

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24年 5月11日現在

機関番号：12602

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2009～2011

課題番号：21592591

研究課題名（和文） 骨延長統合モニタリングシステムの開発

研究課題名（英文）

Development on the monitoring system for the treatment using distraction osteogenesis

研究代表者

鈴木 聖一（SUZUKI SHOICHI）

東京医科歯科大学・大学院医歯学総合研究科・准教授

研究者番号：90187732

研究成果の概要（和文）：

上顎骨骨延長治療は、上顎骨の劣成長が著しい口唇口蓋裂症例や上下顎の不調和が大きい顎変形症の咬合と審美性を回復する最も有効な治療法である。しかしながら、本法は頭部固定装置に取り付けた支柱に装備された2つのネジのみで上顎骨の三次元的移動を行うため、適切な力で牽引しつつ目標とする位置に上顎骨を移動させることは極めて困難である。本研究の目的は、上顎骨の移動中に上顎骨に負荷される牽引力と上顎骨の移動様相がリアルタイムで把握できるシステムを構築することにある。上顎骨牽引用のネジに超小型張力センサーを組み込むことにより、上顎骨に負荷される牽引力をリアルタイムで計測することが可能となった。また、超音波画像診断装置を用いることにより上顎骨の移動様相を把握することが可能となり、これらを組み合わせることで骨延長中の上顎骨に負荷される力と移動様相が同時に把握できる骨延長治療のモニタリングシステムが確立されその有用性も確認された。さらにさらに球形樹脂微粒子含有ガムを用いた咀嚼機能の定量的評価が可能となり、その有用性についても確認された。

研究成果の概要（英文）：

Treatment of the distraction osteogenesis on the upper jaw is the most effective treatment to improve occlusion and esthetics of the patients with cleft lip and palate. However, it is extremely difficult to move maxillary bone to the desirable position by using two screws equipped with the column fixed on the head.

The purpose of this study was to develop the monitoring system for the treatment of distraction osteogenesis on the maxillary bone. We became able to measure the traction power loaded on the maxillary bone in real time by using microminiature tension sensor. Also, we became able to observe the movement of the maxillary bone in real time by using ultrasonic imaging apparatus. Furthermore, the quantitative evaluation of the chewing function was developed using chewing gum including spherical resin particle.

A monitoring system for the treatment of distraction osteogenesis on the upper jaw was composed by putting together of these technique, and the utility of this monitoring system was confirmed.

## 交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	2700000	810000	3510000
2010年度	500000	150000	650000
2011年度	500000	150000	650000
年度			
年度			
総計	3700000	1110000	4810000

研究分野：歯学

科研費の分科・細目：歯科矯正

キーワード：上顎、骨延長、モニタリングシステム

### 1. 研究開始当初の背景

上顎骨延長治療は、上顎骨の劣成長が著しい口唇口蓋裂症例や上下顎の不調和が大きい顎変形症例の咬合、審美性の回復において最も有効な治療法である。上顎骨延長法には延長装置を直接顎骨に装着する顎内法と、頭部固定装置に連結した前方の支柱から口腔内装置を牽引する顎外法と二つの方法があるが、いずれも左右2本の牽引用ネジを用いて上顎骨の移動や回転を行なっている。上顎骨を三次元的にコントロールし目的の場所に移動するためには牽引方向や牽引力の微妙に調整していく必要があるが、延長装置の左右2本のネジだけこれを行うことは極めて難しく、術者の経験と熟達した技術に頼っているのが現状である。上顎骨の移動様相はレントゲン写真で確認する方法が最も確実であるが、頻繁な撮影は過度の被爆の問題がある一方、撮影間隔があくと上顎骨の位置確認が遅れれば移動方向や移動量の修正も大きくなる。骨延長中の牽引力は口蓋の瘢痕や移動中の骨の干渉などで変化し、上顎骨の移動も

必ずしも一定では無い。そこで骨延長治療において上顎骨を正確かつ効率良く移動させるためには、骨延長中に上顎骨にかかる牽引力と移動様相をリアルタイムで観察しながら、随時牽引力の方向と大きさを調整していくことが可能なシステムが必要である。また、骨延長治療では、治療の前後で顔貌や咬合状態が大きく変化する場合が多い。このような骨延長治療の効果を判定するためには、従来の顔貌などの形態的変化の評価に加え、咀嚼機能の改善を定量的に評価する手法を確立する必要がある。

### 2. 研究の目的

本研究の目的は、超音波画像診断装置、三次元磁力センサーによる上顎骨の位置測定装置、超小型張力センサーによる牽引力計測装置を組み合わせ、骨延長治療中に上顎骨にかかる牽引力の測定と上顎骨の移動様相をリアルタイムで観察できるシステムと、骨延長によって得られた咬合の変化と咀嚼機能の変化を評価するシステムを併せた骨延長統合モニタリ

ングシステムを開発、実用化することにある。

### 3. 研究の方法

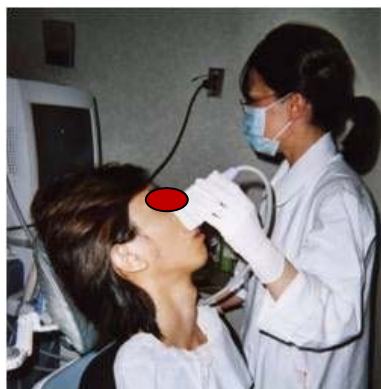
研究目的を達成するために、骨延長統合モニタリングシステムを構成する各装置、即ち、超音波画像診断装置、三次元磁力センサーを用いた上顎骨位置測定装置、超小型張力センサーを用いた骨延長牽引力計測側置、咀嚼機能評価のための球形樹脂粒子含有人工ガムの各々の精度ならびに実用性を個別に検証し、ついで本システムを実際の骨（超小型張力センサーに延長治療に適用してその有用性について検討を行なう。そのため以下の4つの研究を行った。

- (1) 骨延長部位の超音波画像とレントゲン画像の比較検討
- (2) 三次元磁力センサーによる上顎骨の位置測定装置の開発
- (3) 骨延長モニタリングシステムの臨床的有用性の検証
- (4) 球形樹脂粒子含有人工ゴムによる骨延長治療前後の咀嚼機能評価

### 4. 研究成果

- (1) 骨延長部位の超音波画像とレントゲン画像の比較検討

骨延長部位について、Le-Fort I 型骨切り術を施行した切断面のレントゲン写真と超音波画像の比較を行ったところ、ほぼ同等の画像を得ることができた。



超音波画像診断では、プローブを皮膚に押し付けて画像を得るため、画像が得られる方向、

範囲に制限があり、三次元的な画像を得ることは困難であるが、上顎骨の切断面を矢状断方向で観察することが可能であるため、骨延長により上顎歯槽部が移動する様相、移動量を把握することが可能である。また超音波診断装置の最大の長所である、被爆がないこととリアルタイムで観察することから、外来で患者に特別な負担を与えることなく歯槽部の移動様相が観察でき

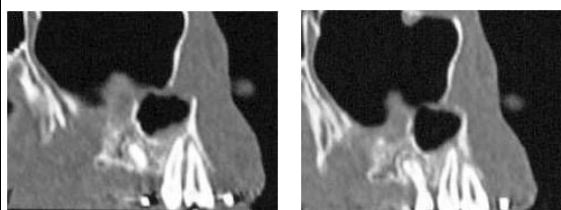
るようになった。

さらに、骨延長終了後、歯槽部の位置が固定されることにより、骨切断面の石灰化が進行するが、超音波診断装置はこの石灰化の進行を追跡することも可能と思われた。実際、骨延長治療を行って1年後の患者の上顎を超音波診断装置で観察を行ったところ、Le-Fort I 型骨切り術による骨切断面の間に白い線が認められ、石灰化が進行していることが確認された。さらにプローブを移動することにより、切断面の部位によって石灰化の進行が進んでいる部位、遅れている部位についてある程度スキャンしつつ観察することも可能であった。この観察についても被曝が無い為繰り返し、かつ上顎周辺をスキャンして観察することが可能なことは、臨床検査法として極めて有用と評価された。今後上顎観察用に形状を考慮した特別なプローブを作製し、観察法を確立する必要があると思われた。

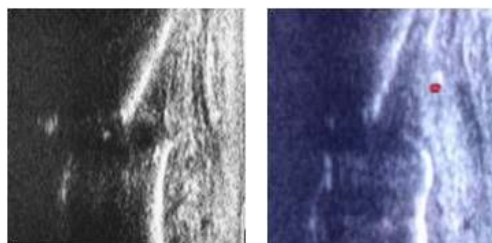


(上図右) 超音波画像○はLe-Fort I 型骨切り術による骨の切断面。下方部分が歯槽部にあたり、歯槽部が骨延長により画像右に移動している。

(上図左) 左画像と同一部位のCT画像  
Le-Fort I 型骨切り術による骨の切断面が同様に観察される。

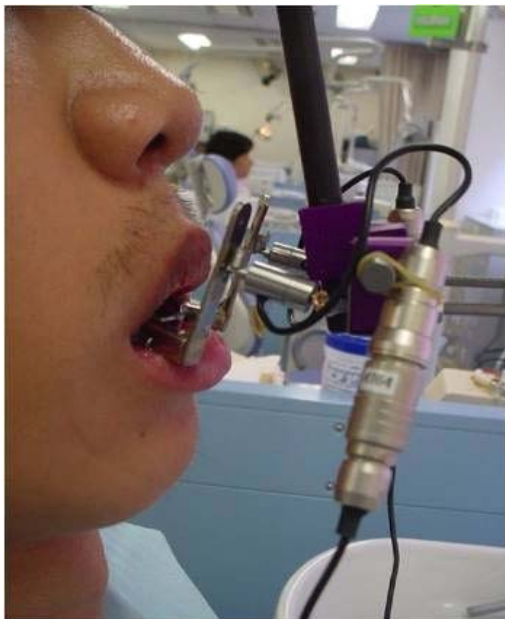


上図左：手術直後 CT 画像



上図右：手術3か月後 CT画像  
 上図左：手術直後 超音波画像  
 上図右：手術3か月後 超音波画像  
 手術3か月後の画像で新生骨の形成が観察される。

(2) 頭部固定装置から顔面前に下ろした支柱に取り付けられた骨延長用の2つのネジと、口腔内装置の間を結ぶ5~10cmの針金の中に長径2cm、直径8mm程度の超小型張力センサーを組み込み、骨延長中に上顎骨に負荷される張力をリアルタイムで計測することが可能となった。上顎骨の骨延長を行う場合、一般に上顎骨を1日に0.5~1mm移動させる。これは、ネジの回転によってきまるものであり、固定装置のたわみなどのより実際に上顎骨がネジの回転量だけ移動したかは不明であった。従来は何日か延長を行った後、セファログラムを撮影して上顎骨の移動量を確認していた。多くの場合、ネジの回転と上顎の移動量は一致せず、ネジの回転より移動量が大きくないことが一般的であった。今回は超小型張力センサーにより上顎骨に負荷される張力と、超音波画像により上顎骨の移動様相がリアルタイムで観察することが可能となり、上顎骨に負荷される力の大きさと上顎の移動との関係が詳細に観察できるようになった。その結果、手術直後は上顎骨はネジの回転に合わせて移動したが、骨延長治療が進むにつれ、ネジの回転により上顎骨に負荷される張力は大きくなる一方で、上顎骨の移動は少なくなり、骨延長1週間経過後では、ネジの回転に比べて移動量が著しく小さくなっていることが明らかとなった。また、この時期になると、ネジの回転に遅れて上顎骨の移動がゆっくり起こることも観察された。これらの変化は、切断された骨周囲の軟組織の治癒により骨の移動に抵抗するようになるためと考えられた。

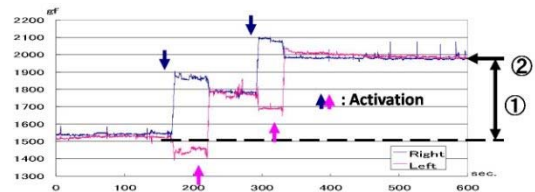


(上手：超小型張力センサーを組み込んだ骨延長装置)

左図：超小型張力センサー



骨延長治療では、骨延長操作により目的とする部位まで上顎骨を移動したのち、上顎骨の位置を固定することにより、骨切断面の再石灰化を期待する。その際、頭部固定装置をより簡便な前方牽引装置に変えるわけであるが、その時期をいつにするか、またどのような兆候なり合図をもって前方装置に変えるか不明であった。今回、骨延長装置に張力センサーを組み込むことで、上顎骨に負荷される力の大きさがリアルタイムで測定できることから、上顎前方牽引装置が上顎に負荷できる力の大きさ、300g~400g程度の力がかかった時、上顎骨の後戻りがないことが確認できれば、骨延長装置を撤去して上顎前方牽引装置に変えて良いと思われた。現在、この方法により骨延長後の保定を行った症例の後戻りについて観察を行っているが、今後これらの結果を追跡、検討することで、張力センサーを用いた保定への移行法の有用性について考察できるものと考えられる。



上図：骨延長中に上顎骨に負荷される張力↓はネジを回転させた時点 ネジの回転で張力は一時的に上昇するが、時間の経過とともに減少する。

(3) 骨延長モニタリングシステムの有用性

従来上顎骨の前方移動はLe-Fort I型骨切り術により、およそ5mmの移動が限界であった。骨延長治療が上顎に应用されるにいたり、10mmを超える移動も可能となった。特に更新口蓋裂患者など、上顎の成長発育に問題のある患者では、顔貌のバランスの向上から本来上顎の前方移動が望まれるが、従来法では5mmの前方移動が限界であったため、上下顎の差を下顎の後退で補償させ

る事となり、顔貌の審美性を追求する事が困難であった。一方骨延長治療の導入により上顎骨の移動は可能となったものの、やはり移動量の大きさは、軟組織の著しい変形を必要とするため、後戻りも大きくなり安定性も含めて、今後とも大きな課題となると思われる。また、骨延長は切り離された上顎骨が頭部固定装置に装着された支柱から牽引され、1日1mmの移動量として長い場合は2週間以上に及ぶ牽引が必要となり、患者の負担も極めて高いものとなる。そこで、上顎骨に与える牽引力、超音波画像による上顎骨の移動様相の解析がリアルタイムで行えることは、骨延長のモニタリング装置として十分な機能を果たすものと評価できる。骨延長治療は長期にわたり患者にストレスを与えるため、ストレスの軽減と手術後の治癒の促進を目的として骨延長治療を行った希望者に高圧酸素療法を併用する。高圧酸素療法が骨延長患者の骨化促進に効果があるかどうかは今の時点で不明であるが、患者のストレスの軽減については十分な効果があるものと思われる。今後とも上顎骨の劣成長が著しい症例に対して上顎骨の骨延長治療は極めて有用な治療法として採用されることが多いと考えられるが、本モニタリング装置は骨延長中の上顎骨の動態を把握し、また骨延長終了時、延長装置から前方牽引装置などによる保定に変更する時期の決定などに極めて有用な情報を提供するものと思われる。

#### (4) 球形樹脂粒子含有人工ガムによる骨延長治療前後の咀嚼機能評価

上顎骨の骨延長治療は、外科矯正治療の範疇に入り、その目的は顔貌の審美性の回復とともに咀嚼機能の向上にある。咀嚼機能の評価法は多数報告されているが、それぞれ特徴があり、また咀嚼は様々な機能を含んでおり一つの方法ですべて評価することは困難である。今回本研究で採用した球形樹脂微粒子含有人工ガムによる方法は、簡便でかつ定量的解析が可能であるところに特徴がある。今回は、本解析法の確立まで行い、実際の骨延長患者への適用まで試行することはできなかった。本研究では正常咬合者と不正咬合の程度が最も大きいと思われる顎変形症患者をサンプルとして人工ガムを用いて咀嚼効率の測定を行った。その結果、平均値において正常咬合者は顎変形症患者において有意に高い咀嚼効率の値を示したが、個別のサンプルについて観察を行うと、臼歯の数本しか咬合していない顎変形症患者であっても、正常咬合者と同程度の咀嚼効率を示すサンプルも存在した。このようなサンプルについて咀嚼時の顎運動をトレースすると運動軌跡は

極めて安定しており、咀嚼運動中人口ガムを常に同じ最も咬合接触面積の大きい、最も能率良く噛める場所で咀嚼していることが想像された。すなわち咀嚼効率は歯並びや、咬合接触面積と同時に舌などにより食物を咬合場所にうまく移動できる能力なども極めて重要な因子となっていることが明らかとなった。このように考えると、骨延長治療などにより口腔環境を大きく変化させた場合、外科的矯正治療により歯並びや咬合接触面積が増大しても、舌などの機能が新しい口腔内環境に適用しない限り、咀嚼効率は必ずしも向上しないことも想定される。今後はこのような命題についても研究を続けていく予定である。

#### 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0件)

[学会発表] (計9件)

(1) Kataoka K, Baba Y, Honda A, Kawafuji A, Ishizaki T, Suzuki S, Moriyama K. Measurement of traction force using micro tension gauges in maxillary distraction osteogenesis. 66th American Cleft Palate Association Annual Meeting, Scottsdale, Arizona, April 20-25, 2009.

(2) 金谷和宏、鈴木聖一、五島健一、三浦不二夫、三浦宏之、森山啓司. 球形樹脂微粒子含有ガムを用いた咀嚼効率の研究(第1報). 第68回日本矯正歯科学会、福岡、2009年11月16-18日

(3) Baba Y: Distraction Osteogenesis in the Treatment of Cleft Lip and Palate. 3th Annual Meeting of Korean CLPA, Seoul, June 14, 2009.

(4) 片岡恵一: 超音波画像を用いた片側性口唇裂・口蓋裂症例に対する上顎骨延長術後の骨形成の評価. 第19回日本顎変形症学会総会、平成20年度学会賞受賞講演、仙台、2009年6月5日.

(5) Kataoka K, Baba Y, Honda A, Suzuki S.

Moriyama K. Integration of tree-dimensional hard/soft tissue data in cleft lip palate patients treated by orthognathic surgery. The 2nd International Conference on Orthodontic Treatment, Hiroshima, April 3-4, 2010.

(6) 金谷和宏、鈴木聖一、宮本順、川元龍夫、森山啓司. 球形樹脂微粒子含有ガムを用いた咀嚼効率の研究(第2報). 第69回日本矯正歯科学会、横浜、平成22年9月27-29日.

(7) 本田綾、馬場祥行、片岡恵一、鈴木聖一、森山啓司. 上顎骨延長法を適応した口唇裂・口蓋裂症例の長期経過に関する検討. 第20回日本顎変形症学会総会、札幌、平成22年6月16日.

(8) Kataoka K, Ogawa T, Baba Y, Higashihori N, Suzuki S, Moriyama K. Ultrasonographic monitoring for bony healing after maxillary distraction osteogenesis in an adult cleft lip and palate case. The 9th European Craniofacial Congress, Salzburg, September 14-17, 2011.

(9) 片岡恵一、小川卓也、馬場祥行、東堀紀尚、鈴木聖一、森山啓司. 上顎骨延長法適用後に超音波画像を用い延長部硬組織の治癒過程を経時的に観察した口唇口蓋裂の一症例. 第35回日本口蓋裂学会総会、新潟、平成23年5月25-26日

〔図書〕(計0件)

〔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  
無し

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

鈴木聖一 (SUZUKI SHOICHI)  
東京医科歯科大学大学院医歯学総合  
研究科 准教授  
研究者番号：90187732

##### (2) 研究協力者

森山啓司 (MORIYAMA KEIJI)  
東京医科歯科大学大学院医歯学総合  
研究科 教授  
研究者番号：20262206

馬場祥行 (BABA YOSHIYUKI)  
国立成育医療研究センター歯科 医員  
研究者番号：70251535

川元龍夫 (KWAMOTO KAWAMOTO)  
東京医科歯科大学大学院医歯学総合  
研究科 講師  
研究者番号：50323704

辻美千子 (TSUJI MITIKO)  
東京医科歯科大学大学院医歯学総合  
研究科 助教  
研究者番号：90345281