

平成21年5月15日現在

研究種目：基盤研究（C）
 研究期間：2006～2008
 課題番号：18592117
 研究課題名（和文） 骨梁をシミュレートした三次元有限要素モデルはインプラント失敗の機構を明らかにする
 研究課題名（英文） Three-dimensional finite element model that simulates the trabecular structure elucidates the bone loss mechanism around failing implants
 研究代表者
 STEGAROIU ROXANA（ステガロユ ロクサーナ）
 新潟大学・医歯学系・准教授
 研究者番号：10303140

研究成果の概要：本研究は三次元有限要素解析の分野で、国内外で初めて μ CT画像に基づいたヒト顎骨モデルを用い、臨床的に最も広く用いられているスクリー型インプラントを植立した骨応力を分析した。従来のものより精密なモデルを作製して応力解析を行ったことによって、インプラント失敗の原因であるインプラント-骨界面の広範囲にわたる骨吸収（破壊）現象は過大な咬合力に起因した応力・ひずみによるものであることが明らかになった。

交付額

(金額単位：円)

| | 直接経費 | 間接経費 | 合計 |
|--------|-----------|---------|-----------|
| 2006年度 | 2,000,000 | 0 | 2,000,000 |
| 2007年度 | 700,000 | 210,000 | 910,000 |
| 2008年度 | 700,000 | 210,000 | 910,000 |
| 年度 | | | |
| 年度 | | | |
| 総計 | 3,400,000 | 420,000 | 3,820,000 |

研究分野：医歯薬学

科研費の分科・細目：歯学・補綴理工系歯学

キーワード：インプラント、 μ CT、3次元有限要素モデル

1. 研究開始当初の背景

(1) インプラント周囲骨の過大な力学的負担は歯科インプラントの失敗原因の一つとされてきた。これまでの三次元有限要素法(3D-FEM)によれば、インプラント頸部から徐々に進む骨吸収は同部に局所的に集中する過大な負担と関係づけられてきたが、臨床的に頻繁に認められるインプラント-骨界面の全面吸収は予測できず、これに対する対策はともすれば疎かにされる傾向にあった。この全面吸収の機構を3D-FEMによって明らかにするには、極端に単純化した従来のモデル(単純均質モデル)ではなく、インプラント

周囲骨の骨梁構造を精密に再現したモデル(精密骨梁モデル)を用いる必要があった。

(2) しかしながら、モデルを現実近づけるほど、モデルの作製から解析までに時間とコストがかかり、コンピュータが発達した今日でも、大きなモデル(例えば多数歯欠損)の製作と解析は困難である。従って、力学的挙動が「精密骨梁モデル」に等価で、かつ比較的簡単なモデル(中間モデル)の構築もまた必要であった。

2. 研究の目的

本研究では、

(1) インプラントを植立したヒト顎骨(標本)の μ CTデータから、「精密骨梁モデル」を製作して3D-FEM解析を行い、従来型の「単純均質モデル」のそれと比較し、骨密度分布などのパラメータと突き合わせて全面吸収の機構を探ること。

(2) 解析時間や費用の軽減をはかり、また、大型モデルの研究を容易にするために、「精密骨梁モデル」に力学的挙動が等価な「中間モデル」を(1)の結果を参考にして追求することを目的とした。

3. 研究の方法

インプラントを植立したヒト顎骨の μ CTデータから骨梁構造をシミュレートした「精密骨梁モデル」を作製するとともに、骨梁を無視した従来型の「単純均質モデル」も作製し、3D-FEM解析を行った。

(1) μ CT装置(ELESCAN, 日鉄エレックス)を用い、スクリュー型のチタンインプラントおよびアバットメントを植立させたヒトの下顎骨標本を、X線がインプラントの長軸を横断する方向で、80kV 100mAの条件にて撮影した。この μ CTデータ(スライス枚数173枚, スライス間隔 83μ)を原画像とし、FEM解析用64bitワークステーション(DELL Precision 490)および三次元骨梁構造計測ソフト(TRI/3D-Bon, RATOC)を用いて三次元画像を再構築し、二値化によって皮質骨、海綿骨、インプラントおよびアバットメント各部を抽出した(図1)。

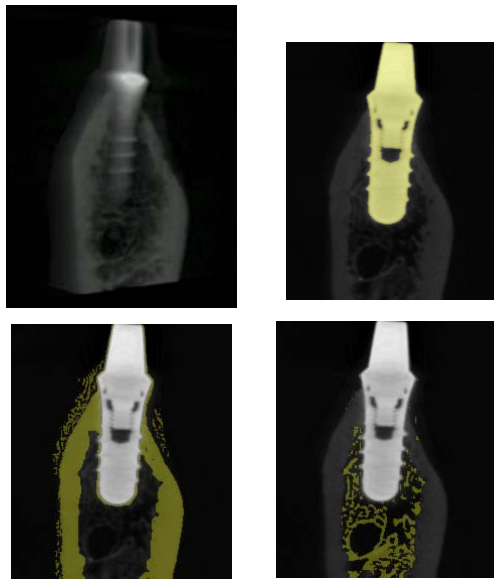


図1 再構築した三次元画像と抽出された皮質骨、海綿骨、インプラントおよびアバットメント

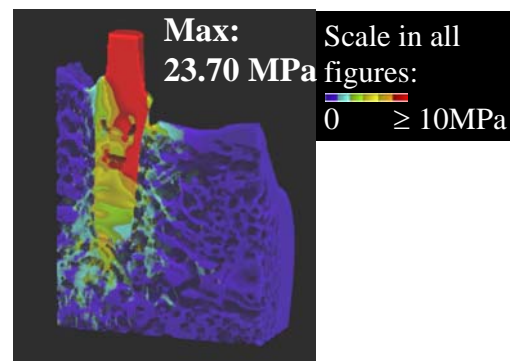
(2) インプラントと骨の界面に発生したアーチファクトを除去した後、TRI/3D-FEMシリーズの解析用ソフトを用いてそれぞれの材質の物性値を定義し、「精密骨梁モデル」を作製した。一方、「精密骨梁モデル」との比較を行うために「単純均質モデル」は原画像の海綿骨部をすべて均質な等方性モデル材料で置換し、シミュレートした。

(3) それぞれのモデルは、三次元有限要素ソフト(TRI/3D-FEM, RATOC)を用いた応力解析を行った。荷重条件はそれぞれのモデルの底部を拘束し、インプラント上部にあるアバットメントに垂直に200Nの荷重を加えた。インプラント周囲骨のVon Mises相当応力、最大主ひずみ・最小主ひずみを測定した。

(4) さらに、解析時間や費用の軽減を計り、大型モデルの研究を容易にするために、「精密骨梁モデル」に力学的挙動が等価な「中間モデル」の検討を進めた。検討内容は、「精密骨梁モデル」の海綿骨部を均質な異方性材料で置換する「中間モデル」を構築し、そのモデルと「精密骨梁モデル」とに同じ荷重条件を与え、解析結果をモデル間で比較した。

4. 研究成果

(1) 三次元有限要素解析結果では「単純均質モデル」では最大相当応力は主にインプラントの底部に集中したが、「精密骨梁モデル」ではさらに高い応力がインプラント周囲骨の広い範囲に認められた。また、インプラントのスクリュー周囲に高い応力が集中する傾向がみられた(図2)。その結果から、インプラント-骨界面の全面吸収の機構を探るためには「単純均質モデル」よりも「精密骨梁モデル」を選択する必要性が明らかとなった。



MD section

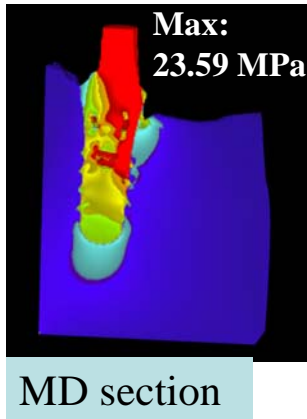


図2 「精密骨梁モデル」および「単純均質モデル」の Von Mises 相当応力分布

(2) インプラント周囲骨において最小主ひずみが骨梁密度の低い部位や皮質骨が薄い部位などの広い範囲に分布した (図3)。

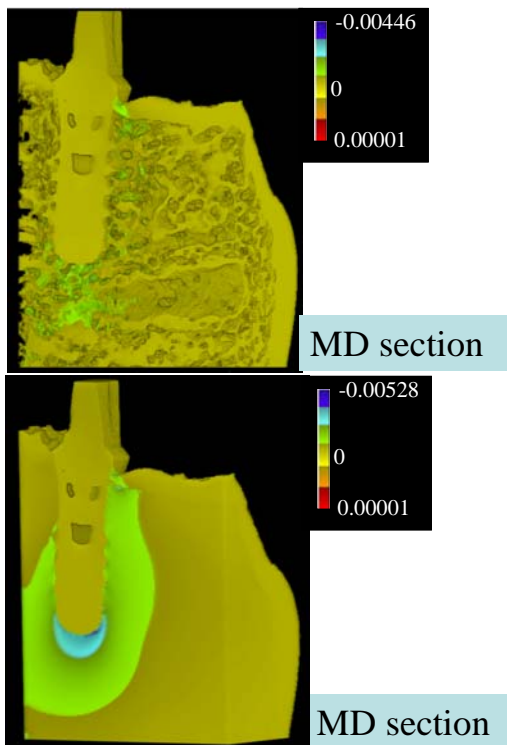


図3 「精密骨梁モデル」および「単純均質モデル」の最小主ひずみ分布

(3) Von Mises 応力分布結果を最小主ひずみ分布結果と併せて力学的視点から検討すると、インプラント-骨界面の広範囲にわたる骨吸収現象は過大な咬合力に起因した応力・ひずみによるものと考えられる。

従って、インプラント臨床では、それらの骨応力・骨ひずみの軽減が期待できるインプ

ラント寸法と形態および上部構造の種類、形態等を選択する重要性が力学的に裏付けられた。

(4) 「中間モデル」と「精密骨梁モデル」の解析結果を比較すると、皮質骨においては両モデルは力学的挙動が等価であるものの、海綿骨においては「中間モデル」が「精密骨梁モデル」の第一近似に留まることが明らかになった (図3および4)。

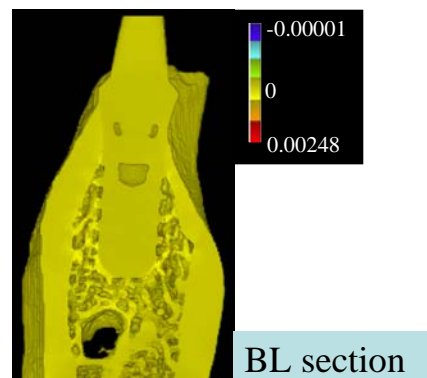
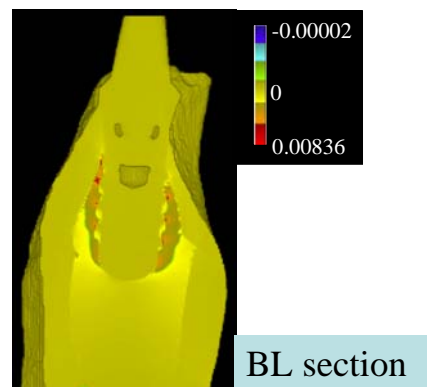
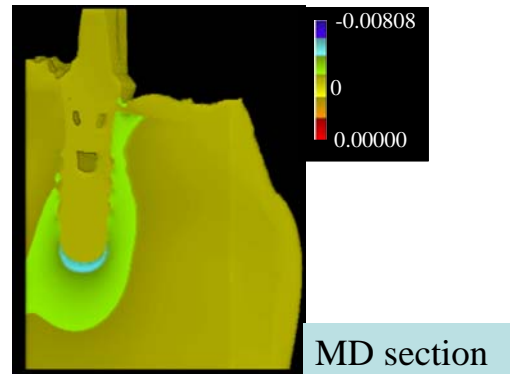


図4 「中間モデル」の最小主ひずみ分布、「中間モデル」の最大主ひずみ分布および「精密骨梁モデル」の最大主ひずみ分布

従って、今後の応力解析の研究基準として、皮質骨の応力・ひずみを求めている場合は「中間モデル」を用いることができるが、海綿骨における結果を求める場合には、「精密骨梁モデル」が最初に選択されるモデルであ

ると考えられる。

(5) 本研究は国内外で初めて μ CT画像に基づいたヒト顎骨モデルを用い、臨床的に最も広く用いられているスクリー型インプラントを植立した骨応力を分析した。従来のものより精密なモデルを作製して応力解析を行ったことによって、インプラント失敗の原因であるインプラント-骨界面の広範囲にわたる骨吸収現象は過大な咬合力に起因した応力・ひずみによるものであると明らかになった。よって、インプラント臨床では、それらの骨応力・骨ひずみの軽減が期待できるインプラント選択、上部構造のデザイン等によりインプラントの成功率向上に今後貢献できると考える。

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)

- ① Stegaroiu R, Ejiri S, Kurokawa K, Sato T, Sato Y, Nomura S. Isotropic Heterogeneous FEM Model versus Isotropic and Anisotropic Homogeneous Models. Journal of Dental Research, 87 Special Issue B, 1246 番 (CD版), 2008, 査読 有
- ② Stegaroiu R, Ejiri S, Sato T, Okumura N, Nomura S, Sato Y, Miyakawa O: Generation of 3D-finite element model with screw-implant by micro-CT techniques, Journal of Dental Research, 86, Special Issue A, 2195 番 (CD版), 2007, 査読 有

[学会発表] (計3件)

- ① Stegaroiu R, Ejiri S, Kurokawa K, Sato T, Sato Y, Nomura S. Isotropic Heterogeneous FEM Model versus Isotropic and Anisotropic Homogeneous Models, 86th General Session of IADR, トロント (カナダ), 2008年7月3日
- ② Stegaroiu R, Ejiri S, Sato T, Kurokawa K, Nomura S, Sato Y, Miyakawa O. 3D-Finite Element Analysis of Trabecular versus Non-trabecular Bone around Screw-Implant. The 12th Meeting of the International College of Prosthodontists (ICP), 福岡市, 2007年9月6日
- ③ Stegaroiu R, Ejiri S, Sato T, Okumura N, Nomura S, Sato Y, Miyakawa O: Generation of 3D-finite element model

with screw-implant by micro-CT techniques, 85th General Session of IADR, ニューオリンズ(米国), 2007年3月23日

6. 研究組織

(1) 研究代表者

STEGAROIU ROXANA (ステガ`ロユ`ロクサナ)
新潟大学・医歯学系・准教授
研究者番号: 10303140

(2) 研究分担者

宮川 修 (MIYAKAWA OSAMU) (~2007.3)
新潟大学・教授
研究者番号: 40018429
野村 修一 (NOMURA SHUICHI)
新潟大学・医歯学系・教授
研究者番号: 40018859
黒川 孝一 (KUROKAWA KOICHI) (2007.4~)
新潟大学・医歯学系・准教授
研究者番号: 60215085

(3) 連携研究者

佐藤 裕二 (SATO YUJI)
昭和大学・歯学部・教授
研究者番号: 70187251
江尻 貞一 (EJIRI SADAKAZU)
朝日大学・歯学部・教授
研究者番号: 40160361