

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 13 日現在

機関番号：13101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26463090

研究課題名(和文) 顎骨内応力解析を用いた成長シミュレーションによる顎変形症診断システムの開発

研究課題名(英文) Development of diagnosis system for dentofacial deformity by growth simulation using stress analysis

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

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究課題の目的は、成長期に上下顎骨のひずみが増悪する顎変形症(顔面非対称・顎偏位)に対し、個々の症例でみられる成長変化に伴ったひずみを軽減させる効果的、効率的な治療(いわゆるカスタムメイド治療)法を選択するための診断システムを構築することである。研究結果から、顎偏位の増悪には、主に咀嚼筋による顎骨に加わる力の不均衡が関与しており、特に咬合平面傾斜の有無が大きく影響している可能性が示唆された。顎偏位の増悪を予防するためには、成長前の段階で咬合平面傾斜を改善することが有用である可能性が考えられた。

研究成果の概要(英文)：The aim of this project was to establish the effective treatment program for orthognathic patients with skeletal maxillo-mandibular deviation to predict and reduce the jaw deformities in adolescence period. The results showed that jaw deviation was probably caused by imbalanced stress distribution on the maxilla and mandible. Especially, the presence of occlusal cant seemed to play a main role in an increase of jaw deviation. To prevent exacerbation of jaw deviation, the early correction of vertical problems on molar region will be effective in pre-adolescence patients.

研究分野：外科的矯正治療

キーワード：有限要素解析 顎変形症

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・顎偏位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症患者のうち、顎偏位を呈する患者が約5割を占めるに至っている。

顎偏位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」に起因した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。これまで申請者は、共同研究により三次元有限要素解析ソフトを用い、咀嚼運動時の下顎頭への応力分布を検討してきた(科学研究費若手(B):平成17,18年度、新潟大学プロジェクト推進経費)。さらに、偏位咬合の増悪には、頭蓋骨全体の応力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、岐阜大学の手塚健一氏が開発した反応 拡散系のプログラミングが組み込まれ、受けた負荷(咀嚼によるメカニカルストレス)に対し均衡が保てるよう骨のリモデリングをシミュレートするソフト iBONE を用いて、下顎骨の偏位増悪過程(科学研究費基盤(C)平成19-21年度)および頭蓋骨を用いた応力解析とシミュレーション(科学研究費基盤(C)平成22-24年度)を行ってきた。これらの研究により、咀嚼筋の不均衡、習慣性咀嚼によるメカニカルストレスと上下顎骨のひずみとの間には関連性のあることを明らかにしてきた(図1)。

これらの研究結果は、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上下顎骨、頭蓋骨形態のひずみ(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で偏位の増悪を防ぐ、もしくは

軽減できる可能性を示唆している。特に、顎骨形態が劇的に変化する成長期においては、偏在した顎骨内応力がその形態変化に著しい影響を与えると推察できる。そこで、顎の偏位を伴う顎変形症例の成長前期の咬合状態のモデルを作成し、そのモデルに習慣的咀嚼運動を付与した場合の顎骨内応力分布と、成長期前後における実際の3次元顎骨形態変化の関連性とを検索することで、偏在した顎骨内応力が成長期における顎骨形態の歪みに及ぼす影響を明らかにし、科学的根拠を基に個々の症例に最適な治療(カスタムメ

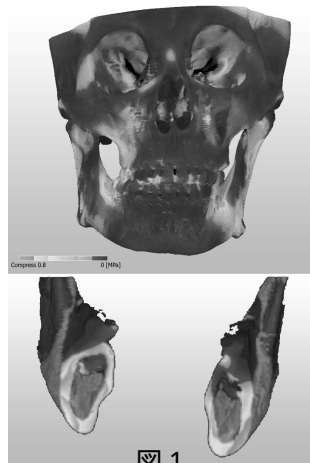


図1

イド治療)法を選択できる診断システムを構築できるのではとの着想に至り、本研究を立案した。

2. 研究の目的

本研究の目的は、成長期に上下顎骨のひずみが増悪する顎変形症(顔面非対称・顎偏位)に対し、個々の症例でみられる成長変化に伴ったひずみを軽減させる効果的、効率的な治療(いわゆるカスタムメイド治療)法を選択するための診断システムを構築することである。

すなわち、顎偏位症例においてみられる成長による実際の顎骨形態の変化と、有限要素法による応力解析で得られた成長期前の上下顎骨における顎骨内応力分布の関連性とを検討することで、顎偏位を増悪させる生体力学的要因を解明し、成長期の顎偏位を伴う顎変形症患者に対する効果的治療法を選択する診断システムを確立することである。

3. 研究の方法

(1)成長期における顎骨形態変化の計測

成長期前後の患者頭部 CT 画像データを用いて、3次元形態計測ソフト 3D-Rugle(メディックエンジニアリング、当科所蔵)による成長期における顎骨形態変化の分析を行う。2時点の CT データを下垂体窩の3次元形態を元に重ね合わせを行い、同一座標軸を設定後、過去の3次元計測点の研究から比較的真現性の高い解剖学的指標点(上顎:前鼻棘、後鼻棘、両側大口蓋孔、前頭頬骨縫合、下顎: Menton、両側 Gonion、Koronion、Condylion)の位置を計測し、それぞれの点の変化から幾何学的に上下顎骨の成長変化量を算出する。左右側で成長変化量に著しい差があるものを顎偏位と定義し、顎偏位量の定量化を図る。

(2)有限要素法を用いた顎骨内応力解析

(1)で用いた成長前期の CT データから、Mechanical Finder を用いて有限要素解析で用いるソリッドモデル(上下顎皮質骨および海面骨、関節円板、歯、歯根膜)を作成する。完成したソリッドモデルは、同ソフト上でメッシュモデルへと変換する。過去の研究課題と同様に、咀嚼筋の最大断面積から各筋の比率を算出し最大咬合力が 100N となる条件で加重し、成長前期における顎骨内応力の分布を解析する。この際、上下歯列の咬合関係を再現するため、咬合力計(オクルーザー、ジーシー、当研究室所蔵)を用いて咬合接触部位を同定し、その部位に咬合面ブロックを配置する。そして、当該部位のみを上下顎歯列と結合させ、上下顎歯列の擬似的な接触解析を行うことで、咀嚼筋による荷重が上下顎歯列の咬合接触点を介して伝達される様子をシミュレートできる。また、オクルーザーの咬合力分布と咬合面の応力集中を比較する事で、生体等価性を評価することができる。

(3)顎骨内応力と成長変化様相との比較

(1)および(2)の結果を比較し、顎骨各部位

における応力集中と実際の顎骨形態変化様相の結果を比較し、形態変化に影響を与える応力分布パターンを検索する。

(4)顎偏位予測診断プログラム構築と臨床応用

(3)から得られた、偏在した応力と顎骨形態変化との関連性から、成長前期における顎骨内応力分布を考慮した顎偏位の予測システムを構築し、さらに、個々の症例に対して偏在する顎骨内応力を極力緩和することで顎偏位を軽減化できる治療体系(カスタムメイド治療)の確立を図る。

4. 研究成果

(1)成長期における顎骨形態変化の計測

成長期におけるCT画像解析の結果、成長前期における顎偏位の定量化については、その基準平面の設定が難しいことに加え、成長量が小さいことが明らかとなった。それに伴い、顎偏位の定量化は現時点においては達成することが難しいと判断され、今後も継続して定量化に関する試みが必要と考えられた。特に、顎偏位の程度は個々の症例で異なり、連続的なデータとして得られるため、一概に基準値を設定して区別する方法は適さず、定量化にはクラスター分析のような質的研究手法が適している可能性が示唆された。

(2)有限要素法を用いた顎骨内応力解析

本研究課題においては、これまで行われてこなかった有限要素解析による顎骨内応力分布について、複数症例の解析を実現し、個々の症例の特徴を比較検討することができた。有限要素法を用いた解析では、モデルの作成、条件設定、生体等価性試験、実際の解析と結果の分析など、1症例の解析で必要とする時間と労力が膨大であるため、過去の報告でも複数の解析を実施して結果を比較する試みは極めて少なかった。解析を行った全例のフォンミーゼス応力のコンター図を図1に示す。

(3)顎骨内応力と成長変化様相との比較

今回の研究課題において複数症例の解析結果の比較を行ったところ、下記の知見が得られた。

成長終了後の上下顎骨においても、咀嚼筋を外力とする顎骨内応力分布には左右の不均衡が認められた。

特に、下顎骨体部における左右の不均衡については症例によって認められる症例と認められない症例があった。

骨体部の応力分布の左右不均衡は、咀嚼筋の作用の左右差や上下歯列の接触点数の左右差とは関連がなく、咬合平面の傾斜が最も影響していることが明らかとなった。

成長終了後においても、咀嚼筋の作用による顎骨内応力分布の不均衡が認めら

れ、その際に応力集中が主に歯根膜、顎関節部に認められたことから、加齢にしたがって同部位に過重負担が増大する可能性が考えられ、これらのストレスを除去するために顎偏位を早期に治療することが、望ましい可能性が考えられた。

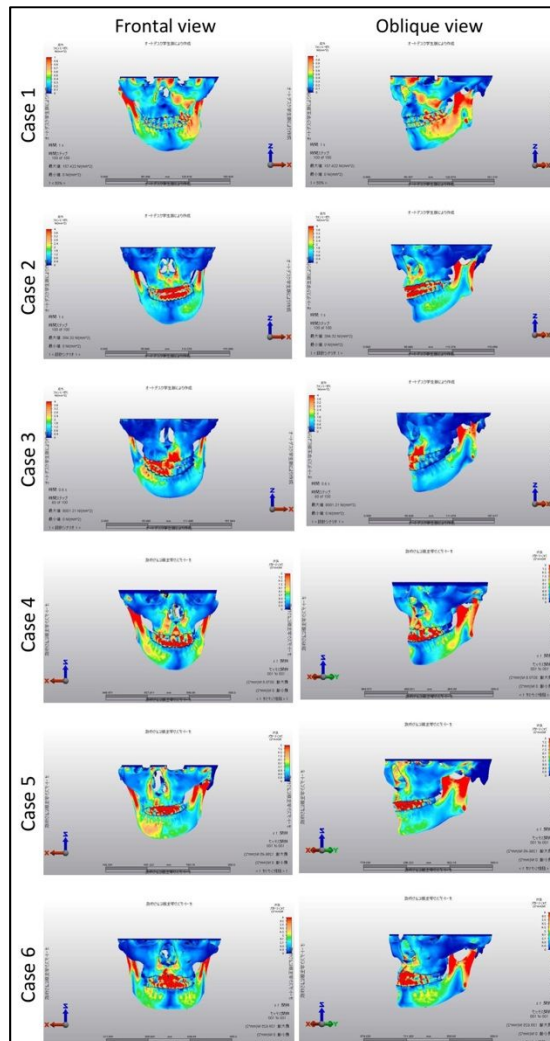


図1 各 case におけるフォンミーゼス応力

(4)顎偏位予測診断プログラム構築と臨床応用

以上、(1)~(3)の結果を元に顎偏位予測診断プログラムの大枠を策定することとした。顎偏位の定量化については、これまでの数値を元にした基準を設定することが極めて難しく、これまでの正面セファログラム等を用いた基準に頼らざるを得ないと考えられる。しかし、今回得られた結果において、顎骨内応力分布の上下顎骨の左右不均衡が発生する要因として、咬合平面傾斜が大きく影響していることが示唆されたことから、顎偏位の増悪を予測には咬合平面傾斜の有無が有用である可能性が考えられる。すなわち、成長前期において臼歯部の咬合高径が左右で異なる場合や、臼歯部の交差咬合といった垂直的な不調和を可及的早期に除去することによって、顎偏位の増悪を軽減させることが可

能と考えられた。

また、成長終了後においても、咀嚼筋の作用によって顎骨内応力の左右不均衡が認められたことから、顎偏位症例（特に咬合平面傾斜を伴う顎偏位症例）においては、恒常的に不均一な応力がかかっていると考えられる。さらにそれらの不均衡を歯根膜と顎関節部が緩衝していることが予想され、長期にわたる顎偏位を放置すると同部位に外力による病理的な変化がもたらされる可能性が考えられた。すなわち、顎偏位による応力不均衡が、長期的な顎骨と歯の機能および寿命にも関わっている可能性が考えられ、口腔機能の維持の観点からも顎偏位の早期的な治療が望ましいと考えられた。

本研究における顎偏位予測診断プログラムについては、新潟大学医歯学総合病院矯正歯科において、第1期矯正歯科治療を開始する際の治療計画立案において、特に臼歯部の垂直的な咬合関係に着目した治療方針を検討するに至っており、本研究課題の結果を速やかに臨床応用へと繋げている。

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8件)

高橋功次郎, 丹原 惇, 森田修一, 小林正治, 池田順行, 林 孝文, 齋藤 功: 骨格性下顎前突症例における下顎単独後退術の下顎後退量の左右差と正中部移動量との関係. 日顎変形誌, 査読有, 27(1): 1-7, 2017. DOI: 10.5927/jjdd.27.1

齋藤 功: 歯科矯正用アンカースクリューを併用した審美的治療-ガミースマイルの改善に焦点を当てて-. 歯科審美学会雑誌, 査読有, 28(2):87 頁, 2016. Saito D, Mikami T, Oda Y, Hasebe D, Nishiyama H, Saito I, Kobayashi T: Relationships among maxillofacial morphologies, bone properties, and bone metabolic markers in patients with jaw deformities. Int J Oral Maxillofac Surg, 査読有, 2016, in press.

Nishino K, Kohara A, Yakita A, Ochi K, Hayashi T, Takagi R, Kobayashi T, Terada K, Saito I; Three-dimensional analysis of facial changes in skeletal Class III patients following mandibular setback surgery. J Oral Maxillofac Surg Med Pathol, 査読有, 28(6): 481-487, 2016.

Sakae K, Sasakura C, Fukui T, Hori K, Ono T, Saito I: Tongue pressure production during swallowing in patients with mandibular prognathism. J Oral Rehabil, 査読有, 43: 348-355,

2016.

Takatsuji H, Kobayashi T, Kojima T, Hasebe D, Izumi N, Saito I: Effects of orthognathic surgery on psychological status of patients with jaw deformities. Int J Oral Maxillofac Surg, 査読有, 44(9): 1125-1130, 2015.

Nihara J, Gielo-Periczak K, Cardinal L, Saito I, Nanda R, Uribe F.: Finite element analysis of mandibular molar protraction mechanics using miniscrews. Eur J Orthod, 査読有, 37(1): 95-100 2015.

小原彰浩, 西野和臣, 焼田裕里, 越知佳奈子, 寺田 員人, 齋藤 力, 齋藤 功: CBCT 頭蓋顎顔面硬軟組織三次元データと歯列模型三次元データ統合モデルの開発. 日顎変形誌, 査読有, 24(3): 218-224, 2014.

〔学会発表〕(計10件)

Saito I: "Morphological and functional aspects before and after orthognathic surgery in dentofacial deformities"; International Session Symposium A3 "A new paradigm of orthodontics in the world: Evidence-based clinical orthodontics". The 23rd general meeting of the Japanese association for dental science, 福岡国際会議場(福岡県福岡市), 23th-25th October, 2016.

丹原 惇, 藤田 瑛, 池真樹子, 児玉泰光, 齋藤 功: 有限要素法を用いた下顎枝垂直骨切り術施行後の術後変化予測. 第75回日本矯正歯科学会学術大会, アスティとくしま(徳島県徳島市), 2016年11月7日-9日, 同学会大会プログラム・抄録集: 178 頁, 2016.

新島綾子, 森田修一, 高橋功次郎, 丹原 惇, 池田順行, 小林正治, 齋藤 功: クラスタ分析による骨格性下顎前突症例における正貌パターンの分類. 第75回日本矯正歯科学会大会, アスティとくしま(徳島県徳島市), 2016年11月7日-9日, 同学会大会プログラム・抄録集: 136 頁, 2016.

Saito I: Current status and future prospect of surgical orthodontic treatment for Japanese orthognathic patients. 8th International Orthodontic Congress, London(UK), 29 September 2015, abstract book: 53, 2015.

富永和宏, 齋藤 功: 外科的矯正治療における顎位の決定. 第25回日本顎変形症学会総会・学術大会 コーディネー

ター,ベルサル神田(東京都千代田区),
2015年6月5日,日本顎変形症学会
雑誌 25(2): 89 頁, 2015.

丹原 惇, 高橋功次朗, 森田修一, 小林
正治, 池田 順行, 林 孝文, 齋藤 功:
偏位を伴う骨格性下顎 前突症例におけ
る移動量の左右差と正中部移動量との
関係. 第 25 回日本顎変形症学会総会, ベ
ルサル神田(東京都千代田区), 2015
年 6 月 4 日-5 日, 日本顎変形症学会
雑誌 25(2): 153 頁, 2015.

Nihara J, Uribe F, Nanda R, Saito I:
Finite element analysis of mandibular
molar protraction with
sliding mechanics and orthodontic
anchor screw. The 74th Annual Meeting
of Japanese Orthodontic Society, 福
岡国際会議場(福岡県福岡市), 18-20
November 2015, abstract book: p143,
2015.

齋藤 功: 外科的矯正治療による顔貌の
変化-鼻 部・オトガイ部形態に着目して
-. 第 24 回特定非営 利活動法人日本顎
変形症学会総会・学術大会イブニングセ
ミナー. 「外科的矯正治療における顔貌
のバランスと調和を考える-鼻とオトガ
イの形態変化 -」, 2014年6月10日, ア
クロス福岡(福岡県福岡市), 日顎変形
誌 24(2):108-109 頁, 2014.

齋藤 功: 骨格性 II 級症例に対する外
科的矯正治 療-治療方針の決定におけ
る基本的事項と留意点 -. 第 24 回特
定非営利活動法人日本顎変形症学会 総
会・学術大会第 10 回教育研修会, アク
ロス福岡(福岡県福岡市), 2014 年 6
月 9 日, 日顎変形誌 24 (2):13 頁,
2014.

Saito I, Kook YA: Coordinators for
Symposium of the 5th JOS-KAO joint
Meeting "Treatment for patients with
vertical problems". The 73rd Annual
Meeting of the JOS and the 5th joint
meeting of JOS & KAO, 幕張メッセ(千
葉県千葉市), October 20-22, 2014,
abstract book: p.76-95, 2014.

〔図書〕(計2件)

齋藤 功: 顔の成長・発達. 顔の百科事典
(日本顔 学会 編), 182-186 頁, 丸善
出版, 東京, 2015.

齋藤 功: 顔の左右対称性・歪. 顔の百科
事典 (日本顔学会 編), 212-213 頁,
丸善出版, 東京, 2015.

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

名称:

発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年月日:
国内外の別:

取得状況(計0件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
取得年月日:
国内外の別:

〔その他〕
ホームページ等

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

丹原 惇 (NIHARA, Jun)
新潟大学・医歯学系・助教
研究者番号: 10636228

槇 宏太郎 (MAKI, Kotaro)
昭和大学・歯学部・教授
研究者番号: 80219295

(3) 連携研究者

()

研究者番号:

(4) 研究協力者

()