

機関番号：11301

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2009～2010

課題番号：21792056

研究課題名(和文) 細胞組織の力学的考察から構築するヒトの歯の移動シミュレーションモデルの開発

研究課題名(英文) orthodontic tooth movement simulation based on the mechanical consideration of tissues

研究代表者

鈴木 章裕 (SUZUKI AKIHIRO)

東北大学・大学院歯学研究科・大学院非常勤講師

研究者番号：80413793

研究成果の概要(和文)：

矯正力作用下において、圧迫側歯根膜(PDL)に閾値以上の法線方向のひずみが生じた場合、歯の移動が生じると仮定した矯正的歯の移動モデルを構築した。この数理モデルと3次元有限要素(FE)解析と組み合わせ、歯のシミュレーションを作成し、CTデータに基づいたヒトの下顎第2小臼歯のイメージベースモデルに適用した。矯正的歯の移動を再現する境界条件として、3種類の荷重条件を設定した。

シミュレーションの結果、本研究におけるシミュレーションは、第2小臼歯の臨床的な矯正的歯の移動をよく再現していることが示された。

研究成果の概要(英文)：

We constructed the mathematical model of the tooth movement under the orthodontic force. We combined this model with finite element analysis to construct the tooth movement simulation, and applied it to human lower second premolar.

As the result, simulation results suggest the ability of our method to simulate the orthodontic tooth movement.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	2,300,000円	690,000円	2,990,000円
2010年度	1,000,000円	300,000円	1,300,000円
年度			
年度			
年度			
総計	3,300,000円	990,000円	4,290,000円

研究分野：医歯薬学

科研費の分科・細目：歯学・矯正・小児歯科学

キーワード：歯科矯正学・シミュレーション・FEM

1. 研究開始当初の背景

矯正歯科治療は、健全な状態にある歯に矯正装置を用いて外力を負荷し、機能的、審美的に適切な咬合を形成できる位置まで顎骨内を移動させる事を目的としている。このコ

ンセプトは近代歯科矯正学における釘管装置から、エッジワイズ装置を用いた現代歯科矯正学まで不変である。歯の移動には、歯根膜と歯槽骨のリモデリングが大きく関わっており、*in vitro*の系でもヒト歯根膜細胞、

骨芽細胞に圧迫力を作用させることで、骨吸収を促進する因子を産生かつ増大することが知られている。このように歯の移動とは、外力に対して歯、歯根膜、および歯槽骨からなる複雑なシステムの相互作用の結果生じる生体反応である。

1990年代、生体に連続体力学の概念を採り入れることで、細胞組織の微視的サイズから皮膚や器官など巨視的レベルまでマルチスケールモデルを統合的に扱い人体の挙動を表現しようとする研究がなされるようになった。有限要素(FE)法は、連続的な物理場を局所的に近似された部分の集合として離散的に表現することで、より現実的で具体的な問題を解くことが出来るという大きな利点がある。これまで *In vivo* で行うことが困難であった実験の代替手段として FE 法の有用性が注目され、生体モデルの研究が様々な分野に拡大する要因となった。また、近年開発された X 線 CT 装置は、撮影データから FEM に応用できる微視的な 3 次元イメージベースモデルの構築を可能とした。さらに、Sethian らが開発した Level Set 法は、速度関数を用い大規模なモデルの変形や移動表現を可能とするもので、構造最適化などの物体の変形の研究に適用されている。申請者らは、この Level Set 法の速度関数を細胞組織学的考察から得た構成式により決定することで、より実際に近い歯の移動シミュレーションを行うことが可能であると考えている。

生体シミュレーションは、上述の Wolf の Remodeling 則による微視的骨梁の吸収-添加モデルを用い、生体荷重下の大腿骨骨梁の配向性を大規模 FEM により再現した研究 (Adachi,2001) など非常に多様な分野で応用されている。

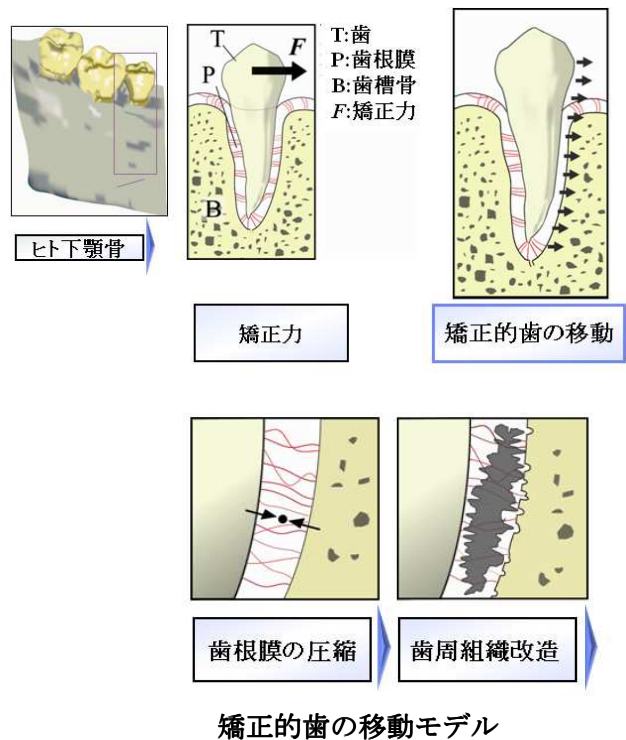
2. 研究の目的

本研究の目的は、歯科矯正治療における歯の

移動について、矯正力という外的環境の変化に反応して生じる歯、歯根膜、および歯槽骨の 3 者の生理的相互作用を動物実験の細胞組織切片を用いた 3 次元イメージベースモデルにより力学的観点から考察すること、また考察から導出した構成式と、独自に開発した歯の移動アルゴリズムを組み込んだ歯の移動シミュレーションを実際の患者の X 線 CT から構築した 3 次元イメージベースモデルに適用しシミュレーションの妥当性を検討すること、以上より細胞組織学的観点と巨視的観点を統合した新規の歯の移動シミュレーションを構築することである。

3. 研究の方法

(1) 矯正力作用下において、圧迫側歯根膜 (PDL) に閾値以上の法線方向のひずみが生じた場合、PDL の炎症から周囲歯槽骨吸収が生じ、当該歯槽骨の弾性係数の減少、続いて歯の移動が生じると仮定した矯正歯の移動モデルを構築した。



この数理モデルと 3 次元有限要素 (FE) 解析と組み合わせ、歯のシミュレーションを作成し、

CT データに基づいたヒトの下顎第 2 小臼歯のイメージベースモデルに適用した。

矯正歯の移動を再現する境界条件として、傾斜移動、回転、及び平行移動の 3 種類の荷重条件を設定した。

(2) ビーグルを用いた歯の移動実験を行い、実験結果から得た組織切片 3D データおよび CT データを使用したイメージベース FEM 解析により矯正力負荷時の力学的環境を詳細に検討する。それによりヒトの歯の移動シミュレーションを構築し、患者個々人のデータから歯の移動予測を行うことを目的として、以下の研究計画を遂行した。

① ビーグルによる歯の移動実験

雄性ビーグル(月齢, 20 ヶ月(成犬))を用いて、歯の移動実験を行いました。下顎右側を荷重側、左側をコントロール側とし、右側第 3 小臼歯に 3 点の計測点と牽引用のフックを持つメタルクラウンをセットした。また下顎骨近心部にチタンミニスクリューを埋入し、メタルクラウンのフックからミニスクリューへと矯正用エラスティックチェーンを掛け 100g の矯正力を、10 日間負荷した。

初日と、7 日目、10 日目に印象採得を行い、さらに 10 日に顎骨の標本を採取し、micro-CT を用いて、CT Dicom データを取得しました。Dicom データよりスライス画像を抽出する。

石膏模型



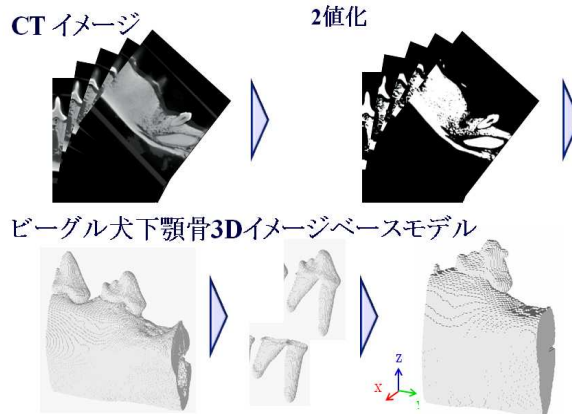
μ-CT

コンピューターモデル



ビーグル犬 Dicom データモデル作成

Hu 値を基準として歯、歯根膜、皮質骨などの各構成要素を分離した後、各構成要素に異なる材料係数を与え、イメージベース 3 次元 FE モデルを構築した。



ビーグル犬 CT イメージベースモデル構築

それぞれの印象から作成した模型を CT で撮影し、Dicom データから作成したモデル上で初日、7 日目、及び 10 日目のメタルクラウン上の計測点と、ミニスクリュー間の距離を計測した。

② 歯の移動シミュレーション

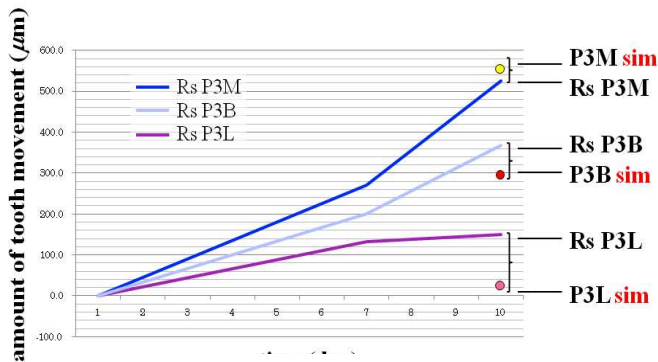
歯の移動構成式を作成し Level Set 法による歯の移動アルゴリズムと FE 法を組み込んだシミュレーションを構築した。①で構築した CT イメージベースモデルデータに実験時の矯正力と同様に荷重拘束条件を与え、EBE-PCG 法を解法とした FE 解析を、東北大サイバーサイエンスセンターにあるスーパーコンピューター SX-9 を援用して行い、矯正歯の移動シミュレーションを行った。シミュレーションモデル上での歯の移動と Beagle による実験結果を比較し駆動についての妥当性の考察、および構成式の改良を行い実験結果とシミュレーションの一致をはかった。

4. 研究成果

(1)シミュレーションの結果、傾斜移動モデルでは、歯軸の傾きを伴う歯の移動、回転モデルでは歯軸の著しい傾斜、そして平行移動モデルでは、歯軸の傾きの抑えられた歯の移動が観察された。これより、傾斜移動、トルク、歯体移動が表現され、本研究におけるシミュレーションは、第2小臼歯の臨床的な矯正的歯の移動をよく再現しうることが示された。

(2)ビーグルにセットしたメタルクラウンに設定した計測点とミニスクリュー間の距離の距離を計測したところ、それぞれ、550 μ m、295 μ m、90 μ mであった。

またビーグルの歯にミニスクリューを固定源として矯正力を負荷し、歯を移動させた計測値と、 μ -CT データから 3 次元 FE モデルを構築し行った歯の移動シミュレーションの値は、560 μ m、300 μ m、15 μ mで、それぞれ実際の計測結果と近い値を示した。



歯の移動シミュレーション結果

このことから、シミュレーションによる歯の移動様式が実験結果を定性的に表現できていることが確認された。

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 1 件)

1. Suzuki Akihiro, Masuda Taisuke, Takahashi Ichiro, Deguchi Toru, Suzuki Osamu, Takano-Yamamoto Teruko Stress distribution of the mini-screw for orthodontic anchorage by 3-D finite element analysis
AJO-DO 査読有 2011 in press

[学会発表] (計 1 件)

1. 鈴木章裕, 益田泰輔, 出口徹, 高橋一郎, 鈴木治, 山本照子, 三次元有限要素法による歯科矯正用ミニスクリューの植立角度と応力分析の関係 日本矯正歯科学会, 2010/09/29 横浜

6. 研究組織

(1)研究代表者

鈴木章裕 (SUZUKI AKIHIRO)
東北大学・大学院歯学研究科・大学院非常勤講師

研究者番号 : 80413793