

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 22 日現在

機関番号：32710

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24500559

研究課題名(和文)有限要素法と4次元咀嚼筋解析システムによるスクエアマンディブルの病態解析

研究課題名(英文) Etiological analysis of Square mandible by finite element method and 4-dimensional muscle model

研究代表者

中岡 一敏 (NAKAOKA, KAZUTOSHI)

鶴見大学・歯学部・講師

研究者番号：50298262

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,200,000円

研究成果の概要(和文)：下顎角が著しく張り出した顔貌と無痛性開口障害を特徴とするスクエアマンディブル(咀嚼筋腱・腱膜過形成症)に対して、4次元咀嚼筋モデルを構築するとともに術前後のデータ解析から病態解明を試みてきた。

今回は、本疾患患者のCTデータから個別別の有限要素モデルを作成し、さらに患者の顎運動データを統合することで、下顎骨体に生じる応力分布を解析し、本疾患の病態との関連性について調べた。現在までのところ、本解析システムが適用できた症例では、開閉口時に下顎骨に掛かる最大応力が筋突起と下顎角に集中していることが確認された。これは、本疾患に特徴的な形態変化の発現部位と合致している。

研究成果の概要(英文)：Square mandible (Masticatory muscle tendon-aponeurosis hyperplasia:MMTAH) is characterized by painless limitation of mouth opening and square mandible configuration. We have clinically applied the 4-dimensional muscle model to explore the pathology of MMTAH. In this study, we examined the relationship of the stress distribution of the mandibular body with the pathology of MMTAH. Concretely, it was analyzed by integration of the data of the patients' mandibular movements into the individual finite element model reconstructed using the patients' CT data. As a result, the maximum stress was concentrated on the coronoid process and the mandibular angle during mouth opening and mouth closing in the MMTAH patients. It is interesting to note that the portion of stress concentration was in accordance with that of the mandibular hyperplasia in the MMTAH patients.

研究分野：口腔外科

キーワード：有限要素法 4次元咀嚼筋解析 咀嚼筋腱・腱膜過形成症

1. 研究開始当初の背景

無痛性開口障害と顎角部が張り出した四角い顔貌を特徴とするスクエアマンディブル(咀嚼筋腱・腱膜過形成症)は、咀嚼筋に腱や腱膜が過形成することで、筋の伸展性が低下し重篤な開口障害を来すと考えられている。その病態は不明な点が多く、治療法にコンセンサスが得られていないのが現状である。従来の各種画像検査のみで異常部位の評価、治療対象とするべき咀嚼筋の同定は困難であることから、我々の研究チームでは、医用工学技術を応用して、患者のX線データからの3次元再構成画像と患者の下顎運動データの座標を統合することで、患者の咀嚼筋の病態モデル(4次元咀嚼筋解析システム)を構築し、さらには、患者の術前後のデータ解析から、その成因、病態について解明を試みてきた。その結果、本疾患の主要原因は側頭筋の伸展障害にあることが示唆され、実際に側頭筋をメインターゲットとした外科療法により開口制限は著明に改善され、良好な治療結果が得られている。

側頭筋の伸展障害は、本疾患の特徴である顎角部すなわち咬筋停止部の過形成により生じる四角い顔貌の成因の説明因子としては疑問が生じる。そこで、本研究においては、開口障害の成因と考える側頭筋の伸展障害と、咬筋への影響を応力解析の観点から研究を立案した。つまり、原因となるのは側頭筋、特徴を示すのは咬筋と考えられるが、その関連性については明らかでない。そこで、今回の研究目的は、咀嚼筋腱・腱膜過形成症患者において個別の有限要素下顎骨病態モデルを構築、応力解析することで、本疾患の成因、病態について解明することである。

2. 研究の目的

顎運動により顎顔面に生じる応力状態と顎骨形態には相関があると考えられている。咀嚼筋腱・腱膜過形成症患者における特異な下顎運動により顎骨に作用する筋の牽引力の他、持続的な咬合力、下顎頭反力などの力学状態は、特徴的な下顎骨形態の形成に大きな影響を与えていると考えられる。そこで今回、本疾患患者のCTデータから個別の有限要素モデルを作成し、さらに患者の下顎運動データを統合する。これより、適切な力学条件が設定された有限要素モデルにおいて下顎骨体に生じる応力状態を探ることで、応力メカニズムと病態成因について言及する。

近年コーンビームCT装置の開発により精度の高い画像情報から、硬組織のみならず軟組織である咀嚼筋群の3次元再構築が容易に行えるようになった。これにより、正確な硬、軟組織の3次元再構築画像の作成と、正確な顎運動測定から、我々が開発した4次元咀嚼

筋解析システムを用いて仮想空間内で患者の下顎運動とともに咀嚼筋の動態を把握することが可能となった。さらに、CTデータに基づく個別モデリング手法による3次元有限要素モデルの構築により、各個体の特徴を精度の高い状態で再現が可能で、下顎骨の形態と応力状態の特徴についての把握が可能となっている。これにより本疾患に特有の下顎骨形態と応力状態の相関性をより高い精度で調べることが可能で、病態の成因解明と新しい治療方法の開発そして予防方法の確立が本研究の意義となる。

3. 研究の方法

対象に対して、4次元咀嚼筋解析システムと個別有限要素モデリングを適用し、個別に下顎骨の応力解析を行う。まず、医用工学技術を応用して、対象の3次元再構成画像と下顎運動データの座標を統合することで、4次元咀嚼筋解析システムを構築する。別に、DICOMデータからモデリングソフトウェアを用いた個別3次元モデルを構築後、有限要素解析ソフトウェアを用いて、個別の有限要素モデルの作成と解析を行う。この際、4次元咀嚼筋解析システムの結果から各下顎運動時における応力解析に必要な力学条件を確定し、先の個別有限要素モデルに設定することで、各運動時(開口時、咬合時)の応力解析を行う。

具体的には、各被験者のDICOMデータからモデリングソフトウェアを用いて個別の3次元再構築画像を作成する。有限要素モデルの作成と解析は、有限要素解析ソフトウェアを用いる。各モデルは自動要素分割により要素分割を行い、要素形状を四面体二次要素とした約65万節点・約50万要素からなる各個体の顎態の特徴を詳細に再現したものである。構成要素となる歯、皮質骨、海綿骨の材料定数は線形静解析で用いるヤング率およびポアソン比の一般的数値を入力する。

咬合時の拘束条件としては、左右の顎関節を拘束点として設定する。荷重条件としては感圧シート(Dental prescale)から歯列に生じる荷重と咬合接触部位を測定し、有限要素モデルに負荷をかける。これと同時に、側頭筋、咬筋、内側翼突筋、外側翼突筋の牽引方向を4次元咀嚼筋解析システムから決定し、筋による負荷も有限要素モデルに設定する。一方、開口時の拘束条件としては、伸展率が低い側頭筋、左右顎関節を拘束点として設定し、荷重条件は、4次元咀嚼筋解析システムにより荷重量、荷重方向を算出し、伸展する咬筋、内側翼突筋、外側翼突筋を対象として設定する。それぞれの応力状態としては、各要素において最大主応力、最小主応力、von Mises 応力を算出し、三次元モデルに応力分

布を表示させる。

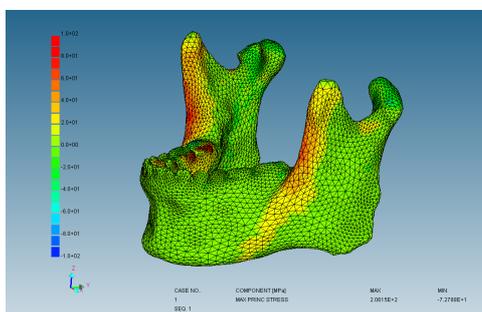
次に、咀嚼筋腱・腱膜過形成症患者に、上記手法を応用することで、各種咀嚼筋の動作異常、下顎骨への応力解析結果について検証する。データ解析、評価より得られた診断、治療方針に従い実際に手術を施行する。術前後の解析結果と術後の治療効果判定、健常者との比較検討により、本疾患の成因、病態について言及する。

4. 研究成果

平成 24 年度では、咀嚼筋腱・腱膜過形成症患者と健常者の個体別 3 次元モデルと咀嚼筋モデルの構築まで終了し、平成 25 年度は有限要素解析ソフトウェアの開発が終了した。平成 26 年度は、これらを用いた個体別の有限要素モデル作成と解析を進めた。

現在までのところ、本解析システムが適用できた疾患症例では、咬合時の最大主応力は筋突起から斜線付近、オトガイ棘に集中し、最小主応力は臼歯部、下顎枝遠心側に集中していた。開口時の最大主応力はオトガイ孔、オトガイ棘付近に集中していたが、咬合時に比べると応力値は小さい値であった。最小主応力は筋突起から下顎枝にかけて集中していた。ミーゼス応力を観察すると、咬合時は下顎枝遠心側、開口時は筋突起付近に応力集中が見られた。スクエア・シェイプド・マンディブルに特徴的な張り出した顎角部に応力が集中したのは、咬合時と開口時の最大主応力であった。

開閉口時の最大主応力が筋突起部と下顎角に集中していることが確認されており、本疾患に特徴的な下顎骨過形成部位と合致しており、興味深い結果が得られている。しかしながら、有限要素解析を適用するにあたり、臨床データが不十分な症例もあるため、新規患者による臨床データの追加採得を行っている。



< 引用文献 >

Shigeta Y, Suzuki N, Otake Y, Hattori A, Ogawa T, Fukushima S. Four-dimensional analysis of mandibular movements with optical

position measuring and real-time imaging. *Medicine Meets Virtual Reality*.11 2003;315-7.

Hirai S, Ogawa T, Shigeta Y, Ando E, Hirabayashi R, Ikawa T, Kasama S, Fukushima S, Matsuka Y. Characteristics of mandibular movements in patients with square mandible. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*. 2009;108(5):e75-81

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 1 件)

Kazutoshi Nakaoka, Yoshiki Hamada, Hayaki Nakatani, Yuko Shigeta, Shinya Hirai, Tomoko Ikawa, Akira Mishima, Takumi Ogawa. Surgical intervention for masticatory muscle tendon-aponeurosis hyperplasia based on the diagnosis using the 4-dimensional muscle model. *Journal of Craniofacial Surgery*. 査読有. 2015 In press.

〔学会発表〕(計 3 件)

木原琢也, 井川知子, 平林里大, 佐々木圭太, 重田優子, 安藤栄里子, 平井真也, 藤井俊朗, 青山繁, 二川浩樹, 小川 匠. 患者固有データを用いた有限要素モデルの構築～咬合要素について～. 平成 24 年度(社)日本補綴歯科学会西関東支部学術大会. 神奈川県歯科保健総合センター, 神奈川県歯科医師会館(神奈川県横浜市). 2013 年 1 月 20 日

木原琢也, 平林里大, 井川知子, 佐々木圭太, 重田優子, 藤井俊朗, 小川 匠. 患者の解剖学的形態に咬合状態を付与した有限要素解析による応力シミュレーション. 一般社団法人日本全身咬合学会第 22 回学術大会. 鶴見大学会館(神奈川県横浜市). 2012 年 11 月 24-25 日

木原琢也, 井川知子, 佐々木圭太, 重田優子, 安藤栄里子, 平林里大, 平井真也, 二川浩樹, 小川 匠. 患者固有の咬合接触を付与した有限要素モデルの構築. 第 121 日本補綴歯科学会学術大会. 神奈川県民ホール(神奈川県横浜市). 2012 年 5 月 26 日.

6. 研究組織

(1)研究代表者

中岡 一敏 (NAKAOKA Kazutoshi)
鶴見大学・歯学部・講師
研究者番号：50298262

(2)連携研究者

濱田 良樹 (HAMADA Yoshiki)
鶴見大学・歯学部・教授
研究者番号：70247336

小川 匠 (OGAWA Takumi)
鶴見大学・歯学部・教授
研究者番号：20267537