

平成 26 年 6 月 4 日現在

機関番号：13501

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23592986

研究課題名(和文)顎変形症手術における顎関節応力解析に関する研究

研究課題名(英文) Study of stress analysis of temporomandibular joint in orthognathic surgery

研究代表者

上木 耕一郎 (UEKI, Koichiro)

山梨大学・医学工学総合研究部・教授

研究者番号：40313663

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円、(間接経費) 1,140,000円

研究成果の概要(和文)：側面および正面X線規格写真を考慮した2次元顎関節力学解析モデルの作成および修正(剛体ばね理論モデル)を行い、実際の症例の画像情報から計算力学により応力分布状態を解析した。3次元CTから顎関節、下顎頭形態の画像情報抽出の検討を行った。下顎頭輪郭の近似曲線による入力データを検討した。入力データを基に3次元剛体ばねモデルを作成し実際の顎変形症患者の顎関節応力解析を行った。その結果、下顎対称患者と非対称患者では顎関節の応力分布状態が異なる傾向が認められた。顎関節応力解析プログラムでのシミュレーションの結果に基づき、顎関節応力集中を軽減した近位骨片位置に設定し顎内固定を行った。

研究成果の概要(英文)：Stress distribution of temporomandibular joint was calculated by two-dimensional rigid bodies spring model using realistic image information of patients such as lateral and frontal cephalograms. The coordinate on the surface line of condyle in temporomandibular joint of 3 dimensional computed tomography was converted to input into the stress analysis program. Input data of condylar surface were considered as trendline (spline curve). 3 dimensional rigid bodies spring model was made, on the basis of the input data. Then, the stress of temporomandibular joint of orthognathic patients was analyzed. From the result, stress distribution was different between mandibular symmetry and asymmetry patients. The positioning of post-operative proximal segment and fixation were performed to decrease stress concentration on the condyle, on the basis of simulation using the program of stress analysis of temporomandibular joint.

研究分野：医歯薬学

科研費の分科・細目：歯学・外科系歯学

キーワード：顎変形症 顎関節 応力解析

1. 研究開始当初の背景

顎変形症は、咬合異常および顎顔面の変形を主とする疾患であり、さまざまな症状を伴うことがある。顎顔面領域であり、審美性の改善はもちろんのこと、顎関節、咀嚼運動機能の改善、咬合力の改善が大きく期待され、より確実にこれらを達成する必要がある。顎変形症手術のCTを用いた手術シミュレーションは、コンピューター処理能力、画像処理能力の向上に伴い多くの施設で行われているが、画像情報は複雑であるにもかかわらず、力学的要素が全く無視された状態でシミュレーションとなっており、生体を扱う上では大きな盲点を抱えているといえる。現在、最も頻繁に用いられる術式である下顎枝矢状分割術において、顎間固定期間の短縮を図ることは非常に重要なことであり、様々なプレートシステムが開発されてきた。しかしながら、強固 (rigid) な固定を行う際に、下顎頭の位置および角度変化により顎関節に対し過度な負荷が生じ症状を誘発する可能性が指摘されてきた。実際の臨床において、下顎枝矢状分割術後に著しく下顎頭位置、角度変化が生じることは確かに術後の安定性、顎関節機能にも影響を与える可能性があるが、骨切り後の骨片固定方法を調整することで安定性、顎関節機能に害を及ぼさないようにすることが可能であることが判明した。しかし、これは必ずしも幾何学的に術前の位置に下顎頭を復位するのではなく、他により生理的な位置が存在する可能性が考えられた。つまり、術後力学的に安定となる位置が、適切な下顎頭位であることが推察された。家兎による動物実験を用いた研究で、片側の下顎骨骨切り後、短縮して固定し経時的に下顎骨および顎関節の形態変化を肉眼的、組織学的に解析し、生体における対応力変化を検討したところ、顎関節を構成する下顎頭、関節円板、関節窩いずれもが応力を分散するように大きさ、形態を変化適応させていることが示唆された。

2. 研究の目的

顎変形症患者に対する上下顎骨骨切り術を行う際により高い術後安定性を得ること、審美的だけでなく機能的にも改善が得られることが必要不可欠である。本研究の背景として、現在は幾何学的情報のみを用いた顎変形手術シミュレーションしか行われておらず、力学的要素を考慮した報告は全く見られない。本研究では頭部X線規格写真、CT、MRIなどの幾何学的情報に計算力学による顎関節応力解析を加味した手術シミュレーションの開発および、臨床応用可能とすることを目的としている。顎変形症患者の手術後の安定性、顎関節症状の改善、顎運動機能の向上をより確実に予測し実行できるものと期待される。

3. 研究の方法

側面および正面X線規格写真を考慮した2次元顎関節力学解析モデルの作成(剛体ばね理論モデル)を行い、実際の多くの症例の画像情報から計算力学により応力分布状態を解析する。

臨床所見を照らし合わせ整合性の検討すなわち、顎関節MRI画像による形態、顔面骨格、咬合様式、咬合安定性、咬合力分布、顎運動軌跡の変化が解析過程で生じる各パラメーターとどのように関連しているか検討する。

2方向のX線規格写真による疑似3次元解析を行った後、3DCCTによる画像データからも剛体ばねモデルを作成し、有用性の検討を行い、最も簡便で有効な解析シミュレーションシステムを開発する予定である。

4. 研究成果

側面および正面頭部X線規格写真を用いた、剛体ばね理論モデルプログラムによる顎関節応力分布解析を行った。各方向での2次元シミュレーションの整合性を検討すると同時に、

正面側面頭部X線規格写真情報をまず幾何学的に統合した疑似3次元的な、顎関節応力分布解析を行い、再度その整合性を検討した。

さらに、3DC Tによる解析を試みた。CTデータから得られる座標値と座標系は、そのまま使用不可能であったため、モデル化を行う前に、座標値の変換、座標系の変換を行ったさらに下顎頭の近似関数として3次元解析では、B-スプライン関数を用いCADシステムにてこれを繋いで枠組みを作成し、そこに面を張ってサーフェスを作成した。3次元顎関節接触圧解析のモデル化を2次元モデルと同様に行い、実際の顎変形症患者の顎関節応力解析を行った。その結果、下顎対称患者と非対称患者では顎関節の応力分布状態が異なる傾向が認められた。本手法により応力分布状態に基づいた下顎頭の位置決めに関する有用な情報を得て、実際のシミュレーションに応用可能か検討を行っている。

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 16 件)

- 1) Ueki K, Okabe K, Marukawa K, Mukozawa A, Moroi A, Miyazaki M, Sotobori M, Ishihara Y, Yoshizawa K, Ooi K, Kawashiri S. Maxillary stability after Le Fort I osteotomy with self-setting α -tricalcium phosphate and an absorbable plate. Int J Oral Maxillofac Surg. 2013 May;42(5):597-603.
- 2) Ueki K, Okabe K, Marukawa K, Mukozawa A, Moroi A, Miyazaki M, Sotobori M, Ishihara Y, Yoshizawa K, Ooi K, Kawashiri S. Assessment of bone healing and hypoesthesia in the upper lip after Le Fort I osteotomy with self-setting α -tricalcium phosphate and absorbable plates. J Craniomaxillofac Surg. 2013 Mar;41(2):129-34.
- 3) Moroi A, Ueki K, Okabe K, Marukawa K, Sotobori M, Mukozawa A, Miyazaki M. Comparison between unsintered hydroxyapatite/poly-L-lactic acid mesh and titanium mesh in bone regeneration of rabbit mandible. Implant Dent. 2013 Jun;22(3):255-62.
- 4) Ishihara Y, Ueki K, Sotobori M, Marukawa K, Moroi A. Bone regeneration by statin and low-intensity pulsed ultrasound (LIPUS) in rabbit nasal bone. J Craniomaxillofac Surg. 2013 Aug 27. [Epub ahead of print]
- 5) Ueki K, Marukawa K, Moroi A, Sotobori M, Ishihara Y, Iguchi R, Kosaka A, Nakano Y, Higuchi M, Nakazawa R. Changes in border movement of the mandible in skeletal Class III before and after orthognathic surgery. Int J Oral Maxillofac Surg. 2013 Aug 14. [Epub ahead of print]
- 6) Ueki K, Okabe K, Marukawa K, Mukozawa A, Moroi A, Miyazaki M, Sotobori M, Ishihara Y, Yoshizawa K, Ooi K. Skeletal stability after mandibular setback surgery: Comparison between the hybrid technique for fixation and the conventional plate fixation using an absorbable plate and screws. J Craniomaxillofac Surg. 2013 Jul 6. [Epub ahead of print]
- 7) Ueki K, Okabe K, Moroi A, Marukawa K, Sotobori M, Ishihara Y, Nakagawa K. Maxillary stability after Le Fort I osteotomy using three different plate systems. Int J Oral Maxillofac Surg. 2012 Aug;41(8):942-8.
- 8) Ueki K, Moroi A, Sotobori M, Ishihara Y, Marukawa K, Yoshizawa K, Kato K, Kawashiri S. Changes in temporomandibular joint and ramus after sagittal split ramus osteotomy in mandibular prognathism patients with and without asymmetry. J

- Craniomaxillofac Surg. 2012
Dec;40(8):821-7.
- 9) Ueki K, Moroi A, Sotobori M, Ishihara Y, Marukawa K, Takatsuka S, Yoshizawa K, Kato K, Kawashiri S. A hypothesis on the desired postoperative position of the condyle in orthognathic surgery: a review. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol. 2012 Nov;114(5):567-76.
- 10) Ueki K, Mukozawa A, Okabe K, Miyazaki M, Moroi A, Marukawa K, Nakagawa K. Changes in the lip closing force of patients with class III malocclusion before and after orthognathic surgery. Int J Oral Maxillofac Surg. 2012 Jul;41(7):835-8.
- 11) Ueki K, Okabe K, Marukawa K, Mukozawa A, Moroi A, Miyazaki M, Nakagawa K, Yamamoto E. Effect of self-setting α -tricalcium phosphate between segments for bone healing and hypoaesthesia in lower lip after sagittal split ramus osteotomy. J Craniomaxillofac Surg. 2012 Jun;40(4):e119-24.
- 12) Mukozawa A, Ueki K, Marukawa K, Okabe K, Moroi A, Nakagawa K. Bone healing of critical-sized nasal defects in rabbits by statins in two different carriers. Clin Oral Implants Res. 2011 Nov;22(11):1327-35.
- 13) Ueki K, Okabe K, Miyazaki M, Mukozawa A, Moroi A, Marukawa K, Nakagawa K, Yamamoto E. Skeletal stability after mandibular setback surgery: comparisons among unsintered hydroxyapatite/poly-L-lactic acid plate, poly-L-lactic acid plate, and titanium plate. J Oral Maxillofac Surg. 2011 May;69(5):1464-8.
- 14) Ueki K, Marukawa K, Okabe K, Moroi A, Nakagawa K, Yamamoto E, Niizawa S. Esthetic improvement using conventional orthodontic devices after segmental osteotomy in treatment of malpositioned implants. J Oral Maxillofac Surg. 2011 Mar;69(3):939-43.
- 15) Marukawa K, Ueki K, Okabe K, Nakagawa K, Yamamoto E. Use of self-setting α -tricalcium phosphate for maxillary sinus augmentation in rabbit. Clin Oral Implants Res. 2011 Jun;22(6):606-12.
- 16) Ueki K, Miyazaki M, Okabe K, Mukozawa A, Marukawa K, Moroi A, Nakagawa K, Yamamoto E. Assessment of bone healing after Le Fort I osteotomy with 3-dimensional computed tomography. J Craniomaxillofac Surg. 2011 Jun;39(4):237-43.
- [学会発表](計 20 件)
- 1) 諸井明德、井口蘭、河阪明彦、石原由梨、外堀恵、中澤龍一、樋口雅俊、中野佳央、丸川浩平、上木耕一郎、異種材料メッシュにおける下顎骨欠損部位での骨再生の比較検討、第 58 回日本口腔外科学会総会、学術大会 平成 25 年 10 月 11-13 日、(福岡国際会議場、福岡)
- 2) 中澤龍一、諸井明德、石原由梨、外堀恵、井口蘭、河阪明彦、樋口雅俊、中野佳央、丸川浩平、上木耕一郎、下顎骨軟骨修復における LIPUS の影響に関する実験的研究、第 58 回日本口腔外科学会総会、学術大会 平成 25 年 10 月 11-13 日、(福岡国際会議場、福岡)。
- 3) K Ueki, K Marukawa, A Moroi, M Sotobori, Y Ishihara, R Iguchi, A Kosaka, Y Nakano, M Higuchi, R Nakazawa, H Ikawa. Morphological change in overlapped cortical bone after sagittal split ramus osteotomy with bent plate fixation. 21st International Conference on Oral and Maxillofacial Surgery, October 21st - 24th, 2013, Barcelona, Spain

- 4) Y Ishihara, K Ueki, K Marukawa, A Moroi, M Sotobori, R Iguchi, A Kosaka, Y Nakano, M Higuchi, R Nakazawa, H, Ikawa. Regeneration by statin and low-intensity pulsed ultrasound. 21st International Conference on Oral and Maxillofacial Surgery, October 21st - 24th, 2013, Barcelona, Spain
- 5) K Ueki, K Marukawa, A Moroi, M Sotobori, Y Ishihara, R Iguchi, A Kosaka, Y Nakano, M Higuchi, R Nakazawa, H, Ikawa. Changes in border movement of the mandible in skeletal class III before and after orthognathic surgery. The 2nd Meeting of International Association of Dental Research -Asia Pacific Region, August 21-23, 2013, Bangkok, Thailand
- 6) Y Ishihara, K Ueki, K Marukawa, A Moroi, M Sotobori, R Iguchi, A Kosaka, Y Nakano, M Higuchi, R Nakazawa, H, Ikawa. Regeneration by statin and low-intensity pulsed ultrasound. The 2nd Meeting of International Association of Dental Research -Asia Pacific Region, August 21-23, 2013, Bangkok, Thailand
- 7) M Sotobori, K Ueki, K Marukawa, A Moroi, Y Ishihara, R Iguchi, A Kosaka, Y Nakano, M Higuchi, R Nakazawa, H Ikawa. Periosteal expansion using orthodontic wire and mesh. The 2nd Meeting of International Association of Dental Research -Asia Pacific Region, August 21-23, 2013, Bangkok, Thailand
- 8) K Marukawa, K Ueki, A Moroi, M Sotobori, Y Ishihara, R Iguchi, A Kosaka, Y Nakano, M Higuchi, R Nakazawa, H Ikawa. The healing process after nerve impairment caused by bone screw. The 2nd Meeting of International Association of Dental Research -Asia Pacific Region, August 21-23, 2013, Bangkok, Thailand
- 9) 上木耕一郎, 丸川浩平, 諸井明德、石原由梨、外堀恵、中澤龍一、樋口雅俊、中野佳央、井口蘭、河坂明彦、岡部克彦、中川清昌、向澤彩 下顎枝矢状分割術における吸収性材料によるハイブリッド固定法と従来のプレート固定法の比較 第23回日本顎変形症学会総会 平成25年6月22,23日 (大阪国際会議場、大阪)
- 10) 丸川浩平, 岡部克彦、諸井明德、石原由梨、外堀恵、向澤彩、中川清昌、中澤龍一、樋口雅俊、中野佳央、井口蘭、河坂明彦、上木耕一郎 顎矯正手術にて吸収性プレートならびにαTCP型骨補填材を併用した症例における術後感染率の検討 第23回日本顎変形症学会総会 平成25年6月22,23日 (大阪国際会議場、大阪)
- 11) K Ueki, Y Ishihara, M Sotobori, K Okabe, M Miyazaki, A Mukozawa, A Moroi, K Marukawa, S Takatsuka, S Kawashiri. Skeletal stability after mandibular setback surgery with hybrid technique for fixation using unsintered hydroxyapatite (u-HA) / poly-L-lactic acid (PLLA) plate and bicortical screw. Asian Congress of Oral and Maxillofacial Surgery. 2012年11月15日 ~ 2012年11月18日. Discovery Kartika Plaza Hotel (Bali, Indonesia)
- 12) A Moroi, K Ueki, K Marukawa, M Miyazaki, A Mukozawa, S Kawashiri. Effects alar base cinch suture in LeFort I osteotomy for patients with facial asymmetry. Asian Congress of Oral and Maxillofacial Surgery. 2012年11月15日 ~ 2012年11月18日. Discovery Kartika Plaza Hotel (Bali, Indonesia)
- 13) 宮崎真凡、上木耕一郎、外堀恵、石原由梨、諸井明德、向澤彩、岡部克彦、丸川

- 浩平、川尻秀一. 下顎前突症患者の下顎運動についての検討. 第57回日本口腔外科学会総会、学術大会. 平成24年10月19日～20日. パシフィコ横浜（横浜市）
- 14) 外堀恵、上木耕一郎、丸川浩平、岡部克彦、宮崎真凡、向澤彩、諸井明德、石原由梨、川尻秀一. 骨膜伸展による骨形成の検討 第 57 回日本口腔外科学会総会、学術大会 平成 24 年 10 月 19,20 日. パシフィコ横浜（横浜市）
- 15) 石原由梨、上木耕一郎、丸川浩平、岡部克彦、向澤彩、宮崎真凡、諸井明德、外堀恵、川尻秀一. LIPUS とスタチンの使用と新生骨形成についての検討 第 57 回日本口腔外科学会総会、学術大会 平成 24 年 10 月 19,20 日. パシフィコ横浜（横浜市）
- 16) 上木耕一郎. Le Fort I型骨切り術における翼突上顎縫合および下行口蓋動脈付近の解剖学的検討と超音波切削機器ソノペットの応用 第57回日本口腔外科学会総会、学術大会 平成24年10月19,20日. パシフィコ横浜（横浜市）
- 17) A.Mukozawa, K.Ueki, K.Marukawa, K.Okabe, M.Miyazaki, A.Moroi, S.Kawashiri. Change in lip closing force after surgical correction of skeletal Class malocclusion : A follow-up study. XXI Congress of the European Association for Cranio-Maxillo- Facial Surgery. 2012年09月11日～2012年09月15日. Valamar Lacroma Dubrovnik Hotel (Dubrovnik, Croatia).
- 18) K Ueki, K Okabe, K, Marukawa, A Mukozawa, A Moroi, M Miyazaki, M Sotobori, Y Ishihara, S Kawashiri. Assessment of bone healing and hypoesthesia in the upper lip after Le Fort I osteotomy with selfsetting α -tricalcium phosphate and absorbable plates. XXI Congress of the European Association for Cranio-Maxillo-Facial Surgery. 2012年09月11日～2012年09月15日. Valamar Lacroma Dubrovnik Hotel (Dubrovnik, Croatia).
- 19) K Okabe, K Ueki, K, Marukawa, A Moroi, M Miyazaki, A, Mukozawa, S Kawashiri. Infection rates after bilateral sagittal split osteotomy, Le Fort I osteotomy, and genioplasty using an absorbable plate in combination with self-setting alpha-tricalcium phosphate. XXI Congress of the European Association for Cranio-Maxillo- Facial Surgery. 2012年09月11日～2012年09月15日. Valamar Lacroma Dubrovnik Hotel (Dubrovnik, Croatia).
- 20) A Moroi, K Ueki, K Marukawa, M Miyazaki, A Mukozawa, S Kawashiri. Effects alar base cinch suture in LeFort I osteotomy for patients with facial asymmetry. XXI Congress of the European Association for Cranio-Maxillo- Facial Surgery. 2012年09月11日～2012年09月15日. Valamar Lacroma Dubrovnik Hotel (Dubrovnik, Croatia).
- 6 . 研究組織
- (1)研究代表者
上木 耕一郎 (Ueki, Koichiro)
山梨大学・医学工学総合研究部・教授
研究者番号：40313663
- (2)研究分担者
高塚 茂行 (Takatsuka, Shigeyuki)
金沢大学・医学系・准教授（現在退官している。）
研究者番号：00251926
- (3)連携研究者
丸川 浩平 (Marukawa, Kohei)
金沢大学・大学病院・講師
研究者番号：50444203