

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 25 年 6 月 21 日現在

機関番号：32650

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2010～2013

課題番号：22592195

研究課題名（和文）骨梁構造における荷重伝達を考慮したインプラント偶発症抑止シミュレーション

研究課題名（英文）

A simulation system that considers load transfer in trabecular structures to prevent implant-related complications

研究代表者

井出吉信（IDE YOSHINOBU）

東京歯科大学・歯学部・教授

研究者番号：20103377

研究成果の概要（和文）：

我々は、マイクロ CT の高い撮像分解能で得られた画像をもとに三次元的な観察と形態計測を行い、解剖学的な構造物とその周囲の骨梁構造についてのデータを蓄積し、さらには骨梁構造を考慮した三次元有限要素解析を用いてインプラント周囲顎骨の応力分布を観察することで、インプラント埋入時において注意すべき解剖学的構造の三次元的位置関係をデータベース化し、生体力学的要因を考慮したインプラント埋入シミュレーションのシステムを構築した。

研究成果の概要（英文）：

In the present study, we performed three-dimensional observation and morphometry based on high-resolution images obtained by micro-computed tomography (micro-CT), and accumulated data of anatomical structures and surrounding trabecular structures. By additionally observing the stress distribution in the jaw bone around implants using three-dimensional finite element analysis that considers trabecular structures, we built a database of the three-dimensional positional relationships of anatomical structures that require caution during placement of implants, and established an implant placement simulation system that considers biomechanical factors.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,800,000	540,000	2,340,000
2011年度	700,000	210,000	910,000
2012年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	3,000,000	900,000	3,900,000

研究分野：医歯薬学

科研費の分科・細目：歯学・歯科医用工学・再生歯学

キーワード：歯科インプラント学

1. 研究開始当初の背景

歯科インプラントは顎骨に直接埋入され、喪失した歯の代わりとして咀嚼機能を回復させるために広く用いられてきた。一方で、インプラント合併症についての報告は年々増加している。インプラント埋入時における偶発症のリスクを予測し回避するためには顎骨の解剖学的構造を三次元的に把握することが重要である。さらに、インプラント体への機能負荷が周囲骨の支持能力を超えると、周囲骨の吸収、スクリューの緩み、あるいはインプラント体の破折などの合併症が起こるとされ、生体力学的な検討を加える必要性が示唆されている。しかしながら、顎骨内部に発生するメカニカルストレスを評価することは難しく、解剖学的構造物に対する影響も不明な点が多く残されているのが現状である。

2. 研究の目的

上記の学術的背景から、本研究の目的を次の2点とした。

1) インプラント埋入時において注意すべき解剖学的構造の三次元的位置関係をデータベース化する。具体的には、マイクロCTの高い撮像分解能で得られた画像を元に三次元的な観察と形態計測を行い、解剖学的構造物とその周囲の骨梁構造についてのデータを蓄積する。

2) 骨梁構造の異方性がインプラント周囲骨に与える影響を解明し、骨梁構造を考慮したインプラント埋入危険領域を設定する。

3. 研究の方法

東京歯科大学解剖学講座所蔵の日本人無歯頭蓋骨24体48側をマイクロCTにて撮像した。得られた撮像データを立体構築して3次元的観察を行い、歯槽骨の吸収状態から3群に分類した。歯槽骨厚径、皮質骨厚径に加えて、歯槽骨から下顎管、上顎洞下底までの距離について分類を行った。次に顎骨内部骨梁の骨密度分布を算出し、微小解析領域を設定した。解析領域は上下学前歯部、小臼歯部、大臼歯部の10部位とし、平均化に適したユニットセルをそれぞれの領域から抽出した。抽出したユニットセルそれぞれに対して独自の均質化法を用いた構造解析を行い、マクロな力学的物性値を算出した。力学的物性値は、それぞれの軸に対する縦弾性係数、ポアソン比、せん断係数を計算した。

次に歯槽骨の吸収状態が異なる3群のマイクロCTデータを2値化し、内部骨梁構造を忠実に再現したFEモデルを作製した。上記の計測結果をもとに設定したインプラント埋入危険部位を考慮して偶発症発生を想定した3パターンを作製してインプラント埋入位置を決定し、三次元有限要素解析を行った。皮質骨厚径、海綿骨の構造特性などを考慮に入れ、計算結果を出力することで、データベース化された注意すべき解剖学的構造物に対応してフィードバックすることを可能にした。特に埋入部位が正常な位置のモデルと、下顎管を損傷してしまう偶発症モデル、舌側の皮質骨を穿孔してしまう偶発症モデルの3つに焦点を絞って解析を行った。

4. 研究成果

マイクロCTを用いた三次元的観察と骨

形態計測を行った結果、日本人無歯頭蓋骨の顎骨構造に関する膨大な量のデータベースを構築することができた。それらのデータを元に解剖学的構造の三次元的な位置関係と内部骨梁の構造解析を行った結果、皮質骨の厚径と骨梁の構造特性のパラメータはインプラント周囲の荷重伝達経路を評価する上で双方ともに重要な因子であるが、今回の解析から、皮質骨厚径が十分な顎骨の偶発症リスクは低く、皮質骨厚径が薄い顎骨では骨梁の構造が偶発症発生リスクに大きな影響を与えることが明らかとなった。さらに顎骨モデルに与える力学的物性値について検討を加えた結果、海綿骨の構造特性を考慮したせん断係数を与えた力学解析に比べ、従来の線形複合則をもとに算出したせん断係数を与えた解析は50%もの解析誤差が生じることとなり、特にインプラント周囲顎骨における力学解析にはせん断係数を考慮する必要があることが明らかとなった。

また、骨梁構造を考慮したインプラント埋入モデルにおいては、埋入深度や方向により下顎管などの解剖学構造物に近接した部位において応力集中がみられた。また埋入角度における舌側皮質骨穿孔の危険性もモデル上で確認することができた。危険領域における応力集中は、過重負担による偶発症発現の可能性を示唆しており、今回の研究結果から、皮質骨厚径、海綿骨の構造特性などを考慮に入れ、計算結果を出力することで、データベース化された注意すべき解剖学的構造物に対応してフィードバックすることが可能となった。これにより、インプラント周囲骨の支持能力の一端が解明されたとともに、インプラントが過重負担をはじめとした偶発症を引き起こす機序について定量的に評価することができた。

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7件)

- ①Ohashi 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*. 2010 Oct;14(5):507-13. DOI: 10.1007/s00784-009-0332-y.
- ②Matsunaga 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*. 2010 Jul-Aug;23(4):333-8. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20617221>
- ③Nakahara K, Matsunaga S, Abe S, Tamatsu Y, Kageyama I, Hashimoto M, Ide Y. Evaluation of the palatal bone for placement of orthodontic mini-implants in Japanese adults. *The Journal of Craniomandibular Practice*, 30:1-8, 2012 (査読有) <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22435178>
- ④Furuya H, Matsunaga S, Tamatsu Y, Nakano T, Yoshinari M, Ide Y, Abe S. Analysis of biological apatite crystal orientation in anterior cortical bone of human mandible using microbeam X-ray diffractometry *Materials Transactions*, 53:980-984, 2012 (査読有)

<http://www.jim.or.jp/journal/e/53/05/980.html>

⑤ Fujita S, Ide Y, Abe S

Variations of vascular distribution in the mandibular anterior lingual region: A high risk of vascular injury during implant surgery

Implant Dentistry, 21:259-264, 2012 (査読有)

doi: 10.1097/ID.0b013e31825cbb7d.

⑥ Noguchi T, Matsunaga S, Kinoshita H, Fukuda M, Saka H, Ide Y, Abe S.

A Site-Specific Comparison of the Trabecular Structure in Senescence-Accelerated Mice –Evaluation of

Time-Course Changes in Bone Architecture using in vivo micro-CT–

Journal of Hard Tissue Biology, 2013 (査読有)

https://www.jstage.jst.go.jp/article/jhtb/22/2/22_171/_article/-char/ja/

⑦ Matsunaga S, Naito H, Tamatsu Y, Takano N, Abe S. and Ide Y.

Consideration of shear modulus in biomechanical analysis of peri-implant jaw bone.

Dental Materials Journal, 2013 (査読有)

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23719004>

[学会発表] (計 0 件)

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 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 0 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

井出吉信 (IDE YOSHINOBU)

東京歯科大学・大学院歯学研究科・教授

研究者番号 : 20103377

(2) 研究分担者

松永智 (MATSUNAGA SATORU)

東京歯科大学・歯学部・講師

研究者番号 : 70453751

(3) 連携研究者

()

研究者番号 :