

平成 21年 5月11日現在

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2006～2008

課題番号：18791488

研究課題名（和文） 顎関節応力解析を用いた手術シミュレーションの臨床応用

研究課題名（英文） Clinical application of surgical simulation using stress analysis on temporomandibular joint

研究代表者

上木 耕一郎（UEKI KOICHIRO）

金沢大学・医学系・助教

研究者番号：40313663

研究成果の概要：

顎変形症手術における顎関節の接触圧を扱う上で、より簡便で適切な手法、つまり剛体ばね理論による顎関節のシミュレーション手法を開発した。側面および正面頭部 X 線規格写真による形態学的データから剛体ばね理論モデルを用い解析し、咬合、顎骨、顎関節が力学的バランスにもとづいて構築されていることを実証し、臨床データとの整合性の検討を行った。

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2006 年度	1,300,000	0	1,300,000
2007 年度	600,000	0	600,000
2008 年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
総計	2,500,000	180,000	2,680,000

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、剛体ばね理論、顎関節、接触圧

1. 研究開始当初の背景

歯科口腔外科において最も患者が増加しているのが、顎変形症であり、当科においてもここ数年は最も手術件数が多い疾患である。本疾患は、咬合異常（歯牙欠損も含む）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。顎関節症の併発、肩こり、腰痛などの全身疾患との因果関係も議論されており、歯科的にはもっとも重要な分野といえる。本疾患の治療法として、矯正治療、補綴治療、インプラント（人工歯根）治療、顎骨骨切り術、骨再生治療など多くの治療法を統合した包括的治療が必要不可欠である。一方で、本疾患の治療は、質的

向上を目指した治療であり、術後の合併症は最低限に抑えられなければならない。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。さらに、術後、これらの機能が維持安定しなければならない。CTなど硬組織の幾何学的情報のみをもとに、手術シミュレーションが行われてきた。しかし、従来の方法は実際には情報量が多く一部の大病院でしか行えず、あまり普及していないのが現状である。また術後安定性を考慮すると、力学的情報を加味する必要性があると考えられた。

2. 研究の目的

現在、歯科医院で最も幅広く普及しているのは頭部X線規格写真である。正面、側面撮影画像を用い、疑似3次元的な幾何学的情報を得る。この情報から、計算力学を応用し、顎関節の応力解析を行う。従来より顎口腔系の応力解析には有限要素法が用いられてきており、様々な報告がなされている。有限要素法では、咀嚼筋の活動比率、付着部位を考慮してベクトルとして各筋の付着部位に相当する接点を与えられる。さらに、様々な要素の材料定数を想定しなければならず、非常に多くの情報量を必要としている。しかし、実際にこれだけ多くの情報に基づき解析を行ったとしてもその臨床に対する妥当性を検証することは不可能である。臨床的に個々の症例に対し簡便かつ的確に用いるためには複雑な設定が多すぎるのである。そこで、接触圧を扱う上で、より簡便で適切な手法、つまり剛体ばね理論による顎関節のシミュレーション手法を開発し、顎変形と顎関節の関連性を力学的に解明するとともに顎変形症患者に対するシミュレーション手術に応用することを目的とした。

3. 研究の方法

顎変形症患者を対象に、設置されているX線装置にて側面および正面頭部X線規格写真の撮影した。既製のレントゲン計測分析ソフト(CephaloMetric Ato Z、安永ラボ、福井)を用いて幾何学的情報を採取した。剛体ばね理論による下顎頭接触圧分布のモデル化を行った。

(プログラム概要)咀嚼運動は咀嚼筋がバランスよく機能し行われるが、顎関節の負荷は咬合力が生じた時に最も影響が及ぼされる。最大咬合力を発揮する時下顎骨は挙上が支配的になるものと考え、本研究では特に挙上に関する筋力を外力として捉えることにした。

剛体ばね理論の1要素モデルを用いてモデル化した。本モデルでは術後も骨片間が強固に固定されているものとし下顎骨全体を1要素として考えており、平行変位(u,v)と回転(θ)の3自由度を下顎角部に設けた。筋力による外力はこの自由度設定位置に作用するものとし、咀嚼筋の筋力はすべてこの点の外力に換算した。

関節窩と下顎頭で構成されている顎関節には、下顎頭の輪郭に沿って接触圧を計算するための積分点を設けた。また、この部分は比較的滑らかであり、垂直方向の表面力、すなわち接触圧のみ伝達するものとし、せん断

方向に対しては抵抗しないものと仮定して積分点毎に垂直ばねのみを設けた。

歯牙部の反力は臼歯部に設定して計算した。(咬合力分布解析結果から、この点は算出される。)剛体ばね理論では、モーメント反力も計算されるため、積分点が1点でも歯牙部の分布反力を表現することができる。この部分では垂直ばねとせん断ばねを設けた。本解析の流れは、顎関節部に生じた負の接触圧を再配分するループと歯牙部に生じた矛盾するせん断反力を打ち消す筋力の発生との2つの大きなループから構成された。

負の接触圧を再配分する計算は次の手順で行う。

第一段階 first step analysis : 所定の筋力に対する積分点の接触圧を求める。

第二段階 second step analysis : 前回の接触圧の中で負の接触圧があれば、一旦、負の接触圧を取り除き、釣り合いを保つための拘束を加える。

第三段階 third step analysis : このような拘束力は実際には存在しないので等大異符号の力を加える。第二段階と第三段階を負の接触圧が無視できるまで繰り返す。

上述の顎関節部における接触に関するループを負の接触圧が無視できる程度に収束するまで繰り返した後、歯牙部のせん断反力をチェックし、もし矛盾するせん断反力(下顎骨が大きく前後的に移動してしまう力)が生じていれば、それを打ち消す力を筋力として与え、再度顎関節における接触に関する繰り返し計算を行う。この過程を矛盾するせん断反力が無視できるまで繰り返した。

本プログラム解析を顎変形症患者の側面頭部X線規格写真を用いた。

また、正面頭部X線規格写真を用いたプログラムの開発も行った。

平行変位(u,v)と回転(θ)の3自由度はオトガイ部に設けた。筋力による外力はこの自由度設定位置に作用するものとし、咀嚼筋の筋力はすべてこの点の外力に換算した。左右下顎頭の輪郭に沿って接触圧を計算するための積分点を設けた。また、この部分は比較的滑らかであり、垂直方向の表面力、すなわち接触圧のみ伝達するものとし、せん断方向に対しては抵抗しないものと仮定して積分点毎に垂直ばねのみを設けた。歯牙部の反力は、左右第二大臼歯頬側咬頭間を結んだ線を咬合面とし、この直線上に一点を設定する。この点の決定には以下に述べる咬合力分布解析結果から求めた。この部分で同様に垂直ばねとせん断ばねを設けた。以下、計算過程

は側面分析に従うものとした。

側面および正面頭部 Xs 線規格写真を用い、個々の顎変形症例の顎顔面形態と顎関節応力分布の解析を行った。統計的にこれらの関連性を検討し、実際の手術シミュレーション応用の可能性を検討した。

4 . 研究成果

使用頻度の高い、側面頭部 X 線写真において、よりの確に顎顔面骨格の計測ポイントを判断できるように改良を加えた。また、実際に行っている骨切り術における術式、骨片固定材料別の骨格安定性、顎関節症状の変化を調査し、その傾向を把握した。治療後の咀嚼機能の改善も非常に重要であるため、手術による顎運動の変化も検討した。剛体ばね理論を用いた顎関節応力分布の解析プログラムを用いることで現在、欧米の概念によって正常とされていた顎関節形態が、顎顔面骨格によって異なっており、とくに顎関節症の診断に有用である関節円板組織の形態、位置の多様性を見出した。形態学的データから剛体ばね理論モデルを用い解析し、咬合、顎骨、顎関節が力学的バランスにもとづいて構築されていることを実証した。実際に、よく用いられる手術術式を行った症例で、本解析を行い、手術時に重視すべき計算過程でのパラメーターの意義を検討した。また、正面頭部 X 線規格写真での、顎関節接触圧解析プログラムも作製され、臨床データでの整合性の検討を行った。

剛体ばね理論を用いた本プログラム手法は顎変形症手術の顎関節応力バランスを加味した手術シミュレーションに非常に有益な情報を与えることが実証された。

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 17件)

- 1) Ueki K., Degerliyurt K. et al: Horizontal changes in the condylar head after sagittal split ramus osteotomy with bent plate fixation. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 106:656-61, 2008(査読あり).
- 2) Ueki K., Hashiba Y. et al: The evaluation of surgical factors related to recovery period of upper lip hypoesthesia after Le Fort I osteotomy. J Craniomaxillofac Surg 36:390-4, 2008(査読あり).
- 3) Ueki K., Hashiba Y. et al: Skeletal stability after mandibular setback surgery: bicortical fixation using a 2.0-mm locking plate system versus monocortical fixation using a nonlocking plate system. J Oral Maxillofac Surg 66:900-4, 2008(査読あり)
- 4) Ueki K., Marukawa K. et al: Assessment of the relationship between the recovery of maximum mandibular opening and the maxillomandibular fixation period after orthognathic surgery. J Oral Maxillofac Surg 66:486-91, 2008(査読あり).
- 5) Ueki K., Nakagawa K. et al: Comparison of the stress direction on the TMJ in patients with class I, II, and III skeletal relationships. Orthod Craniofac Res 11:43-50, 2008(査読あり).
- 6) Ueki K., Marukawa K. et al: The use of an intermaxillary fixation screw for mandibular setback surgery. J Oral Maxillofac Surg 65:1562-8, 2007(査読あり).
- 7) Ueki K., Nakagawa K. et al: Use of the Sonopet ultrasonic curettage device in intraoral vertical ramus osteotomy. Int J Oral Maxillofac Surg 36:745-7, 2007(査読あり).
- 8) Ueki K., Hashiba Y. et al: Comparison of maxillary stability after Le Fort I osteotomy for occlusal cant correction surgery and maxillary advanced surgery. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 104:38-43, 2007(査読あり)
- 9) Ueki K., Marukawa K. et al: Condylar and disc positions after sagittal split ramus osteotomy with and without Le Fort I osteotomy. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 103:342-8, 2007(査読あり)
- 10) Ueki K., Marukawa K. et al: Condylar and disc positions after intraoral vertical ramus osteotomy with and without a Le Fort I osteotomy. Int J Oral Maxillofac Surg 36:207-13, 2007(査読あり)
- 11) Ueki K., Marukawa K. et al: Changes in occlusal force after mandibular ramus osteotomy with and without Le Fort I osteotomy. Int J Oral Maxillofac Surg 36:301-4, 2007(査読あり).
- 12) Ueki K., Nakagawa K. et al: Evaluation of upper lip hypoesthesia with a trigeminal somatosensory-evoked potential following Le Fort I osteotomy in combination with mandibular osteotomy. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 103:169-74, 2007(査読あり)
- 13) Ueki K., Nakagawa K, Yamamoto E: Bite force and maxillofacial morphology in patients with Duchenne-type muscular dystrophy. J Oral Maxillofac Surg 65:34-9, 2007(査読あり).
- 14) Ueki K., Marukawa K. et al: The prevention of periodontal bone loss at the osteotomy site

- after anterior segmental and dento-osseous osteotomy. J Oral Maxillofac Surg 64:1526-31, 2006(査読あり).
- 15) Ueki K., Takazakura D. et al: Relationship between the morphologies of the masseter muscle and the ramus and occlusal force in patients with mandibular prognathism. J Oral Maxillofac Surg 64:1480-6, 2006(査読あり).
 - 16) Ueki K., Nakagawa K. et al: The change of stress distribution on the condyle after mandibular setback surgery. Eur J Orthod 28:433-9, 2006(査読あり).
 - 17) Ueki K., Marukawa K., et al: Maxillary stability following Le Fort I osteotomy in combination with sagittal split ramus osteotomy and intraoral vertical ramus osteotomy: a comparative study between titanium miniplate and poly-L-lactic acid plate. J Oral Maxillofac Surg 64:74-80, 2006(査読あり).

[学会発表](計 4件)

- 1) Ueki K., et al.: Pterygomaxillary separation in Le Fort I osteotomy. XIX Congress of the European Association for Cranio-Maxillofacial Surgery. 2008. September 9-12. Bologna, Italy.
- 2) Ueki K., et al.: Condylar and disc position after sagittal split ramus osteotomy with and without Le Fort I osteotomy. XIII Congress of the European Association for Cranio-Maxillofacial Surgery. 2006. September 12-15. Baecelona, Spain.
- 3) 上木耕一郎,他:下顎枝垂直骨切り術と Le Fort I 骨切り術後の下顎頭と関節円板の位置変化,第一回国際顎関節学会,台 19 回日本顎関節学会総会,2006.7.21. 名古屋.
- 4) 上木耕一郎,他:下顎枝垂直骨切り術における SONOPET(ultrasonic bone curette)の使用,第16回日本顎変形症学会総会,2006.6.21.千葉.

6. 研究組織

(1)研究代表者

上木 耕一郎(Ueki Koichiro)

金沢大学・医学系・助教

研究者番号:40313663

(2)研究分担者

なし

(3)連携研究者

なし