عن إعطاء النسيج العظمي المتانة Toughness اللازمة لمقاومة حدوث الكسر. (Turner, 2006)

يُصنف النسيج العظمي على مستوى البنية العيانية إلى عظم قشري "كثيف" وعظم إسفنجي "مسامي"، هذا ويعتبر بعض الباحثين أن كلاً من الشكلين القشري والإسفنجي عبارة عن مادة واحدة ويختلفان عن بعضهما بدرجة المسامية أو بالكثافة الظاهرية للمادة (الكتلة/الحجم الكلي)

بينما يعتبرهما البعض الآخر مادتين مختلفتين بالخواص الميكانيكية. (Rho et al., 1998)

1-5-2- الخواص الميكانيكية للعظم:

تتعلق الخواص الميكانيكية الحيوية للعظم بكل من :

- نمط الأحمال المطبقة (ضغط- شد- قص)
- مدة وتكرار تطبيق هذه الأحمال
- كثافة العظم (قشري/اسفنجي) وعوامل تؤثر في الكثافة كالعمر والجنس والاستخدام. (Weiner & Wagner, 1998)

وبالعودة إلى مكونات النسيج العظمي وبإسقاط الخواص الميكانيكية لهذه المكونات نلاحظ :

- امتلاك الكولاجين معامل مرونة منخفض ومقاومة شد جيدة في حين أن مقاومته للانضغاط منخفضة.
- اعتبار بلورات الكالسيوم مادة قاسية وقصفة وذات مقاومة انضغاط عالية.

بالتالي فإن العظم يكون قوياً في مواجهة الانضغاط، ضعيفاً في مواجهة القص ومتوسط القوة في مواجهة الشد. (Sharma et al., 2012) (Van Eijden, 2000)

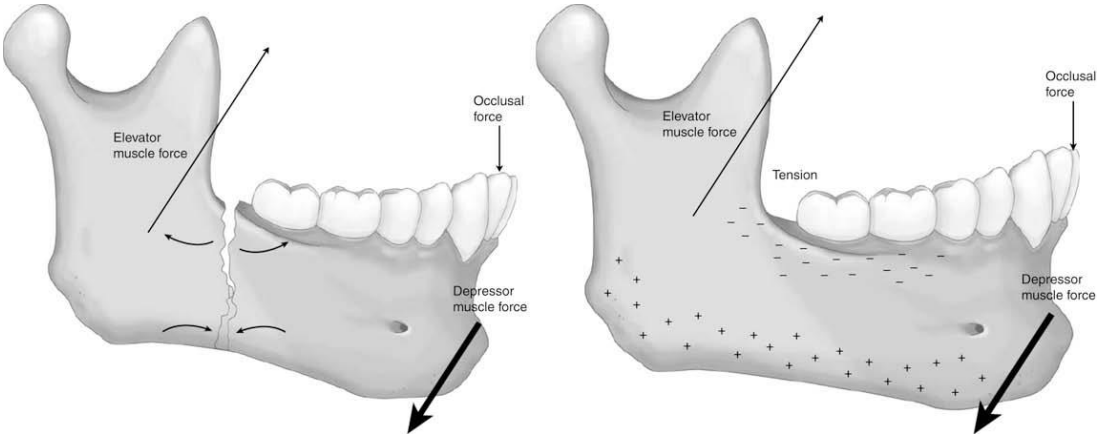
1-5-3- الميكانيك الحيوي الخاص بكسور زاوية الفك السفلي:

يُعدّ من الضروري بمكان فهم العوامل المسؤولة عن حدوث التبدل في كسور زاوية الفك السفلي وكيفية معاكسة هذه العوامل بشكل فعال عند اتخاذ القرار بخصوص تدبير هذه الكسور.

تحاط منطقة زاوية الفك السفلي بمجموعة من العضلات القوية الرافعة للفك "الماضغة، الجناحية الأنسية، الصدغية" والتي تسمح بتوليد قوة عض تقيس حتى (300 -400 نيوتن)عند منطقة الرحى الأولى السفلية، وتتناقص هذه القوة بشكل ملحوظ في الأسابيع الأولى بعد حدوث

الكسر، ويعود ذلك غالباً إلى كون الجهاز العصبي المركزي يكبح حدوث التقلص العضلي الأعظمي عندما يستقبل وجود أذية من المستقبلات الميكانيكية الموجودة في العظم والنسج الرخوة المحيطة بمنطقة الكسر، لذلك لا يتوجب على نظام التثبيت المستخدم في معالجة كسر زاوية الفك السفلي أن يقاوم قوى العض الطبيعية، عليه فقط أن يقاوم القوى المخفضة الموجودة عند المرضى بعد حدوث الكسر. (Pereira et al., 2016) (Gerlach & Schwarz, 2002) (Tate et al., 1994)

يسمح تقلص العضلات الرافعة للفك بحدوث دوران أمامي علوي للرأد عند وجود كسر في زاوية الفك السفلي محدثاً بذلك تبدلاً بين قطعتي الكسر وخاصة عند السطح العلوي، ويسهل عمل العضلات الخافضة للفك السفلي (البطن الأمامي للعضلة ذات البطنين، والعضلة الذقنية اللامية) حدوث هذا التبدل حيث تقوم بسحب القسم الأمامي من الفك السفلي سفلياً وخلفياً عند وجود كسر خلفي مثل كسر الزاوية (الشكل 1-26). (Ellis, 2009)



الشكل 1-26: تأثير اتجاه الشد العضلي على شكل التبدل الحصل في كسور زاوية الفك السفلي (Ellis, 2009)

أظهرت الدراسات المخبرية والملاحظات السريرية أنه خلال وظيفة المضغ الطبيعية تتشكل قوى شد في مستوى الأسنان، في حين تتشكل قوى ضغط عند الحافة السفلية للفك السفلي. (Kroon et al., 1991) (Champy et al., 1978) كما أظهرت الدراسات المخبرية المجراة على

كسور زاوية الفك السفلي أن القطع العظمية تتباعد بشكل أعظمي عند الحافة العلوية للكسر (منطقة الشد)، وتُعدّ وسائط التثبيت المطبقة بشكل مباشر عبر قطعتي الكسر ذات فائدة أعظمية من وجهة نظر ميكانيكية حيوية عند وضعها في هذه المنطقة. (Rudderman et al., 2008) (Champy et al., 1978)

1-6- تحليل العناصر المنتهية

يُعرّف تحليل العناصر المنتهية Finite Element Analysis بأنه طريقة رياضية تستخدم لفهم وحل المسائل المعقدة في الكون، وفي المجال الطبي يعتبر ابتكاراً في مجال البحث والتطوير الطبي، حيث يعطي حلولاً رياضية سهلة للمسائل الميكانيكية الحيوية المعقدة.

يتم في تحليل العناصر المنتهية FEA تقسيم الشكل الهندسي المعقّد إلى أجزاء صغيرة وبسيطة الشكل ليتم تحليلها باستخدام طرائق تحليلية أو رقمية للحصول على الحل.

تسمح طريقة تحليل العناصر المنتهية FEA بإعطاء رؤية مفصلة للمواقع التي تنحني أو تنثني عندها الأجسام عندما تتعرض للقوى المختلفة كما تحدد توزع الإجهادات والانفعالات والإنزياحات في هذه الأجسام. (Shyam Sundar et al., 2012)

ويُعدّ تحليل العناصر المنتهية مناسباً جداً لدراسة بنية معقدة كبنية الفك السفلي، فالأساليب التجريبية والسريرية تحدّ من إمكانية تحري توزع الإجهادات والانفعالات ضمن عظم الفك وتقنية تحليل العناصر المنتهية تستطيع تجاوز هذه الحدود. (Boccaccio et al., 2011) (Hart et al., 1992) (Korioth et al., 1992 b) (Korioth, 1992 a)

كما تمتلك القوى العضلية التي تنتجها عضلات المضغ تأثيرات ميكانيكية حيوية أعمق من مجرد توزع الحمل الإطباقي أو أنماط حدوث الكسور، وهذه التأثيرات لا يمكن فهمها أو تفسيرها بشكل كامل في الدراسات السريرية. (Vollmer et al., 2000) (Hart et al., 1992)

1-6-1- تاريخ طريقة العناصر المنتهية:

يعود تاريخ تحليل العناصر المنتهية FEA إلى عام 1943 حيث كان R. Courant أول من طوّر هذه الطريقة بالاعتماد على طرائق رياضية، ثم قام Turner MJ وزملاؤه عام 1956 بنشر مقالة وسعت مفهوم التحليل العددي، ركزت هذه المقالة على دراسة البنى والتراكيب المعقدة.(Prasad & Tarannum, 2012) وكان أول تطبيق عملي لتحليل العناصر المنتهية على يد Clough عام 1960 في مجال الهندسة المدنية، وأصبح المهندسون بعدها قادرين على إنشاء جسور أفضل وصنع تصاميم أكثر تعقيداً.

استُخدمت طريقة العناصر المنتهية في بادئ الأمر من أجل تحليل الإجهادات، ثم تم تطبيقها في مجالات عديدة مثل التحاليل الحرارية وحركة السوائل والتحاليل الكهربائية الجهدية piezoelectric analysis وفي مجالات أخرى عديدة باعتبارها تملك تقنية إيجاد الحل نفسها والمعادلات نفسها رغم اختلاف الخصائص والمتغيرات، كما يمكن أن تطبّق هذه الطريقة على جميع المواد بكافة حالاتها الصلبة والسائلة والغازية، ساكنة أو متحركة.(Geng et al., 2008)

ساهم التطور السريع في مجال الحواسيب في انتشار استخدام طريقة تحليل العناصر المنتهية FEA لتحليل الأنظمة البنيوية الكبيرة والمعقدة، وكان هذا الانتشار في ثمانينيات وتسعينيات القرن الماضي، وتوجد الآن العديد من البرامج التي يمكن لأي شخص مدرّب أن يقوم بتحليل العناصر المنتهية بواسطتها، وقد أصبحت هذه البرامج قادرة على دراسة كل ما يتعلق بالميكانيك من المفاعل النووي إلى طب الأسنان.

استخدم Weinstein عام 1976 طريقة تحليل العناصر المنتهية لأول مرة في مجال طب الأسنان وبالتحديد في مجال الزرع السني. (Prasad & Tarannum, 2012) (Geng et al., 2008)

1-6-2- فوائد طريقة العناصر المنتهية:

1. أصبحت تقنية تحليل العناصر المنتهية FEA متقدمة بما يكفي للتعامل مع أي نظام أو شكل هندسي بشرط توافر قدرات حاسوبية كافية. تتضمن تطبيقات FEA التحليلات الخطية واللاخطية، تآثرات الأجسام الصلبة والسائلة، والمواد متماثلة الخواص- منتظمة الخواص- مختلفة الخواص Iso-ortho-aniso tropic، والتأثيرات الخارجية الساكنة والحركية والعوامل البيئية.

2. يمكن تقريباً محاكاة أي نموذج باستخدام تحليل العناصر المنتهية FEA للحصول على فكرة عن السلوك ماقبل وأثناء وبعد تطبيق شروط التحميل كما تكون في الواقع، وتكون موثوقية النتائج عالية ولا يمكن مغالطتها.

3. نتج عن تطبيق تحليل العناصر المنتهية FEA انخفاض كبير في تكلفة دراسة الحالات التي تتطلب نماذج Stereolithography ذات الكلفة المعقولة من أجل التخطيط قبل الجراحة.

4. توفير هائل في الوقت اللازم لإجراء التحاليل الميكانيكية عند استخدام تحليل العناصر المنتهية FEA، تم اختصار حوالي 60-80% تقريباً من الوقت اللازم لإجراء التحاليل الميكانيكية عند تطبيق FEA. (Shyam Sundar et al., 2012) (Geng et al., 2008)

1-6-3- مساوئ طريقة العناصر المنتهية:

1. تؤدي عدم الدقة في إدخال البيانات والمعلومات والنقل إلى نتائج مضللة وغير دقيقة.

2. تعتبر نمذجة البنى البشرية صعبة بشكل كبير بسبب تعقيد التشريح وعدم المعرفة التامة بالتصرفات الميكانيكية المرافقة لهذه البنى التشريحية.

3. يمكن أن تتأثر النتائج بالأشخاص العاملين في إجراء تحليل العناصر المنتهية FEA بسبب قبولهم لبعض الافتراضات التي لا يمكن الإجماع عليها. (Shyam Sundar et al., 2012) (Geng et al., 2008)

1-6-4- تطبيقات طريقة العناصر المنتهية في مجال جراحة الفم والوجه والفكين:

1. في مجال الرضوض القحفية الوجهية الفكية:

a- لتحليل الصدمات (الغزي, 2015) (Arbag et al., 2010) (Pintar et al., 2001)

b- التحديد المثالي لموقع واتجاه وسائط التثبيت العظمي المختلفة (Rozema et al., 1992)

c- تحليل الأحمال عبر خط الكسر وحجم واتجاه القوى المؤثرة في موقع التثبيت العظمي (Guastaldi, 2013) (Kimsal et al., 2011) (Lovald et al., 2010) (Lovald et al., 2009) (Wittenberg et al., 1997)

2. في مجال الجراحة التقويمية:

a- التحليل الميكانيكي الحيوي لأشكال مختلفة من تصاميم القطع العظمي المستخدمة في الجراحة التقويمية. (Takahashi et al., 2010)

b- تقييم التغيرات في النسج الرخوة على مستوى ثلاثي الأبعاد بعد الجراحات التجميلية والترميمية المجراة على الوجه. (Motoyoshim et al., 1993)

c- تحليل الأحمال عبر خط القطع العظمي وحجم واتجاه القوى المؤثرة في موقع التثبيت العظمي (Albougha et al., 2015) (Yun et al., 2012) (Sato et al., 2012)

3. في مجال جراحات إعادة البناء والاستئصالات الوجهية الفكية:

تصميم قطوع عظمية مستقرة من الناحية الميكانيكية الحيوية مع مراعاة المبادئ الجراحية للاستئصالات. (Murakami et al., 2011) (Wong et al., 2011) (Wittkampf & Starmans, 1995)

4. في مجال الزرع السني:

a. دراسة تأثير تصميم الزرعة السنية في حدوث الإجهادات والانفعالات المؤثرة في الزرعة والعظم المحيط. (Fanuscu et al., 2004) (Lin et al., 2000)

b. تحليل الأحمال على توزع معين للزرعات وبأشكال مختلفة للتعويض. (الشربجي المزيك, 2015)

5. في مجال التشكل العظمي بالتبعيد (Distraction Osteogenesis):

للتقييم الميكانيكي الحيوي لأجهزة التشكل العظمي بالتبعيد (الشد) المطبقة في منطقة الهيكل القحفي الوجهي. (Samchukov et al., 1998) (Basciftci et al., 2004)

1-7- الدراسات السابقة

1-7-1- الدراسات السريرية :

* نشر Neiderhagen وزملاؤه عام 1996 دراسة تقدمية prospective حول معالجة كسور زاوية الفك السفلي لمدة تجاوزت 8 سنوات، شملت الدراسة 183 مريضاً :

تمت دراسة الاختلاطات في 127 حالة طبقت فيها طريقة AO التقليدية والمتمثلة باستخدام صفيحتين علوية وسفلية، و41 حالة استخدمت فيها الصفيحة الصغيرة المفردة عند الحافة العلوية للكسر. كانت أعلى نسبة للاختلاطات (19.5%) عند استخدام طريقة AO بمدخل جراحي داخل فموي، وعند مقارنة طريقة AO بمدخل جراحي خارج فموي مع طريقة الصفائح الصغيرة المثبتة ببراغي أحادية القشرة من داخل الفم لم تلاحظ فروق ذات دلالة في نسبة حدوث الاختلاطات (8.1% مقابل 7.3% على الترتيب)، وتمّ الانتقال اعتماداً على نتائج هذه الدراسة من طريقة AO إلى طريقة الصفائح الصغيرة والبراغي أحادية القشرة. (Neiderhagen et al., 1996)

* قام Ellis في سلسلة من الدراسات السريرية استمرت على مدى 8 سنوات "1991-1999" باختبار النتائج السريرية لتطبيق 8 طرائق مختلفة لتثبيت كسور زاوية الفك السفلي لدى 478 مريضاً (الجدول 1-1). وقد وجد في دراساته فروقاً واضحة بين أشكال التثبيت المختلفة، حيث ترافق استخدام الصفائح الضاغطة بأعلى نسبة اختلاطات، واعتبر Ellis أن أفضل طريقة لتثبيت كسور الزاوية غير المتشظية هي صفيحة صغيرة مفردة مكيفة على الحافة العلوية للكسر حسب خطوط Champy يتم وضعها بمدخل جراحي داخل فموي وبأقل رفع ممكن للنسج الرخوة، وافترض وجود عوامل حيوية biological factors تلعب دوراً أهم من عوامل الميكانيك الحيوي Biomechanics في نجاح نظام تثبيت معين أو فشله وحدوث الاختلاطات، تشمل

هذه العوامل الحيوية : مدة العمل الجراحي– مقدار كشف العظم– التزام المريض– سوء التغذية– ضعف المناعة– إدمان الكحول أو المخدرات..... (Ellis, 1999)

الجدول 1–1: الدراسات السريرية لـ Ellis وزملاؤه حول طرائق تثبيت كسور زاوية الفك

الدراسة	طريقة التثبيت المدروسة
Ellis & Ghali, 1991	براغي Lag screws
Ellis & Karas, 1992	صفيحتين صغيرتين ضاغطتين ديناميكياً مثبتتين ببراغي بقطر 2 مم
Ellis, 1993	صفيحة إعادة بناء مثبتة ببراغي بقطر 2.7 مم
Ellis & Sinn, 1993	صفيحتين ضاغطتين ديناميكياً مثبتتين ببراغي بقطر 2.4 مم
Passeri, Ellis and Sinn, 1993	الرد المغلق مع التثبيت بين الفكي أو التثبيت غير الصلب للفك السفلي باستخدام الرد المفتوح والخياطة السلكية
Ellis & Walker, 1994	صفيحتين صغيرتين غير ضاغطتين مثبتتين ببراغي بقطر 2 مم
Ellis & Walker, 1996	صفيحة صغيرة مفردة غير ضاغطة مثبتة ببراغي بقطر 2 مم
Potter & Ellis, 1999	صفيحة صغيرة رقيقة مفردة غير ضاغطة مثبتة ببراغي بقطر 1.3 مم

* قام Feller وزملاؤه عام 2003 بإجراء دراسة تراجعية لتقييم 277 مريضاً لديهم 293 كسر في زاوية الفك السفلي في الفترة ما بين 1990–1998: تمت المعالجة المحافظة للكسور غير المتبدلة أو قليلة التبدل (<3 مم على الصور الشعاعية) لـ 72 مريضاً (26%) وأُجري الرد المفتوح والتثبيت الداخلي ORIF لـ 205 مريضاً (74%).

أجري تثبيت الكسر حسب طريقة Champy لـ 175 مريضاً من أصل 205 مرضى خضعوا للرد المفتوح والتثبيت الداخلي (85%)، وتم تعديل الطريقة بإضافة صفيحة تثبيت ثانية سفلية لـ30 مريضاً (11%) لتأمين استقرار كافي في حال وجود شظية مثلثية عند الزاوية.

تمّت دراسة الاختلاطات التالية : سوء شفاء الجرح (التهاب– تشكل خراج– انكشاف صفائح التثبيت– انفتاح الجرح)، التهاب العظم والنقي، سوء الإطباق، خدر بعد الجراحة، انكسار صفائح التثبيت وانحلال البراغي. وكانت النتائج كالتالي :

+ في العلاج المحافظ كانت نسبة الاختلاطات 4.2 %

+ في العلاج بطريقة Champy كانت نسبة الاختلاطات 2.3 %

+ في العلاج بصفيحتين كانت نسبة الاختلاطات 17 %

+ كسرت صفيحة التثبيت المطبّقة حسب طريقة Champy عند مريض واحد فقط 0.5 %.

واستنتجوا من هذه الدراسة أن نسبة الاختلاطات عند استخدام أكثر من صفيحة كانت أعلى بكثير منها عند استخدام طريقة Champy، لذلك يفضل استخدام طريقة Champy في جميع حالات كسور زاوية الفك السفلي ما عدا عند المرضى غير المتعاونين وحالات الكسور المتشظية فالأفضل استخدام صفائح ذات قوة أكبر. (Feller et al., 2003)

* أجرى Gear وزملاؤه عام2005 استطلاعاً للرأي شمل 127 جراحاً عضواً في جمعية AO في كل من أوروبا وأمريكا الشمالية، وكانت نتائج هذا المسح أن مجموعة الجراحين الذين يعالجون أكثر من 10 حالات كسور فك سفلي في العام (83% من مجمل الجراحين الذين شملهم المسح) يفضلون الطرائق التالية لتثبيت كسور زاوية الفك السفلي المفردة وغير المتفتتة:

1) طريقة Champy بدون تثبيت بين فكي بعد الجراحة بنسبة 31%

2) طريقة Champy مع تثبيت بين فكي بعد الجراحة بنسبة 20%

3) صفيحة صغيرة علوية وصفيحة كبيرة سفلية بنسبة 13%

4) صفيحتين صغيرتين على الحافتين العلوية والسفلية للكسر بنسبة 10%

5) صفيحة كبيرة سفلية ذات قفل للبراغي locking plate بنسبة 7%

6) صفيحة هندسية مربعة أو مستطيلة ثلاثية الأبعاد 3D Plate بنسبة 6%

7) استخدام أكثر من خيار معالجة بنسبة 13 %

واستنتج Gear من هذا المسح ما يلي:

- يوجد تطوّر في تدبير كسور زاوية الفك السفلي من استخدام الصفائح الكبيرة والتثبيت الداخلي الصلب RIF حسب طريقة AO إلى استخدام صفيحة صغيرة مفردة مثبتة ببراغي أحادية القشرة حسب طريقة Champy.
- يتّجه الجراحون حالياً إلى الابتعاد عن تطبيق الضغط بالصفائح الضاغطة وقد يكون ذلك بسبب صعوبة الحصول على رد دقيق وتكييف مثالي ينتج ضغطاً بالاتجاه الصحيح.
- يتجه الكثير من الجراحين حالياً نحو الاستغناء عن التثبيت بين الفكي MMF بعد الرد المفتوح والتثبيت الداخلي ORIF لكسور زاوية الفك السفلي. (Gear et al., 2005)

* اختلفت نسبة حدوث الاختلاطات بعد تثبيت كسور الزاوية باستخدام صفيحة صغيرة علوية مفردة حسب طريقة Champy بين الدراسات السريرية، يوضح (الجدول 1-2) بعض هذه الدراسات ونسب حدوث الاختلاطات عند استخدام طريقة Champy فيها:

الجدول 1-2: نسبة حدوث الاختلاطات بعد تثبيت كسر زاوية الفك السفلي باستخدام طريقة Champy

الدراسة السريرية	نسبة الاختلاطات بعد تطبيق طريقة Champy
Potter & Ellis, 1999	%2.3
Dhariwal et al., 2002	%7.3
Lamphier et al., 2003	%13.3
Atanasov et al., 2003	%25.2
Feller et al., 2003	%2.3
Barry & Keams, 2007	%18
Singh et al., 2011	%8

هذا الاختلاف قد يكون بسبب اختلاف طبيعة الاختلاطات المدروسة ومعايير احتسابها في هذه الأبحاث من جهة، واختلاف طبيعة المجتمع المدروس "الحالة الاجتماعية والاقتصادية" من جهة أخرى. (Singh et al., 2011)

* أجرى Danda عام 2010 دراسة تقدمية من نمط التجربة السريرية المعشاة Randomized Clinical Trial شملت العينة فيها على 54 مريضاً مصاباً بكسر مفرد في زاوية الفك السفلي، تم تقسيم هؤلاء المرضى عشوائياً إلى مجموعتين تحوي كل منهما على 27 مريضاً، عولج مرضى المجموعة الأولى باستخدام صفيحة صغيرة غير ضاغطة مفردة على الحافة العلوية للكسر بمدخل جراحي داخل فموي وفق طريقة Champy، أما مرضى المجموعة الثانية فتمت

معالجتهم باستخدام صفيحتين علوية مماثلة للمجموعة الأولى وسفلية على الوجه الخارجي للفك السفلي عند منطقة الزاوية وتم تثبيتها بمشاركة المدخل داخل الفموي مع مدخل عبر الجلد لتثبيت البراغي باستخدام التروكار، استنتج Danda من هذه الدراسة أن استخدام طريقة الصفيحتين في معالجة كسور الزاوية غير المتفتتة لا يقدم أي أفضلية على طريقة الصفيحة العلوية المفردة وفق Champy. (Danda, 2010)

* أظهرت دراسة تراجعية قام بها Seemann وزملاؤه عام 2010 شملت 322 مريضاً لديهم 335 كسراً في زاوية الفك السفلي تمت معالجتهم جميعاً بالرد المفتوح والتثبيت الداخلي ORIF أنه لا يوجد اختلاف بين طريقة الصفيحة المفردة وطريقة الصفيحتين من حيث نسبة الاختلاطات بعد الجراحة. (Seemann et al., 2010)

* أجرى Al-moraissi & Ellis عام 2014 مراجعة منهجية Systematic Review وتحليل كمّي Meta Analysis لجميع الأبحاث السريرية المجراة حتى عام 2014 والتي تقارن تقنيات تثبيت كسور زاوية الفك السفلي التالية :

1. صفيحة صغيرة علوية مفردة مقابل صفيحتين صغيرتين علوية وسفلية: وجدت هذه الدراسة أن استخدام صفيحة واحدة يقلل نسبة حدوث الاختلاطات بمقدار 37% مقارنة مع استخدام صفيحتين.

2. صفيحة صغيرة مفردة تُثبّت فوق الخط المنحرف الظاهر من داخل الفم حسب طريقة Champy مقابل صفيحة صغيرة مفردة توضع على الوجه الوحشي للفك مباشرة تحت الخط المنحرف الظاهر من داخل الفم ويتم تثبيت البراغي عبر الجلد باستخدام التروكار: وجدت هذه الدراسة أن استخدام صفيحة مثبتة على الوجه الوحشي للرأد يقلل من حدوث الاختلاطات بعد الجراحة بمقدار 110% بالمقارنة مع وضعها فوق الخط المنحرف الظاهر "بمعنى تحدث اختلاطات بعد تطبيق طريقة Champy أكثر ب2.1 مرة من الطريقة الأخرى".

3. الصفيحة الهندسية ثلاثية الأبعاد 3D Geometric Plate مقابل الصفيحة الصغيرة التقليدية: وجدت هذه الدراسة أن استخدام صفيحة هندسية ثلاثية الأبعاد يقلل من نسبة حدوث الاختلاطات بمقدار 71% مقارنة باستخدام الصفائح الصغيرة التقليدية.(Al-moraissi & Ellis, 2014)

1-7-2- الدراسات المخبرية وتحليل العناصر المنتهية:

* قام Richard Haug وزملاؤه عام 2001 بتحرّي السلوك الميكانيكي لِـ 14 طريقة تثبيت مختلفة لكسور زاوية الفك السفلي من خلال دراسة مخبرية على نماذج محاكية للفك السفلي مصنوعة من مادة البولي يوريثان Polyurethane والتي تتمتع بخواص ميكانيكية مشابهة للعظم، شملت طرائق التثبيت المدروسة كلاً من : التثبيت ببراغي Lag- صفيحة مفردة علوية بقياسات وثخانات وأقطار براغي مختلفة- صفيحتين صغيرتين علوية وسفلية مثبتتين ببراغي أحادية القشرة- صفيحة صغيرة علوية مثبتة ببراغي أحادية القشرة مع صفيحة كبيرة سفلية مثبتة ببراغي ثنائية القشرة- قياسات مختلفة لصفائح إعادة البناء Reconstruction plates.

استنتج Haug في هذه الدراسة أن جميع الأنظمة المستخدمة حالياً في تثبيت كسور زاوية الفك السفلي تعتبر فعالة ومقبولة من الناحية الميكانيكية، لدرجة أنه لا يوجد فرق ذو دلالة بين صفيحة إعادة البناء الكبيرة وصفيحة صغيرة ورقيقة Micro plate مثبتة على الحافة العلوية للكسر من حيث مقاومة قوى الإزاحة العمودية، والاختلاف كان فقط في مقاومة قوى اللّي Torsional forces عند التحميل في الجانب البعيد عن الكسر. كما لم يلاحظ Haug فروقاً من الناحية الميكانيكية بين أنظمة الصفائح الضاغطة والصفائح غير الضاغطة. (Haug & Serafin, 2008) (Haug et al., 2001)

* وجد Haug في دراسة مخبرية أخرى على أصغر صفيحة Micro plate متوفرة تجارياً من شركة Synthes مثبتة ببراغي بقطر 1مم فوق الحافة العلوية لكسر زاوية الفك السفلي أن أداء

هذه الصفيحة يلاقي المتطلبات الوظيفية للتحميل عند المرضى بعد الجراحة (حيث تكون قوة العض العظمى عندهم غالباً بين 100–200 نيوتن). (Haug & serafin, 2008)

* عارض كل من Choi وزملاؤه و Kroon وزملاؤه في دراسات ميكانيكية معتمدة على نماذج مخبرية ثلاثية الأبعاد فكرة كفاية الاستقرار عند تثبيت كسور الزاوية بصفيحة صغيرة مفردة علوية حسب طريقة Champy حيث لاحظوا ظهور فراغات عظمية على طول الحافة السفلية للكسر، واعتقدوا بوجود ارتباط بين هذه الحركة وحدوث الاختلاطات التالية كالإنتان، واقترحوا استخدام صفيحة ثانية سفلية لتقليل الفصل الأمامي الخلفي والإنزياح الجانبي عند خط الكسر والملاحظ أحياناً على الصور الشعاعية بعد العمل الجراحي. (Choi et al., 1995 a) (Kroon et al., 1991)

وبالمقابل أظهرت الدراسات الأحدث على نماذج ثلاثية الأبعاد أن قوى الدوران أو اللّي (Torsional forces) عند منطقة الزاوية ضعيفة نسبياً. (Tams et al., 1997)

* أجرى Alkan وزملاؤه عام 2007 دراسة مخبرية لتقييم أربع طرائق مستخدمة لتثبيت كسور زاوية الفك السفلي، فقاموا بتقسيم عينة الدراسة المؤلفة من 20 فك سفلي من عظام الخراف إلى أربع مجموعات: طريقة Champy– طريقة Champy مضافاً لها صفيحة صغيرة سفلية– صفيحتين صغيرتين علوية وسفلية على الوجه الخارجي للفك– صفيحة هندسية ثلاثية الأبعاد. وجدت هذه الدراسة أن إضافة صفيحة صغيرة سفلية لطريقة Champy (صفيحتين في مستويين) قدّمت نتائج مفضلة من الناحية الميكانيكية على كل من طريقة الصفيحة المفردة حسب Champy وطريقة الصفيحتين الصغيرتين على الوجه الخارجي للفك (صفيحتين في مستوي واحد)، كما أظهرت تفوّق طريقة الصفيحة الهندسية ثلاثية الأبعاد على الصفيحة المفردة

حسب طريقة Champy، وعدم وجود فرق جوهري بينها وبين تطبيق صفيحتين صغيرتين من حيث الأداء الميكانيكي. (Alkan et al., 2007)

* قام Feller وزملاؤه عام 2003 بتصميم نموذج حاسوبي مبسط للفك السفلي معتمداً على الأبعاد الوسطية لـ 20 فك سفلي مأخوذ من الجثث البشرية، وإجراء تحميل محاكي لعمل عضلات المضغ عليه وذلك لتقييم الإجهادات الميكانيكية الحاصلة في صفائح التثبيت المستخدمة لتثبيت كسور زاوية الفك السفلي، وقد تمت مقارنة شكلين من الصفائح المستخدمة للتثبيت بشكل مفرد عند الحافة العلوية للكسر هما الصفيحة الصغيرة Mini plate بثخانة 1مم وبراغي بقطر 2مم، وصفيحة أكبر Module plate بثخانة 1.5مم وبراغي بقطر 2.3مم، وكانت النتيجة أن كلا الشكلين من الصفائح أمّن استقراراً كافياً للكسر ولكن ظهرت في الصفيحة الصغيرة Mini plate نقاط معينة فيها خطر حدوث كسر في الصفيحة في حال ازدياد شدة القوة المطبقة. (Feller et al., 2003)

* قام Bezzera وزملاؤه عام 2013 بإنشاء نموذج لفك سفلي كامل الصيغة السنية بالاعتماد على صورة CBCT، وقاموا بفصل أقنعة Masks للعظم القشري والإسفنجي والأسنان وتصديرها إلى حزمة البرامج الخاصة بتحليل العناصر المنتهية Ansys، ثم أنشؤوا نموذجين آخرين أحدهما أُزيلت فيه رحى ثالثة واحدة والآخر أزيلت فيه الرحى الثالثة في الجهتين وتم ملء مكان الإزالة بعظم. تمّ تعريض كل نموذج لقوة راضة عمودية على منطقة الارتفاق بشدة 250 كيلوغرام ثقلي تؤثر في مساحة دائرة بقطر 1 سم^2، وأظهرت النتائج أنه عندما وجدت الرحى الثالثة السفلية كان تركز الإجهادات أعلى ما يمكن في المنطقة الدهليزية لسنخ الرحى الثالثة وصولاً للخط المنحرف الظاهر، وبالتالي حدوث كسر زاوية فك سفلي عند وجود الرحى الثالثة وحدوث كسر في عنق اللقمة عند غيابها. (Bezzera et al., 2013)

* أجرت Rossi وزملاؤها عام 2014 دراسة لمقارنة طريقتين لتحليل توزّع الإجهادات في نموذج للفك السفلي عند إجراء التحميل الإطباقي عند منطقة الأرحاء، الطريقة الأولى مخبرية وتدعى تحليل انتشار الضوء في الأجسام المرنة Photoelastic Analysis، بينما الطريقة الثانية رقمية وهي تحليل العناصر المنتهية Finite Element Analysis.

تم إنشاء نموذج لفك سفلي بشري من مادة راتنج الإيبوكسي من أجل إجراء تحليل انتشار الضوء في الأجسام المرنة Photoelastic Analysis، ونموذج رقمي حاسوبي لنفس النموذج من أجل تحليل العناصر المنتهية. ثم أُجري التثبيت ثلاثي الأبعاد في اللقمتين ومكان ارتكاز كل من العضلات الماضغة والجناحية الأنسية والجناحية الوحشية، وطُبقت قوة عمودية عند تمفصل الرحى الأولى العلوية مع السفلية بمقدار 200,150,100,50 نيوتن تباعاً، وتمّ دراسة مناطق توزع الجهود في كل من النموذجين تحت كل قوة مطبقة. وكانت نتائج هذه الدراسة :

1. في كل من التحليلين تسببت الأحمال 50–100–150–200 نيوتن بحدوث تركّز متشابه للإجهادات في مناطق المثلث خلف الرحوي والخط المنحرف الظاهر والمنطقة السنخية الخلفية وذلك عند التحميل في منطقة الرحى الأولى.

2. عند مقارنة نموذج تحليل العناصر المنتهية FEA بخواص مواد لكل من راتنج الإيبوكسي والعظم كان توزع مناطق الجهود متشابهاً مما يدعم دور الشكل الهندسي في تحديد النتائج على الرغم من اختلاف المواد. (Rossi et al., 2014 a)

* نشر Lovald وزملاؤه في الفترة بين 2006–2010 عدة دراسات أظهرت طريقة توظيف تحليل العناصر المنتهية في إجراء المحاكاة الميكانيكية الحيوية للتشوهات الناجمة عن كسور الفك السفلي في مناطق متعددة كالارتفاق ونظير الارتفاق وجسم الفك السفلي، واستعملوا نموذجاً حاسوبياً لفك سفلي مأخوذاً من صورة طبقية محوسبة CT لمريض بالغ، واختبروا أشكالاً متعددة

للتثبيت باستخدام الصفائح والبراغي المعدنية. (Lovald et al., 2010) (Lovald et al., 2009) (Lovald et al., 2006) (Lovald et al., 2007)

* أجرت Kimsal وزملاؤها عام 2011 دراسة قامت فيها بتوظيف تحليل العناصر المنتهية FEA لتحري عدة تراكيب لاستعمال صفائح التثبيت المصنوعة من التيتانيوم والمستخدمة لتثبيت كسور زاوية الفك السفلي دون إجراء تثبيت بين فكي MMF، قامت هذه الدراسة بتحليل ثلاثة طرائق للتثبيت وهي :

1- صفيحة ضاغطة ذات 6 ثقوب مثبتة ببراغي ثنائية القشرة، تتوضع عند الحافة السفلية للكسر.

2- صفيحة صغيرة Miniplate مفردة عند الحافة العلوية للكسر على الوجه الخارجي للفك مثبّتة ببراغي أحادية القشرة .

3- تركيب الصفيحتين السابق ذكرهما معاً .

وكانت نتائج هذه الدراسة كما يلي:

أحدثت طريقة التثبيت باستخدام الصفيحتين معاً أقل تركز للإجهاد المكافئ Von Mises في الصفائح، وأقل انفعال رئيسي Principal strain في الدشبذ، في حين سجل نموذج الصفيحة المفردة عند الحافة العلوية للكسر على الوجه الخارجي للفك أعلى تركز للإجهاد المكافئ Von Mises في الصفيحة والبراغي لكن تشوه الدشبذ في موقع الكسر كان قريباً للذي حدث في نموذج الصفيحتين، وأظهرت الصفيحة الضاغطة عند زاوية الفك السفلي أعلى تشوه للدشبذ عند خط الكسر، واستناداً لهذه النتائج دعمت هذه الدراسة استخدام أسلوب التثبيت باستخدام صفيحة تثبيت صغيرة مفردة علوية كمقاربة أقل عدوانية لمعالجة كسور زاوية الفك السفلي. (Kimsal et al., 2011)

* أجرى Guastaldi عام 2013 دراسة مقارنة لاستعمال صفائح مصنوعة من خليطة معدنية جديدة (Ti−15Mo) مع الصفائح التقليدية المصنوعة من التيتانيوم النقي تجارياً (cpTi) وذلك في سياق تثبيت كسور زاوية الفك السفلي بطريقتين مختلفتين. وقد قام بإجراء الدراسة على قسمين: قسم مخبري لمقارنة الأداء الميكانيكي لهاتين المادتين، وقسم استخدم فيه النمذجة الحاسوبية وتحليل العناصر المنتهية لتحري توزع الإجهادات في الصفائح والبراغي.

كانت عينة الدراسة في القسم المخبري مؤلفة من 28 نموذجاً للفك السفلي مصنوعاً من مادة البولي يوريثان تم إجراء قطع منتظم فيها ليمثل كسراً في الزاوية اليسرى، ثم قُسّمت العينة ضمن أربع مجموعات: مجموعة التثبيت بصفيحة مفردة علوية على الوجه الخارجي للفك ومادة الصفيحة التيتانيوم النقي تجارياً، مجموعة التثبيت بصفيحتين علوية وسفلية ومادة الصفيحة التيتانيوم النقي تجارياً، وتم إنشاء مجموعتين مماثلتين ولكن باستخدام صفائح مصنوعة من الخليطة المعدنية الجديدة (Ti−15Mo).

أما في القسم الثاني من الدراسة فتم إنشاء أربعة نماذج حاسوبية لنصف فك سفلي مأخوذ من صورة طبقية محوسبة للنموذج المخبري المستخدم في القسم الأول من هذه الدراسة، مثّل كل نموذج حاسوبي مجموعة من مجموعات الدراسة المذكورة مسبقاً، ثم أُجري على كل نموذج تحديد خواص المواد المختلفة وتطبيق شروط التحميل الوظيفي وأخيراً إجراء تحليل العناصر المنتهية FEA للحصول على قيم وتوزع الإجهاد المكافئ في كل من الصفائح وبراغي التثبيت.

أظهرت نتائج كل من قسمي هذه الدراسة أن طريقة الصفيحتين تؤمن استقراراً ميكانيكياً أفضل من طريقة الصفيحة المفردة، كما أظهرت انخفاضاً في تركّز الإجهادات ضمن الصفائح والبراغي عند استخدام الصفائح المصنعة من خليطة (Ti−15Mo) بالمقارنة مع الصفائح التقليدية المصنعة من التيتانيوم النقي تجارياً (cpTi). (Guastaldi, 2013)

* قامت العديد من الدراسات بتوظيف طريقة تحليل العناصر المنتهية FEA لتقييم الطرائق المختلفة المستعملة لتثبيت العيوب العظمية الناتجة عن الكسور أو الاستئصالات أو القطوع

العظمية المجراة في سياق الجراحة التقويمية على الفك السفلي، يوضح (الجدول 1-3) بعض هذه الدراسات :

الجدول 1-3: دراسات استخدمت تحليل العناصر المنتهية FEA لتقييم طرائق تثبيت مختلفة للعيوب العظمية

الدراسة	شكل أو موقع العيب العظمي المدروس
Feller et al., 2003	كسر في زاوية الفك السفلي
Erkmen et al., 2005 a	القطع العظمي السهمي ثنائي الجانب للرأد مع تقديم للفك السفلي
Erkmen et al., 2005 b	القطع العظمي السهمي ثنائي الجانب للرأد مع إرجاع للفك السفلي
Lovald et al., 2007	كسر في منطقة نظير الارتفاق
Arbag et al., 2008	كسر في جسم الفك السفلي
Lovald et al., 2009	كسر في جسم الفك السفلي
Lovald et al., 2010	كسر في منطقة الارتفاق الذقني
Kimsal et al., 2011	كسر في زاوية الفك السفلي
Yun et al., 2012	القطع العظمي السهمي ثنائي الجانب للرأد مع تقديم للفك السفلي
Sato et al., 2012	القطع العظمي السهمي ثنائي الجانب للرأد مع تقديم للفك السفلي
Guastaldi, 2013	كسر في زاوية الفك السفلي
Narra et al., 2013	إعادة البناء بعد استئصال جزئي للفك السفلي
Aquilina et al., 2013	كسر في لقمة الفك السفلي
Albougha et al., 2015	القطع العظمي السهمي ثنائي الجانب للرأد مع إرجاع للفك السفلي

الفصل الثاني

المواد والطرائق

Materials and Methods

2-1- تصميم الدراسة Study Design

هذه الدراسة تحليلية عددية تعتمد على طريقة العناصر المنتهية ثلاثية الأبعاد، تم اختيار العينة وفق شروط محددة وأجريت الدراسة في كلية طب الأسنان في جامعة دمشق.

2-2- عينة الدراسة Sample

شملت عينة الدراسة نموذجاً حاسوبياً ثلاثي الأبعاد مأخوذاً من صورة مقطعية محوسبة بالحزمة المخروطية CBCT لفك سفلي سليم لذكر يبلغ من العمر 25 عاماً من مراجعي قسم جراحة الفم والوجه والفكين في كلية طب الأسنان- جامعة دمشق.

معايير اختيار عينة الدراسة:

- ذكر في العقد الثالث من العمر
- عدم وجود أمراض جهازية عامة
- وجود كامل أسنان الفك السفلي حتى الرحى الثانية السفلية
- غياب الرحى الثالثة السفلية (المنطمرة - البازغة)
- عدم وجود ترميمات أو تعويضات سنية في الفك السفلي قد تسيء لجودة الصورة الشعاعية ثلاثية الأبعاد
- عدم وجود إصابات رضية أو كسور سابقة في المنطقة الوجهية الفكية
- عدم وجود شذوذات تشريحية أو مرضية أو اضطرابات هيكلية في الفك السفلي

2-3- المواد Materials

1- أدوات الفحص السريري (مرآة سنية، خافض لسان خشبي، ...)

2- صورة مقطعية محوسبة بالحزمة المخروطية CBCT تشمل كامل الفك السفلي بثخانة مقطع 0.25 مم، تم التصوير بجهاز تصوير ®Scanora من شركة SOREDEX.

3- جهاز حاسب محمول HP Pavilion DV6, intel® Core2Due.

4- برنامج ®Mimics (Materialise's Interactive Medical Image Control System) من شركة (Materialise N.V., Leuven, Belgium) V17.0 :

يُستخدم هذا البرنامج لمعالجة الصور الطبية المحوسبة (CBCT، CT، MRI ....) وتحويلها من مقاطع ثنائية الأبعاد بصيغة ملفات Dicom إلى نموذج حاسوبي دقيق ثلاثي الأبعاد بالإمكان تصديره إلى برامج التصميم والتحليل الأخرى على شكل بنية سطحية ثلاثية الأبعاد بصيغة ملفات stl (stereolithography). (Gelaude et al., 2008)

5- برنامج ®3Matic من شركة (Materialise N.V., Leuven, Belgium) V9.0 :

يستخدم هذا البرنامج لإجراء تعديلات وتبسيطات في النماذج ثلاثية الأبعاد كما يتميز بأدوات لاكتشاف وتصحيح الأخطاء الموجودة في هذه النماذج، وهو مفيد في تحويل البنى الشبكية السطحية ثلاثية الأبعاد إلى سطوح Surfaces وأحجام Volumes أو بنى شبكية حجمية Volumetric Meshes قابلة للاستخدام في برامج تحليل العناصر المنتهية FEA، ويدعم هذا البرنامج تصدير النموذج الناتج إلى الكثير من برامج التصميم والتصنيع الهندسي وبرامج تحليل العناصر المنتهية بصيغ ملفات مختلفة.

6- برنامج ®Solidworks 2011: يستخدم للتصميم الهندسي ثلاثي الأبعاد، تم تصميم نماذج عناصر التثبيت من صفائح وبراغي بواسطته.

7- برنامج PowerSHAPE 2015 من شركة (Delcam) V15.1.4 :

يعتبر برنامج Powershape من أقوى برامج النمذجة حيث يستخدم بدءاً من مراحل التصميم وحتى التصنيع ويتعامل مع النماذج الهندسية ثلاثية الأبعاد بكافة أشكالها (بنية شبكية سطحية، سطوح، مجسمات صلبة ...)، ويمكن باستخدامه الإنتقال بسهولة وبدقة من شكل لآخر.

8- برنامج ™Ansys® Workbench V15.0.7 : يستخدم لإجراء المحاكاة الحاسوبية وتحليل العناصر المنتهية FEA على النماذج ثلاثية الأبعاد .

2-4- الطرائق Methods

تم تلخيص مراحل العمل المنجزة ضمن مخطط تدفقي، وأُدرج كملحق في نهاية البحث.

2-4-1- تصميم النموذج ثلاثي الأبعاد:

يُعدّ بناء النموذج الحاسوبي ثلاثي الأبعاد للفك السفلي والذي سيتم استخدامه في تحليل العناصر المنتهية بالاعتماد على الصور الشعاعية المقطعية المحوسبة أكثر الوسائل دقة في الحفاظ على أبعاد الشكل الهندسي للفك دون تغيرات أو تشوهات.(Korioth et al., 1992 a)

تم تصميم النموذج ثلاثي الأبعاد للفك السفلي في هذه الدراسة بطريقة مشابهة لما هو موصوف في دراسات كل من (Rossi et al., 2014 b) (Bezzera et al., 2013) (Kimsal et al., 2011) (Lovald et al., 2010) (الغزي, 2015)، ومرّ العمل بالمراحل التالية:

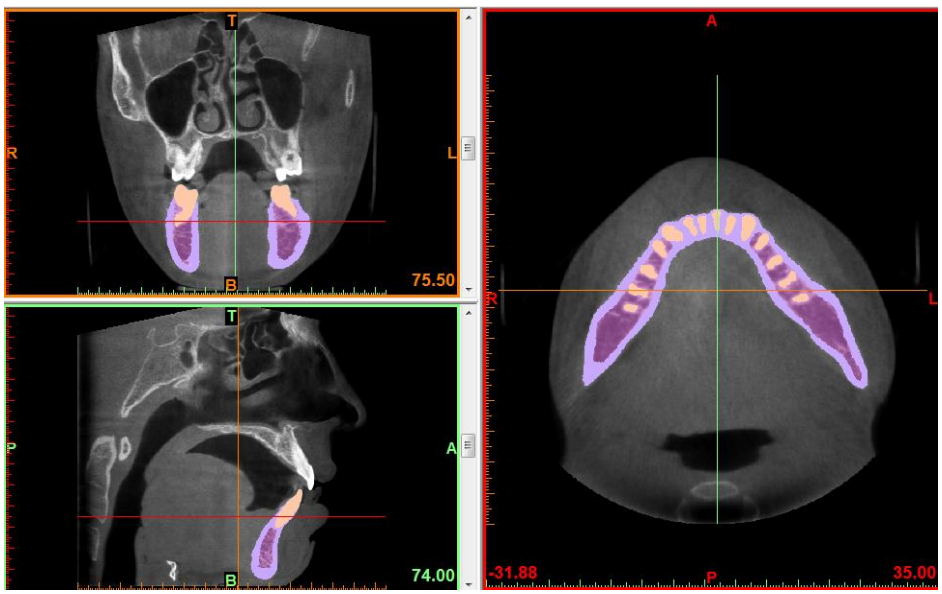
*** استخدام برنامج ®Mimics :**

تم في البداية استيراد Import مقاطع صورة CBCT بصيغة Dicom، ثم جرى التحقق من صحة توجيه المقاطع (أعلى/أسفل - أمام/خلف - يمين/يسار)، بعد ذلك عُزلت العناصر المطلوبة (عظم قشري- عظم إسفنجي- أسنان) عن باقي مكونات الصورة عن طريق الأداة (Thresholding) والتي يتم بواسطتها تحديد كل ما يقع بين العتبتين الدنيا والعليا لوحدات التدرج اللوني الرمادي Gray scale والتي تدعى Hounsfield Units، حُدّدت العتبة الدنيا

بـ 226 HU والعليا بـ 3071 HU، بعدها تم تحديد منطقة الفك السفلي وإلغاء باقي مكونات الصورة عن طريق أداة (Region Growing).

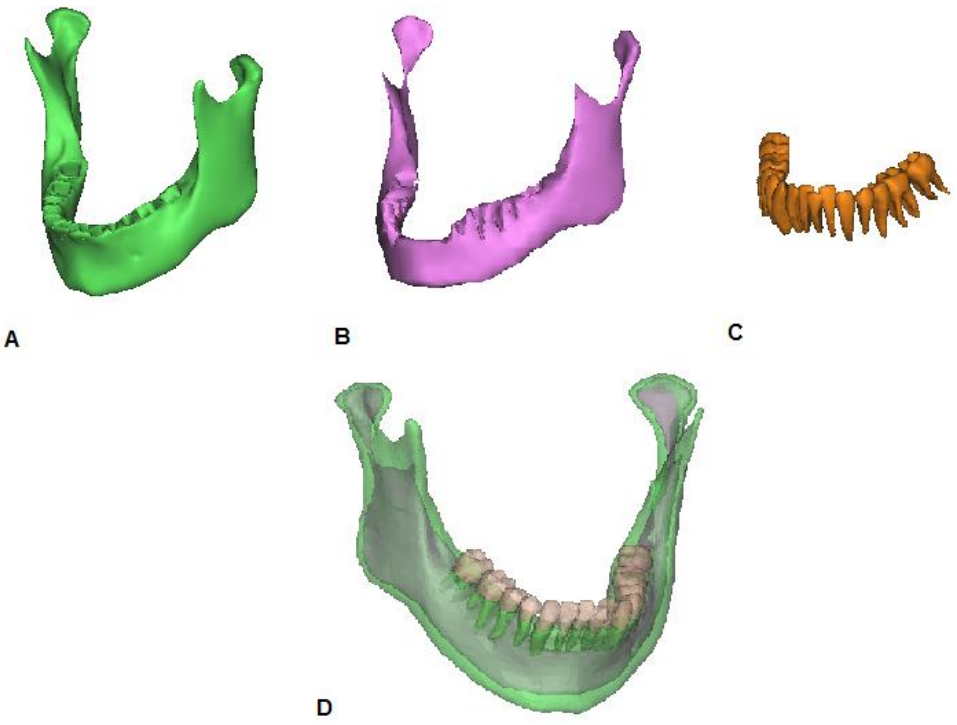
جرى فصل المكونات (عظم قشري– عظم إسفنجي– أسنان) عن بعضها عن طريق إنشاء قناع Mask خاص بكل مكون عن طريق الأداة (New Mask): بداية تم تحديد مجال بين عتبتين دنيا وعليا لوحدات التدرج اللوني الرمادي HU لكل مكون على حدى بحيث يشمل أكبر كم ممكن من نقاط هذا المكون في جميع مقاطع الصورة وأقل ما يمكن من النسج المجاورة، وكانت المجالات المحددة كالتالي: العظم القشري (662–1988) HU، العظم الإسفنجي (148–661) HU، الأسنان (1148–3071) HU. ثم أجري التنقيح اليدوي عن طريق إزالة النقاط غير المرغوبة والتي لا تنتمي إلى المكون المدروس وملء الفراغات وسد الثقوب للحصول على مكون متمادي خالي من الفراغات والعيوب، أجريت هذه العملية على كل مقطع من الصورة وفي المستويات الثلاث (السهمي، الجبهي، المعترض).

وأخيراً تم التأكد من عدم وجود تداخلات أو تقاطعات أو فراغات بين بنية المكونات باستخدام الأداة (Boolean Operations)، يوضح (الشكل 2–1) الأقنعة النهائية لكل من (العظم القشري– العظم الإسفنجي– الأسنان).



الشكل 2–1: الأقنعة النهائية لكل من: العظم القشري – العظم الإسفنجي – الأسنان

بعد ذلك جرى تحويل الأقنعة إلى مجسمات ثلاثية الأبعاد عن طريق الأداة (Calculate 3D) مع اختيار إجراء تنعيم smoothing لسطح المجسمات الناتجة، يظهر (الشكل 2-2) المجسمات ثلاثية الأبعاد التي تم إنشاؤها ضمن برنامج Mimics® لكل من (العظم القشري- العظم الإسفنجي- الأسنان).

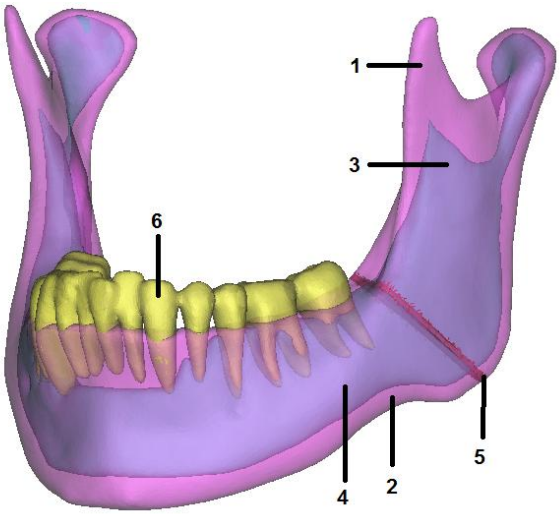


الشكل 2-2: المجسمات ثلاثية الأبعاد التي تم إنشاؤها ضمن برنامج Mimics® بدءاً من صورة CBCT

A- العظم القشري B- العظم الإسفنجي C- الأسنان D- المجسمات مجتمعة

في المرحلة التالية تم إجراء محاكاة لكسر بسيط في زاوية الفك السفلي من النمط غير المستحب باستخدام التعليمة (Cut With Polyplane) حيث تم إنشاء مستوي يمر من منطقة المثلث خلف الرحوي حتى منطقة زاوية الفك السفلي في أكثر نقطة خلفية وسفلية للفك، حُدّدت سماكة هذا المستوي بـ 1مم، ثم أُجري القطع لينقسم الفك السفلي إلى قسمين : قسم قريب Proximal حامل للّقمة وقسم بعيد Distal حامل للأسنان. ثم أجري تقاطع لهذا المستوي مع مجسمات المكونات العظمية الأصلية (عظم قشري وعظم إسفنجي) باستخدام الأداة (Boolean Operations) للحصول على مجسم جديد يمثل الدشبذ العظمي في خط الكسر بسماكة 1مم

كما في دراسات (Kimsal et al., 2011) (Lovald et al., 2010) (Lovald et al., 2009)، وبالتالي تشكل الآن ست مجسمات ثلاثية الأبعاد تمثل المكونات النهائية لنموذج الفك السفلي المصاب بكسر في منطقة الزاوية يوضحها (الشكل 2-3):



الشكل 2-3: المجسمات ثلاثية الأبعاد النهائية بعد إجراء محاكاة كسر زاوية الفك السفلي

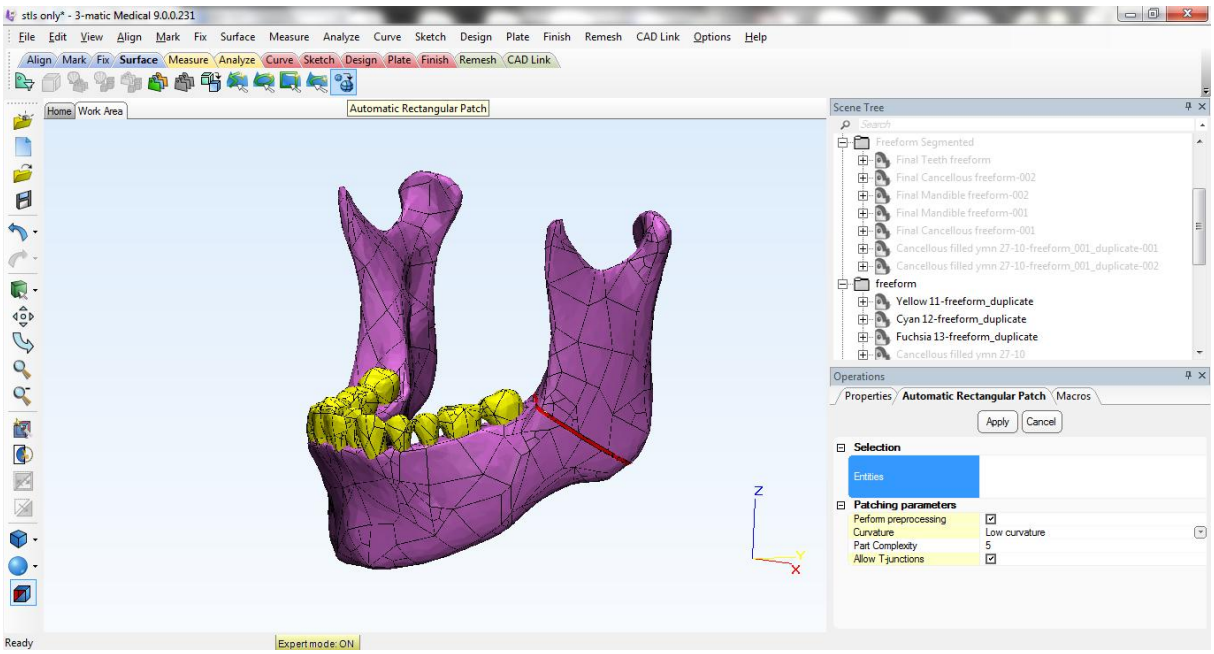
1. العظم القشري في القطعة القريبة (الحاملة للقمة)
2. العظم القشري في القطعة البعيدة (الحاملة للأسنان)
3. العظم الإسفنجي في القطعة القريبة (الحاملة للقمة)
4. العظم الإسفنجي في القطعة البعيدة (الحاملة للأسنان)
5. الدشبذ العظمي في منطقة خط الكسر
6. الأسنان

وأخيراً تم تصدير هذه المجسمات على شكل بنى سطحية ثلاثية الأبعاد بصيغة ملفات stl وذلك باستخدام التعليمة (+STL) وجرى حفظ العمل في برنامج Mimics® والانتقال للمرحلة التالية.

*** استخدام برنامج 3Matic :**

تم استيراد البنى السطحية ثلاثية الأبعاد بصيغة ملفات stl إلى نافذة البرنامج باستخدام التعليمة Import part فظهرت هذه البنى بشكل شبكة ربط مثلثية mesh، ثم جرى تبسيط وتنعيم سطح كل من المكونات مع المحافظة على دقة الشكل الهندسي لها عن طريق الأدوات (Quality Preserving Reduce Triangles) و(Smooth Surface) و(Auto Remesh).

بعدها تم تحرّي واستكشاف وجود أخطاء في البنية الشبكية السطحية لكل من المكونات (ثقوب صغيرة، انثناءات، تراكبات ....إلخ) وإصلاح هذه الأخطاء باستخدام الأداة (Fix Wizard). وبعد التأكد من خلو النموذج من الأخطاء تم تقسيم سطح كل من المكونات إلى سطوح رباعية الأضلاع تدعى الرقع Patches باستخدام الأداة (Automatic Rectangular Patches) (الشكل 2-4)، تمثّل هذه العملية توليد سطوح من النمط NURBS (Non-Uniform Rational Basis Spline) اعتماداً على منحنيات مرسومة على سطح النموذج الخارجي، ويمثّل هذا النمط أنموذجاً رياضياً يتسم بالمرونة اللازمة لبناء النماذج بشكل دقيق.



الشكل 2-4: تقسيم سطح النموذج إلى رقع وتوليد سطوح NURBS ضمن برنامج 3Matic

أخيراً جرى تصدير جميع المكونات بصيغة ملفات Iges (Initial Graphic Exchange Specification) وهي صيغة حيادية تسهل نقل البيانات بين برامج التصميم والنمذجة الحاسوبية.

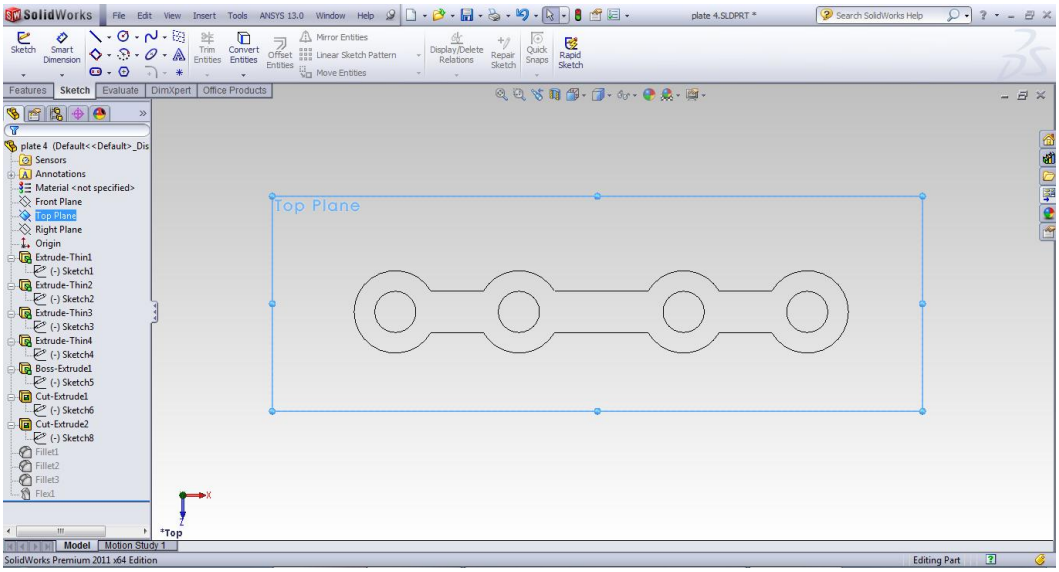
*** استخدام برنامج Solidworks :**

صُمّمت في هذا البرنامج عناصر التثبيت المختلفة المستخدمة في هذه الدراسة (صفائح صغيرة Miniplates، صفيحة إعادة بناء Reconstruction Plate، براغي التثبيت Screws). وقد تم الحصول على مواصفات الصفائح والبراغي وقياساتها الدقيقة من شركة Biomet™ الأمريكية (Biomet, n.d.).

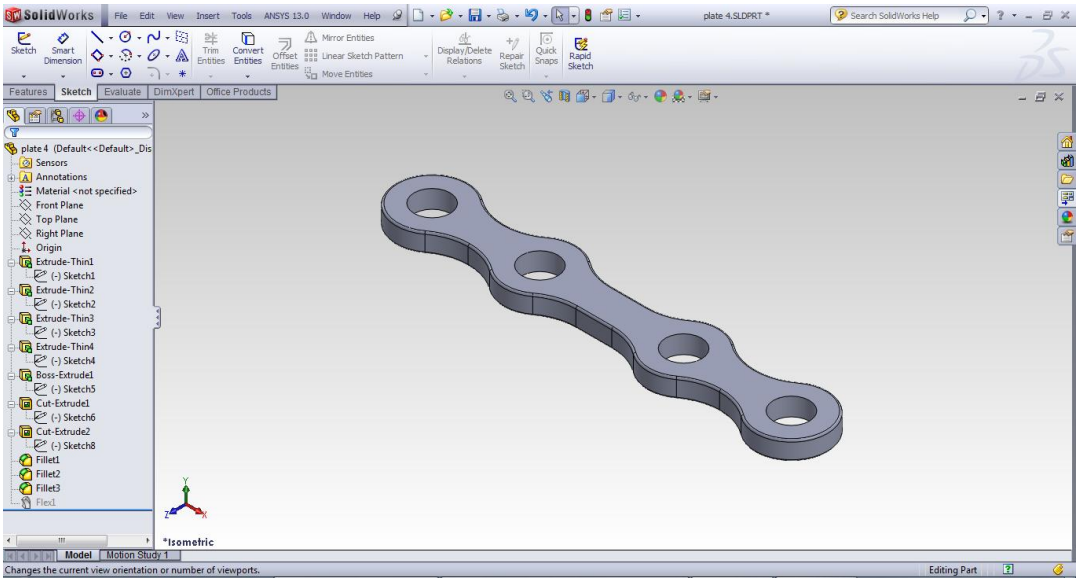
جرى تصميم صفيحة صغيرة Miniplate بـ 4 ثقوب وأخرى بـ 6 ثقوب، ثخانة كل من الصفيحتين 1 مم وبقطر براغي 2 مم، كما جرى تصميم صفيحة إعادة بناء Reconstruction Plate بـ 8 ثقوب، ثخانة الصفيحة 2 مم وبقطر براغي 2.4 مم.

مرّ تصميم الصفائح ضمن برنامج Solidworks™ بالمراحل التالية :

رسم تخطيطي ثنائي الأبعاد Sketch ← تحويل لمجسم ثلاثي الأبعاد بالأمر Extrude ← إجراء تدوير لحواف الصفيحة بالأمر Chamfer. (الشكلين 2-5، 2-6)



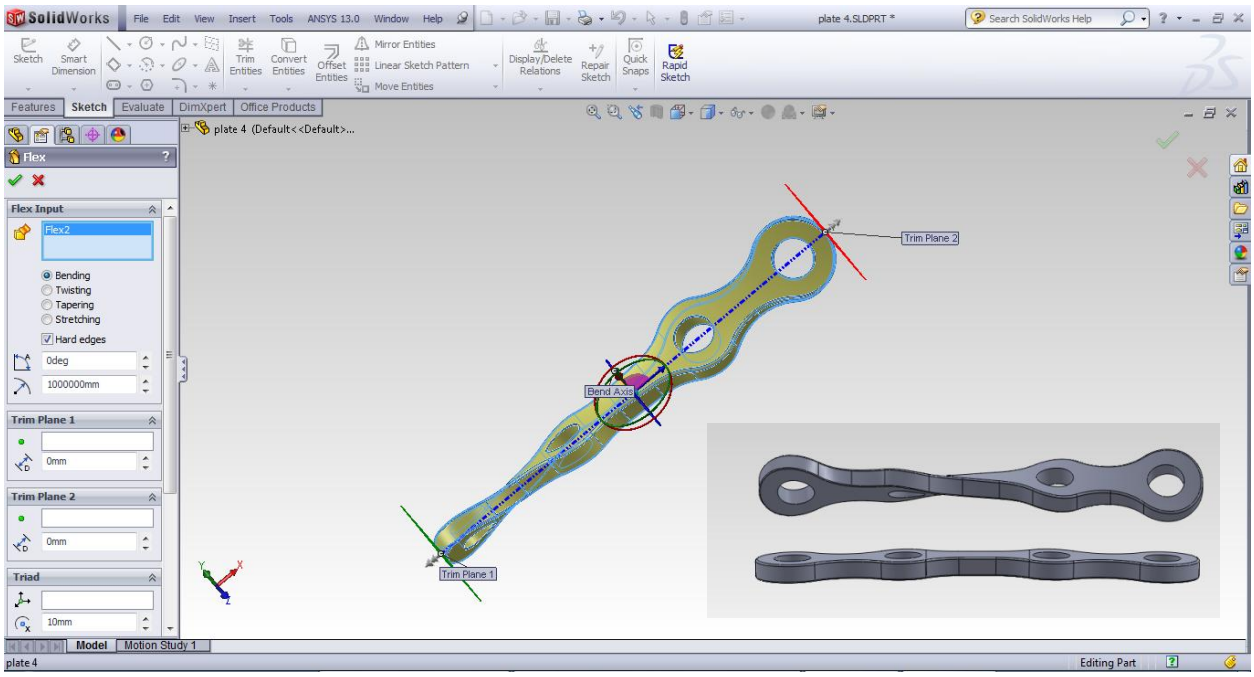
الشكل 2-5: الرسم التخطيطي ثنائي الأبعاد Sketch لصفيحة تثبيت صغيرة بأربعة ثقوب



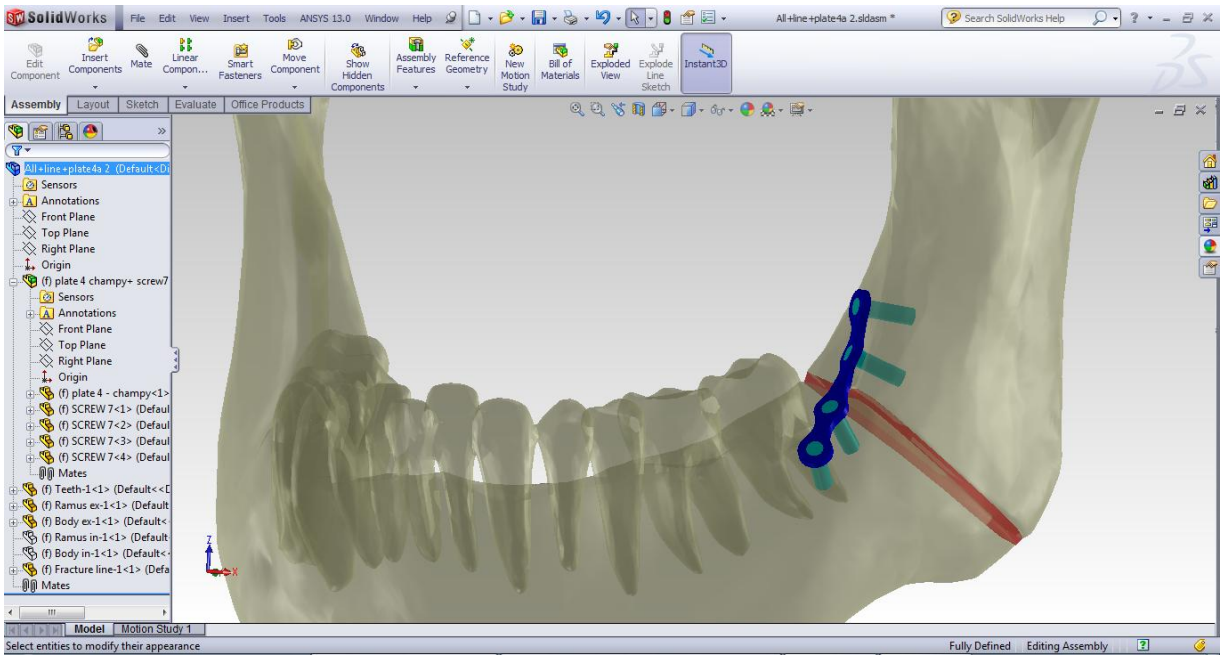
الشكل 2–6: النموذج النهائي ثلاثي الأبعاد 3D لصفيحة تثبيت صغيرة بأربعة ثقوب

تمّ في هذه الدراسة نمذجة براغي التثبيت على شكل أسطوانات بهدف تبسيط النموذج النهائي، وقد تم اتباع هذا الإجراء في العديد من دراسات تحليل العناصر المنتهية السابقة مثل (Lovald et al., 2010) (Kimsal et al., 2011) (Aquilina et al., 2013) (Erkmen et al., 2005) (Lovald et al., 2009). وجرى تصميم البراغي المستخدمة لتثبيت الصفائح الصغيرة كأسطوانات بقطر 2 مم وطول 7 مم، أما البراغي المستخدمة لتثبيت صفيحة إعادة البناء فكانت بقطر 2.4 مم وطول 9 مم.

بعد ذلك تم استيراد النموذج النهائي للفك السفلي المصاب بكسر في منطقة الزاوية إلى نافذة البرنامج ليتم إجراء تكييف الصفائح على سطح العظم وفق مبادئ الممارسة الجراحية القياسية، (Harle et al., 1999) ثم تم تكييف الصفائح باستخدام التعليمات (bend) و(Twist) من القائمة Feature ← Flex مع تحريك الصفيحة إلى المكان المناسب بالمستويات الثلاث والتأكد من انطباقها على سطح العظم دون وجود اندخال أو فراغ بينهما، وأخيراً تم تثبيت البراغي ضمن ثقوب الصفيحة لتخترق العظم. (الشكلين2–7، 2–8)



الشكل 2-7: ثني وتكييف شكل الصفيحة باستخدام التعليمتين Bend و Twist ضمن برنامج Solidworks



الشكل 2-8: التكييف النهائي لصفيحة التثبيت مع وضع البراغي ضمن برنامج Solidworks

تم إجراء ثلاث نسخ للصفيحة الصغيرة ذات الأربعة ثقوب ليتم تكييفها في ثلاثة مواقع هي:

1. الموقع الأول: عند الحافة العلوية للكسر فوق الخط المنحرف الظاهر حسب طريقة Champy واصطلح على تسمية هذه الصفيحة **Plate A**.

2. الموقع الثاني: عند الحافة العلوية للكسر مباشرةً تحت الخط المنحرف الظاهر على الوجه الوحشي للفك السفلي واصطلح على تسمية هذه الصفيحة **Plate B**.

3. الموقع الثالث: قرب الحافة السفلية للكسر على الوجه الوحشي للفك السفلي وبأقل تكييف ممكن واصطلح على تسمية هذه الصفيحة **Plate B´**.

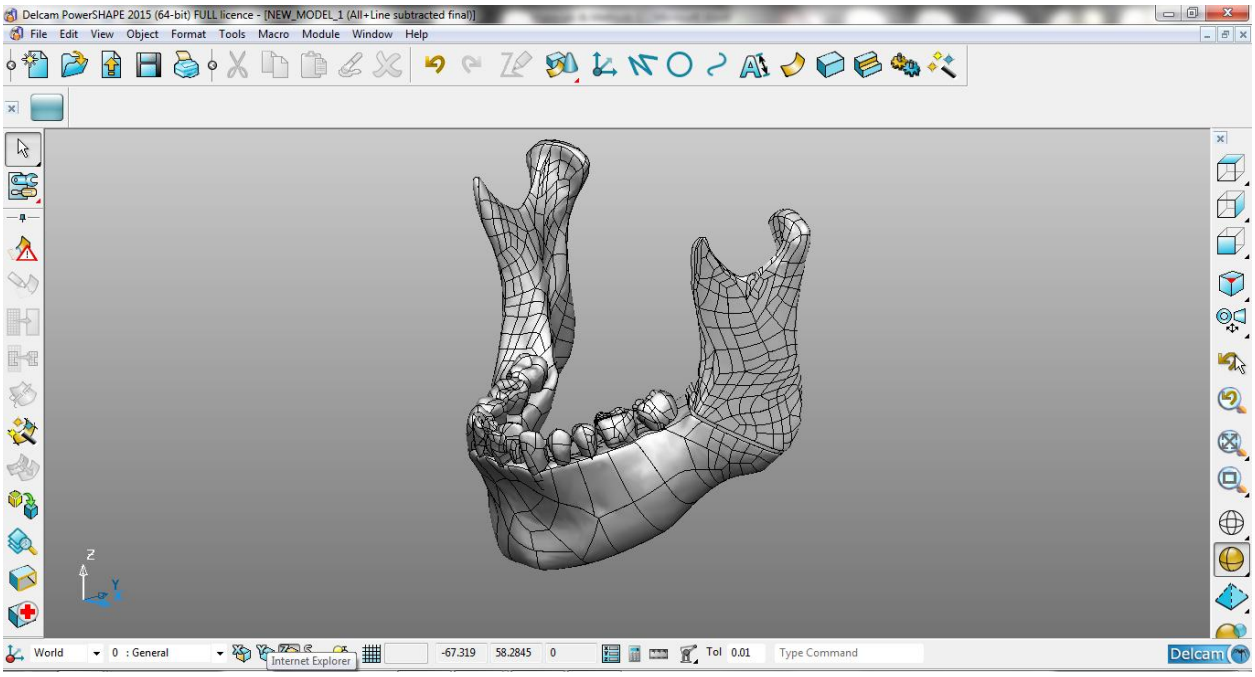
تم تكييف الصفيحة الصغيرة ذات الستة ثقوب عند الحافة السفلية للكسر على الوجه الوحشي للفك السفلي واصطلح على تسمية هذه الصفيحة **Plate C**.

كما تم تكييف صفيحة إعادة البناء ذات الثمانية ثقوب عند الحافة السفلية للكسر على الوجه الوحشي للفك السفلي واصطلح على تسمية هذه الصفيحة **Plate R**.

وأخيراً تم حفظ الصفيحة مع البراغي كمجسمات صلبة بصيغة Parasolid ولاحقة ملفات x_t.

*** استخدام برنامج PowerSHAPE :**

جرى في هذا البرنامج استيراد Import مكونات نموذج الفك السفلي المصاب بكسر في منطقة الزاوية بصيغة ملفات Iges، وبعد تحديد جميع المكونات تم تحويل نموذج سطوح NURBS إلى مجسم صلب (نموذج حجمي) عن طريق الأداة (Create solid from selected surfaces)، ثم استُخدمت الأداة (Fix solid) من أجل استكشاف وإصلاح الأخطاء الصغيرة في المجسم الصلب النهائي، وتم حفظ المجسم الصلب النهائي للفك السفلي بصيغة Parasolid بلاحقة ملفات x_t. . (الشكل 2-9)



الشكل 2–9: تحويل نموذج الفك السفلي من سطوح NURBS إلى مجسم صلب Solid باستخدام برنامج PowerSHAPE

تم في المرحلة التالية استيراد Import عناصر التثبيت وإضافتها لنموذج الفك السفلي حسب كل حالة من مجموعات الدراسة، ثم جرى تفريغ مكان البراغي من كتلة العظم عن طريق إزالة التقاطع بينهما باستخدام الأمر (Subtract) من الأداة (Boolean Operations) فنتج نموذج لفك سفلي مصاب بكسر زاوية وفيه ثقوب تسكنها براغي التثبيت المتصلة بصفيحة التثبيت المنطبقة على سطح العظم.

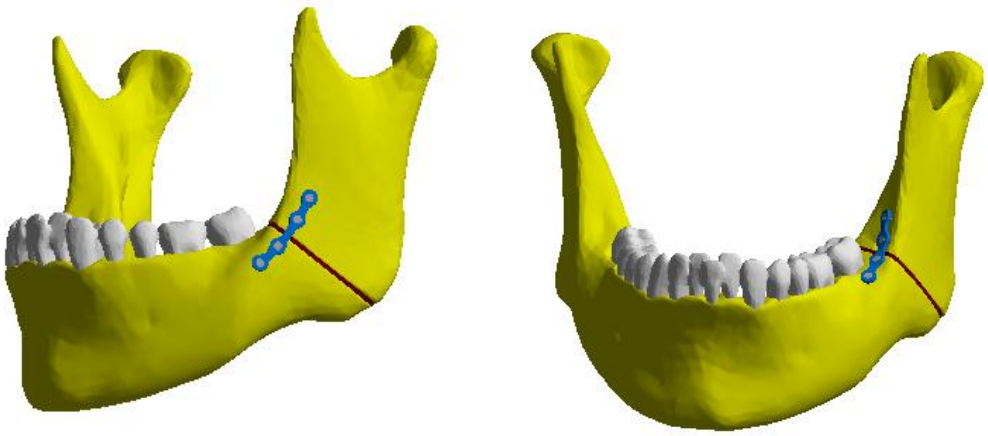
وأخيراً تم حفظ كل حالة من مجموعات الدراسة على شكل **نموذج نهائي** منفصل بصيغة Parasolid قابل للتصدير إلى برنامج المحاكاة وتحليل العناصر المنتهية ®Ansys .

*** مجموعات الدراسة:**

شملت مجموعات الدراسة 10 طرائق مختلفة للتثبيت الداخلي لكسور زاوية الفك السفلي باستخدام الصفائح والبراغي دون اللجوء إلى التثبيت بين الفكي MMF، وهذه المجموعات هي:

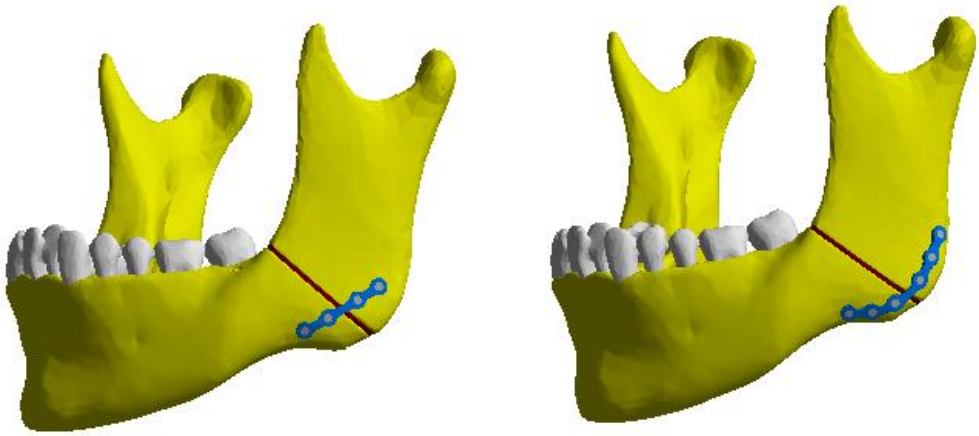
1. المجموعة الأولى: التثبيت بالصفيحة A لوحدها "طريقة Champy"
2. المجموعة الثانية: التثبيت بالصفيحة B لوحدها
3. المجموعة الثالثة: التثبيت بالصفيحة C لوحدها
4. المجموعة الرابعة: التثبيت بالصفيحة B´ لوحدها
5. المجموعة الخامسة: التثبيت بالصفيحة R لوحدها "صفيحة إعادة البناء"
6. المجموعة السادسة: التثبيت بالصفيحتين A+C معاً
7. المجموعة السابعة: التثبيت بالصفيحتين A+B´ معاً
8. المجموعة الثامنة: التثبيت بالصفيحتين B+C معاً
9. المجموعة التاسعة: التثبيت بالصفيحتين B+B´ معاً
10. المجموعة العاشرة: التثبيت بالصفيحتين B+R معاً

يوضح (الشكلان 2-10، 2-11) هذه المجموعات :



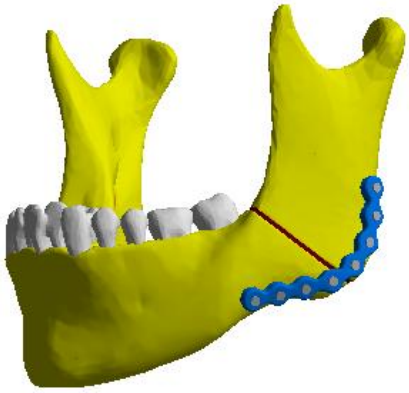
1. الصفيحة A

2. الصفيحة B



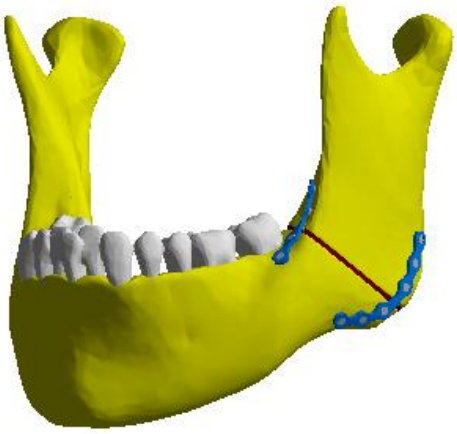
3. الصفيحة C

4. الصفيحة ´B

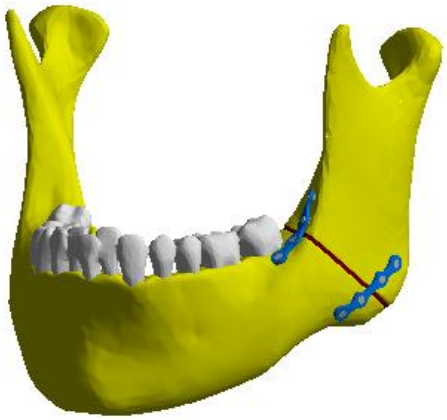


5. الصفيحة R

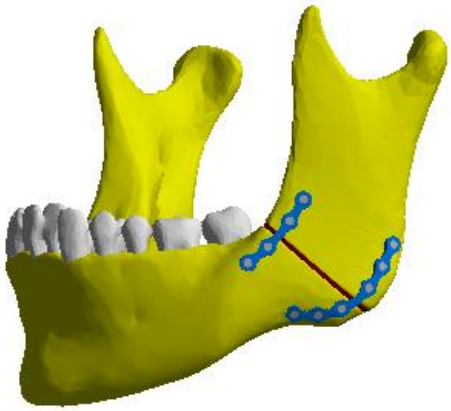
الشكل 2–10 : النماذج النهائية لمجموعات الدراسة "1"



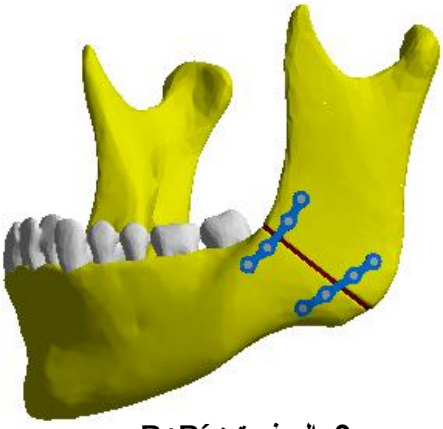
6. الصفيحتين A+C



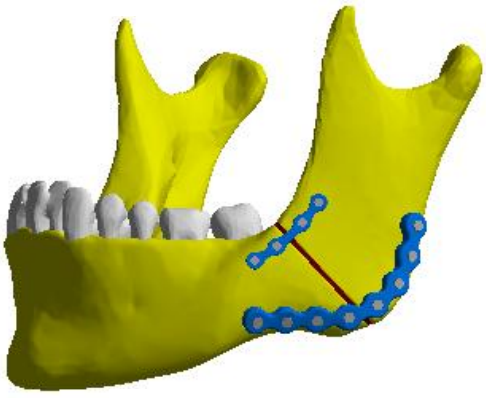
7. الصفيحتين ´A+B



8. الصفيحتين B+C



9. الصفيحتين ´B+B



10. الصفيحتين B+R

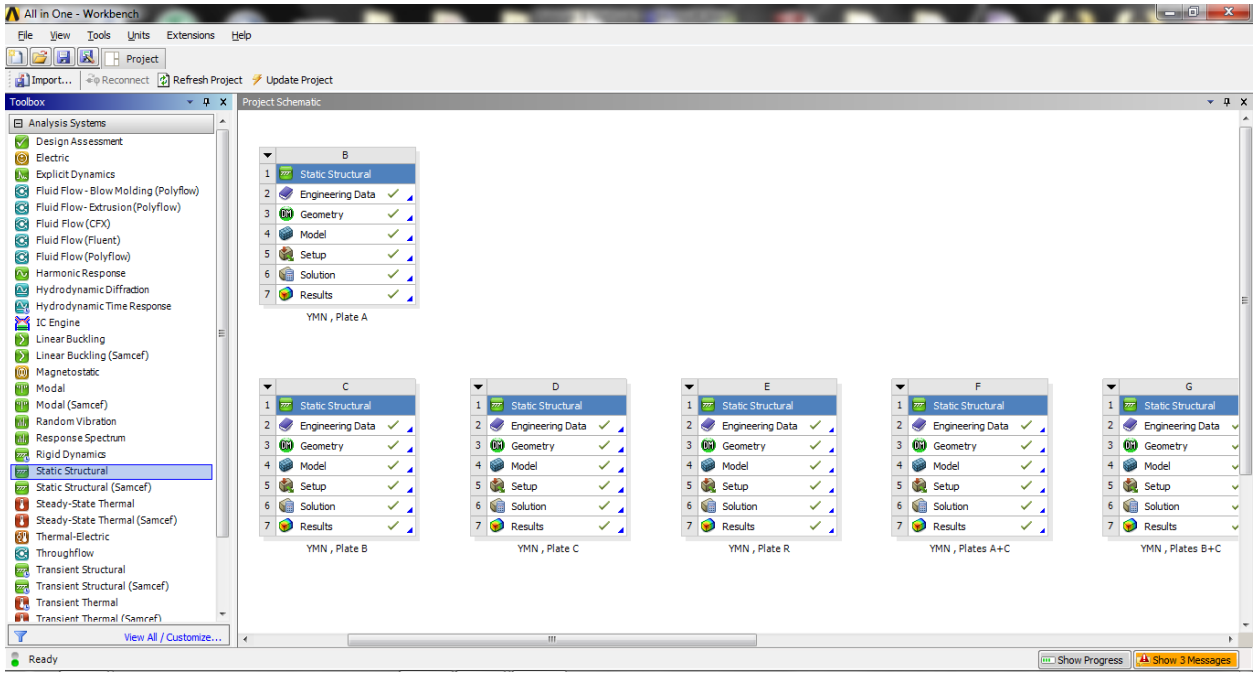
الشكل 2−11: النماذج النهائية لمجموعات الدراسة "2"

2-4-2- مرحلة المعالجة الأولية للبيانات Preprocessing Stage:

بعد الحصول على النماذج ثلاثية الأبعاد النهائية لمجموعات الدراسة تم الانتقال إلى مرحلة العمل ضمن برنامج المحاكاة الحاسوبية وتحليل العناصر المنتهية Ansys® .

تم في هذه المرحلة تحديد البيانات الخاصة بالنماذج Models كتعريف الخواص الميكانيكية للمواد Material Properties وضبط الشروط الحدية Boundary Conditions وشروط التحميل Loading، كما جرى تقسيم النماذج إلى عدد منتهي من العناصر من خلال عملية الربط الشبكي Meshing.

تم في البداية إنشاء مشروع دراسة Project خاص لكل مجموعة من مجموعات الدراسة، وحُدّد نوع الدراسة بـ البنى الساكنة Static Structural. (الشكل 2-12)



الشكل 2-12: مشاريع الدراسة ضمن واجهة برنامج Ansys®

ثم تم استيراد النماذج النهائية لمجموعات الدراسة بصيغة Parasolid وربط كل نموذج بمشروع الدراسة الذي يحمل اسمه.

بالنقر على الخيار Geometry من مربع مشروع الدراسة تفتح واجهة Design Modeler وفيها تم تسمية كل مكون من مكونات النموذج (عظم قشري، عظم إسفنجي، أسنان، دشبذ، صفيحة تيتانيوم، برغي تيتانيوم) وتخصيصه بلون محدد.

*** تحديد خواص المواد Material Properties:**

يُعدّ النسيج العظمي مادة غير متجانسة Inhomogeneous وغير متماثلة الخواص Anisotropic (Shyam Sundar et al., 2012)، ولكن نظراً لصعوبة تمثيل كل من السلوك اللاخطي وعدم التجانس في بنية العظم فقد افترضت هذه الدراسة أن كلاً من العظم والأسنان وعناصر التثبيت من صفائح وبراغي معدنية هي مواد مرنة خطياً Linear Elastic، متجانسة Homogeneous، ومتماثلة الخواص Isotropic، ويمكن توصيف هذه المواد من خلال معامل المرونة Young's Modulus of Elasticity ونسبة بواسون Poisson's Ratio. وقد تم اعتماد هذا التبسيط في معظم الدراسات الميكانيكية الحيوية السابقة المعتمدة على تحليل العناصر المنتهية (Rossi et al., 2014 a) (Guastaldi, 2013) (Kimsal et al., 2011) (Lovald et al., 2010).

عُرّفت خصائص المواد (معامل المرونة ونسبة بواسون) لكل مكون من مكونات نموذج الدراسة عن طريق البند Engineering Data، وتم الحصول على القيم من دراسات (Kimsal et al., 2011) (Lovald et al., 2010) (Niinomi, 1998)، يوضح (الجدول 2-1) قيم خصائص المواد المستعملة في هذه الدراسة.

بعد ذلك وبالنقر على بند Model تفتح واجهة Mechanical ويظهر فيها النموذج المدروس، جرى أولاً تخصيص كل مكون من مكونات النموذج بالمادة التي تم تعريفها سابقاً عن طريق الأداة Material Assignment.

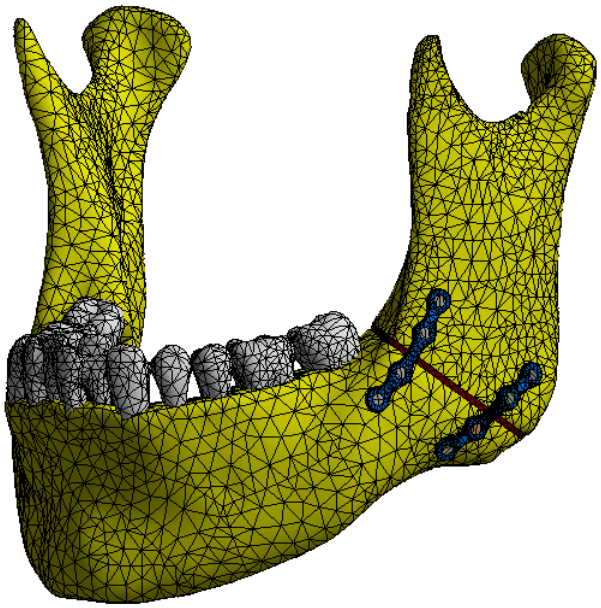
الجدول 2-1: خصائص المواد لمكونات النماذج المدروسة

(Niinomi, 1998) (Lovald et al., 2010) (Kimsal et al., 2011)

	معامل المرونة (GPa)	نسبة بواسون	إجهاد الخضوع (MPa)
العظم القشري	20	0.3	90
العظم الإسفنجي	7.93	0.3	-
العاج السني	17.6	0.25	-
الدشبذ	0.003	0.4	-
التيتانيوم	110	0.34	860

ثم تم التأكد من سطوح التماس Contact بين جميع المكونات من ناحية الانطباق التام وعدم وجود فراغات gaps أو تداخلات intersections، وتم اختيار شكل التماس بين مكونات النموذج من النمط Bonded.

جرى بعد ذلك تقسيم النموذج إلى عناصر Elements عن طريق عملية الربط الشبكي الحجمي Volumetric Meshing حيث تم تقسيم النموذج إلى شبكة Mesh من العناصر ذات الشكل رباعي الوجوه Tetrahedral Elements، وتم اختيار التحديد التلقائي لحجم العنصر Default sizing من قبل البرنامج، يظهر (الشكل 2-13) الربط الشبكي للنموذج ضمن برنامج Ansys®.



الشكل2-13: الربط الشبكي Mesh ضمن برنامج Ansys®

يبين (الجدول2-2) عدد العناصر والعقد لكل نموذج من نماذج مجموعات الدراسة:

الجدول 2-2: عدد العناصر Elements والعقد Nodes في نماذج مجموعات الدراسة

نموذج مجموعة الدراسة	عدد العناصر Elements	عدد العقد Nodes
A.1	48289	98006
B .2	47445	87674
C .3	53675	99322
B´ .4	50876	94002
R .5	53076	99123
A+C .6	60640	112531
A+B´ .7	56144	104339
B+C .8	58930	109888
B+B´ .9	55155	102741
B+R .10	58753	110496

في المرحلة التالية تم إدخال معلومات الشروط الحدية Boundary Conditions الخاصة بالنموذج.

يُشبّه عمل الفك السفلي بعمل رافعة من النمط الثالث حيث تؤثر القوة (عضلات المضغ) بين المقاومة (الإطباق) والمرتكز(اللقمتين الفكيتين). (Katona, 2011)

وقد اعتمدت هذه الدراسة الضغط الرحوي في الجانب الموافق لخط الكسر Ipsilateral Molar Clench كقوة عض وذلك لأن هذه القوة تولد أعلى مقدار من الانفعال strain في منطقة خط الكسر كما أنها تمثل أكبر توظيف ممكن لفعالية عضلات المضغ. (Lovald et al., 2009) (Nelson, 1988)

أكّد (Vollmer et al., 2000) على تضمين الشروط الحدية للقمتين وتوزيع عضلات المضغ بشكل صحيح للحصول على نموذج حاسوبي دقيق، لذا تم منع الفك من الحركة في المستويات الثلاث عند السطحين العلوي والخلفي لكل من اللقمتين عن طريق اختيار نمط الدعم الثابت Fixed support. (Narra et al., 2013) (Szücs et al., 2010) (Lovald et al., 2009)

ثم تمت محاكاة قوة العض عن طريق محاكاة كل من القوى العضلية والإطباق كما يلي:

– تم تحديد مكان ارتكاز كل عضلة من عضلات المضغ (القسم السطحي للماضغة، القسم العميق للماضغة، الجناحية الأنسية، الجناحية الوحشية، القسم الأمامي للصدغية، القسم المتوسط للصدغية، القسم الخلفي للصدغية) وذلك في الجهتين اليمنى "الجانب غير العامل" واليسرى "الجانب العامل"، وتم الحصول على مواقع ومساحات المرتكزات العضلية من (snell, 2012) (Gray, 2008).

– أما بالنسبة لعمل هذه العضلات فقد تم الحصول على شدة واتجاه قوة كل عضلة على شكل ثلاث مركبات components في المحاور X–Y–Z من دراسة (Korioth et al., 1992 b) وتم إنقاص شدة القوة إلى 60% من القيمة الأصلية لتحاكي قوة العض عند المريض بعد جراحة الردّ المفتوح والتثبيت الداخلي ORIF (Tate et al., 1994).

يوضح (الجدول 2–3) مركبات قوة كل عضلة من عضلات المضغ في الجانبين العامل وغير العامل في حالة الضغط الرحوي أحادي الجانب عند المريض بعد الجراحة.

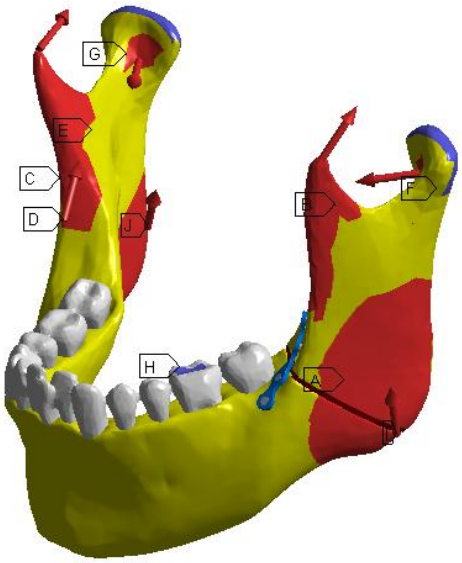
الجدول 2-3: مركبات قوى عضلات المضغ بالجهتين في حالة الضغط الرحوي أحادي الجانب عند المريض بعد الجراحة

(Korioth et al., 1992 b) (Tate et al., 1994)

مجموعة العضلات بالجهة اليسرى "الجانب العامل"	X	Y	Z
الماضغة "القسم السطحي"	17.28	-34.57	73.25
الماضغة "القسم العميق"	19.42	-12.71	26.83
الجناحية الأنسية	-43.17	-32.6	69.6
الصدغية "القسم الأمامي"	10.38	-2.77	68.51
الصدغية "القسم المتوسط"	8.34	18.95	31.84
الصدغية "القسم الخلفي"	5.63	23.05	12.6
الجناحية الوحشية "القسم السفلي"	-7.56	-9.12	-2.05

مجموعة العضلات بالجهة اليمنى "الجانب الموازن"	X	Y	Z
الماضغة "القسم السطحي"	-14.39	-28.77	60.97
الماضغة "القسم العميق"	-16.17	-10.58	22.34
الجناحية الأنسية	30.82	-23.27	49.69
الصدغية "القسم الأمامي"	-8.25	-2.2	54.45
الصدغية "القسم المتوسط"	-8.45	19.2	32.26
الصدغية "القسم الخلفي"	-3.72	15.22	8.32
الجناحية الوحشية "القسم السفلي"	16.44	-19.84	-4.44

- تمت محاكاة الإطباق عن طريق تثبيت منطقة الوهدة المركزية للسطح الطاحن للرحى الأولى السفلية في جهة الكسر وتقييدها من الحركة Restrain في جميع الاتجاهات عن طريق اختيار نمط الدعم الثابت Fixed support وبذلك تقاوم عمل عضلات المضغ، تم قياس شدة قوة رد الفعل Force Reaction عند منطقة الرحى الأولى في نماذج مجموعات الدراسة ووجد أنها تراوحت بين 190-201 نيوتن، وهذه القوة تمثل التحميل الإطباقي في منطقة الرحى السفلية عند مريض مصاب بكسر زاوية الفك السفلي بعد الجراحة، يظهر (الشكل 2-14) الشروط الحدية المطبقة على نموذج الدراسة.



الشكل 2-14: الشروط الحدية Boundary Conditions لنموذج الدراسة

2-4-3- مرحلة المعالجة وإجراء تحليل العناصر المنتهية Finite Element Analysis:

أُجري تحليل العناصر المنتهية FEA لكل نموذج من نماذج مجموعات الدراسة بالضغط على الأمر Solve وتمت دراسة كل من المتغيرات التالية:

1- الإجهاد المكافئ Equivalent Von-Mises Stress في صفائح التثبيت :

يعبّر الإجهاد المكافئ عن الإجهادات التي يتعرض لها الجسم في الإتجاهات الثلاث (ضغط وشد وقص)، وتحدد قيمته كفاءة صفيحة التثبيت وتفيد في توقع حدوث الفشل، حيث أن تجاوز قيمته العظمى لقيمة إجهاد الخضوع Yield Stress للمادة يؤدي لحدوث فشل صفيحة التثبيت والمتمثل في تشوه أو انكسار هذه الصفيحة.

2- الإجهاد المكافئ Equivalent Von-Mises Stress في براغي التثبيت :

يفيد في توقع حدوث الفشل في براغي التثبيت.

3- الإجهاد الأساسي الأعظمي Maximum Principal Stress في العظم القشري المحيط ببراغي التثبيت:

يعبّر عن إجهادات الضغط التي يتعرض لها العظم القشري حول البراغي وتحدد قيمته إذا كان العظم سوف يفشل وتتعرض البراغي للتخلخل "الانحلال" Loosening. (Kimsal et al., 2011) (Lovald et al., 2010) (Lovald et al., 2009)

4- الانفعال الأساسي الأعظمي Maximum Principal Strain في الدشبذ الموجود في خط الكسر:

ويمثل مقدار التشوه الحاصل عند موقع الكسر وبالتالي تحديد كون الكسر مستقراً بما يكفي لحدوث الشفاء أو لا، إن نقص الاستقرار في خط الكسر بشكل كبير يمكن أن يؤدي لحدوث الإنتان وعدم الالتحام. (Kimsal et al., 2011)

5- الانزياح في موقع خط الكسر Fracture Line Displacement:

يعبّر أيضاً عن استقرار خط الكسر فالانزياح الأكبر للقطع العظمية يعني استقراراً أقل للتثبيت.

*** الدراسة الإحصائية Statistical Analysis :**

تمت مقارنة نتائج تحليل العناصر المنتهية المجرى على كل من نماذج مجموعات الدراسة باستخدام طريقة الإحصاء الوصفي Descriptive statistical analysis على اعتبار أن حجم عينة الدراسة n=1. (Guastaldi, 2013) (Kimsal et al., 2011)

وقد دُرس وجود ارتباط بين المتغيرين: متوسط الانفعال الأساسي الأعظمي في الدشبذ والانزياح الحاصل في منطقة خط الكسر، وذلك عن طريق معامل الارتباط لسبيرمان.

الفصل الثالث

النتائج

Results

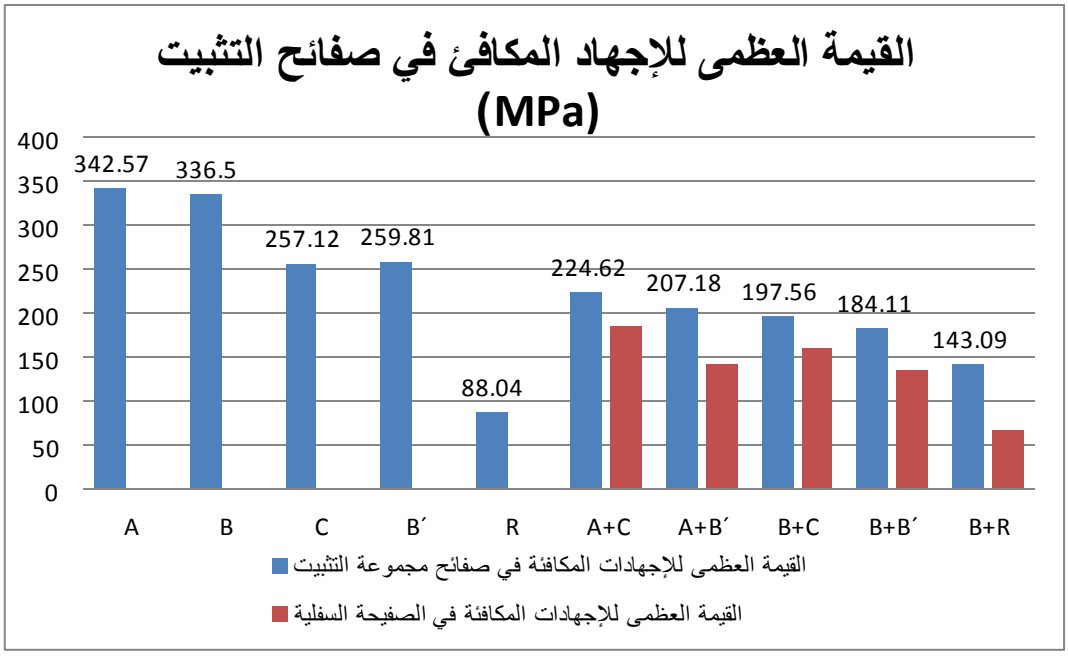
3-1- دراسة القيمة العظمى للإجهاد المكافئ في صفائح التثبيت Plate Equivalent Von-Mises Stress :

أظهرت جميع مجموعات الدراسة قيماً عظمى للإجهاد المكافئ في الصفائح تقل عن 350 ميغاباسكال.

أظهرت مجموعتا التثبيت بصفيحة صغيرة علوية مفردة (A) و(B) أعلى قياس للقيمة العظمى للإجهاد المكافئ بين جميع مجموعات الدراسة مع زيادة طفيفة لصالح المجموعة (A)، في حين أظهرت مجموعة التثبيت بصفيحة إعادة البناء (R) لوحدها أدنى قياس للقيمة العظمى للإجهاد المكافئ بين جميع مجموعات الدراسة.

في جميع مجموعات التثبيت بصفيحتين علوية وسفلية كان تركّز الإجهادات أعلى في الصفيحة العلوية منه في الصفيحة السفلية، وكانت القيمة العظمى للإجهادات في صفائح التثبيت ضمن مجموعات التثبيت بصفيحتين أقل منها في مجموعات التثبيت بصفيحة مفردة لنفس الصفائح.

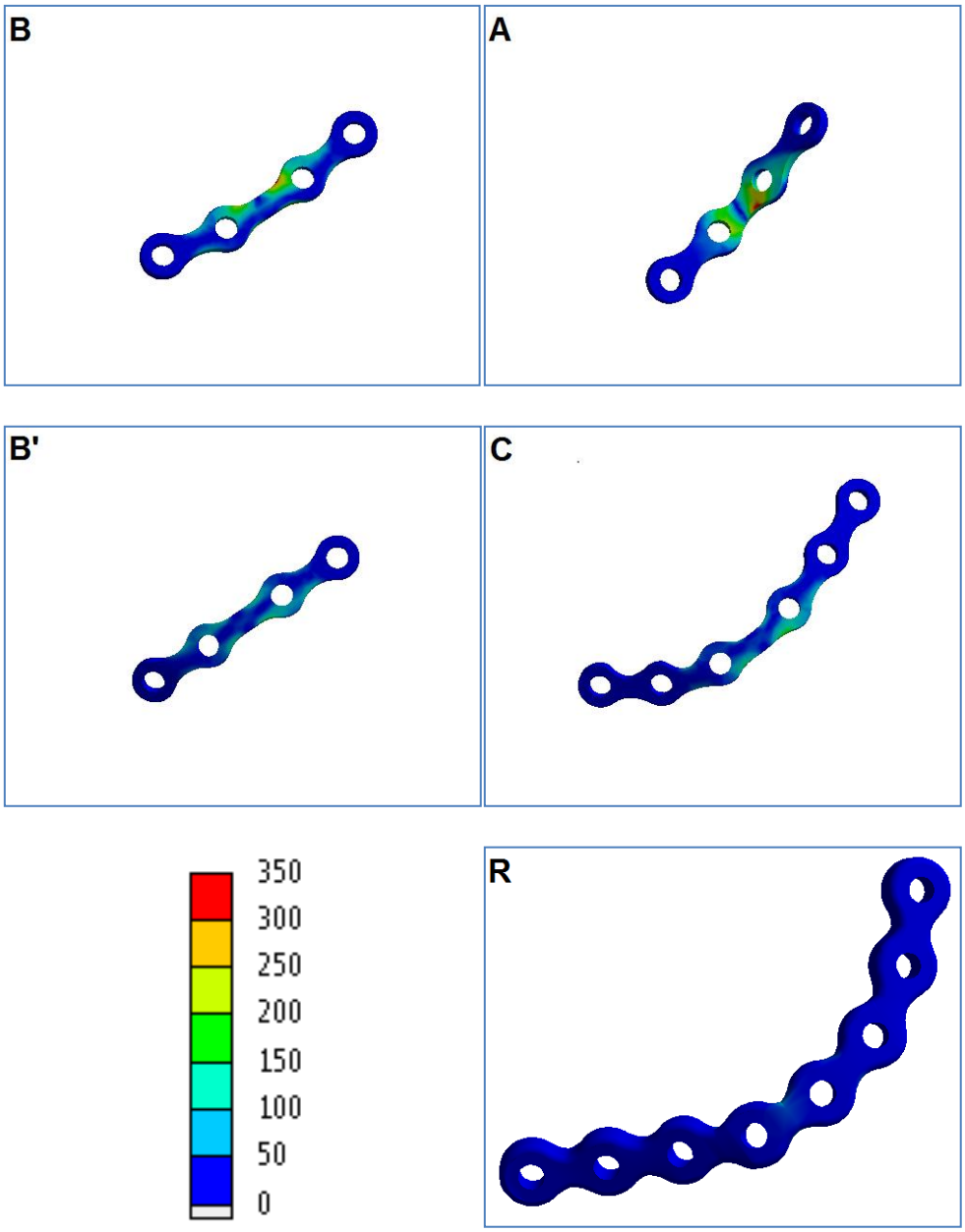
يوضح (الشكل 3-1) القيمة العظمى للإجهاد المكافئ Von-Mises Stress في صفائح التثبيت أثناء الضغط الرحوي أحادي الجانب.



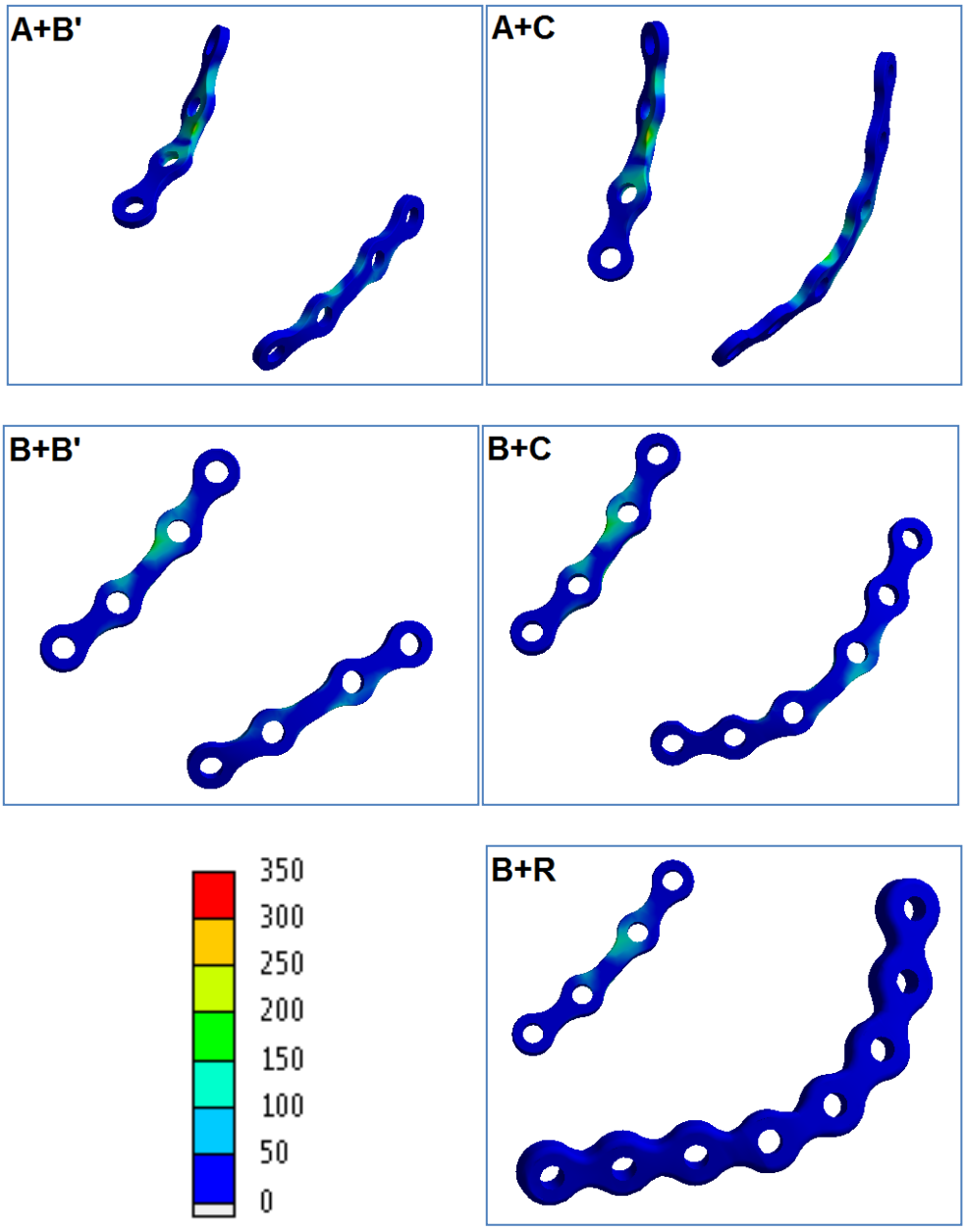
الشكل 3-1: القيمة العظمى للإجهاد المكافئ Von-Mises في صفائح التثبيت أثناء الضغط الرحوي أحادي الجانب

في جميع صفائح مجموعات الدراسة كان منتصف الصفيحة هو منطقة تركز الإجهادات.

يوضح (الشكلان 3-2، 3-3) توزع الإجهاد المكافئ Von-Mises Stress ضمن صفائح التثبيت في كل من مجموعات الدراسة .



الشكل 3-2: توزع الإجهاد المكافئ Von-Mises Stress (MPa) في صفائح التثبيت (1)



الشكل 3-3: توزع الإجهاد المكافئ Von-Mises Stress (MPa) في صفائح التثبيت (2)

3-2- دراسة القيمة العظمى للإجهاد المكافئ في براغي التثبيت Screw Equivalent Von-Mises Stress :

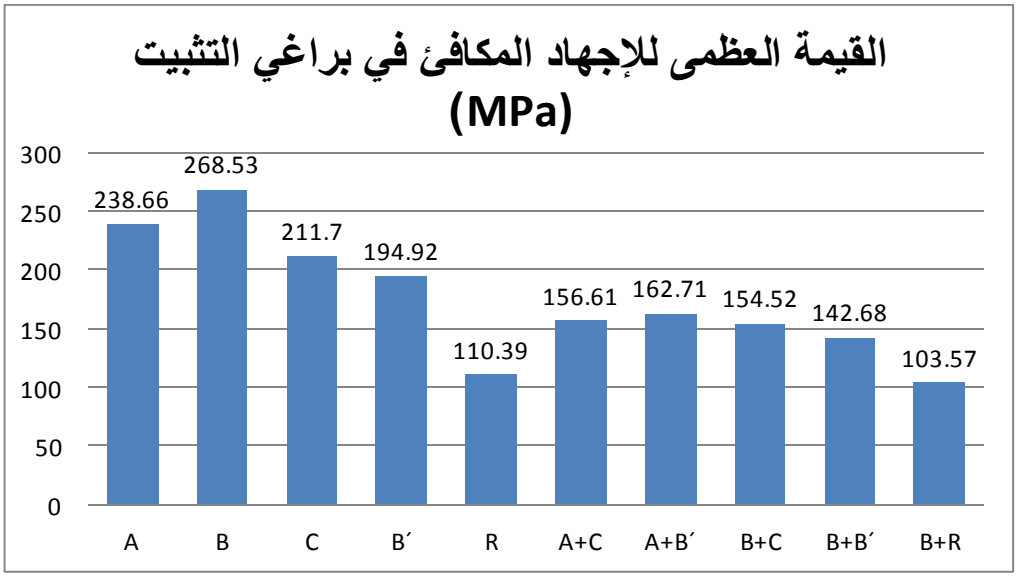
أظهرت جميع مجموعات الدراسة قيماً عظمى للإجهاد المكافئ في البراغي تقل عن 300 ميغاباسكال.

أظهرت المجموعة (B) أعلى قياس للقيمة العظمى للإجهاد المكافئ بين جميع مجموعات الدراسة، في حين أظهرت المجموعة (B+R) أدنى قياس للقيمة العظمى للإجهاد المكافئ بين جميع مجموعات الدراسة، وأظهرت المجموعة (R) أدنى قياس للقيمة العظمى للإجهاد المكافئ بين مجموعات التثبيت بصفيحة مفردة.

كانت قيمة الإجهادات في براغي تثبيت الصفيحة العلوية أكبر منها في براغي تثبيت الصفيحة السفلية في جميع مجموعات التثبيت بصفيحيتين.

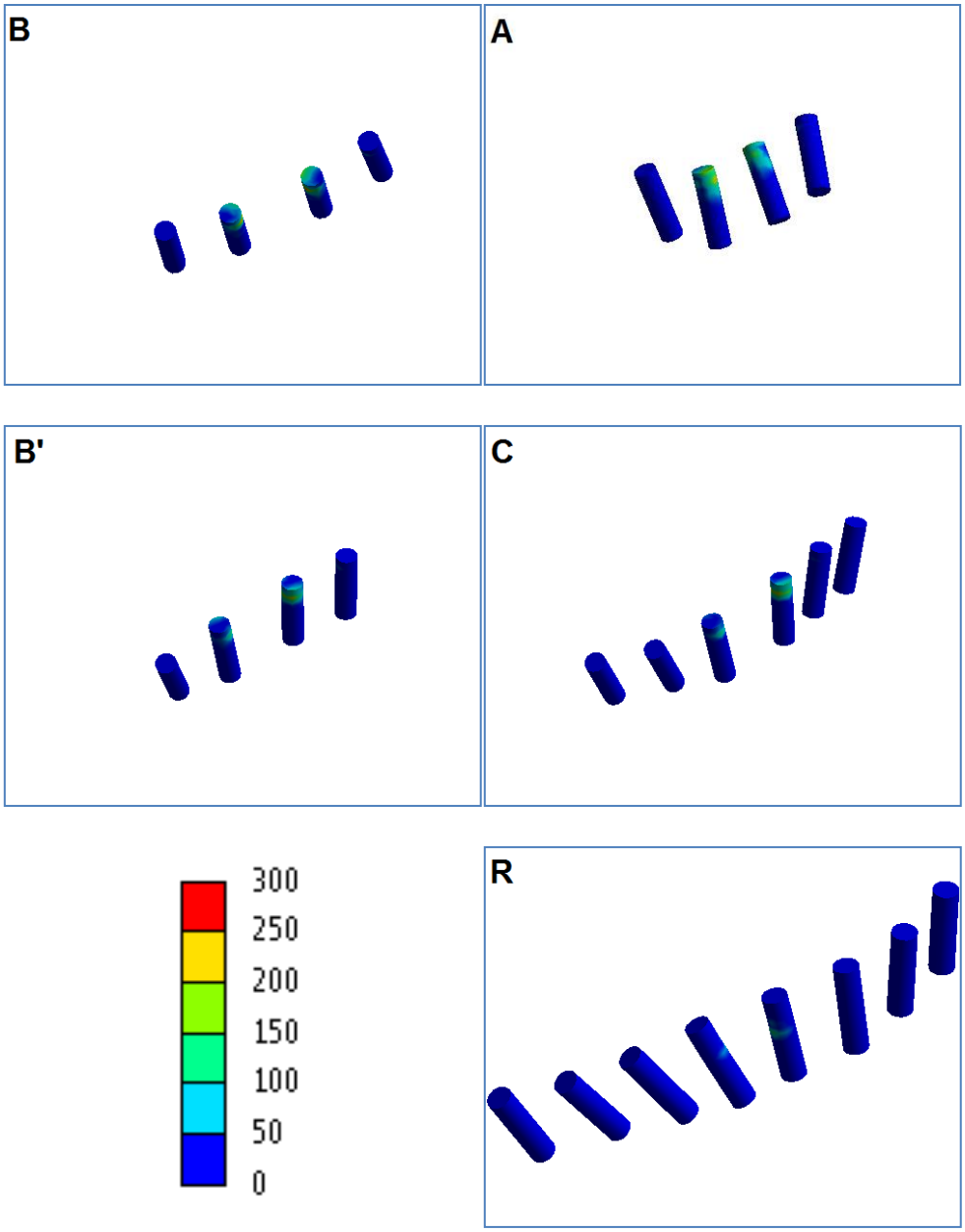
وقد تركزت الإجهادات في البراغي المجاورة لخط الكسر، وبشكل أدق في المنطقة من البراغي التي تقابل تماس الصفيحة مع سطح العظم القشري، وذلك في جميع مجموعات الدراسة.

يوضح (الشكل 3-4) القيمة العظمى للإجهاد المكافئ Von-Mises Stress في براغي التثبيت أثناء الضغط الرحوي أحادي الجانب.

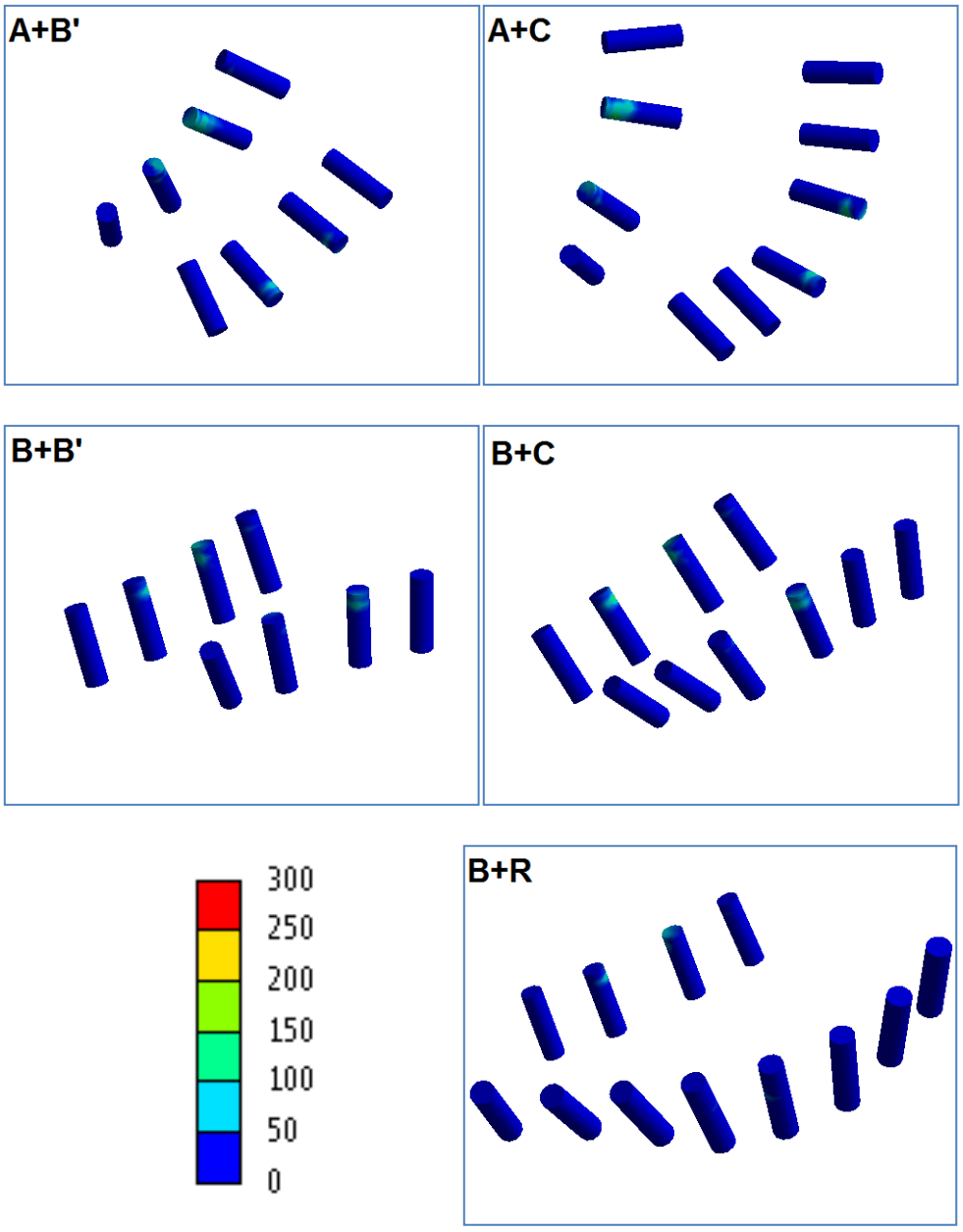


الشكل 3-4: القيمة العظمى للإجهاد المكافئ Von-Mises في براغي التثبيت أثناء الضغط الرحوي أحادي الجانب

يظهر (الشكلان 3-5، 3-6) توزع الإجهاد المكافئ Equivalent Von-Mises Stress ضمن براغي التثبيت في كل من مجموعات الدراسة.



الشكل 3-5: توزع الإجهاد المكافئ Von-Mises Stress (MPa) في براغي التثبيت (1)



الشكل 3-6: توزع الإجهاد المكافئ Von-Mises Stress (MPa) في براغي التثبيت (2)

3-3- دراسة القيمة العظمى للإجهاد الأساسي الأعظمي في العظم القشري Cortical Bone Maximum Principal Stress:

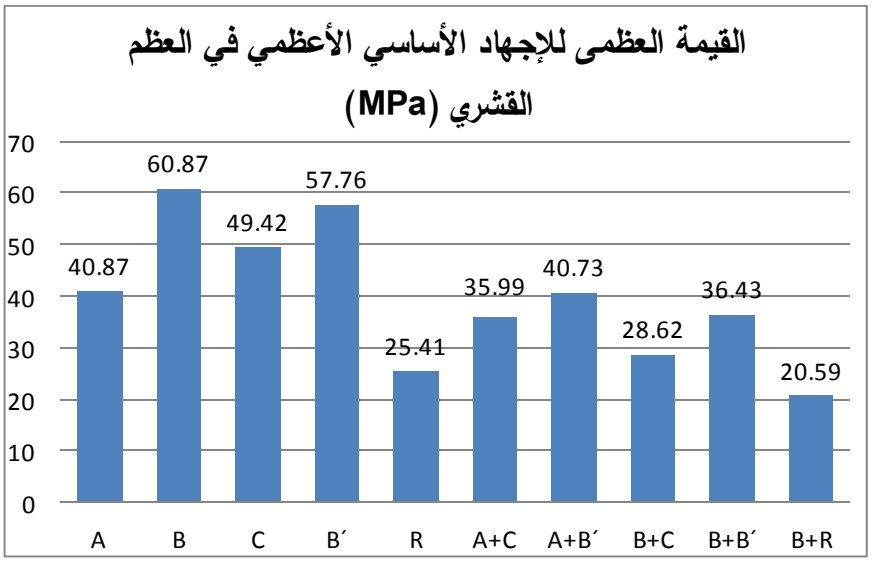
أظهرت جميع مجموعات الدراسة قيماً عظمى للإجهاد الأساسي الأعظمي في العظم القشري حول براغي التثبيت تقل عن 65 ميغاباسكال.

أظهرت المجموعة (B) أعلى قياس للقيمة العظمى للإجهاد الأساسي الأعظمي في العظم القشري حول براغي التثبيت بين جميع مجموعات الدراسة، في حين أظهرت المجموعة (B+R) أدنى قياس لهذا الإجهاد، كما أظهرت جميع مجموعات التثبيت بصفيحتين قيماً أقل للإجهاد من مجموعات التثبيت بصفيحة مفردة باستثناء مجموعة صفيحة إعادة البناء (R).

في جميع مجموعات التثبيت بصفيحيتين كانت قيمة الإجهادات في العظم القشري حول براغي تثبيت الصفيحة السفلية أكبر منها حول براغي تثبيت الصفيحة العلوية.

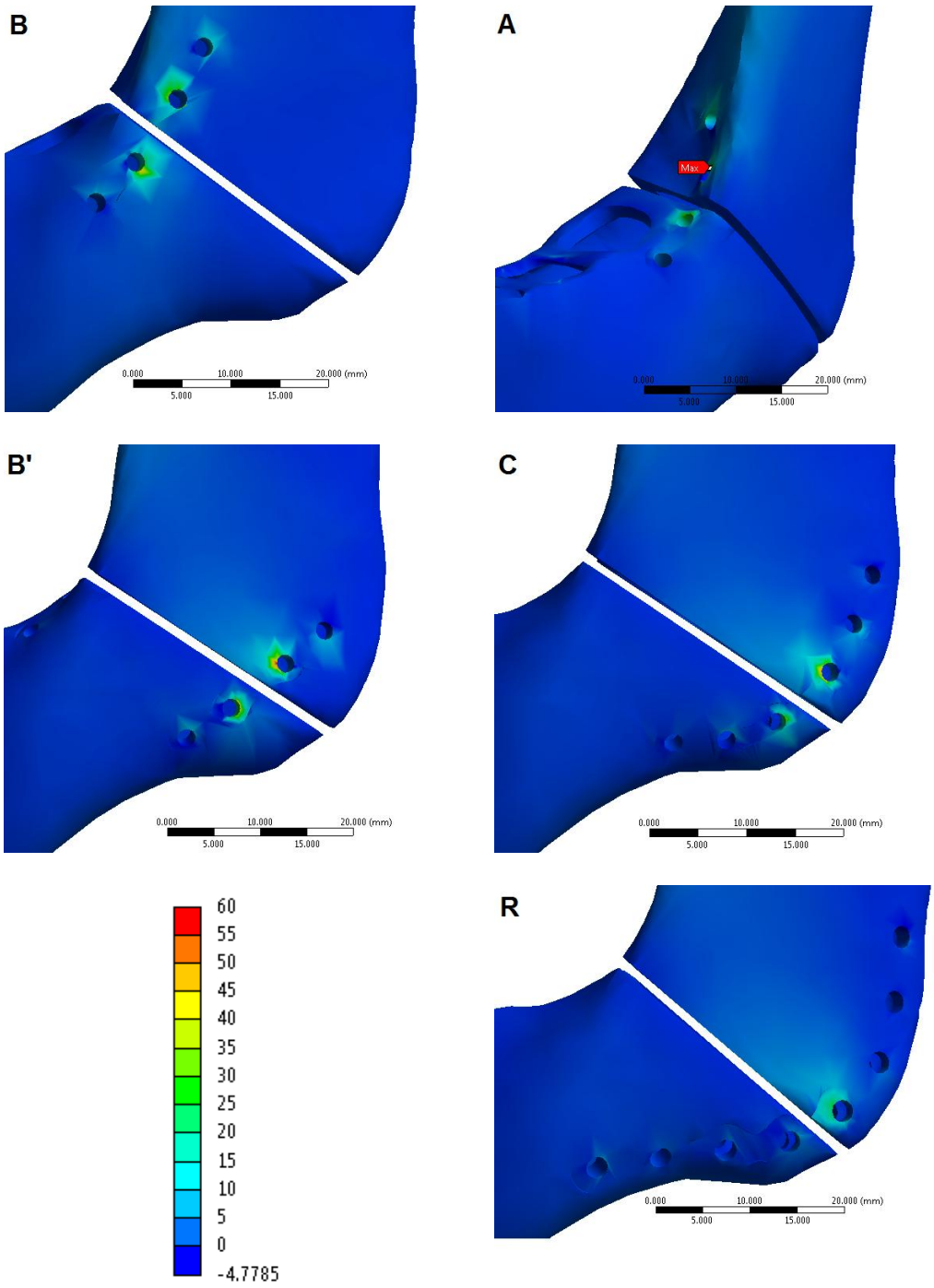
تركزت الإجهادات في ثقوب البراغي المجاورة لخط الكسر، وكانت القيمة العظمى لهذه الإجهادات في ثقوب البراغي الموجودة خلف خط الكسر مباشرة.

يوضح (الشكل 3-7) القيمة العظمى للإجهاد الأساسي الأعظمي في العظم القشري حول براغي التثبيت أثناء الضغط الرحوي أحادي الجانب.

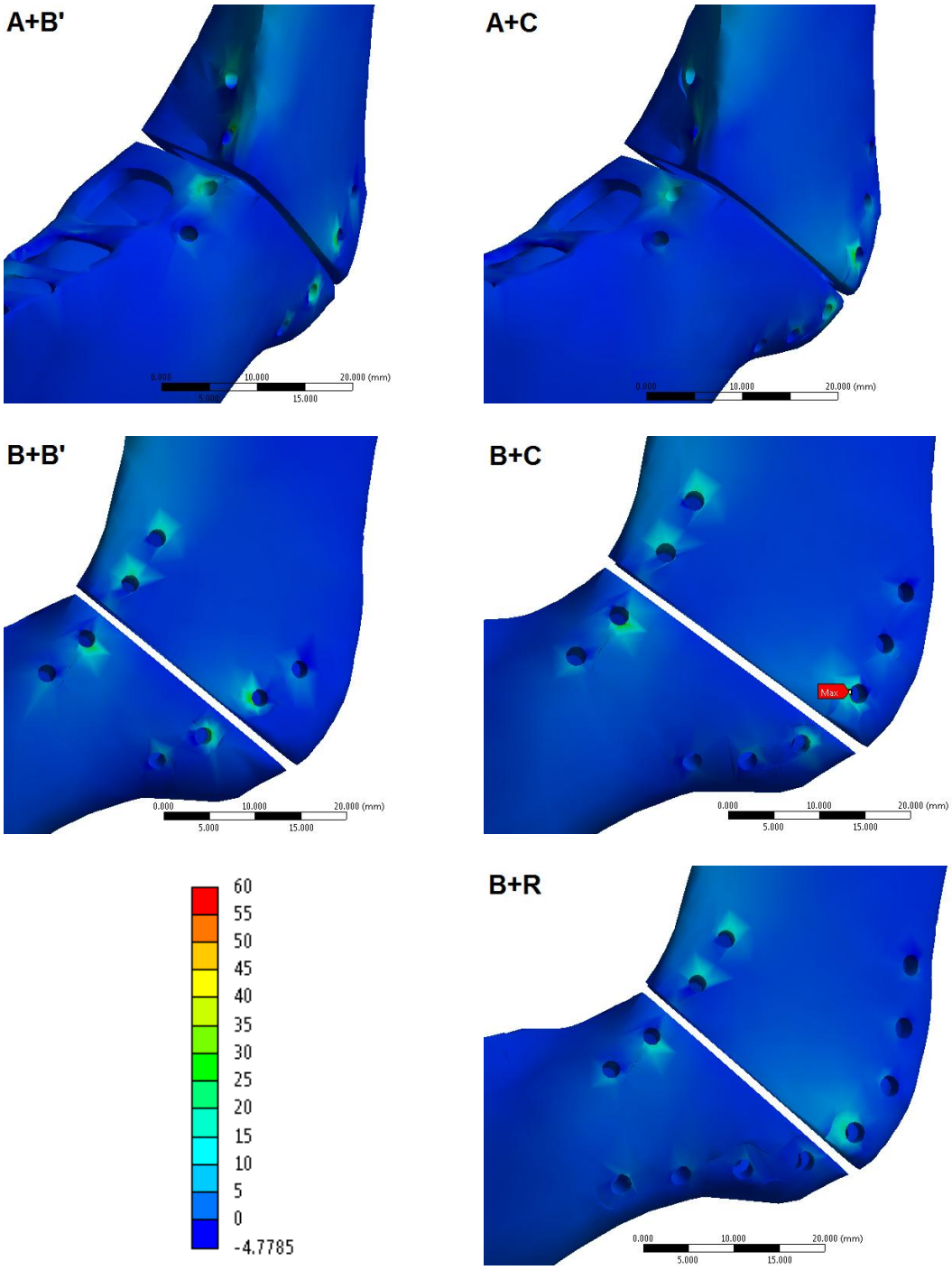


الشكل 3-7: القيمة العظمى للإجهاد الأساسي الأعظمي في العظم القشري أثناء الضغط الرحوي أحادي الجانب

يظهر (الشكلان 3-8، 3-9) توزع الإجهاد الأساسي الأعظمي ضمن العظم القشري في كل من مجموعات الدراسة .



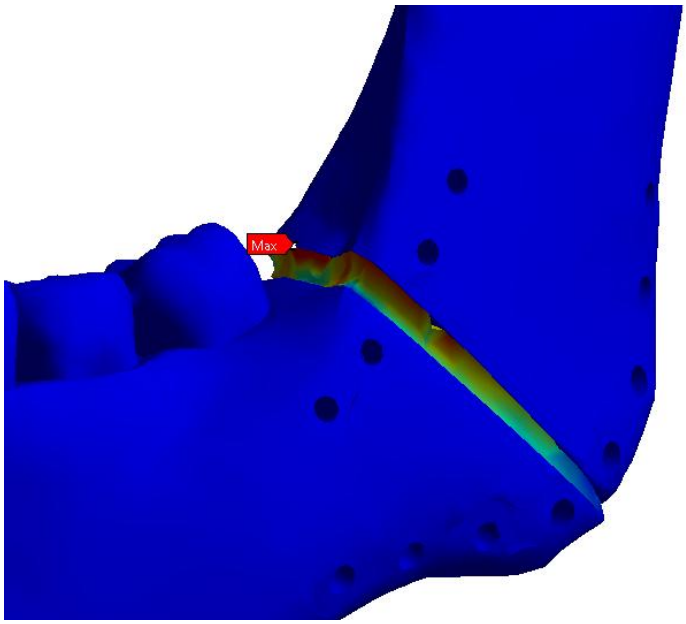
الشكل 3-8: توزع الإجهاد الأساسي الأعظمي (MPa) في العظم القشري حول براغي التثبيت (1)



الشكل 3–9: توزع الإجهاد الأساسي الأعظمي (MPa) في العظم القشري حول براغي التثبيت (2)

3-4- دراسة متوسط الانفعال الأساسي الأعظمي في الدشبذ Callus Maximum Principal Strain:

أظهر التحميل حدوث شد في منطقة الحافة العلوية للكسر وانضغاط في منطقة الحافة السفلية للكسر، يوضح (الشكل 3-10) النمط العام للانفعال المتشكل في منطقة خط الكسر أثناء التحميل الإطباقي بالضغط الرحوي أحادي الجانب.



الشكل 3-10: الانفعال المتشكل في منطقة خط الكسر أثناء التحميل الإطباقي بالضغط الرحوي أحادي الجانب

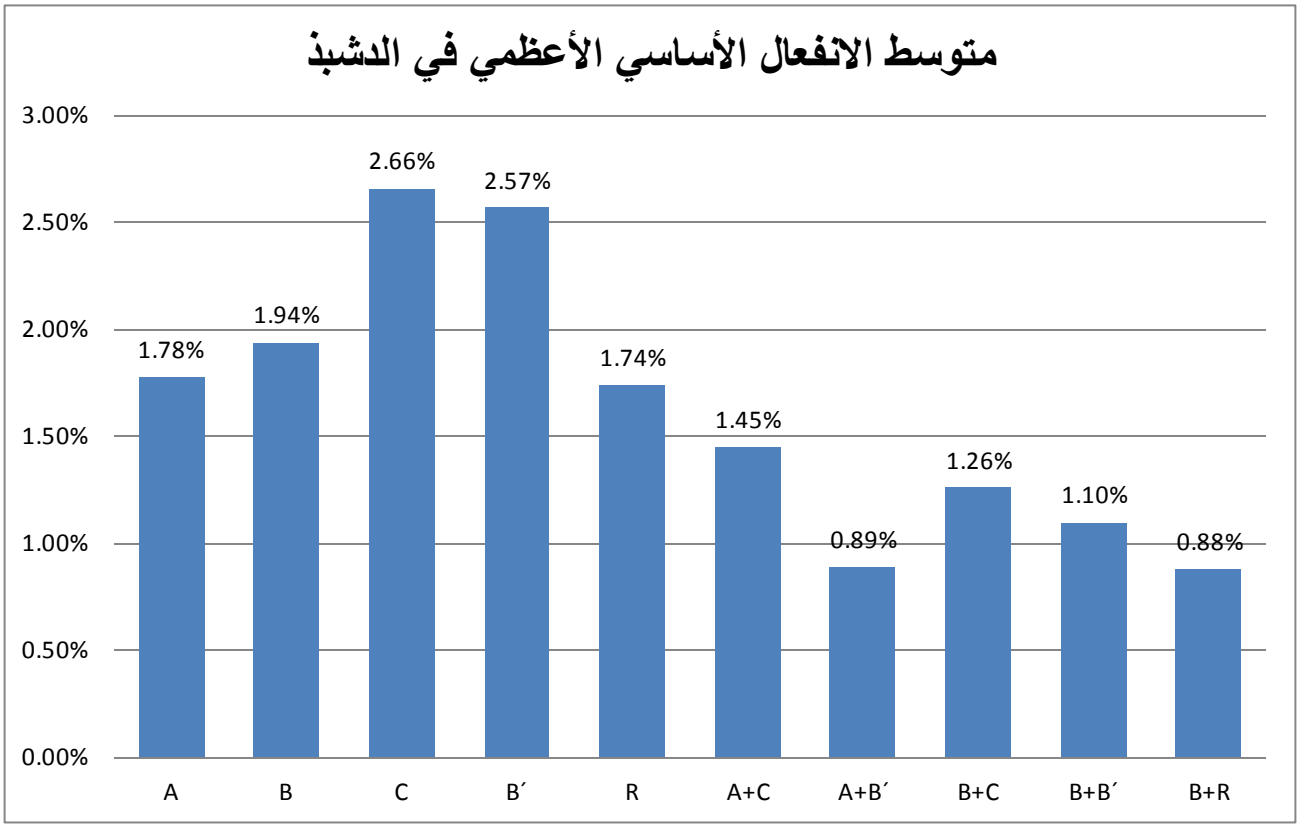
أظهرت مجموعتا التثبيت بصفيحة صغيرة سفلية مفردة (المجموعة C والمجموعة B´) القيم الأعلى للانفعال الأساسي الأعظمي في الدشبذ الموجود في منطقة خط الكسر سواءً قيمة المتوسط أو القياس الأعلى، وكانت قيم المجموعة (C) هي الأعلى بين هاتين المجموعتين.

كما أظهرت مجموعة التثبيت بصفيحتين صغيرة علوية وكبيرة سفلية (المجموعة B+R) القيمة الأدنى لمتوسط الانفعال الأساسي الأعظمي في الدشبذ بين جميع مجموعات الدراسة، في حين أظهرت مجموعة التثبيت بصفيحتين صغيرتين (A+B´) القيمة الأدنى لمتوسط الانفعال

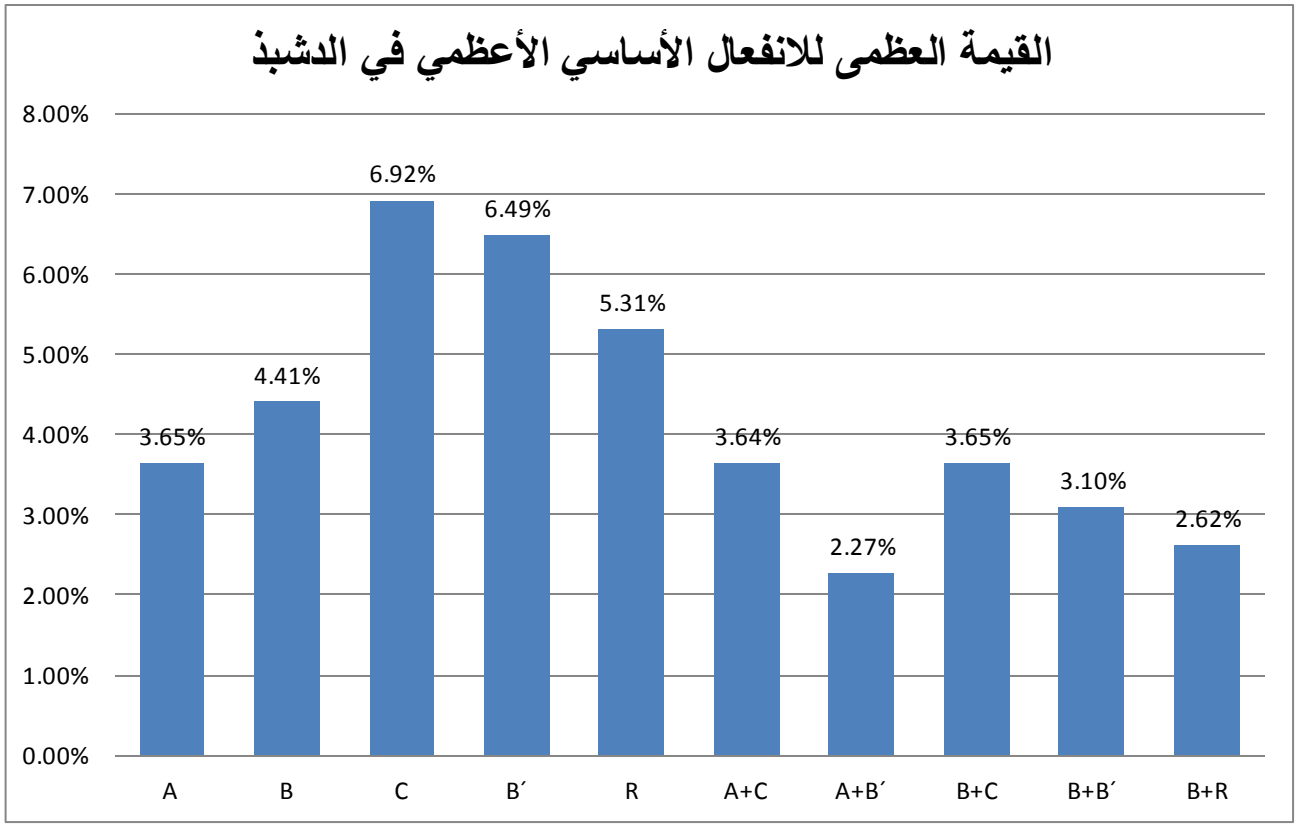
الأساسي الأعظمي في الدشبذ بين جميع مجموعات التثبيت بصفيحتين صغيرتين علوية وسفلية، والقيمة الأدنى للقياس الأعلى لهذا الانفعال بين جميع مجموعات الدراسة.

أظهرت جميع مجموعات التثبيت بصفيحة مفردة قيماً أعلى لمتوسط الانفعال الأساسي الأعظمي في الدشبذ من مجموعات التثبيت بصفيحتين، وكانت قيمة متوسط الانفعال الأساسي الأعظمي في الدشبذ متقاربة بين المجموعتين (A) و (R).

يوضح (الشكلان 3-11، 3-12) كلاً من القيمة المتوسطة والقيمة العظمى للانفعال الأساسي الأعظمي المسجل في الدشبذ أثناء التحميل في كل مجموعة من مجموعات الدراسة.

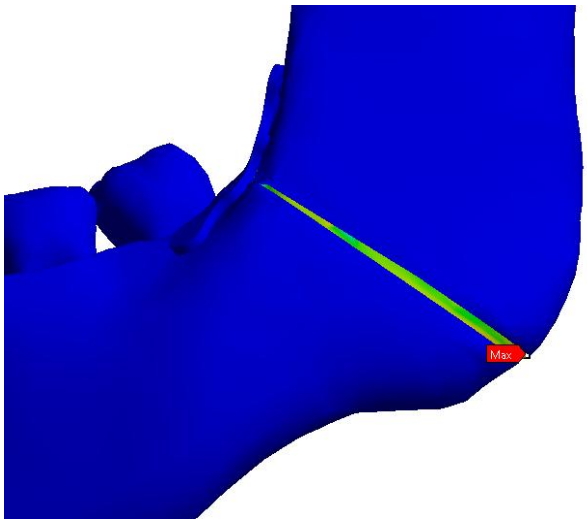


الشكل 3-11: القيمة المتوسطة للانفعال الأساسي الأعظمي في الدشبذ أثناء الضغط الرحوي أحادي الجانب



الشكل 3-12: القيمة العظمى للانفعال الأساسي الأعظمي في الدشبذ أثناء الضغط الرحوي أحادي الجانب

كانت الحافة العلوية للكسر هي موقع تسجيل أعلى قياس للانفعال الأساسي الأعظمي في الدشبذ في جميع مجموعات الدراسة باستثناء المجموعة (A) حيث تم تسجيل أعلى قيمة لهذا الانفعال عند الحافة السفلية للكسر. (الشكل3-13)



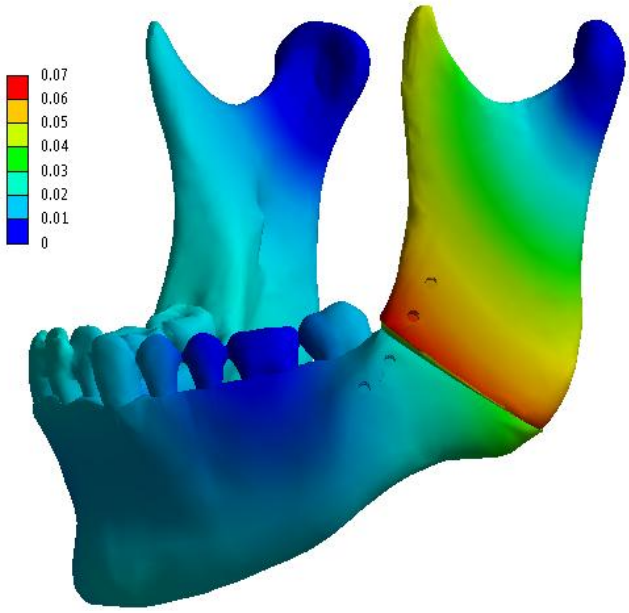
الشكل 3-13: الانفعال المتشكل في الدشبذ (المجموعة A)

3-5- دراسة القيمة العظمى للانزياح في موقع خط الكسر Fracture Line Displacement:

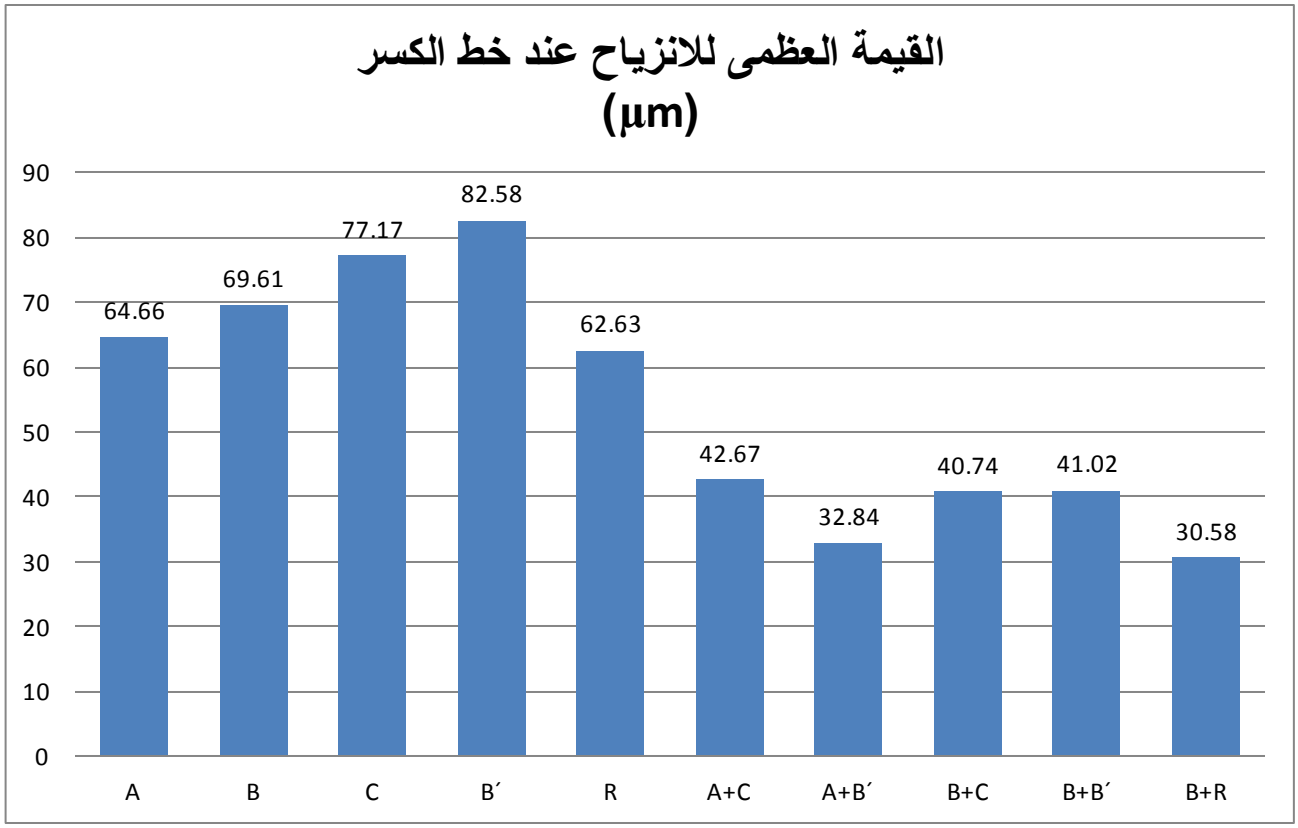
أظهرت مجموعتا التثبيت بصفيحة صغيرة سفلية مفردة (المجموعة C والمجموعة B´) القيم الأعلى للانزياح في منطقة خط الكسر، وكان قياس الانزياح في المجموعة (C) هو الأعلى بين هاتين المجموعتين.

بالمقابل أظهرت مجموعة التثبيت بصفيحتين صغيرة علوية وكبيرة سفلية (المجموعة B+R) القيمة الأدنى للانزياح في منطقة خط الكسر بين جميع مجموعات الدراسة، في حين أظهرت مجموعة التثبيت بصفيحتين صغيرتين (A+B´) القيمة الأدنى للانزياح في منطقة خط الكسر بين جميع مجموعات التثبيت بالصفائح الصغيرة. وقد أظهرت جميع مجموعات التثبيت بصفيحة مفردة قيماً أعلى للانزياح في منطقة خط الكسر من مجموعات التثبيت بصفيحتين.

يمثل الشكل (3-14) الانزياح الحاصل في نموذج الفك السفلي أثناء الضغط الرحوي في جهة الكسر، كما يوضح الشكل (3-15) القيمة العظمى للانزياح في منطقة خط الكسر أثناء التحميل في كل من مجموعات الدراسة.



الشكل 3-14: تمثيل الانزياح (مم) في نموذج الفك السفلي أثناء الضغط الرحوي في جهة الكسر



الشكل 3-15: القيمة العظمى للانزياح في موقع خط الكسر أثناء الضغط الرحوي أحادي الجانب

3-6- نتائج اختبار الارتباط لسبيرمان Spearman's Correlation Test:

أظهر اختبار الارتباط لسبيرمان وجود ارتباط قوي جداً بين متوسط الانفعال الأساسي الأعظمي في الدشبذ ومقدار الانزياح الحاصل في منطقة خط الكسر، إذ كانت قيمة معامل الارتباط $\rho = 0.975$.

الفصل الرابع

المناقشة

Discussion

تُعدّ كسور زاوية الفك السفلي شائعة الحدوث وذلك بسبب صغر مساحة المقطع العرضي للعظم في هذه المنطقة مقارنة مع جسم الفك ومناطق نظير الارتفاق والارتفاق في الأمام، وتتعرض هذه الكسور لأعلى نسبة لحدوث الاختلاطات بين كسور الفك السفلي بعد إجراء المعالجة، وحتى الآن لا يوجد إجماع بخصوص المعالجة المثلى لكسور زاوية الفك السفلي ويعتبر هذا الموضوع من أكثر المواضيع الخاضعة للنقاش في مجال الرضوض الوجهية الفكية. (Ellis, 1999) (Gear et al., 2005) (Ellis, 2009)

حالياً يُعتبر استخدام الصفائح والبراغي المعدنية لتثبيت الكسور الطريقة القياسية في علاج كسور الفك السفلي (Arbag et al., 2008) (Feller et al., 2003) (Mathog et al., 2000).

يُعدّ الميكانيك الحيوي أساسياً في كل الممارسات في طب الأسنان بما فيها ترميم الأسنان، تقويم الأسنان، تصميم الزرعات، القلع الجراحي للأسنان المنطمرة، وتعديل النمو القحفي الوجهي، حيث تتولد إجهادات وانفعالات داخل البنى الحيوية نتيجة التعرض للأحمال الوظيفية، لهذا فإنه من الضروري بمكان فهم السلوك الميكانيكي الحيوي للفك السفلي خلال الوظيفة وتحسين نمط تطبيق أنظمة التثبيت للحصول على أفضل النتائج للتثبيت الداخلي. (Ching-Chang et al., 2012)

لذلك أُجريت العديد من الدراسات والأبحاث العلمية لدراسة السلوك الميكانيكي الحيوي لوسائط التثبيت المستخدمة في منطقة كسور زاوية الفك السفلي عند تعريضها للاختبارات الميكانيكية المختلفة وذلك لتحديد المكان والتوجيه الأمثلين للصفائح المستخدمة لتثبيت كسور زاوية الفك السفلي واختيار الشكل والمادة الأفضل لهذه الصفائح، من هذه الدراسات دراسات كل من : (Haug et al., 2001) (Alkan et al., 2007) (Ji et al., 2012) (Guastaldi, 2013) (Choi et al., 1995a).

يُعدّ تحليل العناصر المنتهية FEA وسيلة غير راضة لدراسة الأحداث الميكانيكية الحيوية المرافقة للتحميل الوظيفي (Korioth et al., 1992 b)، وهو يمثل أداة قوية للنمذجة والمحاكاة الحاسوبية مستخدمة بشكل واسع للتنبؤ بتصرفات بنى حيوية معقدة كالعظم، وقد أظهرت العديد من الدراسات دقة FEA في وصف التصرفات الميكانيكية الحيوية للعينات العظمية بشكل عام وللفك السفلي بشكل خاص. (Groning et al., 2009) (Gallas-Torreira & Fernandez, 2004) (Vollmer et al., 2000)

كما يمكن توظيف تحليل العناصر المنتهية FEA في التنبؤ بنتائج التحميل على مواد الترميم وإعادة البناء المختلفة المستعملة في جراحة الفكين، وفي التخطيط للجراحة أو المتابعة بعد الجراحة، كما يمكن إسقاط التنبؤات سريرياً (Szücs et al., 2010).

يتم تطوير استعمال تحليل FEA في الدراسات الميكانيكية الحيوية للتغلب على مساوئ النماذج المخبرية (التجريبية) المتمثلة في:

* التكلفة المادية المرتفعة للاختبارات الميكانيكية وبالأخص نماذج stereolithography ونماذج Photoelasticity.

* الحاجة لمدة زمنية طويلة لتجهيز الاختبارات وتنفيذها، إذ يوفّر تحليل FEA 60-80% من الوقت اللازم لإجراء هذه الاختبارات.

* يُعدّ من الصعوبة بمكان إنشاء نموذج مخبري للفك السفلي يحاكي الواقع من حيث الشكل والبنية الداخلية والوظيفة دون اللجوء إلى تبسيط مبالغ فيه، إذ لا يصح تمثيل فعل العضلة بشعاع قوة وحيد مرتكز بنقطة، وهذا النقص في التفاصيل سيؤدي إلى نتائج غير كاملة أو غير صحيحة. (Bezerra et al., 2013) (Shyam Sundar et al., 2012) (Wong et al., 2011)

وبناءً على ما سبق، تم في هذه الدراسة اختيار طريقة تحليل العناصر المنتهية FEA لإجراء مقارنة من وجهة نظر ميكانيكية حيوية بين عدة أشكال لتطبيق الصفائح المعدنية المستخدمة في تثبيت كسر مفرد غير متشظي ومن النمط غير المستحب للشد العضلي في زاوية الفك السفلي.

4-1- مناقشة طرائق البحث:

تم في هذه الدراسة اتباع مراحل العمل التي وصفها (Wong et al., 2011) لإجراء النمذجة الحاسوبية وتحليل العناصر المنتهية FEA في الدراسات الميكانيكية الحيوية على الفك السفلي، وذلك على الشكل التالي:

صورة CT للفك السفلي ← تشكيل النموذج الهندسي Geometry ← تقسيم إلى عدد منتهي من العناصر على شكل ربط شبكي Mesh ← تعريف خصائص المواد (معامل المرونة E + نسبة بواسون v) ← تحديد الشروط الحدية والأحمال Loads & Boundary Conditions ← الحل Solve

تميز النموذج المستعمل في هذه الدراسة بما يلي:

* التمثيل الدقيق لكل من: العظم القشري – العظم الإسفنجي – الأسنان ، وذلك باشتقاق كل منها من مقاطع صورة CBCT.

* غالباً ما تكون الشروط الحدّية لنماذج العناصر المنتهية في الدراسات الميكانيكية الحيوية على الجهاز الماضغ مبسطة بشكل مبالغ فيه، حيث يتم تطبيق قوة ضغط بسيطة عمودية على السطح الإطباقي للأسنان وتثبيت مناطق ارتكاز العضلات واللقمتين في الأبعاد الثلاثة، ولكن في هذه الدراسة تم إجراء محاكاة دقيقة لعمل عضلات المضغ في كل من الجانبين العامل

وغير العامل، وذلك عن طريق تحديد سطح ارتكاز كل جزء من العضلة بدقة "أمامي/ متوسط/ خلفي، سطحي/ عميق" وذلك اعتماداً على مراجع علم التشريح (snell, 2012) (Gray, 2008) ثم تحديد اتجاه وقوة كل عضلة عن طريق ثلاث مركبات في المحاور الفراغية (X,Y,Z), تم الحصول على هذه المركبات من دراسة (Korioth et al., 1992 b).

بينما يؤخذ على النموذج المستعمل في هذه الدراسة:

* إغفال بعض المكونات النسيجية كميناء الأسنان والملاط والرباط السني السنخي، وإغلاق الثقبات والقنوات التشريحية كقناة العصب السنخي السفلي، وتُعدّ هذه التبسيطات في النموذج مقبولة لتسريع الحل وتجنب حدوث أخطاء، وتم إجراء تبسيطات مماثلة في العديد من دراسات تحليل العناصر المنتهية حول وسائط التثبيت. (Bezerra et al., 2013) (Kimsal et al., 2011) (Lovald et al., 2010) (Lovald et al., 2009)

* افتراض أن مادة العظم متجانسة Homogeneous ومتماثلة الخواص Isotropic وتسلك سلوكاً مرناً خطياً Linear Elastic وذلك مقبول عملياً رغم مخالفته للواقع، حيث أظهرت دراسة (Korioth et al., 1992 b) أنه على الرغم من كون العظم مادة غير متجانسة –non homogeneous وغير متماثلة الخواص Anisotropic إلا أن النماذج المتجانسة ومتماثلة الخواص للفك السفلي كانت قادرة على إعطاء توزعات للإجهادات ذات معنى عند محاكاة التحميل الوظيفي.

* إن شكل خط الكسر في الحقيقة ليس خطاً مستقيماً كما افترضت هذه الدراسة، إنما توجد تداخلات على شكل أسنان صغيرة ضمن خط الكسر تقلل من الإجهادات في مادة صفيحة التثبيت. (Feller et al., 2003)

كانت القيم الممثلة للخواص الميكانيكية للعظم (معامل المرونة ونسبة بواسون) في هذه الدراسة متوافقة مع القيم المستعملة في أبحاث كل من (Guastaldi, 2013) (Sato et al., 2012) (Kimsal et al., 2011) (Lovald et al., 2010).

تم في هذه الدراسة اعتماد الضغط الرحوي أحادي الجانب في جهة الكسر Ipsilateral Molar Clench كقوة عض باعتبار أن هذه القوة تمثل أكبر توظيف ممكن لفعالية عضلات المضغ. (Nelson, 1988) (Lovald et al., 2009)

تتناقص قوة عضلات المضغ بشكل ملحوظ لعدة أسابيع بعد حدوث الكسر، يعود ذلك غالباً لكون الجهاز العصبي المركزي يكبح حدوث التقلص الأعظمي للعضلة عندما يستقبل وجود أذية من المستقبلات الميكانيكية الموجودة في العظم والنسج الرخوة المحيطة بموقع الكسر (Ellis, 2009)، وقد وجد (Tate et al., 1994) في دراسة أجراها على القوة العضلية للمرضى بعد جراحة الرد المفتوح والتثبيت الداخلي لكسور الفك السفلي أن قوة عضلات المضغ لا تتجاوز 50–60% منها عند الشخص السليم وذلك في الأسابيع الأولى، لذلك ليس على وسائط التثبيت من صفائح وبراغي أن تتحمل القوة الطبيعية لعضلات المضغ، عليها فقط أن تتحمل القوى المخفضة الموجودة عند المريض خلال فترة الشفاء بعد العمل الجراحي، وبناء على ذلك تم في هذه الدراسة تخفيض شدة قوة عضلات المضغ إلى 60% من الأصل.

قال Haug أن القوة العظمى للإطباق على الرحى الأولى السفلية عند المريض بعد الجراحة تكون غالباً بين (100– 200 نيوتن) ونادراً ما تتجاوز عتبة ال200 نيوتن، وهذا يتفق مع الدراسة الحالية حيث كانت محصلة قوى العضلات عند الرحى الأولى السفلية بجهة الكسر حوالي 200 نيوتن. (Haug & Serafin, 2008)

تستخدم معظم المعالجات الجراحية الحديثة معدن التيتانيوم بشكله النقي أو كخلائط للتثبيت الداخلي وذلك نظراً لقوته وصلابته وتقبله الحيوي العالي (Guastaldi, 2013) (Erkmen et al., 2005 a)، وقد جرى في هذه الدراسة اعتماد الخواص الميكانيكية لخليطة التيتانيوم من الدرجة الخامسة Grade 5 Titanium Alloy أو (Ti6Al4V) عند تعريف مادة وسائط التثبيت من صفائح وبراغي، وذلك لأن أغلب الشركات المصنعة تستخدم حالياً هذه الخليطة عند تصنيع صفائح وبراغي التثبيت المستعملة في الجراحة العظمية والجراحة الوجهية الفكية. (Niinomi, 1998)

4-2- مناقشة اختيار مجموعات الدراسة:

جرى في هذه الدراسة اختيار الحالات المدروسة لتمثل أشكالاً من التثبيت متعارفاً عليها في الممارسة السريرية كالتالي:

1. تطبيق صفيحة صغيرة miniplate علوية مفردة، وتم دراستها في مجموعتين مستخدمتين في التطبيق السريري هما:

√ صفيحة صغيرة علوية مفردة مثبتة بـ 4 براغي أحادية القشرة تتوضع على المثلث خلف الرحوي فوق الخط المنحرف الظاهر حسب طريقة (Champy)، وسميت في هذه الدراسة بالصفيحة (A).

√ صفيحة صغيرة علوية مفردة مثبتة بـ 4 براغي أحادية القشرة تتوضع مباشرة تحت الخط المنحرف الظاهر على الوجه الوحشي للفك السفلي، تمثلها الصفيحة (B). تستخدم هذه الطريقة في بعض الحالات التي لا يمكن فيها وضع الصفيحة فوق الخط المنحرف الظاهر بسبب ضيق مساحة المثلث خلف الرحوي، وجود رحى ثالثة سفلية منطمرة، وجود كسر سنخي، المريض صغير في السن ...

عندها يتوجب وضع الصفيحة أعلى مايمكن على السطح الوحشي للفك السفلي تحت الخط المنحرف الظاهر، ويتم ذلك دون الحاجة لإجراء شق جلدي ومدخل خارج فموي، ويتم تثبيت البراغي عبر الجلد باستخدام التروكار والرؤية من المدخل الدهليزي. (Champy et al., 1978)

2. تطبيق صفيحة صغيرة سفلية مفردة، وتمت دراستها في مجموعتين:

√ صفيحة صغيرة سفلية مفردة مثبتة بـ 6 براغي ثنائية القشرة مكيفة عند الحافة السفلية للفك على الوجه الوحشي منه، وهي توافق توضع الصفيحة وتكييفها عند استخدام مدخل جراحي خارج فموي، وتمثلها الصفيحة (C).

√ صفيحة صغيرة سفلية مفردة مثبتة بـ 4 براغي ثنائية القشرة تتوضع قرب الحافة السفلية للفك على الوجه الوحشي منه وبتكييف أصغري "أو دون تكييف"، وهي توافق توضع الصفيحة عند استخدام مدخل جراحي داخل فموي مع تثبيت البراغي عبر الجلد باستعمال التروكار، تمثلها الصفيحة (B´).

3. تطبيق صفيحتين صغيرتين علوية مثبتة ببراغي أحادية القشرة وسفلية مثبتة ببراغي ثنائية القشرة، وقد تم اختبار تركيب الصفائح (A+C)(A+B´)(B+C)(B+B´) مع بعضها ومقارنة النتائج لتحديد أي شكل من أشكال تطبيق الصفيحتين الصغيرتين هو الأفضل من الناحية الميكانيكية الحيوية.

4. تطبيق صفيحة كبيرة سفلية مفردة (صفيحة إعادة البناء Reconstruction Plate) مثبتة بـ 8 براغي ثنائية القشرة بقطر برغي 2.4 مم عند الحافة السفلية للكسر، تمثلها الصفيحة (R).

5. إضافة صفيحة صغيرة علوية لصفيحة إعادة البناء السفلية (B+R).

4-3- مناقشة اختيار المعايير المدروسة:

خلال فترة شفاء الكسر يجب منع حدوث الفشل في وسائط التثبيت من صفائح وبراغي والذي يتمثل في تشوه أو انكسار هذه الوسائط، لذلك يجب ألا تتجاوز الإجهادات المنتقلة إلى الصفائح والبراغي حدود تحمل المادة (أو ما يدعى بإجهاد الخضوع Yield stress). (Tams et al., 1999)

يُعدّ الإجهاد المكافئ "أو إجهاد Von-Mises" معياراً ميكانيكياً لفشل المواد، وذلك عندما تتجاوز قيمة هذا الإجهاد قيمة إجهاد الخضوع Yield strength (يحدث تشوه غير ردود) أو الإجهاد المطلق Ultimate strength (يحدث تحطم) للمادة المدروسة (Craig & Powers, 2002)، لذلك تم اختيار **الإجهاد المكافئ** كمعيار للمقارنة بين طرائق التثبيت وتحديد كفاءة وسائط التثبيت من صفائح وبراغي أثناء الوظيفة.

قد تؤي الإجهادات الشديدة في العظم حول براغي التثبيت لحدوث امتصاص تدريجي في ذلك العظم وتخلخل البراغي وانحلالها (Ellis & Esmail, 2009)، ويعبّر **الإجهاد الأساسي الأعظمي** في العظم القشري عن إجهادات الضغط والشد التي يتعرض لها العظم القشري حول البراغي وتحدد قيمته ما إذا كان العظم سوف يفشل وتتعرض البراغي للتخلخل (Loosening)، ومع أن الفشل في المستوى (عظم- برغي) نادر الحدوث، إلا أنه من الضروري مراقبة هذه القياسات عند التخطيط لتثبيت أعظمي للكسور بأقل كمّ من وسائط تثبيت. (Kimsal et al., 2011) (Lovald et al., 2010).

يُعدّ استقرار موقع الكسر شرطاً أساسياً لحدوث الشفاء العظمي الأولي (Ellis, 2009) (Gabrielli et al., 2003) (Schierle et al., 1997)، ويمثل قياس كل من **الانفعال الأساسي الأعظمي** المتشكل في الشبذ الرخو و**الانزياح** الحاصل في منطقة خط الكسر مقدار التشوه الحاصل عند موقع الكسر وبالتالي يعطي فكرة عن مدى الاستقرار الذي تقدمه طريقة التثبيت، فكلما ازداد متوسط الانفعال أو قيمة الانزياح عند خط الكسر في طريقة تثبيت معينة

كان استقرار القطع العظمية أقل وازداد احتمال حدوث فشل في التثبيت وعدم الالتحام. (Lovald et al., 2010) (Kimsal et al., 2011)

4-4- مناقشة النتائج:

1- <u>الإجهاد المكافئ في وسائط التثبيت (الصفائح والبراغي):</u>

وجدت هذه الدراسة أنه في جميع مجموعات الدراسة لم تتجاوز القيمة العظمى للإجهاد المكافئ Von-Mises stress في وسائط التثبيت من صفائح وبراغي قيمة إجهاد الخضوع لخليطة التيتانيوم Ti6Al4V المصنوعة منها وهي 860 ميغاباسكال (Niinomi, 1998)، وبالتالي لم يحدث فشل في أي من وسائط التثبيت عند تطبيق الحمل الوظيفي.

كما وجدت أنه كلما كان توضع الصفيحة بمستوى أعلى كان الإجهاد الذي تتعرض له أكبر، هذا وقد أظهرت مجموعة التثبيت بصفيحة صغيرة مفردة علوية وفق طريقة Champy (الصفيحة A) أعلى قياس للإجهاد المكافئ ضمن الصفيحة بين مجموعات الدراسة (342.57 ميغاباسكال)، ونظراً لقيمة الإجهاد المرتفعة نسبياً بالإضافة للتحميل الدوري والتعب الميكانيكي Fatigue المتوقع حصوله في الصفيحة والذي يرافق المضغ الطبيعي فإنه من الممكن في بعض الحالات توقع حدوث فشل في هذه الصفيحة في النهاية، وهذا يفسر حدوث كسر في صفيحة التثبيت في بعض الحالات النادرة، وقد وثّقت دراسة (Feller et al., 2003) حدوث كسر في الصفيحة عند مريض واحد فقط من أصل 205 مرضى (0.5% من عينة الدراسة) وكان ذلك بعد عدة أسابيع من الجراحة والتئام الكسر.

اتفقت نتائج هذه الدراسة مع دراسات كل من (Guastaldi, 2013) (Kimsal et al., 2011) حيث أن استخدام صفيحتين في تثبيت الكسر أنقص من تركز الإجهادات في الصفائح والبراغي، كما اتفقت مع دراسات (Lovald et al., 2010) (Feller et al., 2003) من جهة

أن استخدام صفائح ذات حجم أكبر وبراغي بأقطار أعرض ينقص من تركز الإجهادات ضمن وسائط التثبيت.

2- <u>الإجهاد في العظم القشري حول البراغي:</u>

وجدت هذه الدراسة أنه في جميع مجموعات الدراسة كانت القيمة العظمى للإجهاد الأساسي الأعظمي في العظم القشري حول براغي التثبيت بعيدة عن الإجهاد المطلق Ultimate stress للعظم (90 ميغاباسكال) والذي يحدث عنده التحطم، حيث كانت أعلى قيمة مسجلة هي (60.87 ميغاباسكال) وذلك في مجموعة التثبيت بالصفيحة (B) لوحدها.

كما كانت القيمة العظمى لهذه الإجهادات في مجموعات التثبيت بصفيحتين أدنى منها في مجموعات التثبيت بصفيحة مفردة، وبذلك اختلفت نتائج هذه الدراسة مع دراسة (Kimsal et al., 2011) التي وجدت أن أعلى قيمة للإجهاد الأساسي في العظم القشري حول براغي التثبيت يكون في طريقة التثبيت بصفيحتين إذ تجاوزت قيمته العظمى عتبة الفشل للعظم (90 ميغا باسكال)، قد يعود هذا الإختلاف إلى أن الصفيحة السفلية في تلك الدراسة كانت من نمط الصفيحة الضاغطة، وربما يسبب الضغط الذي تولده هذه الصفيحة زيادة في الإجهادات المتشكلة في العظم القشري حول براغي التثبيت.

ولكن اتفقت هذه الدراسة مع (Kimsal et al., 2011) في أن موقع أعلى قيمة للإجهاد الأساسي في العظم القشري حول البراغي كان عند الثقوب الواقعة مباشرة للخلف من خط الكسر.

ومن الجدير بالذكر أن الإجهاد الأساسي في العظم يتركز في مناطق منعزلة عند قمة ثقب البرغي ولا يحدد الفشل الكلي لعلاقة البرغي بالعظم، كما إنه من المتوقع حصول فشل عظمي موضعي في مناطق صغيرة، ويصعب تمييز هذا الفشل الموضعي سريرياً بسبب عملية إعادة القولبة Remodelling للعظم حول البراغي.

3 – استقرار منطقة خط الكسر:

يعتبر الاستقرار الجيد للكسر أفضل حماية ضد حدوث الاختلاطات (Gabrielli et al., 2003)، وبالمقابل فإن أحد أهداف الجراحة العظمية الأساسية هو تقليل كم وحجم المواد الأجنبية المستخدمة في التثبيت ما أمكن (Kim et al., 2001).

وجدت هذه الدراسة أن التثبيت بصفيحة صغيرة سفلية مفردة (المجموعتان B´ ، C) يظهر الاستقرار الأقل بين جميع مجموعات الدراسة، وذلك يعتبر منطقياً لكون التثبيت بعيداً عن منطقة الشد عند الحافة العلوية للكسر، كذلك وجدت أن التثبيت باستخدام صفيحة إعادة بناء كبيرة تتوضع عند الحافة السفلية للكسر (الصفيحة R) يظهر استقراراً مماثلاً لما يقدمه التثبيت بصفيحة صغيرة علوية مفردة متوضعة في منطقة الشد الأعظمي فوق الخط المنحرف الظاهر حسب طريقة Champy (الصفيحة A)، وهذه النتائج تطرح تساؤلات عن فائدة استعمال طريقة التثبيت بصفيحة مفردة سفلية في الحالات العادية، وخاصة مع الصعوبات التقنية لهذه الطريقة كالحاجة لمدخل جراحي خارج فموي وصعوبة تكييف الصفيحة الكبيرة .

أظهرت جميع النماذج الميكانيكية الحيوية لكسور زاوية الفك السفلي التي تم تطويرها حتى اليوم أن التثبيت بصفيحتين يقدم استقراراً أكبر من صفيحة واحدة. (Guastaldi, 2013) (Ji et al., 2012) (Choi et al., 1995 a) (Scherile et al., 1997) (Alkan et al., 2007) (Kroon et al., 1991). وتتفق نتائج الدراسة الحالية مع الدراسات السابقة وتدعم تفوق التثبيت بصفيحتين على التثبيت بصفيحة مفردة من ناحية الاستقرار.

وقد وجدت هذه الدراسة أن أفضل شكل لتطبيق الصفيحتين الصغيرتين من وجهة نظر الميكانيك الحيوي هو مجموعة الدراسة (A+B´) وذلك يتوافق مع دراسة (Alkan et al., 2007)، ويمكن تفسير هذه النتيجة بأن كل من الصفيحتين هي الأعلى والأقرب إلى منطقة الشد الميكانيكي من نظيرتها في نفس التصنيف (Aمقارنة مع B كصفيحة علوية, و B´ مقارنة مع C كصفيحة سفلية).

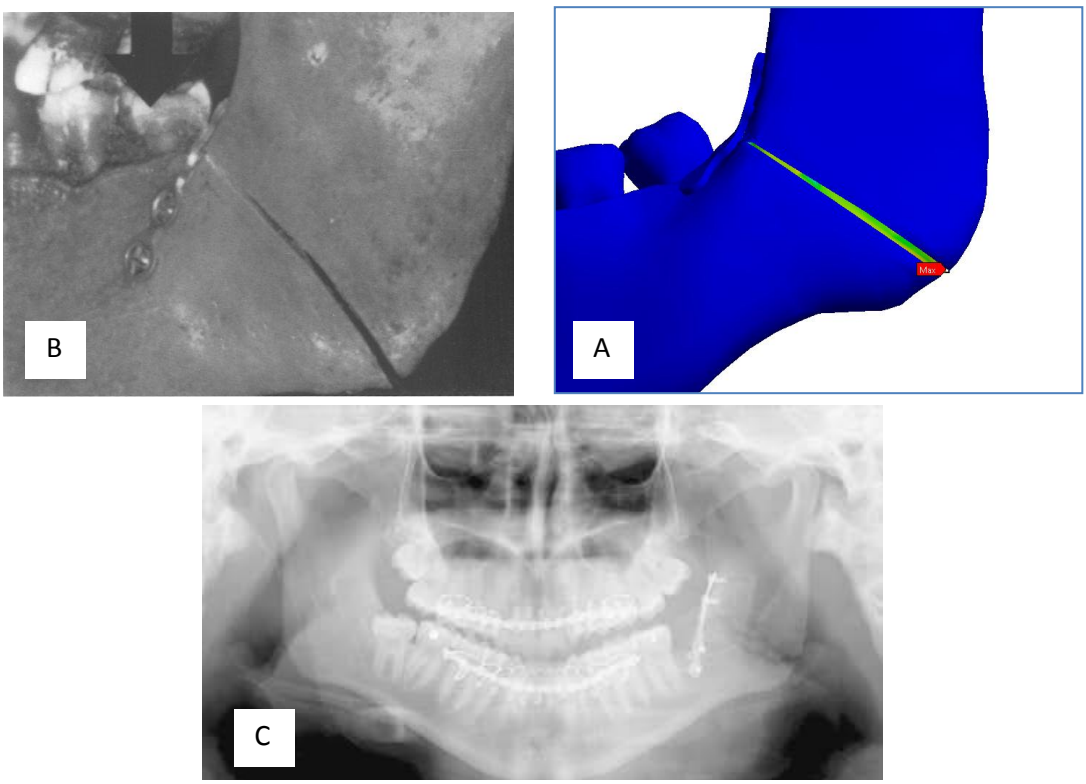
وجد (Haug et al., 2001) في دراسة مخبرية على تثبيت كسور زاوية الفك السفلي بعدة طرائق شملت استخدام (صفيحة صغيرة مفردة علوية– صفيحتين صغيرتين علوية وسفلية– صفيحة كبيرة مفردة سفلية "صفيحة إعادة بناء") أن جميع هذه الطرائق فعالة ومقبولة من ناحية الاستقرار الميكانيكي، وذلك يتفق مع نتائج الدراسة الحالية حيث كان الاختلاف في القيمة العظمى للإنزياح في موقع خط الكسر بين مجموعات الدراسة من رتبة 35 ميكرومتر فقط.

وقد أظهرت صفيحة التثبيت المفردة عند الحافة العلوية وفق طريقة Champy استقراراً مقبولاً لكسر زاوية الفك السفلي يمكن مقارنته مع الذي تقدمه طريقة الصفيحتين.

لوحظ أن موقع أعلى قيمة لانفعال الشبذ وللانزياح في طريقة Champy (مجموعة التثبيت بالصفيحة A) كان عند الحافة السفلية لخط الكسر، وقد يكون هذا سبب ملاحظة انفتاح بسيط للكسر عند تلك الحافة لا يتعدى 2–3 مم يشاهد أحياناً على الصور الشعاعية بعد العمل الجراحي مباشرة (الشكل 4–1)، وهذا يوافق ملاحظات كل من (Ellis, 2009) (Choi et al., 1995 a) (Kroon et al., 1991)، وهذا الانفتاح نادراً ما يسبب تغيراً في الإطباق ويختفي تدريجياً في الأسابيع التالية للجراحة بسبب الفعل الميكانيكي الحيوي للعضلات الرافعة للفك التي تقوم برفع الرأد نحو الأعلى والأمام مع وجود الصفيحة كمرتكز لهذه الحركة (Ellis, 2009).

وجدت هذه الدراسة أن الأداء الميكانيكي الحيوي للتثبيت بالصفيحة (A) لوحدها (طريقة Champy) أفضل من التثبيت بالصفيحة (B) لوحدها، حيث قدمت الصفيحة (A) استقراراً أعلى لخط الكسر وإجهاداً أقل في العظم المحيط ببراغي التثبيت، وذلك مقابل زيادة بسيطة جداً في الإجهاد المكافئ ضمن صفيحة التثبيت، وبذلك اختلفت هذه الدراسة مع نتائج الدراسات السريرية لكل من (Al–moraissi & Ellis, 2014) (Wan et al., 2012) (Laverick et al., 2012) (Kumar et al., 2011) (Sugar et al., 2009) الذين فضلوا استخدام طريقة التثبيت بصفيحة صغيرة علوية مفردة متوضعة على الوجه الخارجي للفك السفلي مباشرة تحت الخط المنحرف الظاهر مثبتة بمدخل جراحي مشترك داخل فموي وعبر الجلد باستخدام التروكار على طريقة التثبيت بصفيحة صغيرة علوية مفردة تتوضع للأنسي من الخط المنحرف الظاهر

تثبت بمدخل جراحي داخل فموي (طريقة Champy)، حيث لاحظوا انخفاض نسبة حدوث الاختلاطات بعد الجراحة عند تطبيق الطريقة الأولى، ويمكن تبرير ذلك بوجود دور لعوامل حيوية أخرى غير الميكانيك تسهم في زيادة أو إنقاص نسبة الاختلاطات لنظام تثبيت معين.



الشكل 4-1: انفتاح الحافة السفلية لكسر الزاوية بعد تطبيق صفيحة صغيرة علوية مفرد وفق طريقة Champy

A: محاكاة حاسوبية (للباحث) B: صورة فوتوغرافية لنموذج مخبري (Choi et al., 1995 a)

C: صورة شعاعية مباشرة بعد العمل الجراحي (Ellis, 2009)

وجد (Gear et al., 2005) في دراسة شملت مسحاً لآراء 127 جراحاً من جمعية AO أن 51% من الجراحين يفضلون استخدام طريقة الصفيحة العلوية المفردة مع أو بدون استخدام أقواس التثبيت بين الفكي، ونتائج الدراسة الحالية تدعم استخدام هذه الطريقة من وجهة نظر ميكانيكية حيوية حيث يقدم التثبيت بهذه الطريقة استقراراً قريباً من الذي تقدمه طريقة الصفيحتين معاً مع تقليل كمية مواد التثبيت المستخدمة والرض الجراحي الحاصل للمريض،

كما أن هذه الدراسة لم تستطع تحديد فيما إذا كانت الزيادة الصغيرة نسبياً في الاستقرار تبرر توسيع التداخل والرض الجراحي اللازم لتثبيت الصفيحة السفلية.

وجدت أغلب الدراسات السريرية التي قارنت نسبة حدوث الاختلاطات بعد الجراحة (مثل سوء الالتحام، عدم الالتحام، الانتان، انفتاح الجرح، سوء الإطباق ....) عند استخدام طرائق مختلفة لتطبيق الصفائح في سياق تثبيت كسور زاوية الفك السفلي أن طريقة الصفيحة الصغيرة العلوية المفردة وفق طريقة (Champy) أفضل من طريقة الصفيحتين، إذ ترافق تطبيق طريقة الصفيحتين مع نسبة اختلاطات أكبر، ومن هذه الدراسات (Kumar et al., 2011) (Ellis, 1999) (Feller et al., 2003) (Ellis, 2009) (Seemann et al., 2010) (Schierle et al., 1997) وقد عزت تلك الدراسات هذه النتيجة إلى التسليخ الأكبر للنسج الرخوة من سمحاق وعضلات لكشف منطقة زاوية الفك من أجل تطبيق الصفيحتين، وما يرافق ذلك من تأثير على التروية الدموية للمنطقة وبالتالي على الشفاء.

بينما لم تجد بعض الدراسات السريرية الأخرى فرقاً في نسبة الاختلاطات بين استخدام طريقة الصفيحة الصغيرة العلوية المفردة وطريقة الصفيحتين. (Yazdani et al., 2013) (Danda, 2010) (Siddiqui et al., 2007)

بالجمع بين نتائج الدراسات السريرية والمخبرية المختلفة (ومنها هذه الدراسة) يمكن القول بأن الميكانيك الحيوي ليس العامل الوحيد الواجب أخذه بعين الاعتبار عند اختيار طريقة التثبيت، بل توجد عوامل حيوية أخرى مثل نوع المدخل الجراحي وحجم تسليخ النسج الرخوة وزمن العمل الجراحي وتعاون المريض .... كما يقترح أن فائدة إضافة صفيحة التثبيت السفلية أقل من الرض الجراحي اللازم لتثبيت هذه الصفيحة بالإضافة للتكلفة المادية لها.

الفصل الخامس

الاستنتاجات

Conclusions

ضمن حدود هذه الدراسة يمكن استنتاج ما يلي:

– تُعتبر طريقة النمذجة الحاسوبية وتحليل العناصر المنتهية FEA طريقة مفيدة وفعّالة لتقييم ومقارنة نتائج التحميل على الطرائق المختلفة لتثبيت كسور زاوية الفك السفلي.

– يمكن الاستغناء عن التثبيت بين الفكي بعد الجراحة حيث حققت جميع مجموعات الدراسة استقراراً ميكانيكياً مقبولاً.

– كلّما كان مكان توضع صفيحة التثبيت أقرب للحافة العلوية للكسر (منطقة الشد) كلما ازداد استقرار خط الكسر وبالمقابل يزداد الإجهاد المتشكل في صفيحة التثبيت.

– يُعتبر التثبيت باستخدام طريقة الصفيحة الصغيرة السفلية المفردة أسوأ أشكال التثبيت من الناحية الميكانيكية الحيوية، كما أن الصعوبات التقنية والجراحية المرافقة لهذه الطريقة تجعل من استخدامها في الحالات العادية مرفوضاً.

– يبدي استخدام الصفائح ذات الحجم الأكبر والمثبتة ببراغي ذات قطر أكبر استقراراً أفضل وإجهاداً أقل في كل من الصفائح والبراغي والعظم القشري حول هذه البراغي.

– يقدّم استخدام صفيحة إعادة البناء (Reconstruction Plate) عند الحافة السفلية للكسر استقراراً في منطقة خط الكسر مماثلاً لما تقدمه صفيحة صغيرة علوية مفردة مثبتة وفق طريقة Champy.

– يُعتبر التثبيت باستخدام صفيحة صغيرة علوية مفردة متوضعة فوق وأنسي الخط المنحرف الظاهر ومثبتة ببراغي أحادية القشرة وفق طريقة Champy أفضل أشكال التثبيت بصفيحة صغيرة مفردة من وجهة نظر الميكانيك الحيوي.

– تمتلك طريقة التثبيت بصفيحتين علوية وسفلية أفضلية من الناحية الميكانيكية الحيوية على طريقة التثبيت بصفيحة علوية مفردة، حيث أن إضافة صفيحة سفلية يزيد من استقرار خط الكسر ويقلل الإجهاد في وسائط التثبيت وفي العظم المحيط بالبراغي.

– أفضل شكل لتطبيق التثبيت بصفيحتين صغيرتين من الناحية الميكانيكية الحيوية هو طريقة مجموعة الدراسة (A+B´).

– يعطي التثبيت بصفيحتين علوية صغيرة وسفلية كبيرة (صفيحة إعادة البناء) أفضل النتائج من ناحية الميكانيك الحيوي بين جميع مجموعات هذه الدراسة.

– لم تستطع هذه الدراسة تحديد فيما إذا كانت الزيادة الصغيرة نسبياً في الاستقرار التي تقدمها إضافة الصفيحة السفلية في طريقة التثبيت بصفيحتين تبرّر توسيع التداخل والرض الجراحي اللازم لتثبيت هذه الصفيحة.

– يمكن للتركز العالي للإجهادات ضمن الصفيحة في طريقة الصفيحة الصغيرة العلوية المفردة أن يشرح المشاهدات السريرية النادرة لفشل أو كسر الصفيحة.

– بالجمع بين نتائج هذه الدراسة والدراسات السريرية السابقة يمكن القول أن الميكانيك الحيوي ليس العامل الوحيد الواجب أخذه بعين الاعتبار عند اختيار طريقة تثبيت كسور زاوية الفك السفلي في الممارسة السريرية.

الفصل السادس

المقترحات والتوصيات

Suggestions & Recommendations

المقترحات Suggestions :

1- إجراء دراسة باستخدام تحليل العناصر المنتهية لاختبار أشكال أخرى للصفائح المستعملة في تثبيت كسور زاوية الفك السفلي مثل الصفيحة الهندسية ثلاثية الأبعاد 3D Geometric Plate والصفائح القابلة للامتصاص.

2- إجراء دراسة باستخدام تحليل العناصر المنتهية لتقييم الأداء الميكانيكي الحيوي لطرائق تثبيت كسور زاوية الفك السفلي في مراحل عمرية مختلفة وفي حالات الدرد الكامل.

3- إجراء دراسة باستخدام تحليل العناصر المنتهية لتقييم الأداء الميكانيكي الحيوي لطرائق تثبيت كسور زاوية الفك السفلي في حالات الكسور المتعددة.

4- إجراء دراسة باستخدام تحليل العناصر المنتهية لتقييم تأثير وجود الرحى الثالثة في الأداء الميكانيكي الحيوي لطرائق تثبيت كسور زاوية الفك السفلي.

5- إجراء دراسة تراجعية لحالات كسور زاوية الفك السفلي التي تمّت معالجتها في مشفى جراحة الفم والوجه والفكين في كلية طب الأسنان – جامعة دمشق بهدف مقارنة نسبة حدوث الاختلاطات بعد تطبيق طرائق مختلفة للتثبيت.

6- إجراء أبحاث علمية تهدف لتطوير خلائط معدنية ذات تقبل حيوي عالي وخصائص ميكانيكية أفضل من المستعملة حالياً في تصنيع وسائط التثبيت من صفائح وبراغي.

التوصيات Recommendations :

1- استعمال طريقة التثبيت بصفيحة صغيرة علوية مفردة وفق طريقة Champy كمقاربة مقبولة من ناحية الميكانيك الحيوي وذات رض جراحي قليل لتثبيت كسور زاوية الفك السفلي المفردة وغير المتشظية.

2- استعمال طريقة التثبيت بصفيحتين صغيرتين علوية وسفلية وفق الشكل (A+B´) في الحالات التي تحتاج إلى استقرار أكبر.

3- الاقتصار في استعمال صفيحة إعادة البناء (Reconstruction Plate) على حالات الكسور المتفتتة أو المتشظية.

4- عدم تحويل المعلومات الناتجة عن الدراسات الميكانيكية الحيوية إلى الاستعمال السريري مباشرة لأن الميكانيك الحيوي ليس العامل الوحيد الواجب أخذه بعين الاعتبار عند اختيار طريقة تثبيت ما في الممارسة السريرية.

الفصل السابع

المراجع

References

1. المراجع الأجنبية:

A

1- Albougha S, Darwich K, Darwich MA, Albougha MH. Assessment of sagittal split ramus osteotomy rigid internal fixation techniques using a finite element method. Int J Oral Maxillofac Surg. 2015;44(7):823-829.

2- Alkan A, Celebi N, Ozden B, Baş B, Inal S. Biomechanical comparison of different plating techniques in repair of mandibular angle fractures. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 2007;104:752–756.

3- Al-moraissi EA, Ellis E. What method for the management of unilateral mandibular angle fractures has the lowest rate of postoperative complications? A systematic review and meta-analysis, J Oral Maxillofac Surg 2014;72(11):2197-2211.

4- Aquilina P, Chamoli U, Parr WCH, Clausen P, Wroe S. Finite element analysis of three patterns of internal fixation of fractures of the mandibular condyle. Br J Oral Maxillofac Surg 2013;51:326–331.

5- Arbag H, Korkmaz HH, Ozturk K, Uyar Y. Comparative evaluation of different miniplates for internal fixation of mandible fractures using finite element analysis. J Oral Maxillofac Surg 2008;66:1225–1232.

6- Arbag H, Korkmaz HH, Ozturk K, Uyar Y. What happens between pure and buckling mechanisms of blowout fractures? J Craniomaxillofac Surg 2010;38(4):306–313.

7- Atanasov DT. A retrospective study of 3326 mandibular fractures in 2252 patients. Folia Med (Plovdiv) 2003;45(2):38-42.

B

8- Bankoff A. Biomechanical Characteristics of the Bone. In: Goswami T. ed. *Human Musculoskeletal Biomechanics*. 2012; 61-87. ISBN: 978-953-307-638-6, InTech. Available from: http://www.intechopen.com/books/human-musculoskeletal-biomechanics/biomechanical-characteristics-of-thebone

9- Barber HD. Treatment of mandibular angle fractures with a malleable noncompression miniplate. J Oral Maxillofac Surg 1999;57:292-293.

10-Barrera JE, Batuello SG. Mandibular angle fractures. *eMedicine.* Meyers AD, ed. 25 Sep.2015. Medscape. Available from: http://emedicine.medscape.com/article/868517-overview.

11-Barry CP, Keams GJ. Superior border plating technique in the management of isolated mandibular angle fractures: A retrospective study of 50 consecutive patients. J Oral Maxillofac Surg 2007; 65:1544–1549.

12-Basciftci FA, Korkmaz HH, Iseri H, Malkoc S. Biomechanical evaluation of mandibular midline distraction osteogenesis by using the finite element method. Am J Orthod Dentofacial Orthop 2004;25(6):706–715

13-Bezerra TP, Silva Junior FI, Scarparo HC, Costa FWG , Studart-Soares EC. Do erupted third molars weaken the mandibular angle after trauma to the chin region? A 3D finite element study. Int J Oral Maxillofac Surg 2013;42:474–480.

14-Biomet. (n.d.). *Biomet Microfixation* [Catalog]. Retrieved from: http://www.biometmicrofixation.com

15-Boccaccio A, Ballini A, et al. Finite element method (FEM) mechanobiology and biomimetic scaffolds in bone tissue engineering. Int J Biol Sci 2011;7(1):112.

16-Braasch DC, Abubaker AO. Management of mandibular angle fracture. Oral Maxillofac Surg Clin N Am 2013;25:591–600.

17-Brennan JA, Holt RG, Connor MP, et al. Resident manual of trauma to the face, head, and neck. 1st ed, the American Academy of Otolaryngology. 2012;5:102-104.

C

18-Chacon G, Larsen P. Principles of management of mandibular fractures. In: Miloro M, Ghali GE, Larsen P, Waite P, eds. *Peterson's principles of oral and maxillofacial surgery*, 2nd ed, vol.I. Hamilton, London , BC Decker Inc. 2004;22:401-433.

19-Champy M, Lodde JP, Jaeger JH, et al. Biomechanical basis of mandibular osteosynthesis according to the F.X. Michelet method. Rev Stomatol Chir Maxillofac 1976;77:248-251.

20-Champy M, Lodde JP, Schmitt R, et al. Mandibular osteosynthesis by miniature screwed plates via a buccal approach. J Maxillofac Surg 1978;6:14–21.

21-Ching-Chang Ko, Rocha EP, Larson M. Past, present and future of finite element analysis in dentistry. In: Moratal D. ed. *Finite Element*

Analysis- from Biomedical Applications to Industrial Developments. InTech: 2012: 496-502.

22-Choi BH, Yoo JH, Kim NK, et al. Stability testing of a two miniplate fixation technique for mandibular angle fractures. An in vitro Study. J Craniomaxillofac Surg 1995 a;23(2):122-125.

23-Choi BH, Kim NK, Kang HS. Clinical and in vitro evaluation of mandibular angle fracture fixation with the two miniplate system. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol 1995 b;79:692-695.

24-Craig RG, Powers JM. *Restorative Dental Materials*, 11th ed. Missouri, Mosby, 2002;4:68-124.

D

25-Danda AK. Comparison of a single noncompression miniplate versus two noncompression miniplates in the treatment of mandibular angle fractures: a prospective, randomized clinical trial. J Oral Maxillofac Surg 2010;68(7):1565-1567.

26-Dhariwal DK, Gibbons AJ, Murphy M, Llewelyn J, Gregory MC. A two year review of the treatment and complications of mandibular angle fractures. J R Army Med Corps 2002;148:115-117.

E

27-Ellis E, Moos KF, El-Attar A. Ten years of mandibular fractures: an analysis of 2,137 cases. Oral Surg Oral Med Oral Pathol 1985;59:120-129.

28-Ellis E, Ghali G. Lag screw fixation of mandibular angle fractures. J Oral Maxillofac Surg 1991;49(3):234–243.

29-Ellis E, Karas N. Treatment of mandibular angle fractures using two mini dynamic compression plates. J Oral Maxillofac Surg 1992;50(9):958–963.

30-Ellis E. Treatment of mandibular angle fractures using the AO reconstruction plate. J Oral Maxillofac Surg 1993;51(3):250–254.

31-Ellis E, Sinn DP. Treatment of mandibular angle fractures using two 2.4mm dynamic compression plates. J Oral Maxillofac Surg 1993;51(9):969–973.

32-Ellis E, Walker LR. Treatment of mandibular angle fractures using two non-compression miniplates. J Oral Maxillofac Surg 1994;52(10):1032–1036.

33-Ellis E. Complications of rigid internal fixation for mandibular fractures. J Craniomaxillofac Trauma 1995;2(2): 32-39.

34-Ellis E, Walker LR. Treatment of mandibular angle fractures using one noncompression miniplate. J Oral Maxillofac Surg 1996;54(7):864–871.

35-Ellis E. Treatment methods for fractures of the mandibular angle. Int J Oral Maxillofac Surg 1999;28:243.

36-Ellis E, Price C. Treatment protocol for fractures of the atrophic mandible. J Oral Maxillofac Surg 2008;66(3):421-435.

37-Ellis E. Management of fractures through the angle of the mandible. Oral Maxillofac Surg Clin N Am 2009;21:163–174.

38-Ellis E, Esmail N. Malocclusions resulting from loss of fixation after sagittal split ramus osteotomies. J Oral Maxillofac Surg 2009;67:2528-2533.

39-Erkmen E, Sims¸ek B, Yu¨cel E, Kurt A. Comparison of different fixation methods following sagittal split ramus osteotomies using three-dimensional finite elements analysis. Part 1: advancement surgery-posterior loading. Int J Oral Maxillofac Surg 2005 a;34:551-558.

40-Erkmen E, Sims¸ek B, Yu¨cel E, Kurt A. Three-dimensional finite element analysis used to compare methods of fixation after sagittal split ramus osteotomy: setback surgery-posterior loading. Br J Oral Maxillofac Surg 2005 b;43:97-104.

F

41-Fanuscu MI, Vu HV, Poncelet B. Implant biomechanics in grafted sinus: a finite element analysis. J Oral Implantol 2004;30(2):59-68.

42-Feller KU, Schneider M, Hlawitschka M, Pfeifer G, Lauer G, Eckelt U : Analysis of complications in fractures of the mandibular angle: a study with finite element computation and evaluation of data of 277 patients. J Craniomaxillofac Surg 2003;31:290-295.

43-Fonseca R, Smith B, Deshmukh A, Barber H. Mandibular Fractures. In: Fonseca R, Walker R, Barber H, Powers M, Frost D, eds. *Oral and Maxillofacial Trauma*. 4th ed. St. Louis, Missouri, Saunders, 2013;14:293-308.

G

44-Gabrielli MAC, Gabrielli MFR, Marcantonio E, Hochuli-Vieira E. Fixation of mandibular fractures with 2.0mm miniplates: Review of 191 cases. J Oral Maxillofac Surg 2003;61:430-436.

45-Gallas-Torreira M, Fernandez JR. A three dimensional computer model of the human mandible in two simulated standard trauma situations. J Craniomaxillofac Surg 2004;32:303–307.

46-Gear AJ, Apasova E, Schmitz JP, Schubert W. Treatment modalities for mandibular angle fractures. J Oral Maxillofac Surg 2005;63:655-663.

47-Gelaude F, Vander Sloten J, Lauwers B. Accuracy assessment of CT-based outer surface femur meshes. Comput Aided Surg 2008; 13(4):188–199.

48-Geng J, Yan W, Xu W. *Application of the Finite Element Method in Implant Dentistry*, New York, Springer, 2008:1-5.

49-Gerlach KL, Schwarz A. Bite forces in patients after treatment of mandibular angle fractures with miniplate osteosynthesis according to Champy. Int J Oral Maxillofac Surg 2002;31:345–348.

50-Gray H. *Gray's Anatomy : The anatomical basis of clinical practice*, 40th ed. Standring S. ed. Churchill Livingstone Elsevier. 2008;29:480-483.

51-Groning F, Liu J, Fagan MJ, O'Higgins P. Validating a voxel-based finite element model of a human mandible using digital speckle pattern interferometry. J Biomech 2009;42:1224–1229.

52-Guastaldi FPS. Physico-chemical and morphological characterization, mechanical and 3D finite element analysis, of different metal plates and screws and internal fixation techniques, employed in mandibular angle fractures [Thesis]. Araçatuba: School of Dentistry of Sao Paulo State University, 2013.

H

53-Harle F, Campy M,Terry B. *Atlas of Craniomaxillofacial Osteosynthesis*. Stuttgart/New York, Thieme, 1999.

54-Hart RT, Hennebel VV, Thongpreda N, Van Buskirk WC, Anderson RC. Modeling the biomechanics of the mandible. A three dimensional finite element study. J Biomech 1992;25(3):261-286.

55-Haug RH, Prather J, Indresano AT. An epidemiologic survey of facial fractures and concomitant injuries. J Oral Maxillofac Surg 1990; 48:926-932.

56-Haug RH, Fattahi TT, Goltz M. A biomechanical evaluation of mandibular angle fracture plating techniques. J Oral Maxillofac Surg 2001;59(10):1199-1210.

57-Haug RH, Serafin BL. Mandibular Angle Fractures: A Clinical and Biomechanical Comparison-the Works of Ellis and Haug. Craniomaxillofac Trauma Reconstr 2008;1:31-38.

58-Hiatt JLG, Leslie P. *Textbook of head and neck anatomy*, 4th ed, Lippincott Williams & Wilkins. 2010: 79-80, 193-196.

I

59-Inaoka SD, Carneiro SCAS, Vasconcelos BCE, Leal J, Porto GG. Relationship between mandibular fracture and impacted lower third molar. Med Oral Patol Oral Cir Bucal. 2009;14(7):349-354.

J

60-Ji B, Wang C, Song F, Chen M, Wang H. A new biomechanical model for evaluation of fixation systems of maxillofacial fractures. J Craniomaxillofac Surg 2012;40:405-408.

K

61-Katona TR. A qualitative engineering analysis of occlusion effects on mandibular fracture repair mechanics. J Dent Biomech 2011. Published online 2011 Sep 29. doi: 10.4061/2011/752741.

62-Keim, Samuel M, Doug Smith. Broken Jaw. In: *eMedicine Health*. Chinnock BF, Talavera F, Balentine J. Eds.12 Dec. 2008. WebMD, LLC. 12 Oct. 2004. Available from: http://www.emedicinehealth.com/articles/8983-1.asp

63-Kim YK, Nam KW. Treatment of mandible fractures using low-profile titanium miniplates: preliminary study. Plast Reconstr Surg 2001; 108:38-43.

64-Kimsal J, Baack B, Candelaria L, Khraishi T, Lovald S. Biomechanical analysis of mandibular angle fractures. J Oral Maxillofac Surg 2011; 69:3010-3014.

65-Korioth TW. Finite element modelling of human mandibular biomechanics [PhD thesis]. Vancouver, BC, Canada: University of British Columbia, 1992 a.

66-Korioth TW, Romilly DP, Hannam AG. Three-dimensional finite element stress analysis of the dentate human mandible. Am J Phys Anthropol 1992 b;88(1):69-96.

67-Kroon FH, Mathisson M, Cordey JR, et al. The use of miniplates in mandibular fractures. J Craniomaxillofac Surg 1991;19:199–204.

68-Kumar S, Prabhakar V, Rao K, Brar R. A comparative review of treatment of 80 mandibular angle fracture fixation with miniplates using three different techniques. Indian J Otolaryngol Head Neck Surg 2011; 63(2):190–192.

L

69-Lamphier J, Ziccardi V, Ruvo A, Janel M. Complications of mandibular fractures in an urban teaching center. J oral maxillofac surg 2003; 61(7):745-749.

70-Laverick S, Siddappa P, Wong H, Patel P, Jones DC. Intraoral external oblique ridge compared with transbuccal lateral cortical plate fixation for the treatment of fractures of the mandibular angle: prospective randomised trial. Br J Oral Maxillofac Surg 2012;50:344–349.

71-Levy FE, Smith RW, Odland RM, et al. Monocortical miniplate fixation of mandibular angle fractures. Arch Otolaryngol Head Neck Surg 1991;117:149-154.

72-Lin S, Shi S, LeGeros RZ, LeGeros JP. Three dimensional finite element analysis of four designs of a high strength silicon nitride implant. Implant Dent 2000;9(1):53–60.

73-Lovald S, Wagner J, Khraishi T, Kelly J, Wood J, Baack B. Comparison of plate–screw systems used in mandibular fracture reduction: finite element analysis. J Biomech Eng 2006;128:654-662.

74-Lovald S, Wagner J, Khraishi T, Kelly J, Wood J, Baack B. Finite element analysis of screw–plate systems for fixation of parasymphyseal fractures of the mandible. J Mech 2007;23:69-77.

75-Lovald S, Wagner J, Baack B. Biomechanical optimization of bone plates used in rigid fixation of mandibular fractures. J Oral Maxillofac Surg 2009;67:973-985.

76-Lovald S, Baack B, Gaball C, Olson G, Hoard A. Biomechanical optimization of bone plates used in rigid fixation of mandibular symphysis fractures. J Oral Maxillofac Surg 2010;68(8):1833–1841.

M

77-Mathog RH, Toma V, Clayman L, Wolf S. Nonunion of the mandible: An analysis of contributing factors. J Oral Maxillofac Surg 2000; 58:746-752.

78-Matthias K, Dickinson A, Holst S, Holst A. Biomechanical methods applied in dentistry: A comparative overview of photoelastic examinations, strain gauge measurements, finite element analysis and three dimensional deformation analysis. Eur J Prosthodont Restor Dent 2009;17:50-57.

79-Michelet FX, Deymes J, Dessus B. Osteosynthesis with miniaturized screwed plates in maxillo-facial surgery. J Maxillofac Surg 1973;1:79-84.

80-Motoyoshim YA, Nakajima A, Kishi M, Namura S. Finite element model of facial soft tissue. Effects of thickness and stiffness on changes following simulation of orthognathic surgery. J Nihon Univ Sch Dent 1993;35(2):118–123.

81-Murakami K, Sugiura T, Yamamoto K, Kawakami M, Kang Y, Tsutsumi S, et al. Biomechanical analysis of the strength of the mandible after marginal resection. J Oral Maxillofac Surg 2011;69:1798–1806.

N

82-Narra N, Valášek J, Hannula M, Marcian P, Sandor G, Hyttinen Jn, et al. Finite element analysis of customized reconstruction plates for mandibular continuity defect therapy. J Biomech 2014;47(1):264-268.

83-Nelson GJ. Three dimensional computer modeling of human mandibular biomechanics. [M.Sc. thesis], Vancouver, University of British Columbia, 1988.

84-Niederhagen B, Anke S, Hultenschmidt D, Appel T. AO and miniplate osteosynthesis of the mandible in an 8-year comparison. Fortschr Kiefer Gesichtschir 1996;41:58-60.

85-Niinomi M. Mechanical properties of biomedical titanium alloys. Mater Sci Eng 1998;243:231–236.

86-Norton N. *Netters Head and Neck Anatomy for Dentistry*. 2nd Ed, PA, Saunders, 2012:45-46.

P

87-Passeri LA, Ellis E, Sinn DP. Complications of nonrigid fixation of mandibular angle fractures. J Oral Maxillofac Surg 1993;51(4):382–384.

88-Pereira GKR, Muller C, Wandscher VF, Rippe MP, Kleverlaan CJ, Valandro LF. Comparison of different low-temperature aging protocols: its effects on the mechanical behavior of Y-TZP ceramics. J Mech Behav Biomed Mater 2016, In press , Available from:

http://dx.doi.org/10.1016/j.jmbbm.2016.02.017

89-Pintar FA, Kumaresan S, Yoganandan N, Yang A, Stemper B, Gennarelli TA. Biomechanical modeling of penetrating traumatic head injuries: a finite element approach. Biomed Sci Instrum 2001;37:429–434.

90-Potter J, Ellis E. Treatment of mandibular angle fractures with a malleable noncompression miniplate. J Oral Maxillofac Surg 1999; 57(3):288–292.

91-Prasad K, Tarannum SA. Basic principles of finite element method and its applications in orthodontics. J Pharm Biomed Sci 2012;16:11-14.

R

92-Rho JY, Kuhn-Spearing L, Zioupos P. Mechanical properties and the hierarchical structure of bone. Med Eng Phys. 1998;20(2):92-102.

93-Rossi AC, Freire AR, Prado FB, Asprino L, Sobrinho LC, Caria PHF. Photoelastic and Finite Element Analyses of Occlusal Loads in Mandibular Body. Anatomy Research International, vol. 2014, Article ID 174028, 9 pages 2014 a. doi: 10.1155/2014/174028.

94-Rossi AC, Freire AR, Botacin PR, Caria PHF, Rado FB. Computer graphics applied to anatomy: A study of two Bio-CAD modeling methods on finite element analysis of human edentulous hemi-mandible. Int J Morphol 2014 b;32(3):803-811.

95-Rozema FR, Otten E, Bos RR, Boering G, Van Willigen JD. Computer aided optimization and choice and positioning of bone plates and screws used for internal fixation of mandibular fractures. Int J Oral Maxillofac Surg 1992;21(6):373–377.

96-Rudderman RH, Mullen RL, Phillips JH, et al. The biophysics of mandibular fractures: an evolution toward understanding. Plast Reconstr Surg 2008;121:596–607.

S

97-Samchukov ML, Cope JB, Harper RP, Ross JD. Biomechanical considerations of mandibular lengthening and widening by gradual distraction using a computer model. J Oral Maxillofac Surg 1998; 56(1):51–59.

98-Sato FR, Asprino L, Noritomi PY, da Silva JV, de Moraes M. Comparison of five different fixation techniques of sagittal split ramus osteotomy using three-dimensional finite element analysis. Int J Oral Maxillofac Surg 2012;41:934–941.

99-Schierle HP, Schmelzeisen R, Rahn B, Pytlik C. One- or two-plate fixation of mandibular angle fractures? J Craniomaxillofac Surg 1997;25:162–168.

100- Seemann R, Schicho K, Wutzl A, Koinig G, Poeschl WP, Krennmair G, et al. Complication rates in the operative treatment of mandibular angle fractures: a 10-year retrospective. J Oral Maxillofac Surg 2010; 68:647–650.

101- Sharma NK, Sehgal DK, Pandey RK, Pal R. Finite element simulation of cortical bone under different loading and anisotropic yielding situations. Proceedings of the world congress on engineering and computer science 2012 vol.II, October 24-26, 2012, San Francisco, USA.

102- Shyam Sundar S, Nandlal b, Nandlal D, Mallesh G. Finite element analysis: A maxillofacial surgeon's perspective. J Maxillofac Oral Surg 2012;11(2):206–211.

103- Siddiqui A, Markose G, Moosc KF, McMahon J, Ayoub AF. One miniplate versus two in the management of mandibular angle fractures: A prospective randomized study. Br J Oral Maxillofac Surg 2007; 45:223–225.

104- Singh RK, Pal US, Agrawal A, Singh G. Single miniplate osteosynthesis in angle fracture. Natl J Maxillofac Surg 2011;2(1):47–50.

105- Snell R. *Clinical Anatomy by Regions*, 9th ed, Lippincott Williams & Wilkins. 2012;11:569-574.

106- Sugar A, Gibbons A, Patton D, Silvester K, Hodder S, Gray M, et al. A randomised controlled trial comparing fixation of mandibular angle fractures with a single miniplate placed either transbuccally and intra-orally, or intra-orally alone. Int J Oral Maxillofac Surg 2009;38: 241–245.

107- Szücs A, Bujtar P, Sandor GKB, Barabas J. Finite element analysis of the human mandible to assess the effect of removing an impacted third molar. J Can Dent Assoc 2010;76:72-78.

T

108- Tams J, Van Loon JP, Otten E, Rozema FR, Bos RR. A three-dimensional study of bending and torsion moments for different fracture

sites in the mandible: An in vitro study. Int J Oral Maxillofac Surg 1997; 26:383–388.

109- Tams J, Otten E, Van Loon JP, Bos RR. A computer study of fracture mobility and strain on biodegradable plates used for fixation of mandibular fractures. J Oral Maxillofac Surg 1999;57:973–981.

110- Tate GS, Ellis E, Throckmorton G. Bite forces in patients treated for mandibular angle fractures: Implications for fixation recommendations. J Oral Maxillofac Surg 1994;52:734–736.

111- Takahashi H, Moriyama S, Furuta H, Matsunaga H, Sakamoto Y, Kikuta T. Three lateral osteotomy designs for Bilateral sagittal split osteotomy: Biomechanical evaluation with three dimensional finite element analysis. Head Face med 2010;26(6):4–8.

112- Turner CH. Bone strength: Current concepts. Ann N Y Acad Sci 2006; 1068(1):429–446.

V

113- Van Eijden T. Biomechanics of the mandible. Crit Rev Oral Biol Med 2000;11(1):123–136.

114- Vollmer D, Meyer U, Joos U, Vegh A, Piffko J. Experimental and finite element study of a human mandible. J Craniomaxillofac Surg 2000; 28(2):91–96.

W

115- Wan KA, Williamson RA, Gebauer D, Hird K. Open reduction and internal fixation of mandibular angle fractures: Does the transbuccal technique produce fewer complications after treatment than the transoral technique?. J Oral Maxillofac Surg 2012;70:2620-2628.

116- Weiner S, Wagner HD. The material bone: structure-mechanical function relations. Ann Rev Mater Sci 1998; 28(1):271-298.

117- Wittenberg JM, Mukherjee DP, Smith BR, Kruse RN. Biomechanical evaluation of new fixation devices for mandibular angle fractures. Int J Oral Maxillofac Surg 1997;26:68-73.

118- Wittkampf AR, Starmans FJ. Prevention of mandibular fractures by using constructional design principles I. Computer simulation of human mandibular strength after segmental resections. Int J Oral Maxillofac Surg 1995;24(4):306–310.

119- Wong RC, Tideman H, Merkx MA, Jansen J, Goh SM, Liao K. Review of biomechanical models used in studying the biomechanics of reconstructed mandibles. Int J Oral Maxillofac Surg 2011;40(4):393–400.

Y

120- Yazdani J, Taheri Talesh K, Kalantar Motamedi MH, Khorshidi R, Fekri S, Hajmohammadi S. Mandibular angle fractures: Comparison of one miniplate vs. two miniplates. Trauma Mon 2013;18(1):17-20.

121- Yun KI, Cho YG, Lee JM, Park YH, Park MK, Park JU. Three-dimensional finite element analysis of the stress distribution and displacement in different fixation methods of bilateral sagittal split ramus osteotomy. J Korean Assoc Oral Maxillofac Surg 2012;38(5):271-275.

2. المراجع العربية:

122- الشربجي المزيك رامي. تأثير اختلاف توزع الزرعات والأسنان الطبيعية على الإجهادات المطبقة على الجسور ذات الوصلات الصلبة الرابطة بينها باستخدام طريقة العناصر المنتهية. (أطروحة ماجستير)، دمشق، جامعة دمشق، 2015 : ص128-133 .

123- الغزي رواد. دراسة تأثير القوى الخارجية الراضة في آلية وتوضعات كسور الفك السفلي باستخدام تقنية تحليل العناصر المنتهية – دراسة مخبرية. (أطروحة ماجستير)، دمشق، جامعة دمشق، 2015 : ص50-59 .

الملخص

Abstract

الملخص :

المقدمة: تُعدّ كسور زاوية الفك السفلي شائعة الحدوث وتتعرض هذه الكسور لأعلى نسبة اختلاطات بين كسور الفك السفلي بعد المعالجة، يعتبر الرد المفتوح والتثبيت الداخلي باستخدام الصفائح والبراغي المعدنية الطريقة القياسية حالياً في تدبير هذه الكسور، وحتى الآن لا يوجد إجماع بخصوص الشكل المثالي لتطبيق تلك الصفائح والبراغي ويعتبر هذا الموضوع من أكثر المواضيع الخاضعة للنقاش في مجال الرضوض الوجهية الفكية.

هدف البحث: إجراء مقارنة من الناحية الميكانيكية الحيوية بين طرائق مختلفة لاستخدام الصفائح والبراغي المعدنية في تثبيت كسر مفرد في زاوية الفك السفلي دون إجراء تثبيت بين فكي وذلك باستخدام تحليل العناصر المنتهية ثلاثي الأبعاد.

المواد والطرائق: تم بناء نموذج رقمي ثلاثي الأبعاد لفك سفلي اعتماداً على صورة شعاعية مقطعية محوسبة ذات حزمة مخروطية، ثم أجريت محاكاة لحدوث كسر مفرد في زاوية الفك من النمط غير المستحب للشد العضلي، وتم تصميم نماذج لصفائح وبراغي التثبيت وتجميعها مع النموذج ضمن 10 مجموعات للدراسة شملت أشكالاً مختلفة لتثبيت الكسر باستخدام صفيحة صغيرة مفردة علوية أو سفلية، صفيحتين صغيرتين، صفيحة إعادة بناء عند الحافة السفلية بشكل مفرد أو مع صفيحة صغيرة علوية. ثم تمت محاكاة الضغط الرحوي في الجانب الموافق للكسر كممثل للقوى الإطباقية، وأجري تحليل العناصر المنتهية للحصول على قيم وتوزع الإجهاد والانفعال ضمن عناصر النموذج.

النتائج: أظهرت جميع مجموعات التثبيت بصفيحتين صغيرتين قيماً أدنى من مجموعات التثبيت بصفيحة صغيرة مفردة لكل من الإجهاد المكافئ في الصفائح والبراغي والإجهاد الأساسي الأعظمي في العظم القشري حول البراغي والانفعال الأساسي الأعظمي في الدشبذ والانزياح في منطقة خط الكسر، وكانت القيم الأعلى للإجهاد المكافئ في صفائح وبراغي التثبيت في مجموعتي التثبيت بصفيحة صغيرة علوية مفردة، في حين أظهرت مجموعتا التثبيت بصفيحة صغيرة سفلية مفردة القيم الأعلى لكل من الانفعال الأساسي الأعظمي في الدشبذ والانزياح في منطقة خط الكسر. وأظهرت مجموعة التثبيت بصفيحة صغيرة علوية مفردة متوضعة على الوجه الوحشي للفك السفلي القيمة الأعلى للإجهاد الأساسي الأعظمي في العظم القشري حول براغي التثبيت. أعطى استخدام صفيحة إعادة البناء عند الحافة السفلية للفك القيم الأدنى للإجهاد في كل من الصفائح والبراغي والعظم القشري مقارنة بجميع مجموعات التثبيت بصفائح صغيرة، ولكن كانت قيمة كل من الانفعال الأساسي الأعظمي في الدشبذ والانزياح في منطقة خط الكسر مشابهة لمجموعة التثبيت بصفيحة صغيرة علوية مفردة تتوضع فوق وأنسي الخط المنحرف الظاهر.

الاستنتاجات: تعتبر طريقة التثبيت بصفيحتين الطريقة الأفضل من وجهة نظر الميكانيك الحيوي، ولكن يُعدّ التثبيت باستخدام صفيحة صغيرة علوية مفردة تتوضع فوق وأنسي الخط المنحرف الظاهر طريقة مقبولة من الناحية الميكانيكية الحيوية وذات رض جراحي قليل لتثبيت كسور زاوية الفك السفلي المفردة وغير المتشظية، أما الصفائح الأكبر مثل صفيحة إعادة البناء فيفضل الاقتصار في استخدامها على حالات الكسور المتفتتة أو المتشظية.

الكلمات المفتاحية: تحليل العناصر المنتهية ، كسر زاوية الفك السفلي ، الصفائح الصغيرة ، صفائح إعادة البناء ، الإجهاد ، الانفعال ، الانزياح.

Abstract :

Introduction: Mandibular angle fractures are common, and they express the highest rate of postsurgical complications among other mandibular fractures. Currently, open reduction and internal fixation using plates and screws is considered the standard technique in the management of these fractures. Until now there is no consensus about the ideal configuration of plates and screws, and this is one of the most debated issues in maxillofacial trauma.

Aim of study: To conduct a biomechanical comparison between different configurations of plates and screws used for the fixation of a mandibular angle fracture without maxillomandibular fixation using 3D finite element analysis.

Materials and Methods: A 3D model of a mandible was constructed from a CBCT scan, then an unfavorable fracture in the angle area was simulated and fixation plates and screws were modeled and assembled with the mandible model in 10 study groups. These groups included different configurations of fixation by using a single miniplate, two miniplates and inferior reconstruction plate with or without another superior miniplate. Ipsilateral molar clench was simulated to represent occlusal forces. Finally, finite element analysis was conducted to obtain the stress and strain measures and distribution in the model components.

Results: All two miniplates fixation groups showed lower values than single miniplate fixation groups in terms of plate and screws equivalent (Von-mises) stress, maximum principal stress in cortical bone surrounding the screws, callus maximum principal strain and fracture line displacement. The highest plate and screws equivalent (Von-mises) stress was found in the single superior miniplate fixation groups, whereas the single inferior miniplate fixation groups showed the highest callus strain and fracture line displacement. Fixation with a single superior miniplate positioned on the lateral aspect of the mandible showed the highest maximum principal stress in cortical bone around screws. The application of an inferior border reconstruction plate showed the lowest stress concentrations in the plate, screws and cortical bone when compared to all miniplate fixation groups, but the callus strain and fracture line displacement were similar to those in the single superior miniplate fixation where the miniplate is positioned above and medial to the external oblique ridge (Champy's technique).

Conclusions: The two plate fixation is the best configuration from a bio-mechanical point of view, but fixation with a single superior miniplate positioned above and medial to the external oblique ridge (Champy's technique) is considered a biomechanically accepted minimally invasive technique for the treatment of a single non-comminuted mandibular angle fracture, Whilst the use of larger plates such as the reconstruction plate should be limited to cases with comminuted fractures.

Keywords: Finite element analysis, mandibular angle fracture, miniplate, reconstruction plate, stress, strain, displacement.

ملحق: مخطط تدفقي Flow Chart يلخص خطوات إنجاز العمل في هذه الدراسة