

機関番号：32622

研究種目：基盤(C)

研究期間：2008～2010

課題番号：20592278

研究課題名（和文） 複合バイオメカニクス解析を用いたインプラント失敗確率の推定

研究課題名（英文） Estimation of probability of Failing Implant by Multiple Biomechanical Analysis

研究代表者

佐藤 裕二 (SATO YUJI)

昭和大学・歯学部・教授

研究者番号：70187251

研究成果の概要（和文）：

CT データーから三次元有限要素解析モデルを作製しただけでは、インプラントの被圧変位量は実験モデルのインプラントより小さくなることが認められた。このため、インプラントと骨界面の接触状況を精度よく測定し再現することにより、実験モデルのインプラントの被圧変位量を再現した三次元有限要素解析モデルを作製することが可能であることが示唆された。

研究成果の概要（英文）：

Implant displacement for the FEA models with the implant in full contact with the dummy jaw bone was lower than those with the implant in partial contact with the dummy jaw bone. It seems to be possible to create a 3D-FEA model that precisely reproduces the displacement of an implant under pressure, if implant-bone interface contact is correctly reflected.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,600,000	480,000	2,080,000
2009年度	900,000	270,000	1,170,000
2010年度	1,000,000	300,000	1,300,000
総計	3,500,000	1,050,000	5,550,000

研究分野：医歯薬学

科研費の分科・細目：歯学・社会系歯学

キーワード：臨床、バイオメカニクス

1. 研究開始当初の背景

インプラント治療の良好な結果及び長期的な安定を保つには、骨とインプラントのオッセオインテグレーションを維持するための骨のリモデリングが必要不可欠である。骨のリモデリングにはインプラントに負荷される咬合荷重によって骨周囲に生じる種々の

応力が適正な範囲内であることが必要とされる。このため荷重によるインプラント周囲骨の応力分布を制御するための生体力学的検討は、インプラント治療に要求される重要な問題である。

生体力学的検討には主なものとして光弾性

試験、ストレインゲージ法、三次元微小変位計、三次元有限要素解析法などが挙げられる。三次元有限要素解析法は、ひずみ、被圧変位量、応力分布の解析など様々な解析を他の試験方法より簡便に行うことが可能であるため、近年インプラントの応力解析に応用され、多くの報告がされている。しかし、三次元有限要素解析法は上記3つの生体力学的検討と異なり解析モデルの精度、解析条件の影響により、結果が大きく異なる。その理由として、他の3つの試験方法は実験のモデルを直接計測するのに対し、三次元有限要素解析法は実験のモデルに近似したコンピューターモデルを構築して計測を行なうため、設定された条件、モデルの形状によって結果が大きく左右されるためである。

しかし近年では対象物をCT撮影し、得られたCTのデータから直接三次元有限要素解析モデルを作製し、より実験の形状に近いコンピューターモデルを構築することが可能になった。そのため、より実物のモデルに近い結果が得られると考えられている。しかしCTのデータから三次元有限要素解析モデルを作製しただけでは、CTの解像度や撮影時に起こるインプラントに使用される金属のアーチファクトの影響から、インプラント周囲の骨質及び海綿骨骨梁が正確に反映されない。そのためインプラント全周と周囲骨とが完全に接触した三次元有限要素解析モデルになってしまうことが推測される。このような三次元有限要素解析モデルは、実際のインプラントと骨の接触状況を正確に反映しているとは言えず海綿骨骨梁を再現したモデルと大きく結果が異なるという報告もある。

そこでインプラントと骨の接触条件を改良した三次元有限要素解析モデルを用いてインプラントが失敗する確率を推定できるの

ではないかと考えた。

2. 研究の目的

インプラントと骨の接触条件が三次元有限要素解析モデルの被圧変位量に与える影響および応力分布の違いを明らかにすることを目的として、再現性の高い合成樹脂を用いた擬似下顎骨とインプラントの接触状況を変化させた三次元有限要素解析モデルを作製した。そして実際のインプラントの被圧変位量と比較し、またそれぞれの三次元有限要素解析モデルにおける応力分布の違いを比較検討した。

3. 研究の方法

(1) 擬似下顎骨模型の作製

①擬似海綿骨、擬似皮質骨の作製

日本人の下顎骨の大きさを参考に、ヤング率 550 MPa の硬質ポリウレタン（ホビーキャスト NX, 日新レジン, 神奈川, 日本）を高さ 15 mm, 幅 11 mm, 奥行き 15 mm の半楕円形の大きさに整形した。

硬質ポリウレタンの外側は、ヤング率 2,760 MPa のエポキシ樹脂（Genus GM-9002-400, ブレニー技研, 群馬, 日本）を厚さ 2 mm になるよう硬化させた。

②擬似下顎骨の整形及び研磨

エポキシ樹脂硬化後、高さ 16 mm, 幅 13 mm, 奥行き 15 mm の大きさになるよう低速精密切断機（アイソメット, ビューラー, 東京, 日本）を用いて底面を切断した。切断後 180 番, 280 番, 600 番, 1000 番, 1200 番の耐水研磨紙を順に用いて底面および近遠心の研磨を行なった試料を擬似下顎骨とし、厚さ 2 mm のエポキシ樹脂を擬似皮質骨、硬質ポリウレタンを擬似海綿骨として実験に用いた。

(2) インプラント体の埋入

擬似下顎骨の底面に対して垂直にインプラント体を埋入するため、ボール盤 (Enkoh's, 遠州工業株式会社, 静岡, 日本) に先端の形状が高さ約 1 mm の円錐形をしているインプラント埋入窩形成用ドリル (Brånemark System[®], ツイストドリル, Nobel Biocare, Göteborg, Sweden) を装着し, 通法に従い直径 3.2 mm, 深さ 10 mm の埋入窩を形成した。その後直径 3.75 mm, 長さ 10 mm のインプラント体 (Brånemark System[®] MkIII, Nobel Biocare, Göteborg, Sweden) を 40 Ncm のトルクで埋入し, 高さ 3 mm のヒーリングアバットメントを 15 Ncm の締結トルクで装着した試験片を 6 個作製した (以下実験モデル)。

(3) 三次元有限要素解析モデルの作製

三次元有限要素解析モデルの作製

実験モデルをマイクロ CT 撮影装置 (インスペクシオ, 島津作製所, 京都府, 日本) に固定し, 撮影条件を管電圧 90 kV, 管電流 109 nA, 断層厚 100 μm の条件に設定し, CT 像の撮影を行なった。

得られた CT データから三次元有限要素解析ソフト (Mechanical Finder[®], 計算力学研究所, 東京, 日本) を用いて, 三次元有限要素解析モデル (以下 FEA モデル, 要素数約 30 万) を作製した。FEA モデルの擬似下顎骨部分は一辺 800 μm , インプラント体及びヒーリングアバットメントは一辺 200 μm の立方体要素を用いた。それぞれの要素のヤング率は, 実験モデルと同様に擬似海綿骨 550 MPa, 擬似皮質骨 2,760 MPa, インプラント体及びヒーリングアバットメントは 100,600 MPa とし, 擬似下顎骨とインプラント体の接触条件を変化させた 3 種類の FEA モデルを作製した。インプラント体と擬似下顎骨が完全に接触したモデル (以下 FEA モデル A)。インプラント体の先端に埋入窩形成時の 1 mm

の空隙を再現し, 先端以外の部位が接触しているモデル (以下 FEA モデル B)。直径 3.75 mm, スレッドの高さが 0.32 mm, スレッドを除いた直径が 3.11 mm のインプラント体を直径 3.2 mm のインプラント埋入窩に埋入し, スレッドの谷の部分が接触していないモデル (以下 FEA モデル C) を作製した。FEA モデル A, B, C とともに実験モデルに対応するためそれぞれ 6 個ずつ作製した。

(4) 被圧変位量の測定

① 実験モデルにおける被圧変位量の測定

実験モデルのインプラントの被圧変位量の測定をインストロン型万能試験機 (Instron-5500R[®], インストロンジャパン, 神奈川, 日本) を用いて行なった。実験モデルをインストロン型万能試験機の作業台に置き, 円柱形のジグを用いてヒーリングアバットメントに 0.1 mm/sec の速度で垂直方向に荷重を加える圧縮試験を行った (図 1)。作業台とジグの間にストレインゲージを取り付け, 作業台とジグの間の距離の変化量を, インプラントの被圧変位量として計測を行なった。大白歯部のインプラントに加わる最大咬合力が約 200 N であったという報告に基づき, 負荷荷重量には 200 N を採用した。

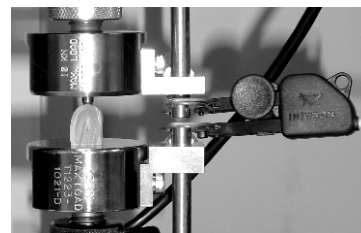


図 1 : 万能試験機による圧縮試験

② FEA モデルにおける被圧変位量の測定

3 種類の FEA モデルにおいても 200 N におけるインプラント体の被圧変位量の解析を行った。FEA モデルでは, 底面を完全拘束とし垂直方向に荷重を加え弾性解析を行った。分析した各被圧変位量に対して t 検定を用い

て、統計的有意差の検定を行なった。

4. 研究成果

(1) 実験モデルの被圧変位量について

実験モデルの 200 N における被圧変位量は $36.7 \pm 2.0 \mu\text{m}$ であった。

(2) FEA モデルの被圧変位量について

FEA モデル A, B, C の 200 N における被圧変位量はそれぞれ $27.4 \pm 2.4 \mu\text{m}$, $34.9 \pm 3.4 \mu\text{m}$, および $38.5 \pm 3.8 \mu\text{m}$ であった。(図 2)

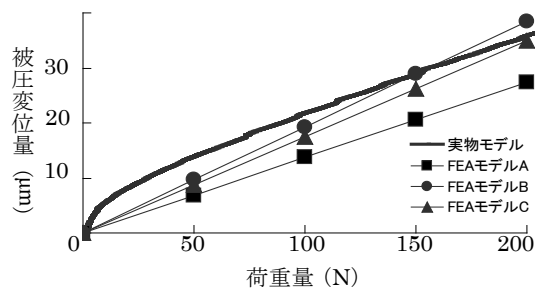
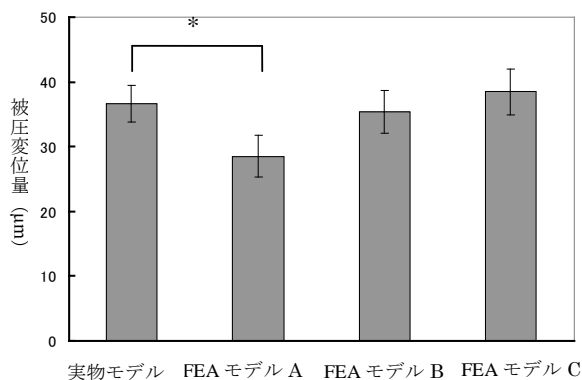


図 2: 各モデルの被圧変位特性

実験モデルでは 10 N 程度の初期の垂直荷重において比較的大きな被圧変位量を示し、その後一定の割合の被圧変位特性が認められた。実験モデルと FEA モデル A の被圧変位量には有意差が認められた ($p < 0.01$) が、実験モデルと FEA モデル B, C には有意差は認められなかった ($p < 0.01$) (図 3)。応力分布においては、FEA モデル A はインプラント底面に大きな応力の集中が認められたのに対して、FEA モデル B, C においては皮質骨部分に比較的大きな応力の集中が観察された (図 4)。



実験モデル FEA モデル A FEA モデル B FEA モデル C

図 3: 各モデルの被圧変位特性

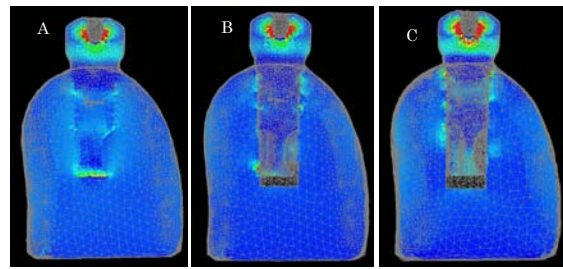


図 4: FEA モデル A, B, C の応力分布図

CT データーから三次元有限要素解析モデルを作製しただけでは、インプラントの被圧変位量は実験モデルのインプラントより小さくなることが認められた。また三次元有限要素解析モデルの作製方法によって応力分布が異なり解析結果の精度に影響があると考えられる。このため、インプラントと骨界面の接触状況を精度よく測定し再現することにより、実験モデルのインプラントの被圧変位量を再現した三次元有限要素解析モデルを作製し、インプラントの失敗確率の推定が可能であることが示唆された。

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)

[雑誌論文] (計 5 件)

1) 伊藤 学, 佐藤裕二, 内田圭一郎, 奥山淡紅子, 藤島昭宏:

インプラント-骨界面を再現した力学解析法の検討-実験モデルと有限要素解析モデルの比較-

日口腔インプラント誌, 査読有, 24:10-16, 2011.

2) 関谷弥千, 内田圭一郎, 佐藤裕二:

幾何学解析を用いたインプラント補綴用スクリューの最大耐荷重値の妥当性について. 日口腔インプラント誌, 査読有, 24:17-22, 2011.

3) 奥山淡紅子, 小沢宏亮, 佐藤裕二, 北川

昇, 内田圭一郎 :

経過良好な臼歯部1歯中間欠損部単独植立インプラントの咬合状態.

日口腔インプラント誌, 査読有, 23 : 209-219, 2010.

4) 柳田英穂, Nurul ISLAM, 佐藤裕二, 北川昇, 内田圭一郎 :

インプラントの直径が最大耐荷重に及ぼす影響. Dental Med Res, 査読有, 29 : 128-133, 2009.

5) 小沢宏亮, 佐藤裕二, 北川昇, 内田圭一郎, 菅原孝 :

咬合荷重記録を用いた歯の被圧変位特性の新たな推定法
補綴誌, 査読有, 52 : 117-125, 2008.

[学会発表] (計 13 件)

1) Sekiya M., Sato Y., Uchida K., and Okuyama T. :

Validity of Maximum Resistant Loads of Superstructures in Biomechanical Analysis.

(89th General Session & Exhibition of the International Association for Dental Research, San Diego, USA, March 17, 2011)

2) Ito M., Sato Y., Ozawa K., Uchida K., Okuyama T., and Fujisima A. :

Reproducing the Bio-Mechanics of the Implant-Bone Interface- Comparing real and 3D-FEA models -.

(89th General Session & Exhibition of the International Association for Dental Research, San Diego, USA, March 17, 2011)

3) Yanagida H., Sugawara T., **FEA** モデル A, B, C 応力分布図, Kitagawa N., and Uchida K. :

Influence of Implant's Diameter on Maximum Resistant Load.

(86th General Session & Exhibition of the International Association for Dental Research,

Toronto, Canada, JULY 4, 2008)

4) Stegaroiul R., Ejiri S., Kurokawa K., Sato T. and Nomura S. :

Isotropic heterogeneous FEM model versus isotropic and anisotropic homogeneous models.

(86th General Session & Exhibition of the International Association for Dental Research,

Toronto, Canada, JULY 4, 2008)

5) Ozawa K., Yanagida Y., Sato Y. and Uchida K. :

Influence of Cusp Angles of Implant - Superstructure on Maximum Resistant Load.

(The 4th Congress of Asian Academy of Osseo integration, Hiroshima, Japan, July 3, 2008)

6) 奥山淡紅子, 内田圭一郎, 原聰, 佐藤裕二 :

当院における即時荷重インプラントに関する臨床的検討.

(日本口腔インプラント学会第30回関東・甲信越支部学術大会, 横浜, 2011年2月13日)

7) 佐藤裕二, 内田圭一郎, 奥山淡紅子, 伊藤学, 関谷弥千 :

インプラントの配置が荷重に及ぼす影響 (Rangert の有名な図) の検証.

(日本口腔インプラント学会第30回関東・甲信越支部学術大会, 横浜, 2011年2月12日)

8) 伊藤学, 佐藤裕二, 内田圭一郎, 奥山淡紅子, 藤島昭宏 :

インプラント - 骨界面を再現した力学解析法の検討 - 実物モデルと有限要素解析モデ

ルの比較一。

(第 40 回日本口腔インプラント学会学術大会, 札幌, 2010 年 9 月 18 日)

9) 関谷弥千, 柳田英穂, 佐藤裕二, 玉置幸道, 鍛冶田忠彦:

三次元幾何学解析を用いたインプラント補綴用スクリーンの最大耐荷重の妥当性について.

(第 40 回日本口腔インプラント学会学術大会, 札幌, 2010 年 9 月 18 日)

10) インプラントバイオメカニクス解析における信頼性の向上—実物モデルと有限要素解析モデルの比較—

伊藤 学, 佐藤裕二, 小澤宏亮, 内田圭一郎, 奥山淡紅子, 藤島昭宏, 宮崎 隆

(第 29 回 昭和歯学会例会, 2009 年 12 月 5 日, 東京)

11) 臼歯部 1 歯中間欠損部単独植立インプラントの咬合状態

奥山淡紅子, 佐藤裕二, 小沢宏亮, 北川 昇, 内田圭一郎

(第 29 回 昭和歯学会例会, 2009 年 12 月 5 日, 東京)

12) 奥山淡紅子, 小沢宏亮, 佐藤裕二, 北川昇, 内田圭一郎:

予後良好な 1 歯中間欠損部単独植立インプラントの咬合状態について.

日口腔インプラント誌, 21, 特別号:144

(第 38 回日本口腔インプラント学会・学術大会, 東京, 2008 年 9 月 18 日)

13) 小澤宏亮, 佐藤裕二, 奥山淡紅子, 伊藤学, 内田圭一郎:

被圧変位量を考慮した天然歯とインプラントの最適な咬合.

(第21回日本歯科医学会総会, 横浜, 2008年11月23日)

[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

佐藤 裕二 (SATO YUJI)

昭和大学・歯学部・教授

研究者番号: 70187251

(2) 研究分担者

七田 俊晴 (SHICHITA TOSHIHARU)

昭和大学・歯学部・講師

研究者番号: 70307057

(3) 連携研究者: なし