

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 6 月 3 日現在

機関番号：13101

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2010～2012

課題番号：22592281

研究課題名（和文）

習慣性咀嚼に対する骨リモデリングシミュレーションによる上下顎骨偏位パターンの確立

研究課題名（英文）

Evaluation of the pattern of the skeletal deviation by the simulation of bone remodeling.

研究代表者

齋藤 功 (SAITO ISAO)

新潟大学・医歯学系・教授

研究者番号：90205633

研究成果の概要（和文）：

偏位咬合患者のCT 画像より頭蓋骨と咀嚼筋を取り出し、咀嚼筋の断面積と走行から筋力ベクトルを決定し、上下顎骨における三次元有限要素解析を行った。その結果、顎骨において応力の分布に偏りがあることが明らかとなった。さらに、これら偏位咬合のモデルから左右対称のモデルを作成し、そのモデルに患者固有の荷重を付与したところ、応力の偏りがさらに顕著になることが明らかとなった。これにより応力分布の非対称性が、成長期における上下顎骨の非対称性の増悪に関与している可能性が示唆された。

研究成果の概要（英文）：

The skull and masticatory muscles were taken from the CT images of patients with skeletal deviated occlusion. The finite element models of the skull were constructed using CT images, and then the loading conditions were set depending on the direction and cross sectional area of the muscles. As a result, the model showed imbalanced stress distribution in the deviated skull. Then, to elucidate the effects of the imbalanced masticatory force in the symmetrical face, a bilateral symmetrical face was created using the original deviated skull. The symmetrical model also showed imbalanced stress distribution, furthermore, in some regions, the level of imbalance was more obvious than in the original model. The results of this study suggest that asymmetric stress distribution in both the maxilla and mandible during mastication appears to be one of the exacerbating factors with regard to skeletal deviated occlusion.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010 年度	2,300,000	690,000	2,990,000
2011 年度	600,000	180,000	780,000
2012 年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：医歯学系

科研費の分科・細目：歯学・矯正・小児系歯学

キーワード：歯科矯正学、偏位咬合、シミュレーション、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。これまでに本研究の研究分担者渡邊は、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顎関節部のみならず、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、申請者は下顎骨形態の偏位過程をシミュレーションした。これら一連の研究により、咀嚼筋の不均衡と下顎骨形態的左右差（偏位）の間には関連性のあることが明らかになった。しかし、偏位咬合の成立には下顎骨の偏位のみならず上顎骨の骨構造、すなわち上下顎骨の形態や位置関係も密接に関わり、その関係性には様々なパターンがあり、パターンによっては成長に伴い偏位が増悪する場合のあることも臨床的に経験してきた。そこで、今まで下顎骨に限局していた習慣性咀嚼によるメカニカルストレスと偏位の増悪過程の解明からさらに進め、上顎骨を含めた様々なパターンの偏位咬合に対し、習慣性咀嚼によるメカニカルストレスに反応し偏位が変化していく過程をシミュレーションする事によって、成長とともに偏位咬合が増悪する症例における、上下顎骨の形態、位置関係、習慣性咀嚼のパ

ターンを科学的に明らかにできるのではないかという着想に至り、本研究を立案した。本研究は、習慣性咀嚼によるメカニカルストレスに上下顎骨が適応し、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明らかにしようとするもので、世界的に見ても非常に独創的な研究であり、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、顎変形症（偏位咬合）患者の成長期における偏位増悪の有無を明らかにすることである。すなわち、偏位咬合を上下顎骨の形態、位置関係からパターン分けし、各パターンにおいて習慣性咀嚼という負荷により上下顎骨の偏位状態が増悪するか否かを、明らかにしようとするものである。

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、走行と設定した位置の断面積を求めた。
- (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) 左右対称モデルの作成と応力分布の検索

(1) で構築した 3 次元モデルを正中矢状面で分割し、左側に右側の鏡面像を配置することで左右対称モデルを構築した。この左右対称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、成長による偏位の増悪と咀嚼による負荷の関係を各偏位咬合のパターンで検証した。

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)。



図1. 選択された被験者の頭蓋骨形態の1例

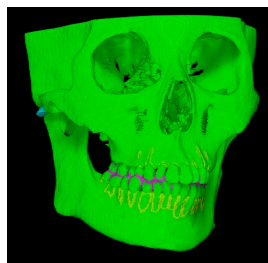


図2 有限要素解析モデル

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。これにより上下顎骨における咀嚼時の応力分布が明らかとなった。偏位側、非偏位側ともに応力の分布は近似していたが、偏位側においてより広範囲な応力の分布が認められ、特に、偏位側下顎枝、上顎骨口蓋部骨において非偏位側より強い応力の分布が観察された。また、非偏位側下顎骨体部舌側にも応力の集中が認められた(図3)。

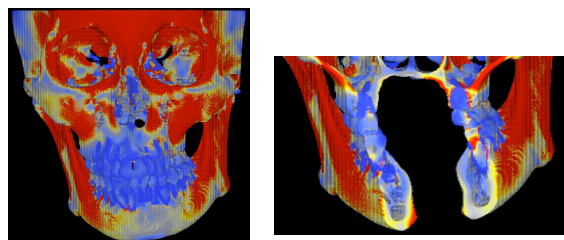


図3. 偏位咬合モデルの上下顎骨における応力分布図

次に応力解析を行った偏位咬合モデルから作成した左右対称モデル(図4)を用いて、同じ荷重条件での応力解析を行った。その結果、おおよその分布はオリジナルの偏位咬合モデルと変わらないものの、その分布の偏りはより顕著となり、特に偏位側上顎骨頬側部、非偏位側の下顎骨骨体部には応力の集中が認められた。また、歯槽骨のレベルにおいても、非偏位側上顎頬側歯槽骨に応力の集中を認めた(図5)。



図4. 偏位咬合モデルから作成された左右対称モデル

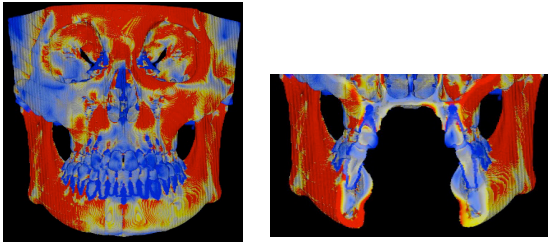


図 5.
偏位咬合モデルの上下顎骨における応力分布図

(2) 得られた成果の位置づけとインパクト
今までに、一般的な顎骨への応力分布を明らかにする方法として、光弾性装置による方法、下顎骨簡略化モデルを用いた二、三次元有限要素解析などが試みられてきた。しかしながら、顎骨形態を簡素化したモデルを用い、かつ筋力ベクトルの一般化した、顎骨を左右対称とみなす解析方法がほとんどであり、非対称な顎骨、咀嚼筋における応力分布について、その詳細は明らかになっていなかった。また、顎変形症の増悪に、咀嚼、咬合力の関与が示唆されていたにもかかわらず、その検証はなされていなかった。本研究では、左右非対称な頭蓋骨実像を用い、筋力ベクトルも患者固有の咀嚼筋から算出した有限要素解析を行った。その結果、応力分布の非対称性が明らかとなった。さらに、偏位モデルを正中矢状面で分割し、偏位側の鏡面像を非偏位側として作成した左右対称なモデルに対しても、偏位モデルと同様の荷重条件で応力解析を行い、偏位モデルよりより顕著な応力分布の非対称性を示すことを明らかとした。これらの結果から、成長を伴う顎変形症の増悪への咀嚼、咬合力の関与が示された。

(3) 今後の展望

本研究結果より、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。さらに、同じ荷重条件の場合、左右比対称モデルにおいて応力分布の非対称性がさらに顕著になることが明らかとなった。

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、

①治療モデルをシミュレーションして作成する。

②治療モデルの咀嚼による応力分布を解析し、応力分布が左右対称となる治療モデルを決定する。

以上の解析を行い、顎変形症の増悪を防ぐために、不均衡な咀嚼様式の追求およびその改善に成長期から積極的にアプローチする治療・管理法を確立することである。

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 9 件)

1. Nihara J, Takeyama M, Takayama Y, Mutoh Y, Saito I: Postoperative changes in mandibular prognathism surgically treated by intraoral vertical ramus osteotomy. Int J Oral Maxillofac Surg 42:62-70, 2013 (査読有り)
2. 小原彰浩、寺田員人、焼田裕里、越知佳奈子、齊藤 力、齋藤 功: 下顎骨後方移動術前後における口腔周囲軟組織形態の三次元変化様相の解析 ～顔面・歯列模型統合三次元データの応用～. 日顎変形誌 22 (3): 208-215, 2012 (査読有り)
3. Talat Al-Gunaid, Masaki Yamaki, Ritsuo Takagi, Isao Saito: Soft and hard tissue changes after bimaxillary surgery in Japanese Class III asymmetric patients. J Orthod Science 1(3): 69-76, 2012 (査読有り)
4. Naoko Watanabe, Tadao Fukui, Isao

Saito: Orthodontic treatment combined with temporary anchorage device for Class II with osteoarthritis of the temporomandibular joint. Orthodontic Waves 71(3): 99-104, 2012. (査読有り)

5. 杉山尚道、森田修一、三瀬 泰、齋藤 功、高木律男、齋藤 功：上下顎移動術を施行した骨格性下顎前突症例における術後変化について，甲北信越矯歯誌 20:25-33:2012 (査読有り)
6. 齋藤 功，渡邊直子，八巻正樹：顔面非対称と顎・咬合の偏位，新潟歯学会雑誌 40(2): 1-13, 2010. (通算ページ数：40(2): 111-123, 2010. (総説) (査読有り)

[学会発表] (計 15 件)

1. Watanabe Naoko : Stress Distribution Analysis in a Skull with Skeletally Deviated Occlusion : Bone Club Seminar at IUPUI : Indianapolis, IN. USA 2013 年 5 月 8 日 (招待講演)
2. Watanabe Naoko, Saito isao : Stress Distribution Analysis in a Skull with Skeletally Deviated Occlusion : AAO 2013 Annual Session : Philadelphia, PA. USA 2013 年 5 月 3-7 日
3. Watanabe N, Saito I: Stress Distribution Analysis in a Skull with Skeletal Deviated Occlusion: JADR 新潟 2012 年 12 月 14-15 日
4. Saito I: Morphological and functional changes after surgical orthodontic treatment. 8th Asian Pacific Orthodontic Conference and 47th Indian Orthodontic Conference, New Delhi, India, 2012 年 11 月 29 日-12 月 2 日 (abstract book P. 37). (招待

講演)

5. 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—, 第 53 回北海道矯正歯科学会学術大会・特別講演、2012 年 6 月 18-19 日、札幌市、北海道矯歯誌 40 (1) : 24, 2012. (招待講演)
6. 齋藤 功、後藤多津子：シンポジウム I・新しい 3 次元分析／シミュレーション／ナビゲーション・コーディネーター、第 22 回特定非営利活動法人日本顎変形症学会総会、2012 年 6 月 17 日、福岡市 (日顎変形誌 22 (2) プログラム・抄録号：51, 2012). (シンポジウム)

[図書] (計 3 件)

1. 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, 2013, (in press)
2. 齋藤 功：第 I 章 ④-11 顔が変形していると訴える患者が来院したら，高戸毅ほか編：『口腔診療必携—困ったときのマニュアル・ヒント集—』，東京，2010. 10. 20, 金原出版，60-61.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

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

(2) 研究分担者

渡邊 直子 (WATANABE NAOKO)
新潟大学・医歯学系・助教
研究者番号：10397143