

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 16 日現在

機関番号：13101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2012～2015

課題番号：24593086

研究課題名(和文)有限要素法と骨リモデリングシミュレーションによる効果的顎変形症治療システムの開発

研究課題名(英文) Development of the diagnostic system for skeletal asymmetry using the simulation of bone remodeling and 3D FEM

研究代表者

渡邊 直子 (NAOKO, WATANABE)

新潟大学・医歯(薬)学総合研究科・非常勤講師

研究者番号：10397143

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円

研究成果の概要(和文)：顎変形症偏位咬合モデルの有限要素解析において、上下顎骨において応力不均衡が認められた。また、臼歯部の頬舌的な歯の傾斜、解析の要素である咀嚼筋の幅径、付着部位の不均衡から、歯槽骨レベルでの応力の不均衡が明らかとなった。

さらに、治療後のモデルに対して行った有限要素解析にて、上顎骨においては応力不均衡の是正が是正される傾向が認められたが、下顎骨体部での応力分布には顕著な変化が認められず、歯槽骨のレベルにおいても、応力の不均衡が認められた。

本研究結果より、今後更に治療後モデルの設定には咀嚼筋群を含めた周囲組織の変化も考慮にいれる必要があることが示唆された。

研究成果の概要(英文)：The finite element models of the skull with deviated occlusion were constructed using CT images, and then the loading conditions were set depending on the direction and cross sectional area of the masticatory muscles. As a result, the model showed imbalanced stress distribution in both maxilla and mandible. Furthermore, alveolar bones also showed imbalanced stress distribution. Then, to elucidate the effects of the treatment changes on the deviated occlusion, treatment models were created using the original deviated skull. The loading conditions were set based on the patient's original loading conditions. As a result, the imbalanced stress distribution was reduced in the maxilla. However, the imbalanced stress distribution showed little change in the mandibular body and alveolar bones.

These results of this study suggested that the loading conditions for the treatment model should be considered the changes of the masticatory muscles and surrounding tissues during the treatment.

研究分野：歯科矯正学

キーワード：歯科矯正学 顎変形症 有限要素解析

1. 研究開始当初の背景

近年、矯正臨床において、顔面非対称あるいは偏位咬合を伴う顎変形症患者の増加を実感する。新潟大学医歯学総合病院においても、顎変形症と診断し、顎矯正手術を併用する外科的矯正治療適応患者のうち、偏位咬合を呈する患者が約5割を占めるに至っている。

偏位咬合が生じる原因として、恒常的に加わる負荷 - 咀嚼 - による応力の左右非対称による下顎骨成長の左右不均衡が考えられてきた。すなわち、片側に過剰な負荷がかかることにより、成長が抑制又は促進されるという説である。これは申請者が以前に行った基礎的研究結果、骨軟骨部では力学的に過剰な刺激によって成長が抑制されるという事実からも推察される。そこで、これまでに申請者は、三次元有限要素解析ソフトを用い、サル下顎頭のmicro CT画像データおよびヒトCT画像データから咀嚼運動時の下顎頭への応力分布の左右差を検討してきた。さらに、成長に伴う偏位咬合の増悪には、下顎骨全体の応力の分布とそれによる骨の変形過程を明らかにする必要があると考え、研究分担者齋藤とともに下顎骨形態の偏位過程をシミュレーションしてきた。この研究により、咀嚼筋の不均衡、習慣的咀嚼によるメカニカルストレスと下顎骨形態的左右差(偏位)との間には関連性のあることが明らかになった。この研究結果は、習慣性咀嚼により生じる負荷の偏在によって骨のリモデリングが下顎骨形態左右差(偏位)を増長させるのであれば、その負荷、および応力の偏在を均衡化させる治療法を施すことができれば、偏位の増悪を防ぐ、もしくは軽減できる可能性を示唆していた。また、下顎骨のみならず、上顎骨においても同様の変化を生じさせる可能性を示唆していた。

そこで、今までの研究に用いた顎変形症偏

位咬合症例のCT画像データから、成長期治療後の咬合状態のモデルを作成し、そのモデルに症例固有の習慣的咀嚼運動を付与した場合の下顎骨内への応力の分布、下顎骨形態変化のシミュレーションを行う事で、科学的根拠を基に症例に最適な治療法を選択できる治療方針決定システムを構築できるのではないかとこの着想に至り、本研究を立案した。本研究は、治療結果を科学的に予測した上で治療方針を決定する矯正治療学において非常に独創的な研究であり、習慣性咀嚼によるメカニカルストレスに下顎骨が適応し、生理学的変化によって偏位咬合が増悪していく過程について熟知し、長年偏位咬合について、形態計測、構造力学、運動生理学といった様々な手法で多角的に研究を行ってきた我々によってのみ、立案、遂行可能な研究である。

2. 研究の目的

本研究の目的は、成長期に下顎偏位が増悪する顎変形症(偏位咬合)に対し、下顎偏位が軽減される効果的、効率的な治療法を選択するためのシステムを構築することである。すなわち、顎変形症(偏位咬合)に対し、治療による咬合の変化と、それによる下顎骨における応力の変化および下顎骨形態の変化を有限要素解析とメカニカルストレスに対する骨リモデリングシミュレーションにより検証し、成長期の顎変形症患者に対する効果的治療法を選択するシステムを確立することである。

3. 研究の方法

(1) CT画像データを用いた頭蓋骨立体再構築および被験者の選択

顎変形症と診断され、顎関節及び顎骨の精査のためにCT撮影が必要となった患者を対象とし、患者の頭部CT画像データを用いた。また、咀嚼時の顎骨への負荷を検討しているた

め、開咬症例は除外した。画像処理ソフトを用いてCT 画像データより頭蓋骨を立体再構築し、偏位パターンについて検討し、骨体部の非対称性が明らかな症例を被験者として選択した。

(2) 咀嚼筋群の走行および断面積の計測

被験者のCT 画像データより、左右咀嚼筋の閉口筋（咬筋、内側翼突筋、外側翼突筋、側頭筋）を選択し、その筋の起始と停止位置の設定と筋中央部の断面積を求めた。

(3) 咀嚼時の上下顎骨における応力分布検索

構築した頭蓋骨三次元画像に、咀嚼時にかかる負荷を想定して頭頂部を拘束し、患者固有の咀嚼筋から筋力ベクトルを設定し、三次元有限要素解析を行った。これより明らかになった上下顎骨における応力分布を、咀嚼運動時に上下顎骨に生じる応力とみなして検討した。

(4) 治療後モデルの作成と応力分布の検索

(1)で構築した3次元モデルを基に治療後モデルを作成し、そのモデルに患者固有の筋力ベクトルを設定し有限要素解析を行った。この結果と(3)の結果を比較することにより、習慣性咀嚼時の顎骨内の応力分布の解析、骨リモデリングによる下顎骨形態の変化のシミュレーションを行った。

4. 研究成果

(1) 主な成果

顎変形症偏位咬合患者の非対称性の検討については、取り出した頭蓋骨を左右で反転させた像を作成し、それぞれのオトガイ部を基点に重ね合わせを行い、二つの画像のずれからパターン分けを行った。偏位咬合の成り立ちには様々な要因が絡んでいるため、上下顎骨の非対称性のパターンは様々であった(図1)。

次に、取り出した頭蓋骨から有限要素解析モデルを作成した(図2)。モデルにおいて歯槽骨、歯根膜、歯、関節円板をさくせいし、

また、上下の歯列間に咀嚼運動の設定のための軟組織を介在させた。

作成したモデルに対し、モデル固有の咀嚼筋を参考にして設定した荷重を付与した場合の三次元有限要素解析を行った。また、治療

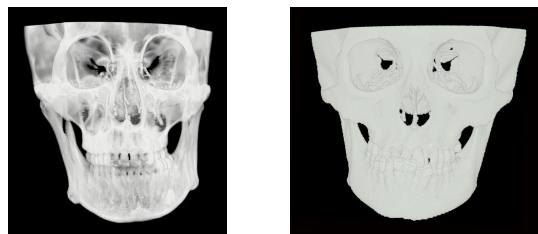


図1. 選択された被験者の頭蓋骨形態の例

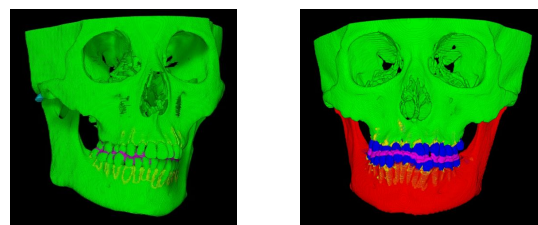


図2. 有限要素解析モデルの例

後を想定したモデルを作成し、この治療後モデルの対してもモデル固有の咀嚼筋を参考にして設定した荷重を付与した場合の三次元有限要素解析を行った。

治療前のモデルの有限要素解析において、下顎骨体部のみならず、上顎骨においても応力不均衡が認められた。また、上下顎歯列共に、臼歯部の頬舌的な歯の傾斜、解析の要素である咀嚼筋の幅径、付着部位の非対称に起因する、歯槽骨レベルでの応力の不均衡が明らかとなった(図3)。

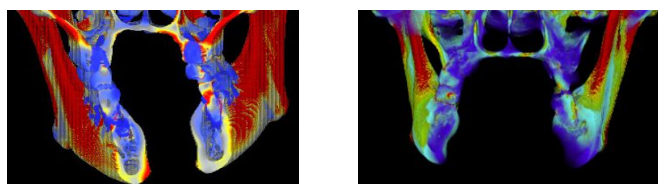


図3. 偏位咬合モデルの上下顎骨における応力分布

さらに、治療後のモデルに対して行った有限要素解析にて、上顎骨での応力の不均衡は是正される傾向がみられたものの、下顎骨体部での応力分布には顕著な変化が認められなかった。また、歯槽骨のレベルの詳細な検討の結果、治療後においても、解析の要素としている筋の太さや、付着部位の左右差から、均等な応力分布とすることは難しい事が明らかとなった(図4)。

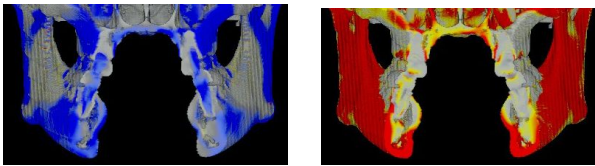


図4
治療後モデルにおける応力分布図

(2)得られた成果の位置づけとインパクト

今までに、顎変形症患者への治療効果については、臨床における経験則から語られることが殆どであった。今回、実際の顎変形症例を用いて、患者固有の咀嚼筋から算出した筋力ベクトルによる有限要素解析を行った。その結果、上下顎骨における応力分布の非対称性が明らかとなった。

さらに、治療後モデルに対しても、偏位モデルと同様の荷重条件で応力解析を行い、上顎骨においては応力分布の不均衡が是正される傾向が認められたが、下顎骨骨体部の応力分布に顕著な変化は認めず、また歯槽骨のレベルにおいても均等な応力分布とはならないことが明らかとなった。

この結果より、本解析方法においては、成長期の顎変形症偏位咬合患者への積極的治療が、偏位の軽減に寄与すると立証することは難しいことが明らかとなった。しかしながら、成長期に治療結果に付随して変化すると思われる咀嚼筋群の形態変化についての変数入力を行うことが解析に不可欠である

ことが明らかとなり、今後さらに成長による変化を変数として入力することが出来る解析方法を構築することが、治療法選択のシステム確立に必要と考えられた。

(3)今後の展望

本研究結果より、咬合を改善しても非対称な負荷により上下顎骨の応力分布に非対称性が認められることが示された。

今後は、本研究で明らかにした顎変形症の増悪への咀嚼の関与を軽減させる方法として、それぞれの偏位パターンモデルに対し、いかに治療後の咀嚼筋群を含めた周囲組織の変化についても変数として入力することが出来るかが、顎変形症の成長期から積極的にアプローチする治療・管理法の確立に不可欠と思われる。

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)

1. Watanabe N, Fukui T, Saito I:
Orthodontic treatment combined with temporary anchorage device for Class II with osteoarthritis of the temporomandibular joint. Orthodontic Waves 71:99-104, 2012

査読あり

[学会発表](計 4件)

1. Watanabe N
Stress Distribution Analysis in a Skull with Skeletally Deviated Occlusion
Bone Research Club at IUPUI (招待講演)
2013年05月08日
Indianapolis, IN, USA

2. Watanabe N. Saito I
Stress Distribution Analysis in a Skull with Skeletally Deviated Occlusion
The American Association of Orthodontists(AAO)2013Annual Session
2013年05月03日～2013年05月07日
Philadelphia, PA. USA
3. Watanabe N, Saito I: Stress Distribution Analysis in a Skull with Skeletal Deviated Occlusion: JADR 新潟 2012,12,14-15
4. 齋藤 功: 外科的矯正治療の実践 - 形態的調和と機能変化について - Ⅰ, 第53回北海道矯正歯科学会学術大会・特別講演、2012年6月17日、札幌市、北海道矯歯誌 40(1): 24, 2012. (招待講演)

〔図書〕(計 4件)

1. 齋藤 功: 顔の成長・発達. 日本顔学会編『顔の百科事典』、東京、2015.9.15、丸善出版株式会社、182-186.
2. 齋藤 功: 顔の左右対称性・歪. 日本顔学会編『顔の百科事典』、東京、2015.9.15、丸善出版株式会社、212-213.
3. Isao Saito, Naoko Watanabe: Class III facial asymmetry and surgical orthodontic treatment. In: Toshio Deguchi, Bakr Rabie, Eugene Roberts eds. Class III eBook. Bentham Science Publishers, Sharjah, United Arab Emirates, 2014,
DOI: 10.2174/97816080549161140101
eISBN: 978-1-60805-491-6, 2014
ISBN: 978-1-60805-686-6
4. 齋藤 功: 「治療メカニクスから生じる望ましくない反作用を抜去適用歯の利用によりコントロールした症例: 変則的固定. (翻訳)」 “「Monini A da C et al. Controlling mechanical

undesirable side effects with a tooth indicated for extraction: Free anchorage. Orthodontics 2013;14:e210-e220.」より”. 臨床家のための矯正 YEAR BOOK ‘14, クインテッセンス出版(佐々木一高編), 133-142頁, 東京, 2014.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

渡邊 直子 (WATANABE NAOKO)
新潟大学・医歯学総合研究科・非常勤講師
研究者番号: 10397143

(2) 研究分担者

齋藤 功 (SAITO ISAO)
新潟大学・医歯学系・教授
研究者番号: 90205633

林 孝弘 (HAYASHI TAKAHIRO)
新潟大学・医歯学系・教授
研究者番号: 980198845