

機関番号：12602

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2008～2010

課題番号：20592388

研究課題名（和文） 張力センサを用いた骨延長術時の牽引力の解析

研究課題名（英文） Analysis of traction force in distraction osteogenesis by using strain gauges

研究代表者

馬場 祥行（BABA YOSHIYUKI）

東京医科歯科大学・歯学部・非常勤講師

研究者番号：70251535

研究成果の概要（和文）：本研究の目的は、小型張力センサを用いて上顎骨延長術中の牽引力の大きさについて検討することである。センサを 23 mm にまで小型が可能であった。RED システムによる上顎骨延長術を適用した口唇裂・口蓋裂の 8 症例における術中の牽引力を計測した。その結果、各症例における牽引力の大きさは、延長開始後の日数および延長装置活性化の積算量との間にいずれも有意の正の相関（ $p<0.01$ ）を示した。また、8 症例中で延長期間中に計測された最大の上顎牽引力は 54N であった。一方、延長効率の低い症例においては延長効率の高い症例と比べ、延長時の牽引力の上昇が顕著である傾向が示唆された。

研究成果の概要（英文）：The objective of this study was to make measurement of traction force and to investigate change of the force during the maxillary distraction osteogenesis. Micro tension gauge was able to be customized and minimized to 23 mm. Tension of traction wires was measured in 8 cleft lip/palate patients treated by using rigid external distraction system. The force increased with daily activation ( $p<0.01$ ); the force showed positive correlation with the amount of activation ( $p<0.01$ ). Moreover, the maximum total force of the both sides measured through activation period within all 8 cases was 54N. On the other hand, a case in which the lower distraction efficiency was observed demonstrated the higher tension/activation ratio.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008 年度	2,100,000	630,000	2,730,000
2009 年度	700,000	210,000	910,000
2010 年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
総計	3,600,000	1,080,000	4,680,000

研究分野：医歯薬学

科研費の分科・細目：歯学・矯正・小児系歯学

キーワード：骨延長法、上顎骨、牽引力、張力センサ、創外型延長装置、RED システム

## 1. 研究開始当初の背景

近年、顎顔面領域における著しい劣成長に対して、骨延長法が適用されている。当分野では、口唇口蓋裂患者をはじめとする、種々の先天異常症例に認められる上顎骨劣成長

に対して、既に 50 症例以上において RED（rigid external distraction）システムを用いた上顎骨延長術を施行している。RED システムを用いた骨延長法の至適化を目標として当分野では、(1) 骨延長装置の活性化

中、および活性化終了後から延長装置撤去までの上顎骨の移動様相に関する、正面および側面頭部X線規格写真を用いた検討、(2) CTを用いた、骨延長部の骨化に関する検討、(3) 骨化の評価に際してX線被曝を最小限とするために、CTの代替としての超音波画像診断の適用の試行、(4) 延長効率向上のための牽引装置の強化、(5) 術後の後戻りの検討等、様々な観点に基づき総合的に検討を行っている。

これらの研究の一環として、本研究においては、REDシステムに張力センサを組み込むことにより、上顎を前方に牽引する際の牽引力、すなわち上顎骨にかかる力の大きさを、経時的および経日的に計測し、REDシステムによる上顎骨延長術のモニタリングを図ることに着目した。

長管骨の骨延長術に関しては、臨床研究および実験動物を用いた基礎研究より、数 Kg から数十 Kgf がかかること<sup>1,2)</sup>が確認されているが、顎顔面領域における骨延長術に関するこの種の論文は認められない。また、骨延長術における延長装置の至適活性化量は、長管骨では1日 $1\text{mm}^3$ )とされている。これを踏襲して、頭蓋顎顔面領域の骨延長術に用いるREDシステムにもこの術式が適用されているが<sup>4)</sup>、明確な根拠はない。一方、延長中にREDシステムの装置が変形するために、活性化量に対してどの程度の延長効率で上顎の前方移動がなされているかについての確認は、側面頭部X線規格写真による評価に頼らざるを得ないのが現状である。しかしながら被曝量の観点からは頻繁な撮影は望ましくない。そこで、活性化を行った時点から次の活性化を行う時点までの、牽引ワイヤーの張力の減少を計測することが可能となれば、両計測時点間でどれだけ上顎が前方移動したかの指標のひとつとなるものと考えた。

さらに、骨延長法における上顎骨の前方移動の後戻りに関しては、平均で移動量の10~25%とされ<sup>6)</sup>、後戻りを小さくすることが、臨床上の課題のひとつとなっている。従って、骨延長術により求められる上顎の前方移動が達成され、創外固定装置を撤去する際に、どれくらいの牽引力がかかっているかを知ることが、その後の保定に必要な力の大きさを決定する際にも重要な情報を与えるものと考えられる。

## 文 献

- 1) Aronson, J., Harp, J.H.: Mechanical forces as predictors of hearing during tibial lengthening by distraction osteogenesis. Clin. Orthop. Rel. Res., 301(2): 73-79, 1994.
- 2) Gardner, T.N., Evans, M., Simpson., et al.: A method of examining the magnitude

of "soft" and "hard" tissues forces resisting limb lengthening. Med. Eng. Phys., 19(5): 405-411, 1997.

3) Ilizarov, G.A.: The tension-stress effect on the genesis and growth of tissues.: Part II. The influence of the rate and frequency of distraction. Clin. Orthop. Rel. Res., 239: 263-285, 1989.

4) Polly, J.W., Figueroa, A.A.: Management of severe maxillary deficiency in childhood and adolescence through distraction osteogenesis with an external adjustable, rigid distraction device. J. Craniofac. Surg., 8(3): 181-185, 1997.

5) 井上 治、茨木邦夫、湯作祚子: 高気圧酸素療法の整形外科領域における適応症. 最新医学, 49(2):1270-1278, 1994.

6) 馬場祥行, Eduardo, Y.S., 北原 裕, 他: REDシステムを用いて骨延長法を適用した口唇口蓋裂患者の上顎の変化. 日口蓋誌, 28(3): 229-237, 2003.

## 2. 研究の目的

研究目的として以下の5点を掲げる。

(1) 荷重変化に対する、超小型張力センサによる計測値の信頼性および至適化についての基礎的な検討。

(2) REDシステムの牽引ワイヤーに超小型張力センサを組み込むことによる、骨延長術適用時の上顎牽引力の測定法の至適化。

(3) 牽引用スクリューの活性化時における張力の経時的変化の計測。

(4) 牽引装置の活性化中の張力の経日的変化の計測。

(5) 張力の計測結果と上顎の移動様相を対照することによる、臨床適用における至適化の検討。

## 3. 研究の方法

### (1) 張力センサの設定

張力センサ(SSK社製、LT6-5)の長径を市販の40mmから可及的に縮小するよう設計し、口腔に近接して使用のための耐水性および接続コードの補強に関して確認した。REDシステムのスピンドルユニット(牽引用スクリューにより装置を活性化する部分)に、超小型張力センサを組み込み、スクリューの活性化によりセンサに張力がかかるよう設定した。センサからインタフェイスを介し、パーソナルコンピュータに接続し、センサの計測値を出力表示・保存する。牽引用スクリューの活性化時および巻き戻し時における張力の経時的および経日的変化について、牽引装

置の活性期間中、およびその後の装置撤去まで測定した。

## (2) 骨延長に伴う牽引力の変化

口唇口蓋裂の8症例を対象とした。内訳は片側性口唇口蓋裂1症例、両側性口唇口蓋裂1症例、口蓋裂1症例、男性3症例、女性5症例であり、年齢は $22.3 \pm 6.0$ 歳(平均、SD)である。上顎骨延長術中の牽引力を計測し、各症例において、骨延長術に伴う経日的な牽引力の変化、および経日的な活性化の積算量と牽引力の関係について検討した。さらに、症例間における活性化積算量と最大牽引力の関係について検討した。

## (3) 牽引力と延長効率の関係

17歳2か月の両側性口唇口蓋裂の男性(症例1)および23歳7か月の左側口唇口蓋裂の女性(症例2)を対象として、上顎にかかる牽引力と延長術前後に撮影した側面頭部X線規格写真から得た上顎の前方移動量との関係について検討した。

## (4) 統計学的検討

変数間の直線回帰および相関係数、危険率の検討には、統計解析ソフトDr. SPSSを用いた。

## 4. 研究成果

### (1) 張力センサによる計測

張力センサを長径23mmまで縮小するよう設計し、作製可能であった。図1に示すごとく、センサをREDシステムの口腔内スプリントとスピンドルユニット(牽引装置)を結ぶ牽引ワイヤー内に介在させた。センサの接続コードはインタフェースを介してパーソナルコンピュータに接続し、出力表示および保存した(図2)。



図1(左) 張力センサの設置

図2(右) PCへの接続

図3は、REDシステムの左右の牽引ワイヤーにそれぞれ張力センサを組み込み、牽引装置の活性化を右側と左側について2回ずつ行い、パーソナルコンピュータに出力表示した結果である。片側の活性化により張力(牽引力)が上昇する一方、反対側の牽引力は低下するが、交互に活性化することにより徐々に両側の張力が上昇することを示す。

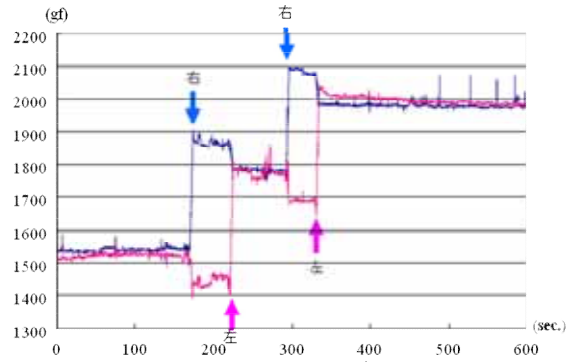


図3 モニタリング

## (2) 骨延長に伴う牽引力の変化

### 骨延長術に伴う経日的な牽引力の変化

骨延長術の開始からの日数(x)と左右牽引力の平均(y)を $y = ax + b$ (単位:N、ニュートン)に直線回帰する際の相関係数は全症例において0.92以上、危険率は1%未満であった。一次項(a)の値の分布は、最小値が0.82、最大値が1.44であった。

### 経日的な活性化の積算量と牽引力

延長装置の活性化開始からの経日的な活性化の積算量(x、単位mm)と牽引力(y、単位N)を左右側についてそれぞれ検討した。 $y = ax + b$ に直線回帰する際の相関係数は全症例において0.73以上、危険率は1%未満であった。一次項(a)の値の分布は、最小値が0.45、最大値が1.37であった。図4にて、対象中の1症例を用いその計測結果例を示す。

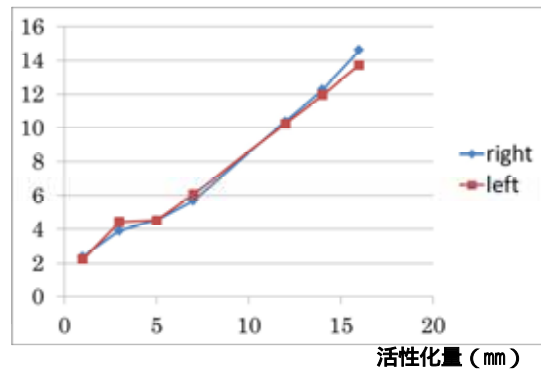


図4 活性化量と牽引力の計測例

## 症例間における活性化積算量と最大牽引力の関係

8症例において、経日的な活性化の積算量(x、単位mm)と活性化終了時の左右牽引力の和(y、単位N)の関係を検討したところ、両者には有意の正の相関を認めた( $r=0.82$ 、 $p<0.01$ )。すなわち、延長期間中に装置の積算活性化量が大きな症例ほど、上顎に大きな牽引力がかかる傾向を認めた。なお、全症例中の最大値(左右側計測値の合計)は54N(約5.5kgf)であった。

### (3) 牽引力と延長効率の関係

症例1の上顎前方移動量(骨延長量)は14.5mmで、骨延長に要した延長器の活性化量は22.5mmであった。従って、本症例の骨延長術における延長効率は64%であった。一方、症例2においては、上顎前方移動量が9.0mm、活性化量が16.0mmであったので、延長効率は56%であった。そこで、これら2症例における活性化に伴う牽引力の変化を検討したところ、延長装置の活性化開始からの経日的な活性化の積算量(x、単位mm)と牽引力(y、単位N)の関係は、症例1で $y=0.85x+0.95$ (図5)、症例2で $y=1.56x+2.37$ (図6)に回帰可能であった。従って、延長効率の高い症例においては、活性化に伴う牽引力の上昇が緩やかである可能性が示唆された。

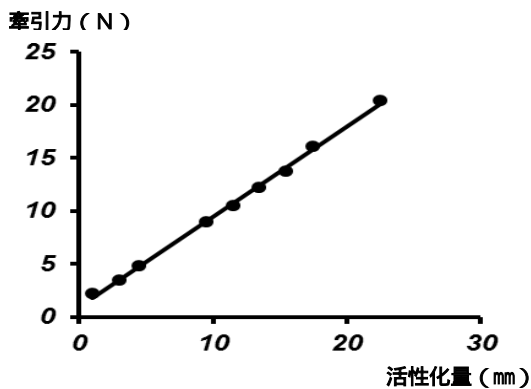


図5 症例1

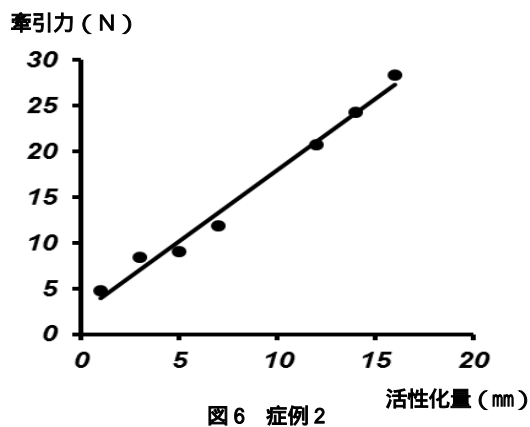


図6 症例2

### (4) 結論

本研究結果は、REDシステムを用いた上顎骨延長術を施行する際の牽引力の大きさ、および個々の症例における延長効率を把握する上で、重要な情報を提供しうるものであることが示唆された。

### 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11件)

Ishizaki T, Baba Y, Suzuki S, Dio H, Yoneyama T, Moriyama K. Comparison of the efficiency of two types of intraoral splints in the RED system for maxillary distraction osteogenesis. Orthod Waves 69:102-9, 2010. 査読有

本田綾, 馬場祥行, 片岡恵一, 鈴木聖一, 森田圭一, 小村健, 森山啓司: Le Fort 型骨切り術により幅の広い顎裂を閉鎖した成人片側性口唇口蓋裂の1症例. 日顎変形誌 20: 258-65, 2010. 査読有

本田綾, 馬場祥行, 山田大輔, 鈴木聖一, 大林尚人, 倉林亨, 森山啓司: Le Fort 型上顎骨延長術を適用した口唇口蓋裂症例の軟組織変化に対するCT画像を用いた三次元的検討. 日本シミュレーション外科学会誌 18: 11-17, 2010. 査読有

Kawafuji A, Suda N, Suzuki T, Ichikawa N, Kakara S, Baba Y, Ogawa T, Tsuji M, Moriyama K. Systemic and maxillofacial characteristics of individuals affected by Beckwith-Wiedemann syndrome who have not received a glossectomy. Am J Orthod Dentofacial Orthop (in press) 査読有

Aoki A, Moriyama K, Kawamoto T, Aoki K, Inokuchi T, Kudoh A, Nagahama K, Baba Y, Suzuki S, Ohya K. Amount of bone lengthening affects blood flow recovery and bone mineralization after distraction osteogenesis in a canine cleft palate model. Cleft Palate Craniofac J 47:303-13, 2010. 査読有

Inokuchi T, Kawamoto T, Aoki K, Aoki A, Nagahama K, Baba Y, Suzuki S, Shibayama M, Mano Y, Ohya K, Moriyama K: The effects of hyperbaric oxygen on tooth movement into the regenerated area after distraction osteogenesis. Cleft Palate Craniofac J 47:382-92, 2010. 査読有

Gereltzul E, Baba Y, Suda N, Shiga M, Inoue M, Tsuji M, Shin I, Hirata Y, Ohyama K, Moriyama K: Case Report of de novo Dup(18p)/Del(18q) and R(18) Mosaicism. J Hum Genet 53:941-6, 2008. 査読有

Mukai-Higashihori K, Baba Y, Tetsumura A, Tsuji M, Ishizaki T, Higashihori N, Ohbayashi N, Kurabayashi T, Suzuki S, Ohyama K: Ultrasonographic assessment of new bone formation in maxillary distraction osteogenesis. J Oral Maxillofac Surg 66:1750-3, 2008. 査読有

Yokota T, Shimokawa H, Shibata S, Itoh K, Baba Y, Ohya K, Ohyama K, Suzuki S: Insulin-like growth factor I regulates apoptosis in condylar cartilage. J Dent Res 87:159-63, 2008. 査読有

篠原亨太郎,馬場祥行,横関雅彦,森山啓司: RED システムにより Le Fort I 型骨延長術を行い反対咬合および上顎側方偏位を改善した Crouzon 症候群の 1 例. 日顎変形誌 18:39-48, 2008. 査読有

片岡恵一,馬場祥行,石崎敬,本田綾,鉄村明美,大林尚人,倉林亨,鈴木聖一,森山啓司: 超音波画像法を用いた上顎骨延長後の骨形成の評価. 日顎変形誌 18: 251-8, 2008. 査読有

[学会発表](計 46 件)

Baba Y, Suda N, Inoue MS, Tsuji M, Moriyama K: De novo rod and ring mosaicism in del(18q) syndrome. 88th IADR, Barcelona, Jul 14-17, 2010.

Sato M, Baba Y, Inokuchi T, Honda A, Kataoka K, Tsuji M, Suzuki S, Moriyama K: Clinico-statistical analysis of congenitally missing permanent teeth in CLP. 88th IADR, Barcelona, Jul 14-17, 2010.

Tsuji M, Baba Y, Kataoka K, Honda A, Suzuki S, Moriyama K: Measurement of traction force in distraction osteogenesis for CLP. 88th IADR, Barcelona, Jul 14-17, 2010.

Inokuchi T, Kawamoto T, Aoki K, Itoh Y, Tominaga N, Baba Y, Suzuki S, Ohya K, Moriyama K: Effects of hyperbaric oxygen on tooth movement after distraction osteogenesis. 88th IADR, Barcelona, Jul 14-17, 2010.

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 Annual Meeting American Cleft Palate Association, Scottsdale, Apr 20-25, 2009.

Kataoka K, Baba Y, Honda A, Suzuki S, Ohbayashi N, Kurabayashi T, Moriyama K: Integration of three-dimensional hard/soft tissue data in patients treated with orthognathic surgery. 11th International Congress on Cleft Lip and Palate and Related Craniofacial Anomalies, Fortaleza, Sep 10-13, 2009.

Honda A, Baba Y, Yagishita K, Yamami N, Mano Y, Suzuki S, Moriyama K: Long-term study of skeletal changes after maxillary distraction in growing children with cleft lip and palate. 11th International Congress on Cleft Lip and Palate and Related Craniofacial Anomalies, Fortaleza, Sep 10-13, 2009.

井口隆人,川元龍夫,青木朝里,長濱浩平,馬場祥行,鈴木聖一,森山啓司: 齒槽骨延長

部への歯の移動に高気圧酸素が与える影響. 第 33 回日本口蓋裂学会,東京,2009 年 5 月 28-29 日.

本田綾,馬場祥行,片岡恵一,鈴木聖一,大林尚人,倉林亨,森山啓司: Le Fort I 型上顎骨延長法を適用した口唇口蓋裂症例の軟組織変化に対する CT 画像を用いた三次元的検討. 第 33 回日本口蓋裂学会,東京,2009 年 5 月 28-29 日.

本田綾,馬場祥行,山田大輔,鈴木聖一,大林尚人,倉林亨,森山啓司: Le Fort I 型上顎骨延長法を適用した口唇口蓋裂症例の軟組織変化に対する CT 画像を用いた三次元的検討. 第 19 回日本シミュレーション外科学会,東京,2009 年 10 月 31 日.

Baba Y, Kataoka K, Kawafuji A, Honda A, Ishizaki T, Suzuki S, Moriyama K: Measurement of traction force using micro tension gauge in maxillary distraction osteogenesis. 41st Annual Scientific Congress of Korean Association of Orthodontists/ 2nd Joint Meeting of the Korean Association of Orthodontists and the Japanese Orthodontic Society, Seoul, Dec 6-8, 2008.

Kawafuji A, Baba Y, Shiga M, Honda A, Kataoka K, Suzuki S, Moriyama K: Midfacial soft tissue change after Le Fort maxillary distraction osteogenesis in UCLP patients. 41st Annual Scientific Congress of Korean Association of Orthodontists/ 2nd Joint Meeting of the Korean Association of Orthodontists and the Japanese Orthodontic Society, Seoul, Dec 6-8, 2008.

Tsuji M, Baba Y, Yagishita K, Yamami N, Mano Y, Suzuki S, Moriyama K: Clinical application of hyperbaric oxygen therapy for cleft patients treated by distraction osteogenesis. 41st Annual Scientific Congress of Korean Association of Orthodontists/ 2nd Joint Meeting of the Korean Association of Orthodontists and the Japanese Orthodontic Society, Seoul, Dec 6-8, 2008.

Kataoka K, Baba Y, Honda A, Ishizaki T, Tetsumura A, Ohbayashi N, Kurabayashi T, Suzuki S, Moriyama K: Ultrasonographic observation of bone formation after maxillary distraction osteogenesis. 41st Annual Scientific Congress of Korean Association of Orthodontists/ 2nd Joint Meeting of the Korean Association of Orthodontists and the Japanese Orthodontic Society, Seoul, Dec 6-8, 2008.

本田綾,馬場祥行,石崎敬,鈴木聖一,森山啓司: 思春期性成長以降に Le Fort I 型上

顎骨延長法を適用した口唇・口蓋裂症例の術後変化．第 32 回日本口蓋裂学会，広島 2008 年 5 月 28-29 日．

片岡恵一，馬場祥行，石崎敬，本田綾，鈴木明美，大林尚人，倉林亨，鈴木聖一，森山啓司：超音波画像法を用いた上顎骨延長後の骨形成の評価．第 18 回日本顎変形症学会，名古屋，2008 年 6 月 17-18 日．

辻美千子，馬場祥行，本田綾，柳下和慶，山見信夫，眞野嘉洋，鈴木聖一，森山啓司：上顎骨の骨延長法に際し、高気圧酸素治療 (HBO) を適用した 1 症例．第 43 回日本高気圧環境・潜水医学会，旭川，2008 年 10 月 31 日-11 月 1 日．

本田綾，馬場祥行，片岡恵一，辻美千子，石崎敬，柳下和慶，山見信夫，眞野嘉洋，鈴木聖一，森山啓司：口唇口蓋裂症例の上顎骨延長法に対する高気圧酸素治療の適用と術後評価．第 43 回日本高気圧環境・潜水医学会，旭川，2008 年 10 月 31 日-11 月 1 日．

本田綾，馬場祥行，片岡恵一，辻美千子，石崎敬，鈴木聖一，柳下和慶，山見信夫，森山啓司：口唇・口蓋裂症例の上顎骨延長法に対する高気圧酸素治療の適応と術後評価．第 67 回日本矯正歯科学会，千葉，2008 年 9 月 16-18 日．

奥平真理子，馬場祥行，石崎敬，本田綾，片岡恵一，鈴木聖一，森山啓司：RED システムによる Le Fort I 型骨延長術を適用した口唇・口蓋裂患者に対するアンケート調査．第 67 回日本矯正歯科学会，千葉，2008 年 9 月 16-18 日．

21 川藤亜樹子，馬場祥行，志賀百年，本田綾，片岡恵一，鈴木聖一，森山啓司：Le Fort I 型上顎骨延長術を適応した片側性口唇口蓋裂症例の中顔面の軟組織の変化．第 67 回日本矯正歯科学会，千葉，2008 年 9 月 16-18 日．

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

取得状況 (計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等 なし

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

馬場 祥行 (BABA YOSHIYUKI)

東京医科歯科大学・歯学部・非常勤講師

研究者番号：70251535

### (2) 研究分担者

鈴木 聖一 (SUZUKI SEIICHI)

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

### (3) 連携研究者

米山 隆之 (YONEYAMA TAKAYUKI)

日本大学・歯学部・教授

研究者番号：220773