

平成 30 年 6 月 20 日現在

機関番号：17301

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K20600

研究課題名(和文) 矯正治療期間短縮のための骨リモデリングを含めた長期的な歯の移動予測システムの構築

研究課題名(英文) Construction of long term simulation system of tooth movement including bone remodeling to shorten orthodontic treatment period

研究代表者

富永 淳也 (TOMINAGA, Junya)

長崎大学・医歯薬学総合研究科(歯学系)・助教

研究者番号：30565362

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：まず、ラットを用いて骨リモデリング速度の定量化を図ってきた。さらに、これを有限要素解析に組み込むことで、本研究の目的を達成する予定としていたが、ラットの歯は非常に小さく、モデルの構築に非常に時間を必要とし、かつ、歯根膜上の任意の点における応力値と、その点の移動量から歯槽骨リモデリング速度を定量化する過程では、その点が無数に存在することや、複数の歯において検証を重ねる必要があったため、骨リモデリング速度の定量化は行えていない。しかし、以前は歯に力が加えられた瞬間の解析のみであったが、現在では数か月といった長期的な歯の移動予測を行えるまでとなった。

研究成果の概要(英文)：I tried to quantify bone remodeling rate with micro-CT images of rat. Besides, I was planning to program the value to finite element analysis enabled to achieve the purpose. However, tooth of rat was too small and it took a lot of time to make the finite element model. Moreover, it was necessary that the relationship the value of stress on the point of the surface of periodontal ligament and its distance from initial position to final to clarify bone remodeling rate, but because so much points were exist and verification among the number of teeth were needed, bone remodeling rate has not been clarified yet. In other times, simulation of tooth movement was only the initial tooth displacement, nevertheless, long time tooth movement for more than several months has been able to do.

研究分野：歯科矯正学

キーワード：骨リモデリング速度の定量化 3次元変位測定システム マイクロCT 光学式3次元形状計測装置 3次元有限要素解析

1. 研究開始当初の背景

近年、矯正治療への関心は以前よりも高まってきている。しかし、日本での認知度および普及率は先進国の中でも非常に低い。この背景には、歯を喪失する最大の原因であるう蝕や歯周病と矯正治療との関係についての認識の低さや、治療費の問題が考えられる。また他の歯科治療に比べ、治療期間が2～3年といった長期にわたることも最大の要因のうちの1つである。これらの要因のうち、最も早急に改善できるものは、治療期間の短縮であると考え、本研究を行うに至った。

2. 研究の目的

本研究の目的は、上記したように矯正歯科治療の最大の欠点である長い治療期間を短縮するために、治療結果を正確に推定することが可能な、骨改造現象(骨リモデリング)を考慮した長期的な歯の移動予測システムを構築することである。治療開始前に、どのような矯正治療メカニクスを用いれば、どういった結果となるかを正確に予測できれば、その目標に向かって最短で治療を終了することができる。つまり、このシステムが確立されれば、通常であれば2～3年以上にも及ぶ治療期間を大幅に短縮できる。またこの過程で、歯の移動に最も影響を及ぼす骨リモデリング速度を定量化し、効率的に歯を移動するための最適な矯正治療メカニクス(最適荷重条件)を決定する。

3. 研究の方法

まず、磁気センサを応用した、高精度3次元変位測定システム(分解能 $1\mu\text{m}$)を用いて、実際の矯正治療中の患者を対象に、様々な大きさの力を加えた際の、前歯の初期変位動態を口腔内で実測する。矯正用ワイヤーに取り付けたパワーアームと呼ばれる長いフックにコイルスプリングを掛け、前歯を後方へ移動する治療メカニクスにこのシステムを応用す

るが、これにより得られたデータと比較し、有限要素解析のうち、初期変位解析の妥当性を検討する。

前述により、歯の初期変位における移動動態は明らかにすることができ、また、初期変位解析の妥当性は検討できるが、歯の移動を行っている過程での移動動態を詳細に解明することはできない。これを解明するためには、力の大きさを変え、その度にレントゲン撮影を行い、力の大きさと歯の移動速度との相関を調べる必要がある。しかしながら、ヒトで行うことは倫理的に問題がある。そこで、歯の移動中における骨改造現象を明らかにするために、ラットにマイクロCTを用いることで、同一個体で経時的なデータを収集する。これまでは力の大きさと歯の移動速度との相関を調べてきたが、これをさらに発展させることによって、骨リモデリング速度を定量化することが可能である。この値を求めることは、矯正治療における歯の移動動態の解明において非常に重要な因子であるにもかかわらず、現時点で、未だこれを算出できたという報告はない。

次に、実際の患者における矯正治療前後に作製した歯列模型を、非接触・高速3次元形状計測装置を用いて取り込み、そのデータを3次元データ解析ソフトウェアにより重ね合わせることで、治療前後の歯の移動動態を3次的に解明する。

また、有限要素解析ソフトウェアを用い、長期的な歯の移動動態の解析を行うためには、初期変位後の歯の位置からさらに繰り返し解析を行っていく。この方法では実際の口腔内や歯列模型では評価することのできない、ブラケットと矯正用ワイヤーとの間の接触や滑りの問題も反映した解析を行うことができ、かつ、常にある決まった条件下における歯の移動シミュレーションを行うことが可能である。われわれが行ってきた解析では、ブラケット内面と矯正用ワイヤーとの接

触や歯列全体に及ぶワイヤーそのものの変形が歯の動きには大きく影響を与えることが明らかとなってきた。ここで、定量化した骨リモデリング速度をこの有限要素解析に組み込むことで、骨リモデリングを考慮した長期的な歯の移動動態を解析していく。その後、実際の治療前後とこの解析結果との比較検討を行い、整合性を検証することで、実際の臨床に即した骨リモデリングを含めた長期的な歯の移動予測システムを構築する。さらに、このシステムを応用し、効率的に歯を移動するための最適荷重条件を決定する。

4. 研究成果

まず、ラットを用いて骨リモデリング速度の定量化を図ってきた。さらに、これを有限要素解析に組み込むことで、本研究の目的を達成する予定としていたが、ラットの歯は非常に小さく、モデルの構築に非常に時間を必要とし、かつ、歯根膜上の任意の点における応力値と、その点の移動量から歯槽骨リモデリング速度を定量化する過程では、その点が無数に存在することや、複数の歯において検証を重ねる必要があったため、骨リモデリング速度の定量化は行えていない。しかし、前述した方法のうち、ラットにマイクロ CT を用いることで、同一個体で経時的なデータを収集することで、様々な歯の移動動態が歯槽骨の吸収へ及ぼす影響や、歯の抵抗中心の移動量の変化について明らかにすることができた。(1)方法(2)結果(3)結論について、順に以下に記す。

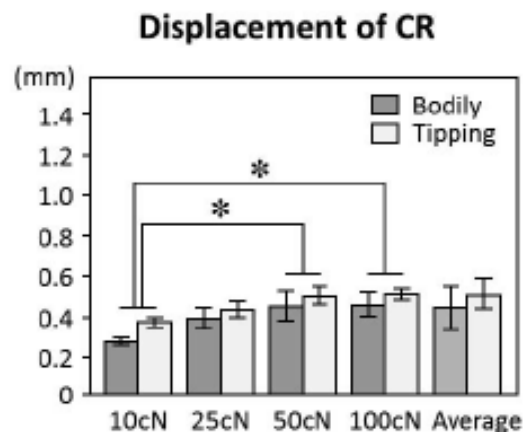
(1) 10 週齢のウィスター系雌ラット 42 匹(体重 170-180 g)を用い、第一臼歯の近心移動を行った。歯の移動動態として、歯体移

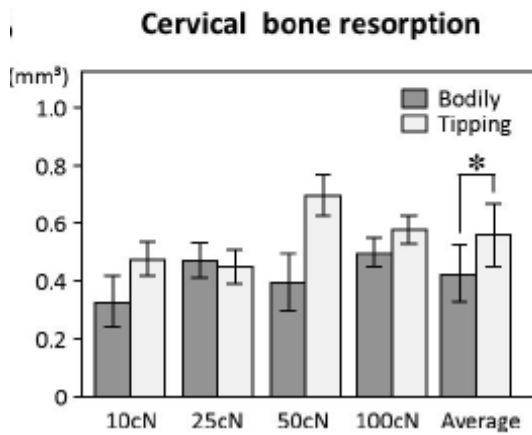
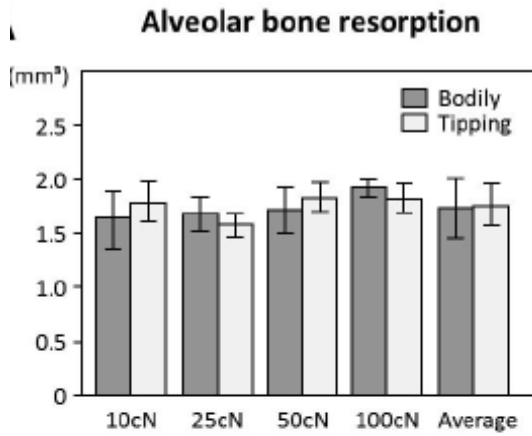
動群と傾斜移動群を想定し、さらに力の大きさとして 10 c N、25 c N、50 c N、100 c N の矯正力を付与した (Table 1)。前歯部には長さ 6.0 ミリ、直径 1.4 ミリの歯科矯正用アンカースクリューを埋入し、それを前歯部に結紮することで第一臼歯のみに近心力を付与できる状態とした。また、歯体移動を行うために、歯体移動群には前歯部と臼歯部に連結したワイヤーにレジynchューブを装着し、ワイヤーに沿って歯が平行移動できるような状態とした。さらに、咬合力による影響を除去するために、第二、第三臼歯咬合面にレジンを築盛し、咬合挙上を行った。マイクロ CT による撮影を、0 日目と 28 日目に行い、歯の移動動態と歯槽骨の吸収を評価した。抵抗中心の位置は、三次元有限要素解析にて求めた。

Table 1. Number of Experimental Animals

Force, cN	Movement Type	
	Bodily	Tipping
10	5	5
25	5	5
50	6	6
100	5	5

(2) 歯の抵抗中心の移動量および歯槽骨の吸収量を、下図に示す。



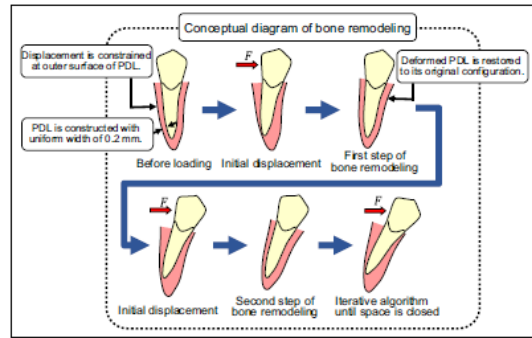


(3) 歯の抵抗中心の移動量は、歯の移動動態の影響を受けず、近心移動量は歯体移動より傾斜移動の方が大きいことが示唆された。また、歯槽骨の吸収量は、傾斜移動において、歯体移動よりも歯頸部でより大きいことが明らかとなった。

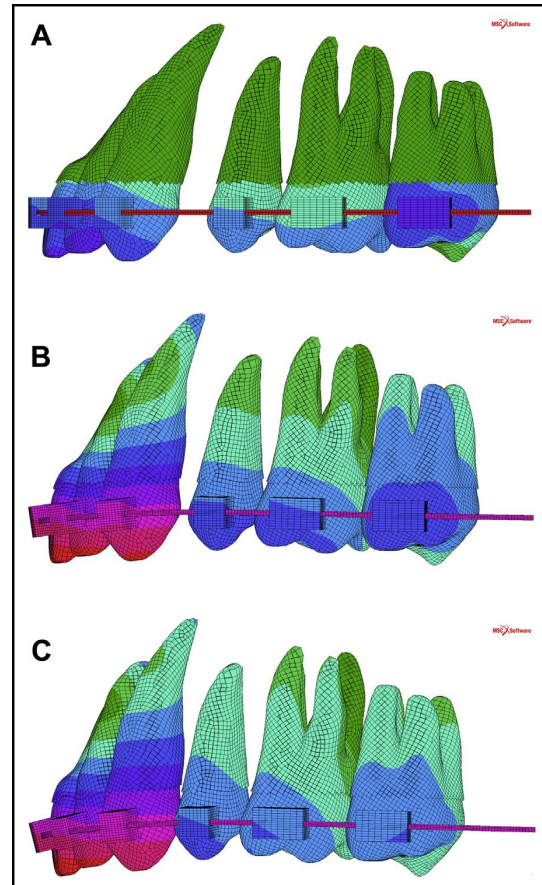
また、三次元有限解析において、以前は歯に力が加えられた瞬間の解析のみであったが、現在では数か月といった長期的な歯の移動予測を行えるまでとなった。これに関しても、(1) 方法 (2) 結果 (3) 結論について、順に以下に記す。

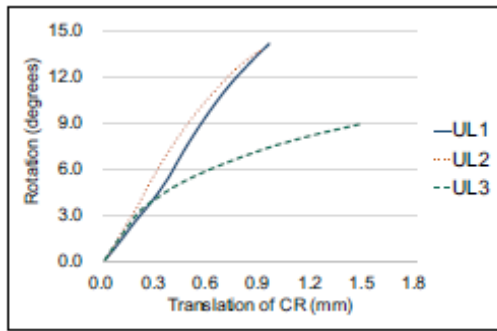
(1) 乾燥頭蓋のマイクロ CT 画像を基に、上顎歯列の三次元構築を行い、三次元有限要素解析を行った。歯根膜の厚みは、0.2 ミリで歯根のどの部位でも均一な厚みとしたが、非線形解析とした。長期的な解析を行うため

に、歯根膜の外側を拘束し、初期変位を繰り返し行っていく際に歯根膜の厚みを変化させないものとし、移動後の歯根膜の位置を次の解析における歯の初期位置として再び解析を行うものとした(下図)。また、上顎第一小白歯抜歯症例を想定し、レベリング後に抜歯空隙が 4.0 ミリ残存した状態から、その空隙の閉鎖を行った。



(2) 抜歯空隙を閉鎖するまでの歯の移動動態や、抵抗中心の移動量に関する結果を下図に示す。





(3) 初期変位を繰り返すことによって、長期的な歯の移動シミュレーションを行うことが可能となった。これにより、抜歯空隙を閉鎖する過程において、刻々と変化する力系を含めた歯の移動予測を行うことが可能となった。

<引用文献>

Kondo T, Hotokezaka H, Hamanaka R, Hashimoto M, Nakano-Tajima T, Arita K, Kurohama T, Ino A, Tominaga J, Yoshida N
Types of tooth movement, bodily or tipping, do not affect the displacement of the tooth's center of resistance but do affect the alveolar bone resorption.
Angle Orthod 2017、87、563-569

Hamanaka R, Yamaoka S, Nguyen Anh T, Tominaga J, Koga Y, Yoshida N
Numeric simulation model for long-term orthodontic tooth movement with contact boundary conditions using the finite element method
Am J Orthod Dentofacial Orthop 2017、152、601-612

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2件)

Kondo T, Hotokezaka H, Hamanaka R, Hashimoto M, Nakano-Tajima T, Arita K, Kurohama T, Ino A, Tominaga J, Yoshida N

Types of tooth movement, bodily or tipping, do not affect the displacement of the tooth's center of resistance but do affect the alveolar bone resorption.

Angle Orthod 2017、87、563-569、査読有
DOI : 10.2319/110416-794.1

Hamanaka R, Yamaoka S, Nguyen Anh T, Tominaga J, Koga Y, Yoshida N

Numeric simulation model for long-term orthodontic tooth movement with contact boundary conditions using the finite element method

Am J Orthod Dentofacial Orthop 2017、152、601-612、査読有

DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2017.03.021>

〔学会発表〕(計6件)

濱中 僚, 山岡 智, Nguyen Anh Tuan, 富永淳也, 古賀義之, 吉田教明

歯の長期移動シミュレーションと設計最適化を用いた、埋伏歯の最適な牽引方向の決定
第13回九州矯正歯科学会学術大会、2018年

濱中 僚, Nguyen Anh Tuan, 山岡 智, 富永淳也, 古賀義之, 吉田教明

抜歯空隙閉鎖時におけるワイヤー結紮方法がトルクロスに与える影響 有限要素法による経時的な移動動態解析

第12回九州矯正歯科学会学術大会、2017年

住 真由美, 濱中 僚, 富永淳也, 古賀義之, 吉田教明

0.022-in ブラケットスロットシステムにおいて最適な力系を生じる画期的なクロージンググループの有用性

第12回九州矯正歯科学会学術大会、2017年

山岡 智, 濱中 僚, Nguyen Anh Tuan,

橋本 恵, 富永淳也, 古賀義之, 吉田教明
矯正力による歯の移動ラットモデルを用いた歯根膜応力値と骨リモデリング量の相関
第 12 回九州矯正歯科学会学術大会、2017 年

山岡 智, 濱中 僚, Nguyen Anh Tuan, 富永淳也, 古賀義之, 吉田教明
矯正力による上顎犬歯の経時的な三次元的移動動態の解析
第 76 回日本矯正歯科学会学術大会、2017 年

Hamanaka R, Yamaoka S, Tominaga J, Koga Y, Yoshida N
Effect of a compensating curve on controlled movement of the anterior teeth in sliding mechanics -Simulation for long-term tooth movement using finite element method
2017 AAO Annual Session、2017 年

〔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〕

長崎大学 研究者総覧データベース 研究者詳細情報
<http://research.jimu.nagasaki-u.ac.jp/>

[ST?ISTActId=FINDJPDetail&ISTKidoKbn=&ISTErrorChkKbn=&ISTFormSetKbn=&ISTTokenChkKbn=&userId=100000440](#)

長崎大学矯正歯科学講座 業績一覧
<http://ortho.dh.nagasaki-u.ac.jp/achievements/2015.html>

長崎大学歯学部年報
<http://www.de.nagasaki-u.ac.jp/education/achievement2016.pdf>

6 . 研究組織

(1)研究代表者

富永 淳也 (TOMINAGA, Junya)
長崎大学・医歯薬学総合研究科 (歯学系)・助教
研究者番号 : 30565362

(2)研究分担者 なし

(3)連携研究者 なし

(4)研究協力者 なし