

平成 28 年 5 月 24 日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2012～2015

課題番号：24592892

研究課題名(和文)最適化手法を用いた骨質評価法とインプラント形状の選択法の確立

研究課題名(英文) construction of criteria of evaluation of bone quality and selection of implant size with optimization method

研究代表者

高山 芳幸 (Takayama, Yoshiyuki)

北海道大学・大学病院・講師

研究者番号：30236369

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円

研究成果の概要(和文)：まず骨質を表すパラメータ(皮質骨厚、海綿骨のヤング率)を種々変化させた有限要素解析を行い、骨の最大ひずみを評価値として応答局面を作成した。次に、インプラントのサイズを最適化手法を用いて検討したところ、海綿骨のヤング率が0.5GPa以下の場合、インプラントのサイズを大きくしても生理的なひずみの限界値を超え、インプラント先端部周囲の海綿骨に最大歪みがみられた。しかし、CTデータから構築したモデルによる解析では、最適化計算の結果と比較して、歪みの値はやや低く、最大相当歪みの現れる位置が異なった。これは、CTから作成したモデルでは、骨の物性が部位によって大きく異なっていたことが原因と考えられた。

研究成果の概要(英文)：We constructed a response surface with the maximum equivalent strain as a response value and size of an implant as explanatory variables based on the three-dimensional finite element (FE) analysis. Diameter and length of the implants were minimized by optimized calculation with the maximum equivalent strain (MES) in bone limited to the physiological limit. Young's modulus of cancellous bone less than 0.5GPa lead to failure of optimization and caused MES around the bottom of the implant. However, the analysis with an FE model constructed from CT image showed reduction of the stress and change of the location of MES compared with the results of the optimization. This difference was considered to be due to the variety of the density of the bone depending on the site.

研究分野：歯科補綴学

キーワード：デンタルインプラント 骨質 有限要素法 最適化 応答曲面

1. 研究開始当初の背景

近年、欠損補綴の一手法として確立されたデンタルインプラントであるが、埋入する部位の骨の量と質によっては、サイズの大きなインプラントを用いたり、あるいは骨造成等が必要となるようなことがある。その判断基準のひとつとして、Lekholm と Zarb による分類（以後 L&Z 分類とする）は広く用いられており、臨床的な予後との強い相関も報告されている。

申請者らは、これまでインプラントを含めた種々の有限要素解析（FEA）を行ってきた²⁻⁴⁾が、通常の解析では個人差の大きな骨質や骨量を1個あるいは数通りの値で代表させて解析する必要があった。このため、FEAの結果を直接臨床に応用することにはやや無理があると考えられた。そこで、最適化手法を応用して、骨質を表すパラメータを種々変化させた FEA を行い、結果について統計処理（多変量解析）を行うことで、そのパラメータの影響を解析し臨床応用への可能性を探った。

2. 研究の目的

本研究ではまず、L&Z 分類を基に、その分類方法に数値的な基準を導入することを目指す。有限要素モデル（FE モデル）を作成し、骨質を示すパラメータ（皮質骨の厚さ、海綿骨の密度、等）を種々変化させ、各パラメータと骨内に生じる歪みの関係を明らかにした。次に、種々の骨質での FE モデルを作成し、最適化手法により最適なインプラントの形状を求める。以上により、(1)L&Z 分類の数値的基準と、(2)骨質に応じたインプラントの形態的要件を明らかにすることを目的とした。さらに、臨床試験を行うための前準備として、CT に基づいて作成した FE モデルの解析結果との整合性を検討し、有効性と問題点を検証した。

3. 研究の方法

(1)実験 1：骨質とインプラントのサイズとの関連（応答曲面による解析）

FE モデルの作成

モデル（図 1）は下顎骨体の一部とインプラント、および上部構造からなる。対称性を考慮した上で遠心側のみ作製し、断面の近遠心方向の変位を拘束した。モデルは 1)インプラント上部構造および顎部とその周囲の骨、2)インプラント体と周囲の骨、3)下顎骨底部、4)下顎骨頬舌側部、の各パーツ毎に作製し、インプラントの直径（D）と長さ（L）、および皮質骨厚さ（C）を選択して組み合わせられるようにした。上部構造咬合面の中心に荷重点を設定し、垂直荷重と側方荷重の 2 通りを設定した。荷重条件と各材料定数を図 1 に示す。

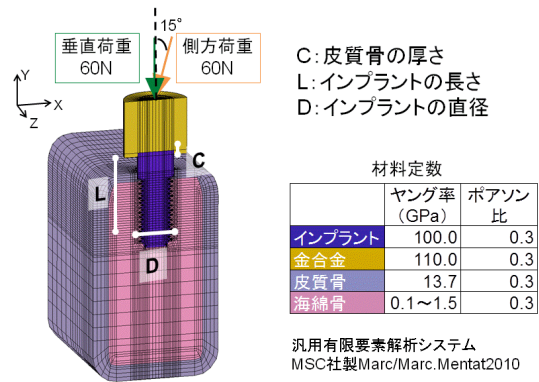


図 1 有限要素モデル

X: 頬側、Z: 近心

応答局面の作成

D=4 mm、L=10 mm として、骨質を表すパラメータ（C：0.5-2.0 mm、海綿骨のヤング率（T：0.25-7.93 GPa）を種々変化させた 500 個の有限要素モデルについて解析を行い、インプラント周囲の骨における最大ひずみ（以下 MES）を評価値として応答局面を作成し、そのパラメータの影響を解析した。次に、インプラントのサイズを種々変更し、Mechanostat theory (Frost) に基づいてインプラントの適否を検討した。海綿骨のヤング率は Misch の分類 D3 に相当する CT 値より Keyak の変換式に基づいて算出して決定した（0.1-1.5 GPa）。有限要素解析には MSC.Marc（エムエスシーソフトウェア(株)）、モデルの組み立てと解析の実行、および応答局面の作成には、最適化ソフト Optimus（サイバネットシステム(株)）を用いた。

(2)実験 2：インプラントサイズの骨質に応じた最適化

実験(1)で作製した応答曲面を用いて、C および T の値を各々変更した場合について、Mechanostat theory (Frost) に基づいてインプラントの最適化を行った。すなわち、インプラント体周囲の骨における最大相当歪みが 3000 microstrain を超えない範囲で最小のインプラントサイズを求めた。最適化計算は前述の Optimus にて行った。

(3)CT から作製したモデルとの比較

CT データから有限要素(FE)モデルを構築し、インプラント周囲の骨の歪みを解析した。皮質骨の厚さは約 1mm 前後、海綿骨の CT 値は ~950HU までの値で広く分布していた。インプラントは直径 4mm、長さ 10mm の円筒形とした。画像解析ソフト mimics（マテリアライズジャパン(株)）上で位置を決定し、FE メッシュを作成後、CT 値により骨質を 10 段階に分類し、各々について Keyak の報告に基づいてヤング率を求め、該当する部分の要素に適用した。ポアソン比は一律に 0.3 とした。作成した要素データを有限要素解析プリポスト

プロセッサ MSC.Marc にインポートして、境界条件を付与した。荷重条件は、実験(1)(2)と同様に、垂直荷重および 15° 頬側方向からの側方荷重 (60N) とした。

4. 研究成果

(1) 実験 1

得られた応答曲面を図 2, 3 に示す。皮質骨厚よりも海綿骨のヤング率の物性の影響が大きいことが示された。また、側方荷重でその影響は大きく現れた。

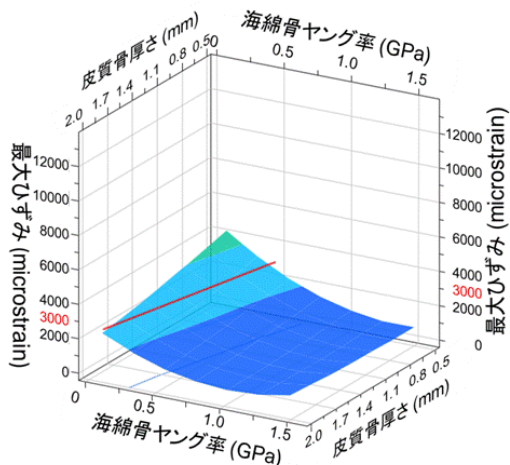


図 2 インプラント周囲骨の最大歪みに対する骨質の影響 (垂直荷重)

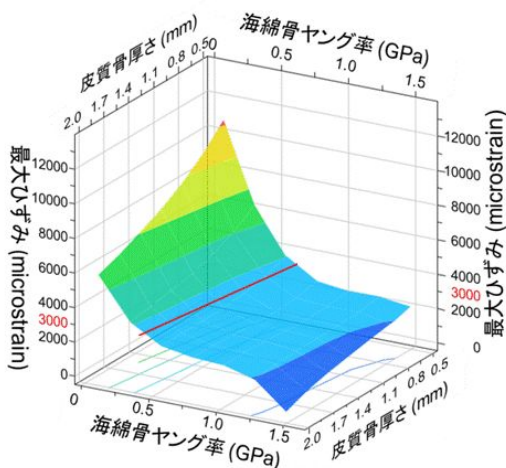


図 3 インプラント周囲骨の最大歪みに対する骨質の影響 (側方荷重)

(2) 実験 2

垂直荷重に対しては、海綿骨のヤング率が 0.5GPa 以上であれば、インプラントのサイズを大きくすることで生理的なひずみの限界値を超えないことが示された。また、頬側に 30 度傾斜させた方向から荷重を加える側方荷重でも、同様に海綿骨のヤング率が 0.5GPa 以上であれば、インプラントのサイズを大きくすることで生理的なひずみの限界値を超えないことが示された。しかし、0.5GPa を下回る場合には、インプラントのサイズの変更

のみではひずみを生理的な範囲に抑制することは困難と考えられ、この値がひとつの目安となり得ることが示された。(図 4, 5)

図 4 最適化 (垂直荷重)

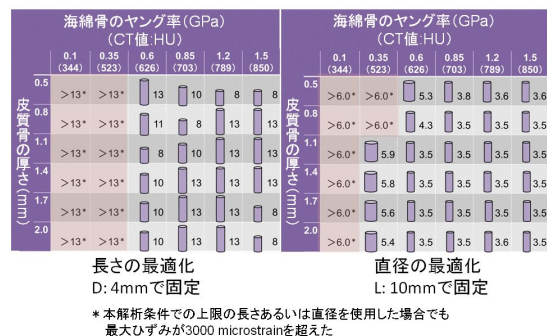
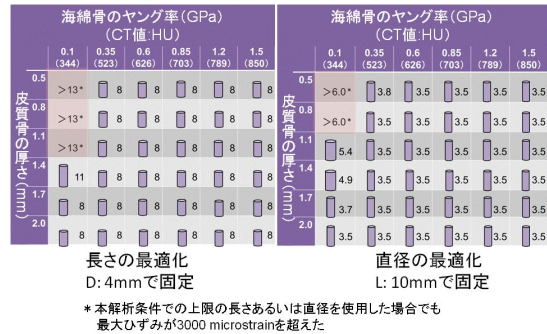


図 5 最適化 (側方荷重)

さらに、最大相当歪みの現れる位置について検討を加えた。その結果、海綿骨のヤング率が低い場合はインプラント先端部周囲の海綿骨に最大ひずみが生じ、高い場合はインプラント頸部付近の皮質骨に最大ひずみが生じることが明らかとなった。また、最大相当歪みが生理的な適正值とされる値を超える場合は、インプラント先端部周囲の海綿骨に最大歪みがみられたことから、この部分の歪みを小さくするようにインプラントの形状や材質を改良すると、力学的により好ましいインプラントとなることが予想された。

(3) 実験 3

最大相当歪みは垂直荷重、側方荷重のいずれにおいても、Frost の定書する生理的限界 (3000 microstrain) を越えなかった。この解析例における海綿骨の平均的なヤング率は、おおよそ 0.6MPa 前後と推測されたが、前年度までの最適化の結果に照らし合わせると、垂直荷重ではやや高く、逆に側方荷重ではやや低い値となった。また、最大相当歪みはいずれもインプラント先端部周囲の海綿骨に生じていた。

最適化計算の結果と比較すると、今回の結果では、生理的な歪みの値はやや低いにもかかわらず、相当歪みの現れる位置が異なるという、相反する結果となった。これは、最適化計算に用いたモデルの骨の物性が、皮質骨と海綿骨のそれぞれで一定としていたのに

対し、今回の CT から作成したモデルでは、骨の物性が部位によって大きく異なっていたことが原因と考えられる。したがって、広範囲に分布する海綿骨の物性値をどのように評価するかが今後の課題とな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0件)

〔学会発表〕(計3件)

上田奈々，高山芳幸，粥見翔，横山敦郎．
生体力学的解析によるインプラントの直径および長さの骨質に応じた最適化．日本補綴歯科学会第122回学術大会、2013年05月18日～2013年5月19日、福岡国際会議場（福岡市）

高山芳幸，上田奈々，粥見翔，横山敦郎．
皮質骨の厚さと海綿骨のヤング率がインプラント周囲の骨のひずみに及ぼす影響：インプラント体の長さや直径の変更による対応．日本口腔インプラント学会東北・北海道支部学術大会、2012年11月4日～2012年11月4日、奥羽大学（郡山市）

上田奈々，高山芳幸，粥見翔，横山敦郎．
皮質骨の厚さと海綿骨の物性がインプラント周囲骨のひずみに及ぼす影響．日本補綴歯科学会第121回学術大会、2012年05月26日～2012年05月27日、神奈川県民ホール（横浜市）

6. 研究組織

(1)研究代表者

高山 芳幸 (TAKAYAMA YOSHIYUKI)
北海道大学・北海道大学病院・講師
研究者番号：30236369

(2)研究分担者

横山 敦郎 (YOKOYAMA ATSURO)
北海道大学・大学院歯学研究科・教授
研究者番号：20210627
齋藤 紘子 (SAITO HIROKO)
北海道大学・北海道大学病院・助教
研究者番号：10511686