

平成21年3月31日現在

研究種目：若手研究(B)
 研究期間：2007～2008
 課題番号：19791590
 研究課題名（和文） 矯正力による歯の移動時における歯槽骨リモデリングの
 定量化と最適矯正力の解明
 研究課題名（英文） Study on optimal orthodontic force and quantification
 of movement of tooth in the alveolar bone remodeling
 研究代表者
 田中 基大 (TANAKA MOTOHIRO)
 長崎大学大学院医歯薬学総合研究科・助教
 研究者番号：90420629

研究成果の概要：

本研究では歯槽骨のリモデリング量を解析するため、効率的歯牙移動メカニクスによる矯正治療前後に採取した歯列模型の三次元データから歯列移動の移動動態を解析し、そこから歯槽骨リモデリング量の計測を行った。また、効率的歯牙移動メカニクスとパワーアームを併用した有限要素モデルから最適荷重の位置の推定を行った。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,700,000	0	1,700,000
2008年度	1,400,000	0	1,400,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,100,000	0	3,100,000

研究分野：医歯薬学

科研費の分科・細目：歯学

キーワード：歯科矯正学、有限要素法、生体力学シミュレーション

1. 研究開始当初の背景

理想的な矯正治療とは、歯根吸収や歯周組織の損傷を引き起こすことなく、可能な限り短時間で歯の移動を達成することである。本研究は、従来の模擬実験では不可能であった歯の移動を骨改造現象として定量化した生体力学的シミュレーションシステムを構築し、さらに安全かつ効率的な矯正治療を達成するための最適矯正力の解析法の確立を試みるものである。

矯正治療期間を短縮するための効率的歯牙移動メカニクスを開発するにあたり、最適

な荷重条件を求めるために、磁気センサを応用した高精度3次元変位測定システムの性能向上を実現した。その結果、1 μ mの分解能で矯正力負荷時の歯の初期変位が測定可能となった。

本システムを生体に応用し、左右側上下顎第一小臼歯の抜歯が適応と診断された矯正治療患者を対象とし、上顎前歯舌側移動時の変位動態を解析した。上顎前歯舌側移動にはスライディング・メカニクスを用い、アーチワイヤーにパワーアームを取り付け、荷重位置をブラケット位置から2mm間隔で合計8

種類の荷重条件を設定した。正中矢状面に投影された前歯の回転中心を算出し、荷重条件と歯の移動動態の関係を明らかにし、前歯移動時の最適な荷重条件を求めた。最適な荷重条件は各被験者の歯槽骨縁の高さにほぼ依存し、アーチワイヤーに組み込まれた4mmのパワーアームから前歯を牽引する方法でアングル Class II div.1 不正咬合の改善に推奨される controlled tipping と呼ばれる「制御された傾斜移動」が達成されることが示唆された。

次に初期変位解析で求めた最適な荷重条件を用いて、矯正学的歯の移動を3ヶ月間行った。この時、歯の移動前後の歯列の精密印象を採得し、模型を作製した。非接触・高速3次元形状計測装置 (SURFLACER VMS-150R-D, ユニスン社) を用いて、治療前後に採取された歯列模型の3次元データを取り込み、移動前後の歯列模型間の重ね合わせを行うことにより、上顎前歯の移動動態を解析した。さらに、3次元データ解析ソフトウェア (SURFACER-PRM, Imageware 社) を用い、歯列模型データの重ねあわせ法を用いた歯の移動量を算出し、移動動態の解析を行った。その結果、初期変位測定法により予測された歯の移動と、求められた最適荷重条件下で行った矯正治療による実際の歯の移動とは、若干異なることがわかった。矯正力による歯の移動の予測には、歯根膜の物理的変形による初期変位動態の解析では不十分で、歯槽骨のリモデリングを計算に取り入れた新しい力学モデルの構築が必要と考えられたため、本研究プロジェクトの開始準備に到った。

2. 研究の目的

これまでの歯の移動の生体力学的な研究は、矯正力が加わった時点、すなわち歯が移動を開始する直前における応力解析あるいは、即時的に生じる初期変位量の解析にとどまっていた。矯正学的な歯牙移動は、外力に対する歯根膜、歯周組織の長期的な生物学的反応の結果である。このことから、骨改造を伴う歯の移動を定量的、定性的に解析するモデル・シミュレーション法の開発が求められている。

本研究の最大の特徴は、①生体での歯の初期変位測定法 ②歯列模型形状計測法 ③有限要素法によるモデル解析の3つの実験系を統合させることにより、矯正力作用時の歯の移動様相を生体力学的にシミュレーション、定量化する点である。矯正力により歯周組織内に誘発される応力の大きさと方向に応じて、モデル内の歯槽骨の形状を段階的に変化させることにより、経時的な歯の移動の

シミュレーションが可能となる。

本研究では骨改造を伴う歯の移動を定量的、定性的に解析するモデル・シミュレーション法の開発として、歯槽骨のリモデリング量の測定および、有限要素法を用いた矯正モデルにおける最適矯正力の決定手法を確立することを目的とする。

3. 研究の方法

(1)矯正治療時の歯の移動量計測

歯槽骨のリモデリング量の推定のために、矯正治療前後の歯列模型を用い、歯の移動の三次元計測を行った。

ただし、歯の移動量を調べる際に治療前後の模型を三次元データ上で重ね合わせる基準点を求める必要がある。今回はインプラントを固定源として歯の移動量を計測するとともにインプラントを用いずに固定源として利用できる場所の詮索も行った。

方法としては、三本のミニスクリューを口蓋側に埋入し、パラタルバーと連結することにより矯正治療の絶対的な固定源として使用した。このときのミニスクリューは矯正治療中に位置変化がないと考えられるため、重ね合わせ基準点として利用することにした。

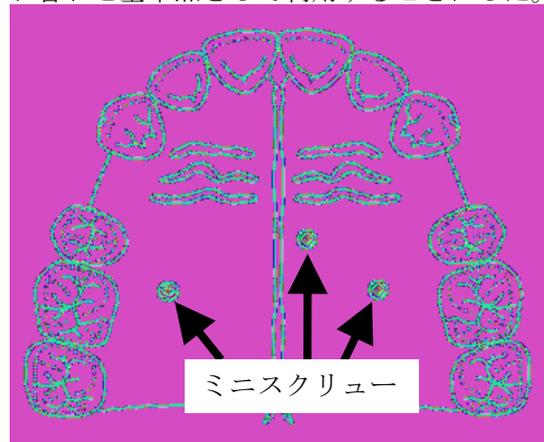


図1 重ね合わせの基準のミニスクリュー

歯列模型の三次元データを取得するには UNISN 製の光学式三次元形状計測装置の VMD-25 を使用し、得られた三次元データは SURFACER (Imageware Inc.) を使用して矯正治療前後の歯列重ね合わせと歯の移動量の計測をした。

また、インプラントを用いずに固定源を決定するために矯正治療中でもほとんど移動しない点として口蓋ヒダの移動動態の解析を行った。図2に示すように左右両側の第一、第二、第三口蓋ヒダの内側および外側の計12点の計測を行い、矯正治療前後で固定源として利用できる部位の選定を行った。

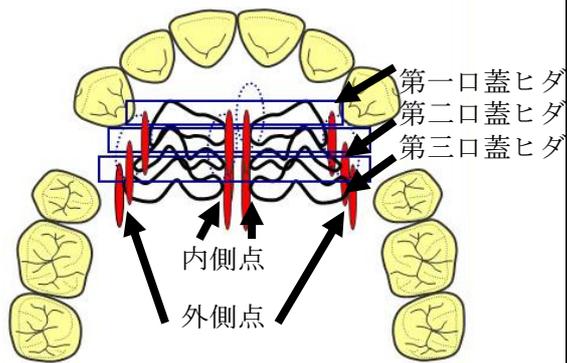


図2 口蓋ヒダの計測点

(2)有限要素法による歯科矯正の最適矯正力の決定

歯科矯正による歯に加える最適な矯正力を解明するために、スライディング・メカニクスとインプラント矯正を組み合わせた効率的歯牙移動の解析を有限要素法で行った。

まず上顎全歯、歯根膜および歯槽骨から構成される三次元モデルを構築した。モデルはCT画像のDICOMデータを三次元ボリュームレンダリングし、造形用データ、解析用データに変換するための三次元画像処理、編集ソフトウェア(Magics RP、Mimics、Materialize社)を用いた。図3に構築したデータを示す。なお、本研究ではドライスカルのCTデータを用いている。

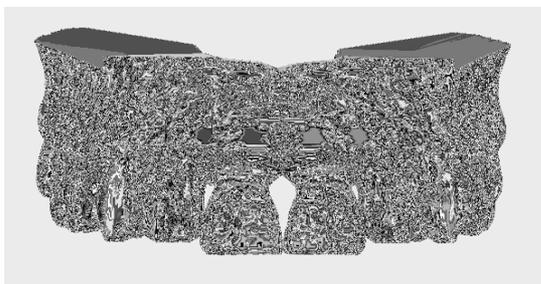


図3 CT画像より抽出した三次元データ

次に、最初に構築した三次元データを有限要素解析ソフト(MSC.Marc、MSC.Pantran)に入力し、上顎前歯舌側移動中の歯の移動解析用の有限要素モデルの構築を行った。ここでは、最初に構築した三次元データに矯正用ブラケット、ワイヤーパワーアームを追加し、パワーアームのどの位置に矯正力を加えると歯冠舌側傾斜・歯根舌側傾斜などせずに歯体移動できるかについて調べた。図4には、本研究で構築した有限要素モデルの歯、ワイヤー、ブラケット、パワーアームを示している。側切歯ち犬歯との間(犬歯の近心)と、犬歯と第一小臼歯との間(犬歯の遠心)にあるパ

ワーアームの0mm~12mmの位置から水平に矯正力を与え中切歯が舌側・唇側傾斜せずに歯体移動する矯正力を解析した。本研究での要素数は約40万である。

なお、歯・歯根膜・歯槽骨のヤング率は20000、0.05、2000(MPa)、ポアソン比は0.3で解析を行った。

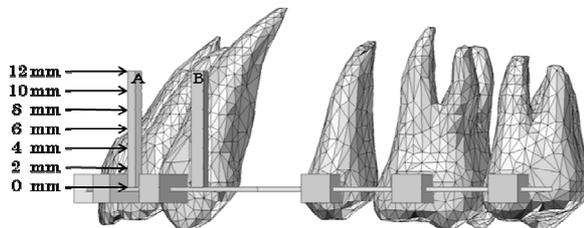


図4 解析で用いた歯・ワイヤー・パワーアームの有限要素モデル

4. 研究成果

(1)矯正治療時の歯の移動量計測

インプラントを固定源として用いた歯の移動計測を行うとともに、第一、第二、第三口蓋ヒダの内側・外側の移動量の計測を行った。10人の患者での平均を表1に示す。

結果から、第三口蓋ヒダ内側点の変位量が最も小さいことがわかる。

また、図5に第3口蓋ヒダ内側の1月毎の変化を示す。結果から、第3口蓋ヒダ内側での変位はほとんど変化していないことがわかる。

表1 各口蓋ヒダの移動量

ポイント	移動量(mm)
第一外側右側	1.64
第一外側左側	1.75
第一内側右側	1.02
第一内側左側	1.26
第二外側右側	0.79
第二外側左側	1.04
第二内側右側	0.60
第二内側左側	0.55
第三外側右側	0.59
第三外側左側	0.61
第三内側右側	0.28
第三内側左側	0.37



図5 第3口蓋ヒダ内側の月時変化

ミニスクリューでの重ね合わせと第三口蓋ヒダ内側を用いた重ね合わせで計測した中切歯の移動量は前者が3.22mm、後者が3.14mmであり、これらの移動量には優位差が認められなかった。

以上のことから、絶対的固定源であるミニスクリューを用いることにより、重ね合わせ基準部位として口蓋ヒダの矯正治療の安定性を評価することができた。第三口蓋ヒダ内側の平均変位量は0.32であったが、これは測定機器の誤差の範囲内であるため、第三口蓋ヒダの内側点は重ね合わせの部位として十分利用できるものと考えられる。この結果、インプラント等の特定の固定源がなくても歯の移動量を求めることが可能であると考えられ、歯槽骨のリモデリング量の計測が可能となることが示唆された。

(2) 有限要素法による歯科矯正の最適矯正力について

図4で示した実験結果を図6に示す。なお、矯正力は水平方向に150gとした。

結果を見ると犬歯の近心のパワーアームに矯正力を加えた場合では、5.5mmの高さに矯正力を加えるまでは中切歯は舌側傾斜しており、5.5mmの高さのときに歯体移動、それ以上の高さに矯正力を加えた場合は唇側傾斜していることがわかる。

これに対して、犬歯の遠心のパワーアームに矯正力を加えた場合では、11.2mmの高さに力を加えるまで舌側傾斜を示し、この高さで歯体移動を起こし、これ以上の高さで唇側傾斜している。

これらのことから、矯正力を加えるパワーアームの高さを調節することにより、無駄な動きをさせることなく、効率的に歯の移動を行うことができると考えられる。

この結果からパワーアームは犬歯の近心に取り付けるとともに目的とする動きに合わせてパワーアームの長さを調節することにより、矯正治療期間の短縮につながることを示唆された。

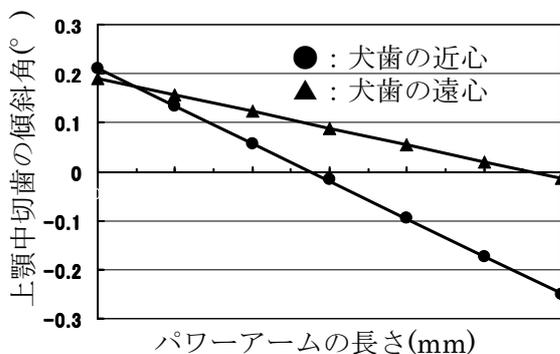


図6 矯正力の高さと中切歯の傾斜角

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)

Insan Jang, Motohiro Tanaka, Yoshiyuki Koga, Seiko Iijima, Joseph H.Yozgatian, Bong Kuen Cha, Noriaki Yoshida, Angle Orthodontist, Vol. 79, No.3, pp447-453, 2009、査読有

[学会発表] (計0件)

[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]

なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

田中基大 (TANAKA MOTOHIRO)

長崎大学大学院医歯薬学総合研究科・助教

研究者番号:

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし