

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 5 月 22 日現在

機関番号：13101

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24592909

研究課題名(和文)インプラント術前予測のためのコーンビームCTを活用したヒト生体骨梁モデルの確立

研究課題名(英文) Establishment of a 3D-FEM model based on patient's cone-beam CT data for prediction of peri-implant stress

研究代表者

Stegarioiu Roxana (Stegarioiu, Roxana)

新潟大学・医歯学系・准教授

研究者番号：10303140

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は国内外で初めて3次元有限要素法(3D-FEM)を用い、下顎のコーンビームCT(CBCT)画像およびインプラントの μ CT画像に基づいた実際のインプラント予定部位に対し、インプラント埋入後の状態をシミュレーションしたヒト生体骨梁モデルの構築および応力解析が達成できた。将来的にインプラント植立の難易度が高い症例において、術前に植立予定部位のCBCT画像に様々な形態や寸法のインプラントの μ CT画像を様々な角度で重ね合わせ、それぞれに対して精密な3D-FEMモデルを構築し、術後のインプラント周囲骨の応力やひずみを予測し、それらを最小化する治療計画を選択するシステムへの発展につながる。

研究成果の概要(英文)：By using a computer program for bone structure analysis, cone-beam CT data of a patient's edentulous mandibular ridge could be combined with separately obtained micro-CT implant and abutment 3D data, to construct, for the first time, a 3D finite-element model of a patient in which both the trabecular bone structure and the implant shape were accurately reproduced, and a detailed analysis of the stress at the bone-implant interface was performed before the actual implant surgery. This method can be further used in finite element analyses to predict bone stress at potential implant sites, by changing the position, size or number of implants. Adding the knowledge of the future stresses and strains in the peri-implant bone to the factors taken into consideration during the decision making process of the preoperative implant treatment planning is expected to help improve the implant prognosis.

研究分野：医歯薬学

キーワード：歯学 骨応力予測

1. 研究開始当初の背景

歯科臨床では過大な咬合力をインプラントで負担する症例においては失敗率が高いという報告があり、動物実験でも過大な荷重による極めて高い骨ひずみがインプラント周囲骨の破壊に至ることが明らかにされている。

このような背景のもと、研究代表者・分担者は骨破壊の予測に有効である3次元有限要素法(3D-FEM)を用いてインプラント周囲骨の様々な応力解析を行ってきた。本研究ではその成果を歯科臨床応用へより展開させていきたいと考えていた。個々の症例において、CT画像がそのまま応力解析に使用できれば、インプラント周囲骨の応力を容易にかつ効率的に予測することが可能となる。

その中で、インプラント治療の成功率の向上には、応力負担を受けやすい脆弱な骨質を有する海綿骨の力学的環境の改善を検討する必要があることから、3D-FEMによる応力解析を行う際、海綿骨を精密に再現することが重要であると考えられる。

2. 研究の目的

研究代表者・分担者らは以前より、下顎の乾燥骨のμCT画像を基に精密な3D-FEMモデルを作成し、インプラント周囲骨を骨梁レベルまで応力解析できる方法を確認してきた。本研究はこの方法を応用し、ヒトにも適応可能にすることを目指して、歯科用コーンビームCTより得られるデータをベースに歯槽骨の精密な3次元有限要素モデルの構築・検証を行う。本研究はインプラント植立の術前段階で術後のインプラント周囲骨応力の分布予測を可能にするための基盤となる研究である。

3. 研究の方法

発表者らが以前より用いていた、インプラント埋入ヒト乾燥下顎骨を用いてCT撮影を行った。

撮影機器はμCT(ELESCAN、日鉄エレクトクス)、2009年納入CBCT(CB MercuRay、日立メディコ)、2012年納入CBCT(AUGE SOLIO、アサヒレントゲン)の3機種であった。

3機により撮影されたデータをそれぞれ「μCT」、「CBCT-2009」および「CBCT-2012」とした。条件を図1に示す。

撮影装置	管電圧	ボクセルサイズ
μCT	80kv	83 μm
CBCT-2009	120kv	200 μm
CBCT-2012	80kv	100 μm

図1 撮影装置および撮影条件

3機により撮影された画像およびDICOMデータをマルチプルTIFFに変換し、RATOC社製3D骨梁構造計測ソフト(TRI/3D-BON)およびRATOC社製有限要素法ソフト(TRI/3D-FEM)を用いて3つの3D-FEMモデルを構築し、モデル構築における骨梁の再現性について撮影機器間の比較検討を行った。

その結果を踏まえて、CBCT-2009モデルおよびCBCT-2012モデルの内、μCTモデルにより近い骨梁の再現性を示した者を選出し、それとTRI/3D-BONを用いて皮質骨・海綿骨の二値化された画像を修正し、モデルの精度を向上させた。

完成したモデル(以下CBCTモデル)に対し、TRI/3D-FEMを用いて皮質骨、海綿骨およびインプラントそれぞれの物性値を定義した。次、荷重条件は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、側方に50Nの荷重を順次に加え、それぞれの荷重条件下で同3次元有限要素ソフトを用いて応力解析を行った。

それぞれの分析結果を同荷重条件下でのμCTモデルの応力解析結果と比較し、CBCTモデルの検証を行った。

検証後、同様な方法において臨床応用可能なヒト生体3D-FEM骨梁応力解析モデルを作成し、応力解析を行った。患者の同意のもと、歯科用CBCT装置(AUGE SOLIO)により撮影したインプラント治療前の下顎臼歯部の欠損部の画像データを用いた。また、μCT装置(ELESCAN)を用いてアバットメントを装着したネジ型のインプラント単体を撮影した。その後、ポリウム画像位置合わせオプションを付加したTRI/3D-BONを用いてCBCTデータから得た3D-FEM骨梁モデルに別当で撮影したインプラントのデータを重ね合わせてインプラント埋入後の状態をシミュレーションした3D-FEMモデルを構築した。完成したモデルに対し、TRI/3D-FEMを用い、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、応力解析を行った。

4. 研究成果

3機種の撮影器機を用いて得られた画像より作成した3つの3次元有限要素解析モデルを図2-1~図2-3に示す。

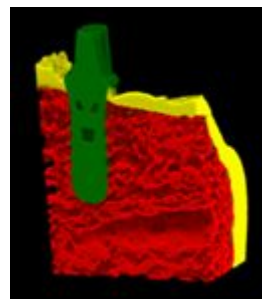


図2-1 μCTデータを基にした3D-FEMモデル

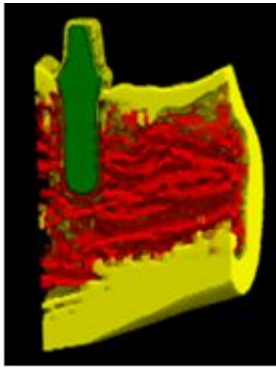


図 2-2 CBCT-2009 データを基にした 3D-FEM モデル

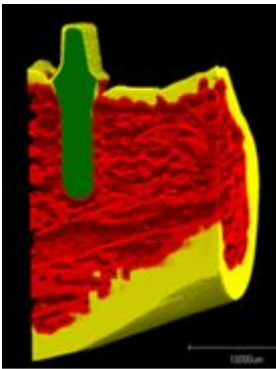


図 2-3 CBCT-2012 データを基にした 3D-FEM モデル

3次元有限要素解析モデルの骨梁の再現性は

$\mu\text{CT} > \text{CBCT-2012} > \text{CBCT-2009}$ の順であった。

したがって、3D-FEM を行うために、CBCT-2012モデルを基に精度を向上させたCBCTモデルを作成した。それと μCT モデルの応力分布を図3と図4に示す。

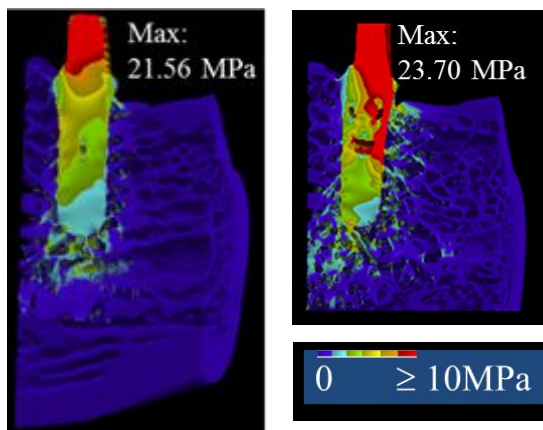


図 3 CBCT モデル (左) と μCT モデル (右) における垂直荷重時での応力分布

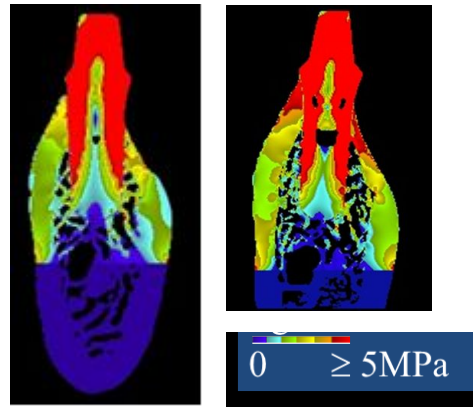


図 4 CBCT モデル (左) と μCT モデル (右) における側方荷重時での応力分布 (頬舌断面)

垂直荷重時に CBCT モデルの皮質骨ではインプラント頸部の周囲骨、海綿骨ではインプラント周囲骨の広い範囲に応力分布が認められ、 μCT モデルと類似していた (図 3)。また、骨の最大相当応力値はモデル間で異なったものの、海綿骨対皮質骨の比率は CBCT モデルでは 1.49、 μCT モデルでは 1.23 と近似していた。

側方荷重時に骨応力がインプラントの頬・舌側の周囲骨に分布し、モデル間で皮質骨・海綿骨それぞれは同様な最大応力値と応力分布を示した (図 4)。

それらの結果から、インプラント治療計画の比較検討を行う際、CBCT モデルは力学的視点において、ヒト生体からの構築が不可能な μCT モデルと類似した性質を有すると考え、生体を対象に倫理規定に基づいたヒト生体骨梁 3D-FEM モデルの作製・解析を行った。

その解析結果、インプラント周囲の皮質骨と海綿骨の応力分布は骨梁レベルまで明かとなった (図 5)。

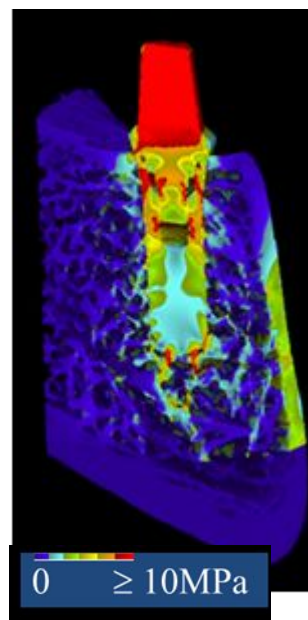


図 5 CBCT データに基づいたヒト骨梁 3D-FEM モデルの応力分布

以上の結果から、本研究は国内外で初めて3次元有限要素法(3D-FEM)を用い、下顎のコーンビームCT(CBCT)画像およびインプラントの μ CT画像に基づいた実際のインプラント予定部位に対し、インプラント埋入後の状態をシミュレーションしたヒト生体骨梁モデルの構築および応力解析が達成できた。将来的にインプラント植立の難易度が高い症例において、術前に植立予定部位のCBCT画像に様々な形態や寸法のインプラントの μ CT画像を様々な角度で重ね合わせ、それぞれに対して精密な3D-FEMモデルを構築し、術後のインプラント周囲骨の応力やひずみを予測し、それらを最小化する治療計画を選択するシステムへの発展につながる。

今後、このような応力解析によるインプラント治療計画システムがより身近な臨床応用に発展できれば、インプラントの治療計画において臨床成績向上につながるようになる。

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1件)

Roxana Stegaroiu, Kouichi Kurokawa, Ryohei Takano, Hideyoshi Nishiyama, Takafumi Hayashi: Towards the Establishment of a Trabecular Model to Predict Bone Stress Around Implants from Cone-beam Computed Tomography Images. Revista Romana de Stomatologie (Ro J Stomatol), 査読有、Vol. LIX (LIX = 59)、No. 3: pp. 254-257, 2013.

[学会発表](計7件)

Stegaroiu Roxana, Kurokawa Kouichi, Yamada Kazuho, Nishiyama Hideyoshi, Hayashi Takafumi. 3D-FEM model using cone-beam CT for stress prediction around implants. The 16th Biennial Meeting of the International College of Prosthodontists (ICP), ソール(韓国), 2015. 9. 17 - 20. (発表確定)

Roxana Stegaroiu, Kouichi Kurokawa, Ryohei Takano, Hideyoshi Nishiyama, Takafumi Hayashi. Comparison of the stress distributions in the peri-implant bone between 3D finite element models based on cone-beam computed tomography and micro-CT images. 第62回国際歯科研究学会日本部会 学術大会、KKR ホテル大阪(大阪府大阪市) 2014年12月4-5日 Reconsidering the Importance of Clinical Relevance JADR 2014, p. 87, 2014.

黒川 孝一, ステガロユ ロクサーナ, 西山 秀昌, 山田 一穂. コーンビームCTを活用した3次元有限要素モデルによるインプラント周囲骨の応力解析 ~ μ CTデータからの3次元有限要素モデルとの比較 ~ 第44回日本口腔インプラント学会学術大会、東京国際フォーラム(東京都千代田区), 2014年9月12~14日, 日本口腔インプラント学会誌27巻 特別号: 264頁, 2014年.

Stegaroiu Roxana, Kurokawa Kouichi, Nishiyama Hideyoshi, Hayashi Takafumi. Can the bone stress around implants be predicted from cone-beam computed tomography image-based 3D finite element models? The 14th European Congress of Dentomaxillofacial Radiology (ECDMFR), Cluj-Napoca クルジュ・ナポカ(ルーマニア), 2014.6.25-28.

Stegaroiu Roxana, Kurokawa Kouichi, Takano Ryohei, Nishiyama Hideyoshi, Hayashi Takafumi. Accuracy Of A 3D Finite Element Model Of An Implant-Inserted Dried Human Mandible Created From Cone-Beam CT Data: Comparison With A Model Created From Micro-CT Data. 15th Biennial Meeting of the International College of Prosthodontists (ICP), トリノ(イタリア) 2013.9.18-21, Conference Program: 134, 2013.

Roxana Stegaroiu, Kouichi Kurokawa, Ryohei Takano, Hideyoshi Nishiyama, Takafumi Hayashi. Towards the establishment of a trabecular model to predict bone stress around implants from conebeam CT images. CONGRESUL COMUN DE STOMATOLOGIE SRS - GAO, Italia (招待講演) 2013.9.12-14、ブカレスト(ルーマニア).

黒川孝一, ステガロユ ロクサーナ, 高野 遼平, 西山秀昌, 林 孝文. インプラント植立下顎骨をコーンビームCT撮影により3次元有限要素解析モデル構築する際のCT機器間の比較検討. 社団法人日本補綴歯科学会 設立80周年記念 第122回学術大会、福岡国際会議場(福岡県、福岡市) 2013年5月18~19日. 日本補綴歯科学会雑誌5巻122回特別号225頁2013年.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

Stegaroiu Roxana (STEGAROIU, Roxana)
新潟大学・医歯学系・准教授
研究者番号: 10303140

(2)研究分担者

黒川 孝一 (KUROKAWA, Koichi)
新潟大学・医歯学系・准教授
研究者番号：60215085

(3)連携研究者

林 孝文 (HAYASHI, Takafumi)
新潟大学・医歯学系・准教授
研究者番号：80198845

山田 一穂 (YAMADA, Kazuho)
新潟大学・医歯学総合病院・特任助教
研究者番号：20397152