

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 18 日現在

機関番号：17701

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23792285

研究課題名(和文) イメージ連成バイオメカニクスを応用したインプラント治療における力学的安全性の保証

研究課題名(英文) The guarantee of the dynamic safety in the dental-implant treatment adapting image processed biomechanics

研究代表者

丸山 浩美 (Maruyama, Hiromi)

鹿児島大学・医歯(薬)学総合研究科・助教

研究者番号：50359981

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円、(間接経費) 1,050,000円

研究成果の概要(和文)：CTの撮像データから、顎骨や歯牙の形状を抽出し、CT値を反映した骨の不均質材料特性定義を行うことにより、個々の患者の顎骨や歯牙の形状ならびに骨質を反映した精度の高い有限要素モデル作成が可能となった。セメント固定式のインプラント上部構造(クラウン)を隣在歯にダメージを与えることなく、かつ容易に除去するには、可能であれば頬舌側にマイナスドライバー孔を付与し、両側同時荷重で除去することが望ましいことが示唆された。

研究成果の概要(英文)：The heterogeneous material properties of the bone which extracted the shape of a jaw bone or the teeth and reflected the CT value from the image pick-up data of CT was performed. These definitions enabled high-accuracy finite-element model creation which each patient's jaw bone, the shape of the teeth, and the bone tissue were reflected. The superstructure (crown) fixed by the cement was removed from abutment by the torque load using a minus driver. For removing the superstructure of an implant fixed by the cement without giving a damage to an adjacent tooth, the minus driver pore was given to the cheek and lingual sides, and it was suggested that removing by both-sides simultaneous load is desirable.

研究分野：医歯薬学

科研費の分科・細目：歯学・歯科医用工学・再生歯学

キーワード：歯科インプラント学

1. 研究開始当初の背景

近年、CT や MRI などの医療画像情報に基づいて生体の力学モデルを構築し、力学解析を行うイメージ連成バイオメカニクスの技術が発達してきた。医科領域では、大腿骨頸部骨折患者の人工股関節置換術後の生体力学モデルから新たな人工股関節を開発する試みや骨粗鬆症脊椎の骨強度評価などに応用されている。

一方、歯科領域でも、インプラント適応症の拡大に伴い、術前の CT 画像を利用したコンピューターシミュレーションはもはや必須となりつつある。しかし、既存のコンピューターシミュレーションシステムでは、歯槽骨頂から上顎洞底や下顎管までの距離に代表されるように詳細な三次元的解剖学的形態は把握できるものの、これら解剖学的制約から導かれた設計（埋入フィクスチャーの本数、長さ、直径など）が力学的安全性もクリアしているかの検証までは不可能である。また、日常臨床においては、患者の経済的制約からインプラントの本数を減らすかどうかの選択に迫られる場面も少なくなく、本数を減らした場合の力学的安全性を術前に予測することは出来ない。さらに、即時負荷の適否や骨造成を伴うインプラント埋入後の造成骨吸収といった適応症が拡大してきたからこそ表面化してきた問題には賛否両論があり、術前にこれら即時負荷や造成骨へのインプラント埋入の力学的安全性を評価する方法は見あたらない。

このように、既存のコンピューターシミュレーションシステムはインプラント埋入部位周囲の解剖学的形態を重視したシステムとなっており、力学的安全性を術前に評価・予測できるシステムの開発は急務である。そこで、汎用有限要素解析ソフトや CAE ソフトに関する申請者の既存の知識と技術に加え、申請者の力学解析関連業績に寄与してきた工学部からのサポート体制も生かしながら、インプラント治療における力学的安全性を保証するための術前評価システムを構築し、これをルーティン化することを計画した。

2. 研究の目的

本研究の目的は、イメージ連成バイオメカニクスの技術を応用して、インプラント治療における力学的安全性を保証するための術前評価システムを構築し、そのルーティン化を図ることにある。

本研究では、まず個々の患者ごとに力学的安全性の術前評価・術後予測が可能となる個別有限要素モデルの構築とそのルーティン化に不可欠な計算コストの効率的削減を行う。次いで、インプラント領域における未解決の力学的問題に焦点を当て、個々の問題解決に適したモデリングおよび解析手法を

導入し、力学的危険因子を抽出することにより、安全なインプラント治療に貢献する。

3. 研究の方法

- (1) DICOM データを用いた個別有限要素モデルの構築
- (2) スクリューのねじ山螺旋構造の高精度モデリングとねじり荷重（トルク）を導入した解析手法の確立
- (3) インプラント臨床における具体的問題の検証

- (1) DICOM データを用いた個別有限要素モデルの構築

頭部撮影用人工骨を本院所有の CT 撮影装置（HiSpeed QX/I, GE MEDICAL SYSTEMS）にて撮影し DICOM データを取得した。撮影条件は管電圧；120 kV，管電流；110 mA，スライス幅；0.625 mm，画像配列数；512 x 512 とした。得られた DICOM データを骨強度評価ソフトウェア Mechanical Finder（version 6.1 extended edition，計算力学センター）に入力し、結果表示までの一連の動作確認を行った。関心領域（ROI）の抽出では、後々多様な欠損状態の再現が可能となるように下顎骨の外形形状と歯牙部は分けて抽出した。下顎骨部に対してメッシュ基準サイズを 0.8 mm とし、外形メッシュを生成した後、先に分けて作成しておいた歯牙部から左側第一大臼歯のみを削除した歯牙外形モデルと別途 CAD ソフト（Solidworks）で作成しておいたインプラントの外形モデルをインポートして配置し、内部メッシュを生成した。下顎骨部の材料特性は CT 画像の濃度から密度値を求め、これをヤング率へ変換した値を要素ごとに割り当てることにより不均質性を考慮した。下顎骨下縁を完全拘束し、インプラント咬合面側に分布荷重 200 N を作用させた。

- (2) スクリューのねじ山螺旋構造の高精度モデリングとねじり荷重（トルク）を導入した解析手法の確立

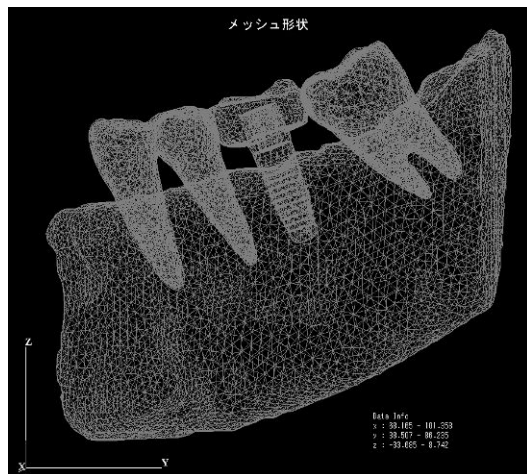
汎用 CAE ソフト（SolidWorks）によりフィクスチャー、アバットメントならびにアバットメントスクリューの外形状を忠実に再現した。本過程において問題となるのは、これまで同心円の積み重ねとして表現されてきたアバットメントスクリューのねじ部を螺旋構造として表現することと、スクリューのねじ部とフィクスチャーのねじ穴との接触関係を定義することである。前者はスパイラルカーブをガイドとしてねじ山の断面をスイープすることにより、後者はねじ山のアバットメント側を接触面とし対側を非接触面とした形状を作成し、接触判定許容値を試行しながら接触解析を実行することにより対応した。メッシュ生成は整合性のとれた六面体

要素が四面体要素より計算精度が高いことを考慮して、整合性がとれたパラメトリックソリッドへの分割後に六面体要素で分割した。フィクスチャー下部を拘束し、スクリューヘッドに 25 Ncm のトルク荷重を与えた。

(3) インプラント臨床における具体的問題の検証

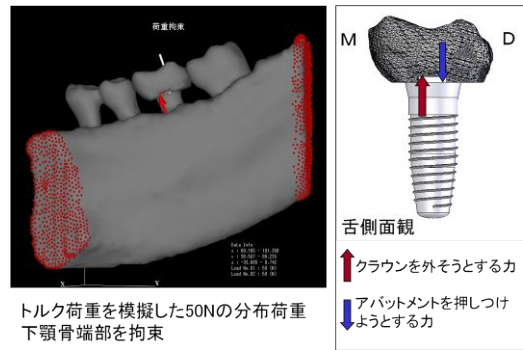
(1) および (2) の解析手法を用いて、インプラント臨床における具体的問題の中で、セメント固定された上部構造（クラウン）をマイナドライバーによるトルク荷重でアバットメントから撤去する場面を想定し、隣在歯への影響や上部構造の効率的な撤去法を検証した。まず、規格化された緻密な形状の作成に優れた SolidWorks を用いて、フィクスチャー、アバットメントおよびクラウン形状を作成した。次に Mechanical FINDER を用いて CT の撮像データから下顎右側第一大臼歯欠損の下顎骨および天然歯形状を作成し、先に SolidWorks で作成したフィクスチャー、アバットメントおよびクラウン形状をインポートした。その後、構成要素間のメッシュの整合性がとれるように一括で四面体要素にて分割した。作成したモデル外観を図 1 に示す。

図 1



材料特性の定義のうち、皮質骨および海綿骨のヤング率について、CT 値から骨密度を求め、骨密度を所望の換算式によりヤング率に換算し、これを要素ごとに割り当てることで骨の不均質性を再現した。荷重拘束条件は、マイナドライバーによるトルク荷重を模倣して 50N の分布荷重を左図赤と白の矢印のように加え、下顎骨端部を拘束した(図 2)。

図 2



トルク荷重を模擬した50Nの分布荷重
下顎骨端部を拘束

4. 研究成果

(1) DICOM データを用いた個体別有限要素モデルの構築

解析の結果、インプラント周囲骨の相当応力は皮質骨頸部に集中しており、本解析条件下で定性的な評価は十分可能であることが確認できた。

(2) スクリューのねじ山螺旋構造の高精度モデリングとねじり荷重（トルク）を導入した解析手法の確立

アバットメントスクリューは締結時、引張状態にあるため最大主応力を評価したところ、スレッドの一部に極端な応力集中を認め、接触解析における各種パラメータの試行的設定およびメッシュの再分割等が必要であることが判明した。

(3) インプラント臨床における具体的問題の検証

図 3 は変位のベクトルと 100 倍率の変形図を同時に表示したものである。クラウンの近心舌側咬頭付近の変位が最大 (28 μm) となり、クラウンは遠心側側に傾斜しながら外れようとしていることが分かる。右図は接触反力のベクトル表示であるが、接触条件を与えた部位に想定された反力が生じていることが確認できた。

図 3

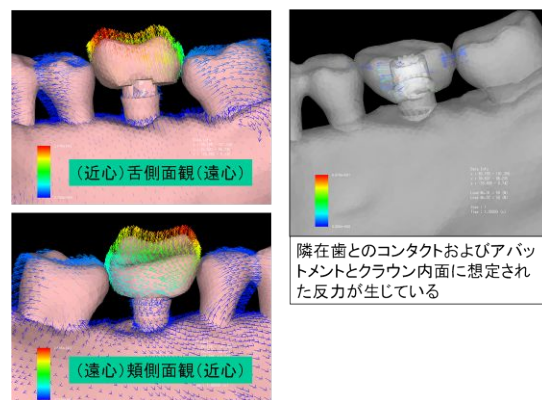
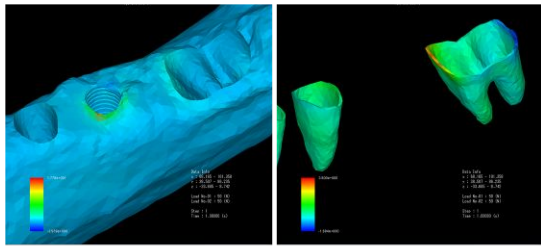


図4に皮質骨の主応力分布を示す。インプラント頸部皮質骨に応力集中を認め、クラウンを外そうとする力を加えた近心舌側に最大引張応力が生じ、その対側に最大圧縮応力が生じた。右図はインプラント隣在歯の歯根膜の主応力分布を示している。隣在歯の受けるダメージを評価するため今回は歯根膜の主応力を観察した。第二大臼歯近心に最大引張、遠心に最大圧縮応力が生じた。

図4



頰部皮質骨に応力集中
最大引張応力: 近心舌側, 17.7 MPa
最大圧縮応力: 遠心頰側, 1.8 MPa

第二大臼歯に応力集中
最大引張応力: 近心歯頸部, 3.6 MPa
最大圧縮応力: 遠心歯頸部, 1.7 MPa

第二大臼歯の応力を軽減させるための方法として、図5に示すように頰舌側にマイナスドライバー孔を付与して、頰舌側同時に反対方向（舌側はクラウンの近心を持ち上げる、頰側はクラウンの遠心を持ち上げる）へ荷重をかけるモデルを作成し舌側荷重モデルと解析結果を比較した。

図5

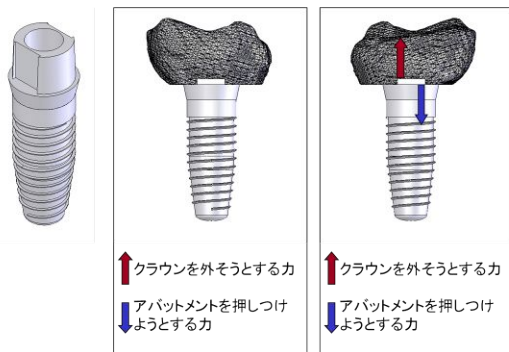


図6は舌側のみにマイナスドライバー孔を付与して荷重をかけた場合（以下、舌側荷重）と、頰舌側にマイナスドライバー孔を付与して頰舌側同時に荷重をかけた場合（以下、頰舌側同時荷重）の変位と変形図を示している。上段が舌側面観で下段が頰側面観である。頰舌側同時荷重の方が、舌側荷重よりクラウンの最大変位量が小さくなるとともに、変位幅も狭くなる（水色からグリーンゾーンに納まる）ため、クラウンはよりインプラント軸に沿った変位を示していることがわかる。

図6

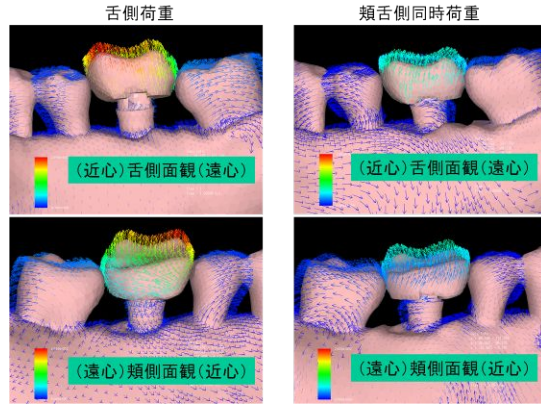


図7は皮質骨主応力の比較である。ともにインプラント周囲頰部皮質骨に応力集中が認められたが、頰舌側同時荷重の方が局所的な引張応力の集中は回避できる結果となった。

図7

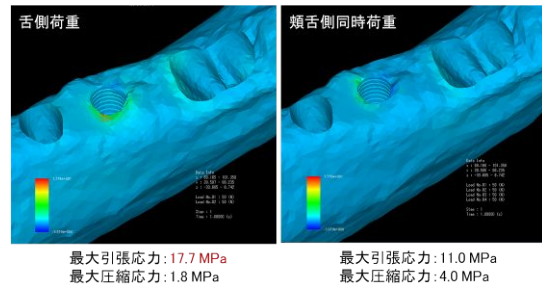
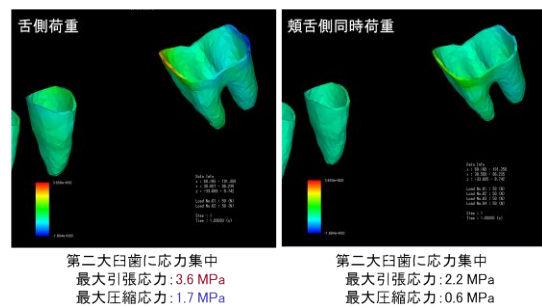


図8は歯根膜主応力の比較である。頰舌側同時荷重の方が、第二大臼歯歯根膜に生じる応力は、引張・圧縮ともに減少し、クラウン除去時のダメージを軽減できる可能性があることが示された。

図8



以上より、CTの撮像データから、顎骨や歯牙の形状を抽出し、CT値を反映した骨の不均質材料特性定義を行うことにより、個々の患者の顎骨や歯牙の形状ならびに骨質を反映した精度の高い有限要素モデル作成が可能となった。セメント固定式のインプラン

ト上部構造（クラウン）を隣在歯にダメージを与えることなく、かつ容易に除去するには、可能であれば頬舌側にマイナスドライバー孔を付与し、両側同時荷重で除去することが望ましいことが示唆された。

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）

〔学会発表〕（計1件）

丸山 浩美，鎌下祐次，橋口千琴，葛西貴行，西 恭宏，西村正宏. テーラーメイド有限要素解析によるインプラント治療に役立つ力学挙動の解明 平成 25 年度日本歯科理工学会九州地方会夏期セミナー．8/30-8/31, 2013．長崎.

6. 研究組織

(1)研究代表者

丸山 浩美 (MARUYAMA HIROMI)
鹿児島大学・大学院医歯学総合研究科・助教
研究者番号：50359981