

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 3 月 31 日現在

機関番号：32650 研究種目：若手研究（B）
 研究期間：2010～2011
 課題番号：22791905
 研究課題名（和文）
 コーンビーム CT 画像を用いたインプラント周囲骨梁のマイクロメカニクス
 研究課題名（英文）
 Micromechanics of peri-implant cancellous bone using cone-beam (CB) CT

研究代表者

松永 智 (MATSUNAGA SATORU)
 東京歯科大学・歯学部・講師
 研究者番号：70453751

研究成果の概要（和文）：

我々は、歯科インプラント周囲の骨梁構造を考慮した高精度バイオメカニクスシミュレータの実現を目標とし、歯科用コーンビーム（CB）CT データベースの解析精度について調べ、臨床応用に必要な信頼性を有するかについて検討した。その結果、CBCT ベースの解析結果には、骨梁の構造や荷重伝達経路における差異が認められた。しかし、我々が新規採用したヒストグラム表示を用いて応力状態を定量的に評価したところ、解析誤差は微小であった。そのため、CBCT データを用いた力学解析においても、有効なポスト処理を追加することで、臨床応用に足る高精度解析が可能であると考えられる。

研究成果の概要（英文）：

The aim of this study was to perform high-resolution biomechanics simulation. Therefore, we investigated the accuracy of the analysis using cone-beam (CB) CT data to evaluate reliability for clinical application. There were differences of trabecular bone structure and load transfer paths between CBCT and micro-CT. But the analytical error in CBCT model was low using histogram. From the above analysis, we conclude that it is able to perform high-resolution biomechanics simulation even when mechanical analysis using CBCT data.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,700,000	510,000	2,210,000
2011年度	1,500,000	450,000	1,950,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,200,000	960,000	4,160,000

研究分野：医歯薬学

科研費の分科・細目：歯学・補綴系歯学

キーワード：顎口腔機能学

1. 研究開始当初の背景

申請者は有限要素解析法 (FEM) に着目し、マイクロ CT の高い撮像分解能でとらえた骨梁構造を考慮した大規模解析により、顎骨海綿骨が力学的立場から担う役割の解明を進めてきた。慶應義塾大学の高野直樹教授と共同で始動したプロジェクトは、顎骨・インプラント用の機能強化に重点を置いたシミュレータ開発と研究成果を報告するまでにいたっていた。一方で、臨床においてよく用いられている歯科用コーンビーム CT (CBCT) を用いた画像診査では、マイクロ CT ほど高い解像度を得ることができないことから、撮像分解能が解析精度に与える影響が懸念されていた。CBCT 画像ベースの FEM 解析精度の検証は、臨床応用に際して急務であった。また骨 - インプラント界面において、ある 1 点の応力評価だけでは定量的な評価を下すのに不十分であるという問題点が明らかになった。

2. 研究の目的

本研究の目的を次の 2 点とした。

1) CBCT イメージベースの骨梁構造を考慮した顎骨シミュレーションを行い、顎骨骨梁構造におけるメカニカルストレス計算を実現する。その手段として、

I) CBCT が持つ撮像分解能のままの要素寸法でモデリングを行い、骨梁構造を反映したインプラント埋入シミュレーションを行う。

II) 撮像分解能が応力解析精度に及ぼす影響を解明する。具体的には、同一献体をマイクロ CT と CBCT で撮像した画像を用いて画像が数値解析による力学的評価

に及ぼす影響を明らかにする。

2) インプラント周囲顎骨における応力状態の定量的評価を行う。その手段として、各応力解析条件下における主応力とフォンミーゼス相当応力のコンター図とヒストグラムを比較する。

3. 研究の方法

1) インプラント周囲顎骨骨梁構造における CBCT イメージベースの応力解析

I) 歯科用コーンビーム CT ベースの FE モデリング

東京歯科大学解剖学講座所蔵の日本人無歯頭蓋骨を CBCT にて撮像し、得られた撮像データからノイズ除去を行った後、判別分析法を用いた 2 値化を行い、ボクセル有限要素に分割して FE モデルを作製した。海綿骨部分は等価材料モデルではなく、骨梁を直接的にモデリングされた。モデリングは、無歯下顎骨の撮像データを用いて行われた。

II) インプラント埋入位置の決定

インプラント用の機能強化を行った顎骨シミュレータ (平成 19-21 年科研費成果) を用いて、解剖学的構造の抽出を行い、インプラント埋入危険部位の定義を行った。次に、インプラント角度に応じて定義される皮質骨厚さ分布と埋入危険部位から、インプラントの埋入位置と埋入方向を決定した。解剖学的構造は主に下顎管の抽出を行い、埋入危険部位を設定した後に、インプラント埋入部位を決定する。また、故意に不適切な部位を選択した埋入例も作製して比較を行う。

III) 応力解析条件とシミュレーション結

果のアウトプット

解析条件として、F Eモデルの両端面を完全拘束し、軸方向に一様な分布荷重を与えた。計算結果の可視化及び評価は、最大主応力のコンター図とベクトル表記による荷重伝達経路の確認を行った。

IV) 分解能性と応力解析精度の検証

同時にCBCTとマイクロCTを用いて行った解析結果をもとに、①各CTに基づき、骨梁構造の観察から違いを考察②各CTに基づき、均質化法により解析するマクロ特性値から違いを考察③各CTに基づき、応力解析結果を比較を行った。

3) ヒストグラム表示によるインプラント周囲の応力状態の定量的評価

インプラント周囲骨梁における主応力とフォンミーゼス相当応力をヒストグラムにて表示することで、周囲の応力状態を定量的に比較した。領域全体の応力状態をヒストグラムを用いて比較することで、CBCTを用いた力学解析に有効なポスト処理を追加した。

4. 研究成果

はじめにマイクロCTデータとCBCTデータに基づき、解析モデルを作製した。それぞれの解析モデルにおける対象領域内の断面について代表寸法を設定して形状の比較を行ったところ、歯根方向の誤差は5%以下とよく一致していたが、頬舌方向の誤差は10%程度であった。下顎下縁近心皮質骨領域の断面で非常に大きい誤差が認められた。

次にそれぞれの解析モデルを用いたFEM 応力解析結果を、最大主応力ヒストグラムを用いた比較を行った。ミクロな三次元的応力分布をヒストグラムで評価するという手法は以前から行われており、1点

の応力を評価しても無意味な場合に、三次元的な分布を定量的に評価することができる。高野らの研究では、多孔質材料をヒストグラムによって評価することで、ミクロ応力とマクロな破壊を予測できることが報告されている。そこで、インプラントと下顎管の距離が周囲の応力状態に与える影響について調べる際、下顎管周辺における応力分布を評価するためにヒストグラムを作製した。我々が最も重要視する高応力部分で、どの解析結果も非常に良く一致していた。低応力域においては誤差が大きいものもあるが、一般的に形状が違っていても応力にはあまり影響を及ぼさないと考えられる。

以上の結果から、ヒストグラムによって評価する手法では、最大主応力は良好に一致しており、また外部形状に誤差があっても、埋入されたインプラント下部周辺において形状が撮像されていれば応力解析にあまり影響がないと考えられ、CBCTを用いた臨床応用の可能性が示唆された。

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11件)

1. Ohashi, T., Matsunaga, S., Nakahara, K., Abe, S., Ide, Y., Tamatsu, Y., Takano, N. Biomechanical role of peri-implant trabecular structures during vertical loading. *Clinical Oral Investigations*, 14(5): 507-13, 2010 (査読有り)
2. Matsunaga, S., Shirakura, Y., Ohashi, T., Nakahara, K., Tamatsu, Y., Takano, N., Ide, Y. Biomechanical role of peri-implant cancellous bone architecture. *The International Journal of Prosthodontics*, 23(4):333-8, 2010 (査読)

有り)

3. Agematsu, H., Ohnishi, M., Matsunaga, S., Saka, H., Nakahara, K., Ide, Y.
Three-dimensional analysis of pulp chambers in mandibular first deciduous molars. *Pediatric Dental Journal*, 20(1) : 1-6, 2010 (査読有り)
4. Agematsu, H., Someda, H., Hashimoto, M., Matsunaga, S., Abe, S., Kim, HJ., Koyama, T., Naito, H., Ishida, R., Ide, Y.
Three-dimensional observation of decrease in pulp cavity volume using micro-CT : age-related change. *Bulletin of Tokyo Dental College*, 51(1):1-6, 2010 (査読有り)
5. Suzuki, Y., Matsunaga, S., Usami, A., Abe, S., Ide, Y. Comparative study of longitudinal changes in peri-implant bone microstructure. *Journal of Japanese Society of Oral Implantology*, 23(3), 2010 (査読有り)
6. Nakahara, K., Matsunaga, S., Abe, S., Tamatsu, U., Kageyama, I., Hashimoto, M., Ide, Y. Evaluation of the palatal bone for placement of orthodontic mini-implants in Japanese adults. *Cranio*, 30(1) :72-9, 2011 (査読有り)
7. Morioka, T., Matsunaga, S., Yoshinari, M., Ide, Y., Yajima, Y. Alignment of Biological Apatite Crystallites at First Molar in Human Mandible Corticle Bone, *Cranio*, 30(1):32-40, 2011 (査読有り)
8. Yamada, M., Ide, Y., Matsunaga, S., Kato, H., Nakagawa, K.
Three-dimensional analysis of mesiobuccal root canal of Japanese maxillary first molar using micro-CT.

- Bulletin of Tokyo Dental College*, 52(2): 77-84, 2011 (査読有り)
9. Matsunaga, S., Takano, N., Tamatsu, Y., Abe, S., Ide, Y. Biomechanics of jaw bone considering structural properties of trabecular bone. *Journal of Oral Biosciences*, 53(2):143-7, 2011 (査読有り)
 10. Sawada, K., Nakahara, K., Matsunaga, S., Abe, S., Ide, Y.
Evaluation of cortical bone thickness and root proximity at maxillary interradicular sites for mini-implant placement. *Clinical Oral Implants Research*, 2011. (in press) (査読有り)
 11. Furuya, H., Matsunaga, S., Tamatsu, Y., Nakano, T., Yoshinari, M., Abe, S., Ide, Y. Analysis of biological apatite crystal orientation in the anterior cortical bone of the human mandible using microbeam X-ray diffractometry, *Materials Transactions*, 2012. (in press) (査読有り)

[学会発表] (計 15 件)

1. 松永智, 高野直樹, 田松裕一, 阿部伸一, 井出吉信
骨梁の構造特性を考慮した顎骨のバイオメカニクス
歯科基礎医学会誌, Vol. 52, p61, 2010
2. 松本達事, 森岡俊行, 古屋英敬, 松永智, 吉成正雄, 井出吉信, 矢島安朝
ヒト下顎骨における生体アパタイト結晶の配向性と力学的性質との関係
歯科学報, Vol. 110, p499, 2010
3. 澤田幸作, 木下英明, 中原賢, 松永智, 阿部伸一, 井出吉信
マイクロ CT を用いた三次元立体構築像における日本人上顎歯槽骨の骨厚径計測

歯科基礎医学会誌, Vol. 52, p101, 2010

4. 古屋英敬, 松本達事, 森岡俊行, 松永智, 吉成正雄, 中野貴由, 井出吉信
ヒト下顎骨における生体アパタイト結晶 c 軸優先配向性の二次元解析
日本口腔インプラント学会誌, Vol. 23, p168, 2010

5. 木下英明, 中原賢, 松永智, 吉成正雄, 高野直樹, 井出吉信
インプラントの埋入深度が荷重伝達経路に及ぼす影響
日本口腔インプラント学会誌, Vol. 23, p167, 2010

6. 松永智, 杉崎正規, 阿部伸一, 井出吉信
微小領域 X線回折法によるヒト下顎骨関節突起における生体アパタイト配向性の 2次元定量解析
日本顎関節学会雑誌, Vol. 22, p77, 2010

7. 木下英明, 松永智, 吉成正雄, 高野直樹, 井出吉信
インプラント周囲骨梁構造の違いが荷重伝達経路に及ぼす影響
日本骨形態計測学会誌, Vol. 21, No. 2, p62, 2011

8. 古屋英敬, 松本達事, 松永智, 吉成正雄, 中野貴由, 井出吉信
日本人下顎骨前歯部の骨密度と生体アパタイトの結晶配向性
日本骨形態計測学会誌, Vol. 21, No. 2, p67, 2011

9. 松本達事, 森岡俊行, 古屋英敬, 松永智, 吉成正雄, 中野貴由, 井出吉信, 矢島安朝
ヒト下顎皮質骨における生体アパタイト結晶の配向性と力学的性質
日本骨形態計測学会誌, Vol. 21, No. 2, p68, 2011

10. 松本達事, 森岡俊行, 古屋英敬, 松永智, 吉成正雄, 井出吉信, 矢島安朝

ヒト下顎骨における生体アパタイト結晶の配向性と力学的性質との関係
歯科学報, Vol. 111, p427, 2011

11. 福田真之, 木下英明, 野口拓, 澤田幸作, 松永智, 阿部伸一, 井出吉信
インプラント埋入部位の皮質骨厚径が下顎管のひずみに及ぼす影響 骨梁構造を考慮した三次元有限要素解析
歯科学報, Vol. 111, p427, 2011

12. 澤田幸作, 松永智, 阿部伸一, 井出吉信
ミニインプラント埋入のための上顎骨皮質骨厚径と歯根膜間距離計測
日本口腔インプラント学会誌, Vol. 24, p155, 2011

13. 木下英明, 松永智, 吉成正雄, 高野直樹, 井出吉信
皮質骨厚さ、海綿骨構造とインプラントの埋入深度がインプラント周囲の応力とひずみ分布に及ぼす影響
日本口腔インプラント学会誌, Vol. 24, p180, 2011

14. 高野直樹, 松永智
コーンビーム CT 画像に基づく有限要素解析による応力値の定量的評価
日本臨床バイオメカニクス学会プログラム, p. 84, 2011

15. 松永智, 高野直樹
歯科インプラント周囲海綿骨におけるせん断係数の評価
日本臨床バイオメカニクス学会プログラム, p. 84, 2011

[図書] (計 0 件)
[産業財産権]
○出願状況 (計 0 件)
名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:

出願年月日：
国内外の別：
○取得状況（計◇件）
名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：
〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

松永智 (MATSUNAGA SATORU)
東京歯科大学・大学院歯学研究科・講師
研究者番号：70453751

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()

研究者番号：