

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 8 日現在

機関番号：14301

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2014

課題番号：24792140

研究課題名(和文) 多種のMRI画像情報を応用した高精度顎運動力学解析システムの開発と適用

研究課題名(英文) Development of a mandibular movement analytical technique using multi-section dynamic MRI and muscle MRI

研究代表者

中井 隆介 (Ryusuke, Nakai)

京都大学・再生医科学研究所・研究員

研究者番号：10576234

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：高磁場MRI装置を用いて、顎関節部および咀嚼筋の種々の画像の取得、および、下顎運動時の動的画像の取得を行った。また、この下顎運動を医用画像から自動的に計測し、運動軌跡を抽出するソフトウェアの開発を行った。この解析の結果、下顎運動の左右方向の移動距離と咬筋の体積の左右比に正の相関があることが判明した。また、関節円板に異常がある被験者は、異常が無い被験者に比べ、下顎頭の左右方向の変位が大きいことがわかった。さらに、このMR計測情報を応用した有限要素法による力学解析を行ったところ、関節円板に異常のある被験者はより応力が高くなる要素が存在することがわかった。

研究成果の概要(英文)：Using human high-field MR system, I acquired dynamic images of mandibular movement and various kinds of MR images of temporomandibular joints and masticatory muscles. In addition, I developed a new software which could analyze mandibular movement and extract motion trajectories using MR images automatically. As a result, the measurements of mandibular movement suggested that disorder in the articular disk was related to displacement in the LR direction. Also, subjects with large dislocation of the articular disk had a large difference in the masseter muscle between the right and left sides. Then, the automatic measurement technique had very good precision. This technique gives precise information that can facilitate diagnosis of temporomandibular joint disorder and mandibular movement disturbance. Furthermore, I performed the biomechanical analysis by FEM. As a result, it was revealed that the subjects with TMJ disorders had the element that was high in stress.

研究分野：生体医工学

キーワード：MRI シミュレーション 医工学 情報工学 生体力学

1. 研究開始当初の背景

近年、顎関節疾患の患者数は増加傾向にあり、歯科口腔領域における治療課題の1つとされているが、その原因の特定や治療法の確立に至っていないのが現状である。この理由は、疾患の要因が複雑であることが考えられる。このような複雑な要因は顎関節の複雑な構造、動きと関係がある。下顎骨と上顎骨の間に左右1つずつ顎関節(関節円板)があり、下顎の動きは左右それぞれ3次元的に動く関節円板と多くの筋肉が関係し、非常に複雑な動きとなる。さらに関節円板はズレやすく、円板の転位で多くの障害が現れる。そして、これらの異常運動は個人個人によって異なるために問題を複雑化させている。このような問題に対応するためには個々の問題点の切り分けと判別、それぞれに対する評価・治療方法の確立が重要となる。現在、X線投影像やCTを用いた顎運動の解析、視覚化の研究はなされている[1]が、この手法では関節円板や筋肉等の軟組織の評価が難しい。さらにX線被爆という問題も生じる。MRIは軟組織の撮像が得意であり、さらに形態計測だけでなく、機能をも計測することが可能な装置である。本申請では、このようなMRIの特色を活かし、MRIから下顎運動情報、顎関節円板、咀嚼筋状態の情報を取得する。そして、これらの情報を用いて顎顔面領域の有限要素法(FEM)を用いた高精度な力学解析システムを構築し、関節円板異常・下顎運動異常の分析を行う。

2. 研究の目的

本研究の目的は、多種のMRI画像等を用いて被験者の情報を取得し、それらの情報を分析、顎顔面領域の有限要素法を用いた高精度な力学解析システムを構築、解析することで、力学的状態を明らかにし、種々の関節円板異常・下顎運動異常の因果関係の分析を行うことである。本研究の結果として、因果関係や発生メカニズムが判明することにより、顎関節疾患診断に対して有意義な情報を提供し、診断の一助となると考えた。また、この解析システムは、臨床現場における問題点の分析にも使用できると考えられる。本研究は各種情報の取得に多種のMRI画像を用いるところで大きな特色を持っている。顎運動の計測は多断面超高速MRIを用いて行う。このことにより3次元的な動きを左右の顎関節両方に対して捕捉することができる。顎関節の運動は3次元的に左右で複雑な運動を行うが、通常の下顎運動計測器では下顎の動きを見ているだけであり、関節運動を測定することは困難である。さらにモーションキャプチャなどを使用しても外部の動作のみで内部の情報まで得ることはできない。しかし、これに対しMRIを使用することにより、内部組織の動作まで把握することが可能となる。特にMRIは軟組織の画像化が得意であり、

顎運動にとって非常に重要である関節円板を捉えることができる。また、MRIは形態以外の組織内部構造等に関する複数の情報も得ることができる。本研究では、これらのことを活かし多種の詳細な組織や運動の情報を力学解析システムに与える。これはMRIを使うことで実現できた手法である。

3. 研究の方法

(1)MRI撮像

京都大学再生医科学研究所のMRI装置(Siemens社製MAGNETOM Sonata 1.5T(maximum amplitude 40mT/m, slew rate 200 T/m/second))を使用し、コイルはヘッドコイルおよびダブルループコイルを用いた。顎運動撮像では、True FISP(fast imaging with steady state precession)シーケンスの応用によって多断面同時撮像を行った。このシーケンスを用いることで高い信号ノイズ比と短い撮像時間での撮像を可能とした。撮像は、左右側下顎頭顆路面、下顎運動を計測するときの最も一般的な計測点である下顎中切歯の運動軌跡を得るための正中矢状断面、開閉口時に顎関節部の水平方向の動きを得るための複数の顎関節部水平断面を対象とした。両顎関節の静的な撮像には高解像度のspin echoシーケンスを用いた。咀嚼筋の撮像では、複数の撮像手法を用いて分析を行った。具体的には高解像度MPRAGE(magnetization prepared rapid gradient echo)シーケンスを用いた筋肉のポリウム解析、T1値、T2値撮像を用いた特性解析、twice refocused spin echo EPI Diffusionシーケンスを使用した筋肉の内部構造解析を実施した。

(2)画像解析

顎運動解析では、MR画像上で計測ポイントとリファレンスポイントを定め、座標変換を行い相対座標を用いて下顎運動のみを計測する必要がある。この計測処理のために、各運動位置における下顎骨の骨頭の位置を正確に計測することが可能な顎運動画像処理計測ソフトウェアの開発を行い、計測処理を行った。関節円板については、各画像においてROI抽出を行い、抽出形状の分析を行う。筋肉の解析では、それぞれのシーケンスにおいて取得した画像に対し解析を行う。筋肉の形状分析では、画像解析ソフトウェアVGStudio MAX 1.2(Volume Graphic, Germany)を用いて解析を行った。T1値、T2値計測は開発した専用ソフトウェアを用いて計測を行った。Diffusion Tensor MRIを用いた筋肉の内部構造解析についても、自作したソフトウェアを用いて各特性値画像を作成し、数値分析を行った。

(3)有限要素法応力解析

MRI画像から取得した種々の情報を元に、3

次元顎運動有限要素モデルを作成し、力学解析システムの構築を行った。顎骨像から3次元顎運動有限要素モデルを構築し、顎運動パラメータと関節円板の特性値を決定し、モデルとして定義する。次に有限要素法解析ソフトウェア(ANSYS, ANSYS, Inc., USA)およびその連携モジュールを使用し、各3次元ボリュームデータに対してメッシュ生成を行い、要素の最適化を行った。さらに筋力とその附着部位、拘束条件、非線形解析条件としての運動データを入力した。全体のシミュレーション設定を完了した後、力学解析を実行し、結果の分析を行った。

4. 研究成果

(1) 被験者に対して下顎運動の計測・解析を行った結果、多くの被験者において顎関節の異常が見つかった。そして、種々のMR画像を用いた咬合筋と顎関節部の分析を行うことにより、下顎運動の軌跡の異常と関節円板転位および咬筋の状態に関連性があることを明らかとなった。その中で、特に下顎運動時のLR方向への変位は、左右の咬筋の体積差(図1)、および、MD値(平均拡散係数)等と高い相関を持っていた。

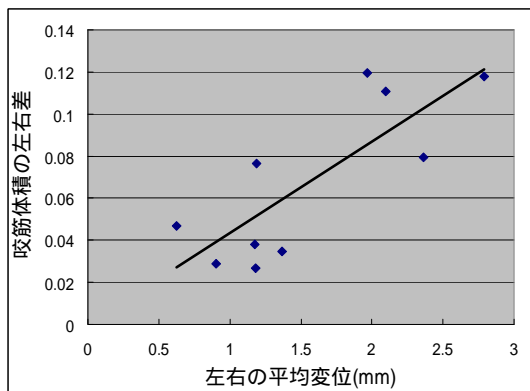


図1. 顎運動の左右方向への変位と咬筋体積の左右差との相関

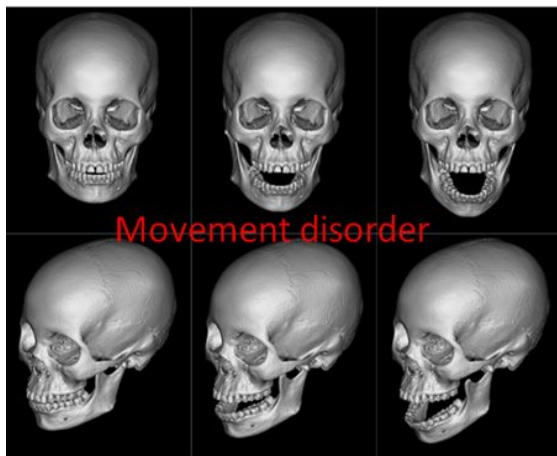


図2. 異常者の顎運動

また、顎運動異常者の顎運動を、3次元的に可視化することが可能なソフトウェア(図2)を行った。これにより、自分の顎運動の異常をわかりやすく確認することが可能となった。

(2) 顎運動の計測として、自動的に動的撮像データを処理可能な自動処理手法の開発を行った。具体的には、骨部抽出処理およびマッチング処理等を適用し、運動軌跡を取得した。自動処理により得られた軌跡と熟練者による軌跡の抽出結果を比較したところ(図3、4)、各点の平均距離差は1pixel以内であり、非常に精度よく計測が行われていることが示された。

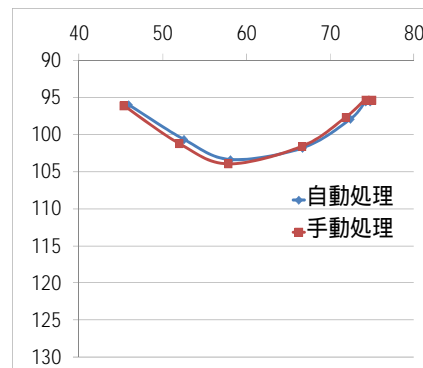


図3. 手動計測処理と自動計測処理での下顎頭の軌跡の比較(開口時)

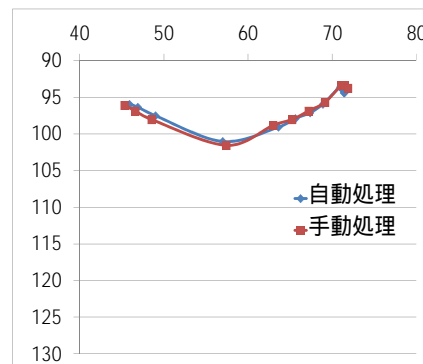


図4. 手動計測処理と自動計測処理での下顎頭の軌跡の比較(閉口時)

(3) 得られた顎運動データを組み込んだ力学解析システムの開発のため、有限要素法(FEM)解析ソフトウェアを用いて、医用画像から顎顔面領域の有限要素モデルを作成し、その中にMRIによる顎運動解析の情報、顎関節の情報および咬合筋解析の情報等の各種情報を組み込んだ(図5)。このシステムを用いて力学解析を行った結果、顎運動異常による顎の力学的状況の変化、顎関節異常によって応力の高い要素が出現することがわかった。これは今後の臨床での顎関節症診断において有用な情報となりえると考えられる。

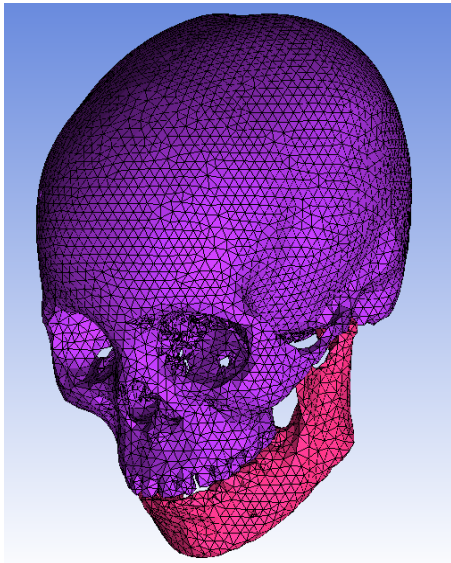


図 5. 頭蓋骨の有限要素モデル

(2)研究協力者
若槻 麻里子 (WAKATSUKI MARIKO)

<引用文献>

Baltali E, Zhao KD, Koff MF, Durmuş E, An KN, Keller EE., Kinematic assessment of the temporomandibular joint before and after partial metal fossa eminence replacement surgery: a prospective study. J Oral Maxillofac Surg, 2008 66(7), 1383-9

5 . 主な発表論文等

〔学会発表〕(計 3 件)

Nakai R, Automated analysis of three-dimensional mandibular movement using multi-section dynamic MRI., Joint Annual Meeting ISMRM & ESMRMB 2014, 2014.5.10-16, Milan(Italy)

中井隆介、下顎運動の動的撮像データに対する処理手法の開発、第 41 回日本磁気共鳴医学会大会、2013 年 9 月 20 日、アスティとくしま(徳島)

Nakai R, Analysis of the relationship of mandibular movement with the condition of the masseter muscles and the temporomandibular joint using multi-section dynamic MRI and DTI and a T1, T2 map., ISMRM 21st Annual Meeting & Exhibition, 2013.4.20-26, Salt Lake City (USA)

6 . 研究組織

(1)研究代表者

中井 隆介 (NAKAI RYUSUKE)
京都大学・再生医科学研究所・研究員
研究者番号：10576234