

التخطيط الافتراضي لترميم الاستئصالات الجراحية للفك السفلي باستخدام الصور الرقمية و تقنية العناصر المنتهية (دراسة حالة مرضية)

الدكتور خلدون درويش*

الدكتور محمد أيهم درويش**

الملخص

خلفية البحث وهدفه: يمثل ترميم التخربات الواسعة للفك السفلي بعد استئصال الأورام أو الرضوض أو التشوهات أحد أصعب التحديات التي تواجه جراحي الوجه والفم والفكين. والهدف من هذه الدراسة هو تصميم نموذج حيوي للفك السفلي عند مريض تعرض لاستئصال جزئي في الفك السفلي نتيجة الإصابة بأفة ورمية خبيثة، ودراسة فعاليته من خلال دراسة استجابته الميكانيكية وخصوصاً قيم الإجهادات و الانزياحات الناتجة عن قوى الإطباق والمضغ. مواد البحث وطرائقه: اشتمل البحث على دراسة حالة مرضية لشخص ذكر بعمر 63 سنة مصاب بورم في الفك السفلي مشخص على أنه سرطان بشري شائك الخلايا بحاجة إلى استئصال. أُجريت صور مقطعية متعددة الشرائح للفك السفلي CT، ثم بُني نموذجان: الأول يمثل الفك السفلي دون وجود الإصابة، والثاني هو عبارة عن الفك السفلي المعاد بناؤه بواسطة مادة تعويضية من مادة الإكريل، أُدرست الاستجابة الميكانيكية للفك المعاد بناؤه وقُورنت باستجابة الفك الطبيعي.

النتائج: حُدِّت الخطوات اللازمة لتصميم النماذج الخاصة ثلاثية الأبعاد انطلاقاً من الصور المقطعية باستخدام البرمجيات المقترحة في البحث. اختلفت في الفك السفلي المعاد بناؤه قيم الإجهادات المكافئة وقيم المجموع الجبري للإزاحات بنسب 36 % و 10 % على الترتيب.

الاستنتاج: يوصى باعتماد برمجيات وتقنيات تحليل العناصر المنتهية في تصميم النماذج الحيوية ثلاثية الأبعاد لتخطيط استئصال الفجود المختلفة للفك السفلي وترميمها.

كلمات مفتاحية: تخربات الفك السفلي، الفك السفلي، الفك السفلي المصاب بأفة سرطانية، إعادة بناء الفك السفلي، تحليل العناصر المنتهية

* مدرس - قسم جراحة الفم و الفكين - كلية طب الأسنان - جامعة دمشق.

** مدرس - قسم الهندسة التقنية - كلية الهندسة الكهربائية - جامعة تشرين.

Virtual Planning Of Surgical Mandibular Reconstruction Using Digital Images and Finite Elements Technic (A Case Study)

Khaldoun Darwich *

M. Ayham Darwich **

Abstract

Background & Objective: Reconstruction of mandibular defects after trauma or tumor resection is one of the most challenging problems facing by maxillofacial surgeons. Few mandibular defects require not just a fixation of an implant, but the reconstruction of the entire mandible. The aim of this study was to design a mandibular prosthesis for a mandibular cancer patient and study its efficacy by stress–strain related mechanical property using finite element analysis (FEA).

Methods & Materials: One elderly male diagnosed as having mandibular cancer was included in the study. Multi-sliced computed tomography (CT) images of mandible were obtained under standard conditions. The images was analyzed by Materialise's Interactive Medical Image Control System (Mimics) software and Catia software. After applying suitable mechanical property of the bone, the biting and chewing forces were applied on the specific regions of the bone in the following cases: 1) normal mandible; 2) reconstructed mandible. The maximum value of von Mises stress, and the vector sum of displacement were measured.

Results: The specific softwares were evaluated through this study toward the needed steps for designing and analyzing the individual 3D models starting from the CT images. As expectedly, in reconstructed mandible, the measured maximum values of Von Mises stress (Pa) as well as the vector sum of the displacement were increased by 36% and 10% respectively, when compared to the normal mandible.

Conclusion: It was shown that, the mechanical behaviour of the reconstructed mandible was close to the same of the normal bone.

It is highly recommended to adopt such specialized softwares for images processing and for virtual surgery planning before the real operation, which would save the operation time and give more perspectives towards the optimal restorative model and the best fixation method.

Keywords: Mandibular defect; Mandible affected with cancer; Mandibular reconstruction; Mandibular implant; Mimics; Catia; Finite element analysis (FEA); von Mises stress; vector sum of displacement

* Lecturer in Maxillofacial Surgery Department – Faculty of Dentistry – Damascus University.

** Lecturer in Technical Engineering – Faculty of Electrical Engineering – Teshrin University.

مقدمة:

عند إجراء إعادة بناء الفك السفلي يجب عدم عَدِّ إعادة استمرارية العظم وحده معيار نجاح إذ تجب استعادة وظائف المضغ، والبلع والنطق. إن الهدف الأساسي لإعادة بناء الفك السفلي هو محاولة إعادة المريض إلى حالته الوظيفية السابقة .

يهدف ترميم الفك السفلي إلى اقتراح نموذج لاستعادة البنية التشريحية والوظيفية للفك وتنفيذها وكذلك الاستقرار النفسي للمريض، إذ يمكن أن ينتج هذا الفقد عن أسباب خلقية، وحوادث، وأمراض أو أورام^{6,5}

عادة ما تجري عملية تعويض الفقد الناجم عن استئصال جزء من الفك السفلي مباشرة في أثناء العمل الجراحي عن طريق تكييف صفائح التيتانيوم الجاهزة وتثبيتها وهو ما يستلزم وقتاً وجهداً كبيرين من قبل الجراح و إطالة كبيرة لزمان العمل الجراحي. ويرتبط هذا الإجراء بعدة اختلاطات منها الانكشاف التالي للصفحة والالتهابات الثانوية اللاحقة⁷.

يعتمد نجاح الجراحة الترميمية للفك السفلي على التقييم المسبق للفقد، وتصميم النموذج التعويضي وتصنيعه بشكل دقيق، وكذلك على إتقان العمل الجراحي⁷.

في سياق ذلك، تُسْتخدَمُ عدة مواد في تصنيع النماذج التعويضية، ولكن الأكثر استخداماً هي الإكربليات مثل البولي ميثيل ميتا أكريليت (PMMA)، أو النماذج التعويضية المصنعة من الطعوم العظمية، أو مواد بدائل العظم مثل الهيدروكسي أباتيت⁸.

سمح التقدم في التصوير الطبي مثل التصوير المقطعي المحوسب والتصوير بالرنين المغناطيسي بإنتاج نموذج ثلاثي الأبعاد للأنسجة التشريحية لعدة استخدامات طبية، بما فيها تصميم النماذج التعويضية الجراحية⁹.

في حالة ترميم الفك السفلي، تتمتع طرائق التصميم والتصنيع بمساعدة الحاسب بعدة إيجابيات، إذ إنها تلائم تماماً المنطقة التشريحية، كما أنها تقلل زمن العمل

يعدُّ الفك السفلي عنصراً أساسياً في مظهر الوجه البشري حيث يعطي الشكل المميّز للوجه، ويحدد إطار تثنه السفلي. كما يعدُّ الفك السفلي أكبر وأقوى عظام الهيكل الوجهي على الإطلاق، وهو يأخذ شكل حرف U ويحمل الأسنان السفلية. اللقمة هي عبارة عن النهاية المدورة التي تدرج ضمن المفصل المتحرك بين الفك السفلي والجمجمة¹.

يعدُّ الناتئ المنقاري هو ناتئ مثلثي الشكل من العظم وترتكز عليه العضلة الصدغية التي تنشأ من الجمجمة. الشعبة الصاعدة (الرأد) هو عبارة عن ذلك الجزء المستعرض والمستقيم من الفك الذي يجمع جسم الفك السفلي إلى الناتئ المنقاري واللقمة. المفصل الفكّي الصدغي هو عبارة عن ذلك المفصل المتحرك بين عظم الفك السفلي وجزء مقابل من الجمجمة هو العظم الصدغي، ويستخدم هذا المفصل خلال وظائف المضغ، والبلع، والكلام والضحك إذ تتضمن هذه الحركات حركات دورانية وأخرى انزلاقية لهذا المفصل¹.

يؤدي الفك السفلي دوراً أساسياً في حماية المجاري التنفسية ودعم اللسان والأسنان السفلية وعضلات قاع الفم؛ ممّا يسمح بإنجاز وظائف المضغ، والكلام والتنفس.

تعدُّ إعادة بناء الفك السفلي بعد الرضوض أو الاستئصالات الورمية إحدى أهم المشكلات والتحديات التي تواجه جراحي الوجه والفكين، إذ يؤدي أي تشوه في العظم إلى مشكلات تجميلية ووظيفية، ويرتبط حجم العجز الوظيفي الناجم عن الاستئصال ارتباطاً كبيراً بحسب حجم الأجزاء المستأصلة وشكلها وموقعها².

يسبب فقد استمرارية العظم إلى انحراف الفك السفلي باتجاه الجزء المستأصل بسبب الشد الناجم عن عضلات المضغ المتبقية وانكماشات الأنسجة الرخوة فضلاً عن تشكل الندب الجراحية^{3,4}.

المعطيات مفيدة للجراحين بغية التخطيط الفعال لترميم الجراحي.

الهدف من البحث:

هَدَفَتْ هذه الدراسة إلى:

1- دراسة إمكانية تصميم تعويض خاص للفك السفلي المستأصل لكل مريض يعاني من إصابة تؤدي إلى فقد جزئي للفك السفلي باستخدام البرمجيات الحديثة الخاصة بمعالجة الصور الشعاعية وتحليلها بتقنية العناصر المنتهية.

2- مقارنة الاستجابة الميكانيكية للتعويض المصمم باستخدام تقنية العناصر المنتهية بنموذج العظم الطبيعي وحده.

3- تقييم فعالية التعويض، وذلك اعتماداً على مدى اختلاف استجابته الميكانيكية عن استجابة العظم الطبيعي.

4- تقييم شكل النموذج التعويضي لمنطقة الفقد وأبعاده، والقدرة على تعديله حتى الحصول على الملاءمة القصوى لشكل المنطقة التشريحية.

5- القدرة على تنفيذ التقييم الأولي لطريقة التثبيت وإجرائه بالاعتماد على قيم المعاملات الميكانيكية المقترحة، وعلى مدى قربها من قيم معاملات الفك الطبيعي.

مواد البحث وطرقه:

عينة البحث: أُجريت الدراسة على مريض بعمر 63 سنة، يدلّ تشخيصه على وجود سرطان بشري شائك الخلايا في النصف الأيمن من الناتئ السنخي للفك السفلي، وقد استُحصِلت صور شعاعية مقطعية CT للفك السفلي بسماكة شريحة 0.3 ملم باستخدام مصفوفة 512 X 512.

الجراحي، وتنتج مظهراً تجميلاً مناسباً بشكل أكبر. من جهة أخرى، تحتاج الطرائق اليدوية إلى وقت أكبر في عملية التصميم في حين أن نجاحها يعتمد على مهارة الجراح اعتماداً كبيراً⁸.

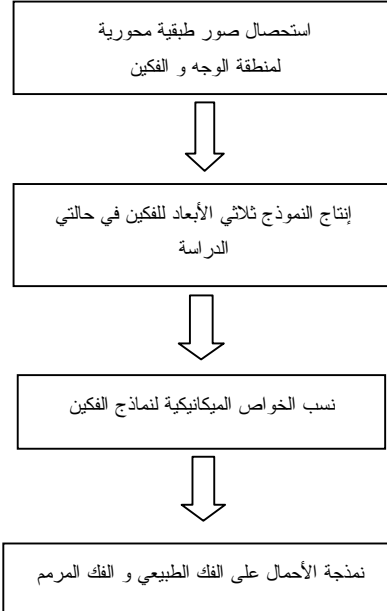
حديثاً، اقترح أن يُنفذ العمل الجراحي في بيئة افتراضية مقترحة تحاكي الحالة المرضية، من ثم أن تُقيم العملية التعويضية حاسوبياً بالاعتماد على طرائق تحليل رقمية مثل تقنية العناصر المنتهية، وهو ما يؤمل أن يخفف آلام المريض ويوفر وقت الجراح ويزوده بآفاق عمل عن المنطقة التشريحية، وعن الطرائق المثلى لمعالجتها.

يسمح تحليل العناصر المنتهية في طب الأسنان بتحديد الإجهادات الميكانيكية والانزياحات في أي هيكل أو نموذج مستوٍ، وذلك بتقسيمه إلى عدد محدد من العناصر بواسطة خطوط وهمية شبكية التي تعطي تقاطعاتها لنقاط ندعوها العقد. ولتطبيق هذا التحليل، يجب إدخال المواصفات الميكانيكية لمادة النموذج، كما تجب معرفة شروط تحميله وتثبيتته، وذلك للحصول على توزيعات لونية لقيم الإجهادات والانزياحات بدقة متناهية وزمن مقبول.

يُنتج النموذج ثلاثي الأبعاد للفك السفلي انطلاقاً من الصور الطبقيّة المحورية باستخدام برنامج معالجة الصورة Mimics، بعدها تُضَافُ الشروط الحدية وخواص المواد الحقيقية للنموذج، وعندها يمكن دراسة الفك السفلي ضمن عدة ظروف من قوى التحميل مثل العض الثابت، والعض المتجانس أو العض أحادي الجانب. من الممكن إجراء القطوع العظمية و تثبيت الصفائح العظمية بطريقة مشابهة أيضاً¹⁰.

بالنتيجة تُخَمَّنُ الإجهادات والانزياحات في النموذج استجابة لتطبيق قوى التحميل المختلفة، وتعدُّ هذه

تصميم الدراسة: شمل تنفيذ الدراسة الحالية للخطوات الآتية:



البرامج الحاسوبية المستخدمة:

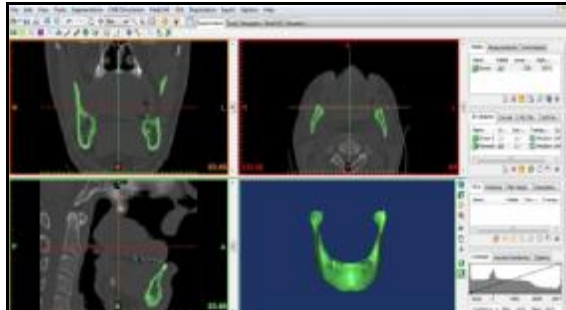
برنامج Mimics لقراءة الصور الطبية ومعالجتها:

حُلِّت الصور المقطعية للفك السفلي باستخدام برنامج Mimics المنتج من شركة (Materialise, Belgium) وقد استُخدمَ هذا البرنامج لقراءة جودة الصور ثنائية الأبعاد وتحسينها، إذ يجري في البداية عزل منطقة العظم باستخدام مبدأ التعييب Thresholding، وبعدها يقوم البرنامج بتطبيق تقنية توسيط رياضي Interpolation

لإنتاج النموذج ثلاثي الأبعاد من المقاطع السطحية ثنائية الأبعاد.

استخدم هذا البرنامج في الحالات الآتية للحصول على النموذج ثلاثي الأبعاد للفك السفلي:

الحالة الأولى: الفك السفلي الطبيعي: يمثل النموذج الأول الفك السفلي دون وجود الإصابة إذ بُنيَ في هذا النموذج الفك السفلي في الجهة المصابة بالمادة العظمية وأُعطيَت سمات وكثافة وتوزع الجهة السليمة نفسها لنحصل على نموذج يمثل الفك السفلي قبل الإصابة وعُدَّ هو العينة الشاهدة للمقارنة (الشكل 1).



الشكل 1: يظهر واجهة برنامج Mimics إذ تبين الصور الثلاثة العلوية و اليسارية للمقاطع التشريحية الأمامية والعرضية والجانبية، وتبين النافذة السفلية اليمينية للنموذج ثلاثي الأبعاد المنتج بواسطة إحدى وظائف البرنامج

والانزياحات للنموذج التعويضي باستخدام طريقة العناصر المنتهية.

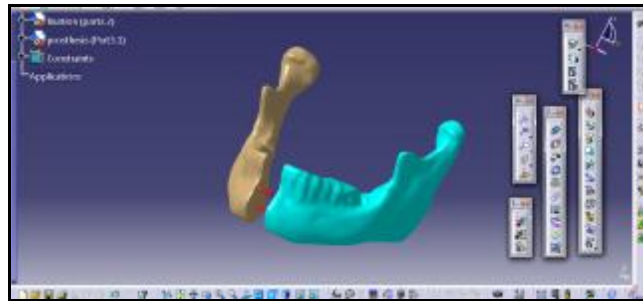
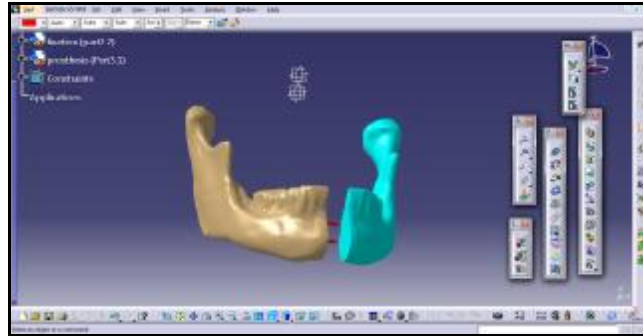
جرى في البداية عكس الجزء الطبيعي من الفك السفلي (55%) بالنسبة إلى المستوى السهمي، فيما بعد حُرِّكَ وقُصَّ وأُحْكِمَ توضع الجزء المعكوس بحيث حل مكان الجزء المصاب من الفك السفلي، وبهذا الشكل ضُمِنَ أن يمتلك النموذج التعويضي الذي سيُنْتَجُ أبعاد الفك السفلي نفسه في الجزء المصاب.

فيما يخص تقنية التثبيت الجراحي، أُعْطِيَتْ صفات مادة التعويض المصنوع منها النموذج، كما أُضِيْفَتْ المثبتات التي كانت على شكل وتدين بطول 2 سم و قطر 2 ملم يبرزان من الحافة الإنسية للجهاز (الشكل 2).

الحالة الثانية: الفك السفلي المعاد بناؤه: إذِ اسْتُؤْصِلَ في النموذج الثاني الجزء المصاب افتراضياً في الجهة اليمنى؛ وذلك بناء على الدراسة الدقيقة المعتمدة على الفحص السريري والتشخيص النسيجي والصور المقطعية، وقد حُدِّدَ 55% من الفك السفلي بأنه عظم طبيعي، في حين خُطِّطَ لاستئصال 45% منه؛ ذلك بسبب إصابة هذا الجزء بالورم، ثم عُوِّضَ الجزء المستأصل بنموذج تعويضي افتراضي، و ذلك باستخدام برنامج النمذجة و المحاكاة الرقمية Catia

برنامج Catia للرسم الهندسي و تحليل العناصر المنتهية:

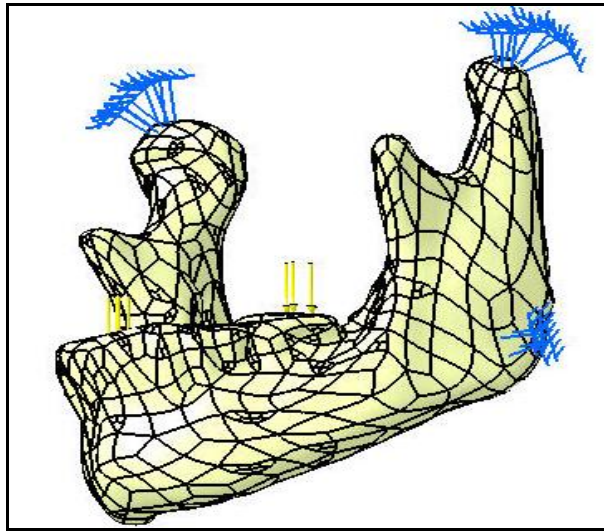
اسْتُخْدِمَ برنامج النمذجة والمحاكاة Catia المنتج من شركة (3ds Dassault, France) للتنفيذ الافتراضي لتقنية التعويض الجراحي ولإظهار نتائج تحليل الإجهادات الميكانيكية



الشكل 2: تصميم النموذج التعويضي للجزء المستأصل

أيضاً اسْتُخْدِمَ هذا البرنامج لإجراء التحليل بالعناصر المنتهية للفك السفلي حيث يحتوي هذا البرنامج الواسع على العديد من البرامج الفرعية التي منها برنامج معالجة أولية لإظهار الشكل الهندسي للفك وتعديله الذي اسْتُخْدِمَ

لإنتاج الشبكة التي ستستخدم في التحليل بالعناصر المنتهية (الشكل 3)، ثم حُدِّتْ خواص المادة المدروسة، وطُبِّقَتْ الأحمال ومناطق التثبيت المناسبة إلى الشبكة الهندسية، في النهاية أُظهِرَتْ قيم الإجهادات المكافئة Von Mises وانزياحات النموذج بشكل ترسمي في كل عقدة من الشبكة، وتم الحصول على القيم الرقمية الموافقة.



الشكل 3 : الشبكة الهندسية التي تمثل العناصر المنتهية التي تُخَمَّنُ فيها الاستجابة الميكانيكية للنموذج

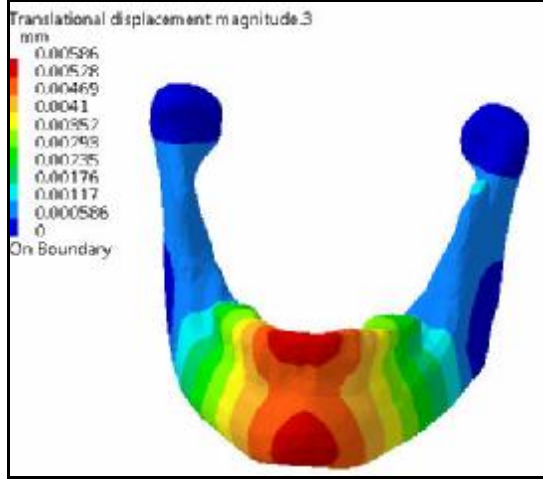
تطبيق الخواص الميكانيكية للمادة التعويضية: تُحَدِّدُ بواسون، إذ يبيِّن الجدول (1) القيم المستخدمة لكل من الخاصية الميكانيكية للعظم المتمثلة بقيم معامل يونغ ونسبة العظم الطبيعي والقسم التعويضي وأوتاد التثبيت¹¹.
الجدول 1 : قيم معاملي يونغ و بواسون للمواد المستخدمة في النمذجة، وهي قيم تعبر عن الخصائص الميكانيكية لتلك المواد

المادة	معامل يونغ (باسكال)	معامل بواسون
العظم	1.37×10^{10}	0.3
النموذج التعويضي (بولي ميثيل ميتاكريليت)	2.553×10^9	0.4
مادة التثبيت (تيتانيوم)	12×10^{11}	0.36

الشروط الحدية المطبقة: في كل حالة من الدراسة طُبِّقَ

نوعان من القوى: قوة مضغ بشدة 120 نيوتناً على الضاحكين السفليين، كما طُبِّقَتْ قوة إطباق بشدة 60 نيوتناً على التنايا¹⁰.

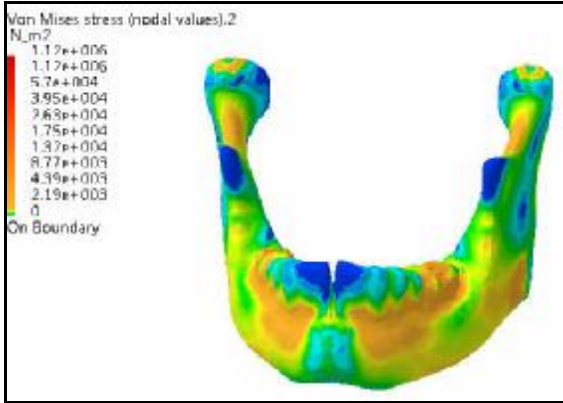
في كل من الحالتين، حُسِبَ الاختلاف النسبي بين القيم الأعظمية للإجهادات والإزاحات المستحصلة، ثم حُسِبَتِ القيمة الوسطية لهما بغية تحديد الأثر الإجمالي لتقنية التثبيت على استقرار الفك.



الشكل 5 : المجموع الشعاعي للإزاحات الناتجة عن تطبيق قوى العض في نموذج الفك الطبيعي

تحليل العناصر المنتهية للفك المعاد بناؤه:

في حالة الفك المعاد بناؤه بلغت القيم الأعظمية للإجهادات والإزاحات بعد استئصال القسم الورمي وتعويضه وتثبيتته القيم 1.12×10^6 (Pa) و 0.00272 ملم على الترتيب. (الشكلان 6 و 7).

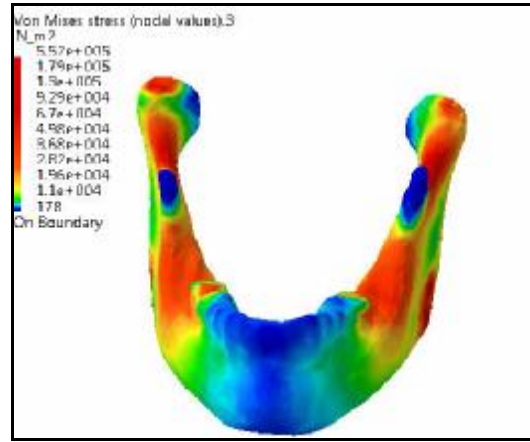


الشكل 6 : قيم الإجهادات الناتجة عن تطبيق قوى المضغ على النموذج التعويضي المقترح

مضغ وإطباق محددة، ولهذا نبين فيما بعد نتائج تحليل الفك الطبيعي بغية مقارنتها بنتائج الفك المعاد بناؤه.

تحليل العناصر المنتهية للفك الطبيعي:

في الفك السفلي الطبيعي أظهرت قيم المجموع الجبري لإزاحات النموذج (مقدرة بالملم) والإجهادات المكافئة Von Mises (مقدرة بالباسكال Pa) ضمن كل عقدة. يبين الشكل (4) توزع قيم الإجهادات المكافئة كنتيجة تطبيق القوة 120 نيوتناً على الأرحاء الأولى.



الشكل 4 : توزع الإجهادات المكافئة في نموذج الفك الطبيعي

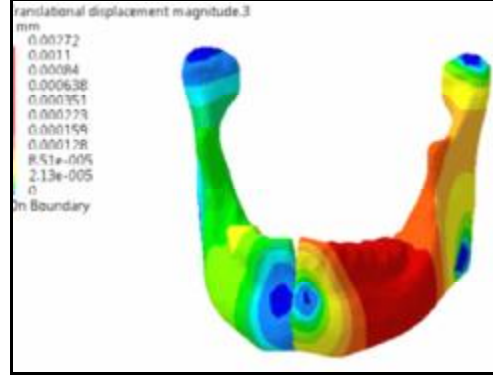
تظهر مناطق الإجهادات العالية 5.52×10^5 (Pa) في الجهة الأمامية للمفصل الفكي الصدغي خلف الشوكة الفكية وعلى طول المنطقة خلف الأرحاء، في حين تدرجت قيم الإجهادات في المنطقة الأمامية الوسطى بين 178 (Pa) حتى القيمة 1.96×10^4 (Pa) تقريباً.

تظهر النتائج أيضاً قيمة إجهاد أعظمية على العظم بقيمة 5.52×10^5 (Pa) في حال تطبيق القوة 120 نيوتناً، في حين كانت القيمة الأعظمية لهذا الإجهاد مساوية للقيمة 5.93×10^5 (Pa) لدى تطبيق القوة 60 نيوتناً. كما كانت القيمة الأعظمية لمجموع الإزاحات مساوية للقيمة 0.004 ملم تقريباً (الشكل 5).

وزملائه الذين قاموا بتصميم نموذج حيوي فيزيولوجي بناء على المعطيات التشريحية والفيزيولوجية والميكانيكية المحيطة بالفك السفلي¹⁰، يمكن عدّ قيم الإجهادات الناتجة عن التعويض المقترح واقعة ضمن الحدود المسموحة، وهو يوافق من حيث المبدأ ما توصل إليه Atilgan وزملاؤه الذين قاموا بدراسة فعالية نماذج مختلفة من صفائح إعادة البناء الجاهزة باستخدام العناصر المنتهية لتحديد الشكل الأمثل³، ومن ثمّ فإن طريقة التعويض المقترحة في هذه الدراسة ستعمل على إنتاج فك سفلي ناجح تشريحياً ووظيفياً، وهذا هو أهم أهداف الجراحة التجميلية والتعويضية.

وبهذا فإنه بتطبيق تقنية التجزئة والمحاكاة باستخدام البرامج المذكورة، تكون صور الطبقي المحوري قد أضافت إيجابيات إلى التقنية الجراحية مقارنة بالطرائق التقليدية. من جهة ثانية، تسمح نوعية هذه البرامج أن يمتلك الجراح رؤية أوسع عن توضع المنطقة الجراحية، وهي تمكنه من التخطيط المسبق للجراحة؛ وذلك أفضل من أن يقوم بالمخاطرة وبالتخطيط للجراحة ضمن غرفة العمليات وفي أثناء وضع المريض تحت التخدير، وبهذا فإن الدمج المشترك بين كل من برنامجي Mimics و Catia سيعمل على تقليص وقت التداخل الجراحي بشكل كبير، كما أنه سيسمح بالتعامل مع صور طبية، وهذا ما يحقق تفاعلاً مباشراً بين الشكل الهندسي للفك والخطة التشخيصية من جهة وبين نموذج محاكاة التداخل الجراحي، وذلك بأعلى دقة ممكنة قبل التنفيذ الفعلي لهذا التداخل من جهة أخرى.

يمكن توسيع العمل الحالي بإنتاج طباعة سريعة للنماذج الترميمية التي صنّعت، إذ يمكن الحصول في البداية على النموذج المصنوع على شكل قطعة بلاستيكية تُعالج وتُقص وتُنقّب لتستخدم كتعويض جراحي نهائي أو مؤقت تكون وظيفته توجيه نمو الأنسجة الرخوة والندبية ويهيئ المنطقة



الشكل 7 : المجموع الشعاعي للإزاحات الناتجة عن تطبيق قوى العض في نموذج الفك المعاد بناؤه

المناقشة:

اقتُرحت هذه الدراسة لتصميم نموذج تعويضي لأي حالات ورمية مترابطة مع فقد عظمي أو نسيجي يستدعي تداخلاً جراحياً وتعويضاً تجميلاً ووظيفياً.

في الواقع فإن الطرائق المقترحة لتحقيق ذلك هي عبارة عن طرائق تجريبية مرتبطة بخبرة الجراح وممارسته، وهي لا تتيح إمكانية تجريب أكثر من احتمال.

إن الفكرة الأساسية من هذا البحث هي القدرة من استثمار البرمجيات الهندسية الخاصة بمعالجة الصور الطبية وبالنمذجة والمحاكاة الطبية في تنفيذ العمل الجراحي ضمن بيئة حاسوبية افتراضية تحاكي الواقع السريري. يندرج وراء ذلك إيجابيات عديدة تتمثل في القدرة على تحقيق نماذج تعويضية دقيقة بأبعاد قريبة من منطقة الفقد، كما أنها تتيح إمكانية تقييم تقنية التثبيت الجراحي واستقرارها الميكانيكي، وهذا ما لم يكن ممكناً في الطرائق التقليدية.

نتج عن عملية محاكاة التعويض الجراحي زيادة القيمة الأعظمية للإجهاد المكافئ Von Mises لمنطقة الفك السفلي بنسبة 36 %، وانخفاض قيمة المجموع الجبري لإزاحات النموذج بنسبة 10 %.

بالأخذ بالحسبان قيمة حد تحطم عظم الفك السفلي Tensile Strength (نحو 100 MPa) وهنا اعتمدت قيم Kober

لاستقبال الطعم العظمي والتعويض الجراحي النهائي، كما يمنع الفك السفلي من الانزياح بتأثير القوى العضلية والوظيفية المختلفة، ومن ثم يمكن إنتاج نموذج معدني من التيتانيوم وتثبيته إلى الطعوم العظمية المأخوذة من المنطقة الحرقفية بواسطة براغ معدنية. تظهر هذه الفكرة فعالية الطباعة التنفيذية السريعة Rapid prototyping والبرامج الهندسية الراجعة في تصنيع نماذج ترميمية للفك السفلي المناسبة لترميم العظم الناتج عن الاستئصال الورمي. كما تسمح بفحص نموذج الترميم المصحح قبل أن يُركَّب خلال العمل الجراحي، وهو أيضاً تخصصات طب الأسنان المختلفة.

References

1. R.S. Snell, "Clinical Anatomy ", 7th edition, vol. 4, 2003, Pearls
2. D.M. Wang, C.T. Wang, A.L. Qu, X.L. Xu, C.P. Zhang, "Design and biomechanical analysis of a novel mandibular prosthesis", IFMBE Proceedings vol. 14, no.5, pp 2797- 2799, 2007
3. S. Atilgan, B. Erol, A. Yardimeden, F. Yaman, M.C. Ucan, N. Gunes, Y. Atalay, I. Kose, "A three dimensional analysis of reconstruction plates used in different mandibular defects a 3D analysis of reconstruction plates used in different mandibular defects", Biotechnol. & Biotechnol. Eq. vol. 24, no.2, pp. 1893-1896, 2010
4. S. Singare, L. D.L. Bingheng, L. Yanpu, G. Zhenyu, L. Yaxiong, "Design and fabrication of custom mandible titanium tray based on rapid prototyping", Journal of Medical Engineering and Physics, pp. 671-676, 2004.
5. E. Armentani, F. Caputo, R. Citarella, "FEM sensitivity analyses on the stress levels in a human mandible with a varying ATM modeling complexity", The Open Mechanical Engineering Journal, pp. 8-15, 2010
6. A. Lanza, L. Laino, L. Rossiello, L. Perillo, A. D. Ermo, N. Cirillo, "Giant cell tumor of the jaw mimicking bone malignancy on three dimensional computed tomography (3D-CT) reconstruction" , The Open Dentistry Journal ,pp 73-77, 2008.
7. P. Boyne, "Osseous reconstruction of the maxilla and the mandible: surgical techniques using titanium mesh and bone mineral". Chicago, 1997, Quintessence.
8. N. Chaudhary, S. T. Lovald, J. Wagner, T. Khraishi, B. Baack, "Experimental and numerical modeling of screws used for rigid internal fixation of mandibular fractures", Modelling and Simulation in Engineering,, pp. 1-11, 2008.
9. A. Boccaccio, L. Lamberti, C.Pappalettere, M. Cozzani, G. Sicilianie, "Comparison of different orthodontic devices for mandibular symphyseal distraction osteogenesis: A finite element study", American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics, pp 260-269, 2006
10. C. Kober, B. Erdmann, J. Lang, R. Sader, H.F. Zeilhofer, "Adaptive Finite Element Simulation of the Human Mandible Using a New Physiological Model of the Masticatory Muscles", ZIB-Report, pp-04-16 , 2004
11. H.H Ammar, P. Ngan, R.J.Crout, V.H. Mucino, and O.M. Mukdadi, "Three-dimensional modeling and finite element analysis in treatment planning for orthodontic tooth movement", American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics, Vol 13, Issue 1, American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics, pp. 59-7, 2011.

تاريخ ورود البحث إلى مجلة جامعة دمشق 2013/6/3.

تاريخ قبوله للنشر 2013/9/29.