

令和 元年 6 月 20 日現在

機関番号：13101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K11588

研究課題名(和文)インプラント検討症例の残存歯咬合力を用いたヒト生体骨梁モデルの3次元有限要素解析

研究課題名(英文) Three-dimensional finite element analysis using human trabecular models and forces on implants as predicted from occlusal forces on the remaining teeth in the implant treatment planning phase

研究代表者

Stegarioiu Roxana (STEGAROIU, 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) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：インプラント検討症例の残存歯咬合力に着想し、コーンビームCTデータ、別途撮影したインプラント体および製作した上部構造それぞれのマイクロCTデータ、咬合検査データを用い、インプラント埋入予定部位の骨構造、インプラント体および上部構造、咬合接触点を精密に再現した3次元有限要素モデルを構築し、応力解析を行った。また、解析の荷重設定に必要となる、インプラント埋入術前の残存歯咬合圧から埋入後のインプラント咬合圧を推定するために、対象者の術前のインプラント予定の欠損側の残存歯およびインプラント予定の欠損側の臼歯部の咬合力それぞれと上部構造装着後のインプラント咬合力測定値との間に正の線形相関が認められた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

対象者の術前に採取したインプラント予定側の残存歯および臼歯部の咬合力それぞれと上部構造装着後のインプラント咬合力測定値との間に正の線形相関が認められたことは3次元有限要素解析に必要なインプラント咬合力を術前に推定するには有用であると考えられる。

また、本研究によって成立させたヒト生体骨梁モデルの作成手法および荷重条件の設定手法は、さらなる臨床症例において計画段階でのインプラント周囲骨の応力予測への展開が可能となると考える。

研究成果の概要(英文)：With patients' informed consent, cone-beam CT data of unilateral free-end edentulous ridges, occlusal forces and occlusal contact registrations, obtained for implant treatment planning purposes, were combined with micro-CT data of implants and patient superstructures to create 3D finite element (FEM) models in which trabecular structure, implants, superstructures and occlusal contacts were simulated with high accuracy ensuring detailed stress analyses. To predict in the treatment planning phase the implant forces required for the FEM analyses, maximum occlusal forces measured with pressure-sensitive sheets on the remaining teeth before implant treatment and on implants after superstructure set were analyzed by linear regression analysis. A positive correlation was found between implant occlusal forces and occlusal forces on the remaining teeth, as well as on the posterior teeth of the same side with the edentulous ridge to be restored with implants.

研究分野：医歯薬学

キーワード：歯学 骨応力予測 咬合力

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

歯科インプラントの周囲骨が受ける応力・ひずみには様々な研究と見解がある<sup>1-4</sup>が、代表者らはインプラント周囲骨の応力・ひずみがインプラントの成否を左右するとの前提で3次元有限要素解析(以下3D-FEM)を用いて研究を行ってきた<sup>5-7</sup>。その中で海綿骨を精密に再現するために、標本骨の $\mu$ CT画像を基に3D骨梁構造解析ソフト(TRI/3D-BON ラトック社製)およびTRIシリーズの3D-FEMソフト(TRI/3D-FEM ラトック社製)を用いて精密なモデルを作成し、骨梁レベルまで応力分析し、その方法を歯科用コーンビームCT(以下CBCT)画像にも展開させてきた<sup>7</sup>。

しかし、3D-FEM解析は咬合力に相当する力として他報告による平均値を用いられていることから、各の症例においてインプラント周囲骨内の実際の応力・ひずみの値を算出できず、インプラントの治療計画立案時における定量的な分析を踏まえた上での力学的なリスク因子回避方法は構築されていない。

そこで、本研究は術前のインプラント周囲骨の応力解析の荷重設定に必要となるインプラント咬合力を推定するために、インプラント検討症例において残存歯の咬合力を測定し、それらの測定値とインプラント埋入術後、上部構造装着後のインプラント咬合力測定値との関連を明らかにすることに着想した。

### 2. 研究の目的

申請者らはこれまで、3D-FEMを用いて実際のインプラント予定部位に対するインプラント埋入後の状態をシミュレートした「ヒト生体骨梁モデル」を構築し、応力解析に至ってきた。

今回、さらに発展させ、片側遊離端欠損のインプラント検討症例のCBCTデータを用い、インプラント埋入予定部位の骨構造を精密に再現した3D-FEMモデルを構築することで、インプラント埋入後の状態、上部構造の装着後の状態をシミュレートする。特にモデルを応力解析する際の荷重条件を実際の患者から計測した咬合力から導いた値を用いることで、より忠実なインプラント治療の計画段階でのインプラント周囲骨の応力予測を目指した。

### 3. 研究の方法

本研究は新潟大学倫理委員会の承認を得て同意が得られた片側遊離端欠損症例でかつ、正常な顎機能を有するインプラント検討患者において、臨床上必要なCT撮影画像および咬合検査のデータを研究解析対象とした。さらに、埋入や骨治癒を経て上部構造装着まで治療が行われた患者において上部構造装着後の残存歯の咬合力データおよびインプラントの咬合力データを分析対象とした。

#### (1) 3D-FEMモデルの構築・応力解析

下顎臼歯部においてインプラント埋入計画の段階でCBCT撮影は実施された患者より応力解析モデルに必要なCBCT画像データを得て、3D-FEMモデル構築の対象とした。金属体のアーチファクトを回避するために、別途撮影したインプラント体(実際に埋入したインプラント体と同型番のもの)および製作した上部構造(使用後のプロビジョナル)のマイクロCTデータと患者から得られた埋入部位の画像データとを3次元骨梁構造解析ソフトのボリューム画像位置合わせオプション(TRI/3D-ADJ)を用いてインプラント植立状態をシミュレートした3D-FEMモデルを構築した。また、同患者から得た上部構造装着後の咬合圧および咬合接触点の印記を参考に3D-FEMソフトを用いてモデルの上部構造に113.2Nの荷重を設定し、インプラント周囲骨の応力分布を解析した。

3D-FEMモデル構築に用いた手法は、CT撮影時にテンプレートを使用したインプラント治療のワークフローに対応したものを成立した後、デジタルワークフローを用いたインプラント治療にも対応できるヒト生体骨梁モデルの3D-FEMモデルの作成法も検討した。

#### (2) インプラント埋入術前と上部構造装着後における残存歯咬合圧の比較

研究期間中に得た咬合検査データを用いて、インプラント埋入前およびインプラント上部構造装着後の2時点(上部構造装着後およびメンテナンス時)で残存歯にかかる咬合圧の比較検討を行い、インプラント補綴治療が残存歯の咬合力負担に及ぼす影響を前向きに調査・検討した。

#### (3) インプラント埋入術前より、埋入後のインプラント咬合力の推定

また、インプラント埋入術前の残存歯の咬合力から埋入後のインプラント咬合力を推定するために、線形回帰分析を用いて上部構造装着後までの咬合検査データの提供があった対象者において、術前の総合咬合力および各部位の咬合力それぞれと上部構造装着後のインプラント咬合力測定値との間の相関の有無を求めた。

### 4. 研究成果

#### (1) 3D-FEMモデルの構築・応力解析

臨床例に並行してシミュレートした上部構造装着後の3D-FEMモデルに同症例のインプラント咬合力測定値を荷重とした応力解析により、インプラント周囲骨の応力分布が明らかにな

った。インプラント周囲骨の応力は皮質骨においてインプラント頸部、海綿骨において細い骨梁に集中したものの、インプラント・骨の界面に広く分散する傾向にあり、全般に低い値を示した。最大相当応力値は皮質骨で 21.7 MPa、海綿骨で 14.5 MPa とメカノスタットセオリーにおいて骨が安定している荷重範囲内であったと考えられる。

それらの結果は、臨床例での時間経過と共にインプラント周囲骨の骨吸収等の変化が生じた場合、追加の応力解析により変化した骨の状態と骨内応力との関連性を調べる際に重要なベースライン情報となる。また、本研究の方法を用いて応力解析や経過観察を多くの症例に行うことによって、咬合圧とインプラント周囲骨応力との関係を明確にし、術前より安全領域を推定できることにつながると考えられる。

さらに、モデル構築の手法として、CT 撮影時にテンプレートをを用いたインプラント治療過程に平行して行ったが、それに加え、デジタルワークフローを用いた治療にも対応できるヒト生体骨梁モデルの 3 次元有限要素モデルの作成手法を成立させた。それらのモデルを応力解析する際の荷重条件を実際の患者から計測した咬合力から導いたインプラント咬合力値を用いることで、計画段階でのインプラント周囲骨の応力予測への展開が可能となると考える。

## (2) インプラント埋入術前と上部構造装着後における残存歯咬合圧の比較

インプラント埋入術前、術後、メンテナンスの 3 時点で総咬合力に有意差を認められなかった。歯種別の咬合力負担率は、インプラント予定の欠損側の最後方残存歯で術前に対しメンテナンス時で有意に低下を示した。よって、片側遊離端欠損のインプラント症例において応力解析を行う際、インプラント埋入術前で得た残存歯咬合力測定値を参考に埋入後の残存歯咬合力値を設定する際、インプラントの隣在歯に術前より低い値を設定すべきと考えた。また、臨床的な観点から、片側遊離端欠損に対するインプラント治療は、インプラント予定の欠損側最後方残存歯を保護する可能性が推し測られた。

## (3) インプラント埋入術前より、埋入後のインプラント咬合力の推定

線形回帰分析を用いてインプラント埋入術前の総合咬合力および各残存歯の部位の咬合力それぞれと上部構造装着後のインプラント咬合力測定値との間の相関の有無を求めた結果、インプラント予定の欠損側の残存歯（前歯と臼歯）およびインプラント予定の欠損側の臼歯それぞれの咬合力とインプラント咬合力との間に統計学的に有意な関連が認められた ( $p < 0.05$ )。また、それぞれの相関係数 ( $r$ ) は 0.86 および 0.88 であった。それらの残存歯咬合力とインプラント咬合力との間に明らかな正の線形相関が認められたことから、両部位の残存歯咬合力は上部構造装着後のインプラント咬合力を術前に推定するには有用であると考えられる。

## < 引用文献 >

- Fu JH, Hsu YT, Wang HL. Identifying occlusal overload and how to deal with it to avoid marginal bone loss around implants. *Eur J Oral Implantol*. 2012, 5 Suppl:91-103.
- Han HJ, Kim S, Han DH. Multifactorial evaluation of implant failure: a 19-year retrospective study. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2014, 29(2):303-310.
- Naert I, Duyck J, Vandamme K. Occlusal overload and bone/implant loss. *Clin Oral Implants Res*. 2012, 23:95-107.
- 松崎 達哉, 松下 恭之, 古谷野 潔, オーバーロードとインプラント治療の偶発症、日本補綴歯科学会誌 2015、7 (4 ):305-313.
- Okumura N, Stegaroiu R, Nishiyama H, Kurokawa K, Kitamura E, Hayashi T, Nomura S. Finite element analysis of implant-embedded maxilla model from CT data: comparison with the conventional model. *J Prosthodont Res* 2011, 55(1):24-31.
- Stegaroiu R, Watanabe N, Tanaka M, et al. Peri-implant stress analysis in simulation models with or without trabecular bone structure. *Int J Prosthodont*. 2006;19:40-42.
- Stegaroiu R, Kurokawa K, Takano R, Nishiyama H, Hayashi T: 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)*, LIX(59) (3): 254-257, 2013.

## 5 . 主な発表論文等

### [ 雑誌論文 ] ( 計 3 件 )

山崎裕太, 荒井良明, ロクサーナ ステガロウ, 高嶋真樹子, 河村篤志, 黒川孝一. 片側遊離端大臼歯欠損のインプラント治療が残存歯咬合力負担に及ぼす影響. *日本補綴歯科学会雑誌* 11 巻 128 回特別号 258 頁 2019 年, 査読有 .

<http://www.knt.co.jp/ec/2019/jps128/pdf/shoroku3.pdf>

Stegaroiu Roxana, Arai Yoshiaki, Yamazaki Yuta, Yamada Kazuho, Kurokawa Koichi, Tanaka Shigeo. Implant Presence Influences Occlusal Force on Adjacent Tooth: Preliminary Results. *Journal of Dental Research* 97 (Special Issue B), 2018, 1497 ([www.iadr.org](http://www.iadr.org)), 査読有.

Stegaroiu Roxana, Kurokawa Koichi, Yamada Kazuho, Arai Yoshiaki, Hideyoshi Nishiyama,

[学会発表](計6件)

山崎 裕太, 荒井 良明, ロクサーナ ステガロク, 高嶋 真樹子, 河村 篤志, 黒川 孝一, 片側遊離端大臼歯欠損のインプラント治療が残存歯咬合力負担に及ぼす影響, 公益社団法人日本補綴歯科学会 第128回学術大会, 2019年.

Stegaroiu Roxana, Arai Yoshiaki, Yamazaki Yuta, Yamada Kazuho, Kurokawa Koichi, Tanaka Shigeo. Implant Presence Influences Occlusal Force on Adjacent Tooth: Preliminary Results. The 96th General Session of IADR/PER, 2018.

山崎 裕太, 荒井 良明, Stegaroiu Roxana, 高嶋 真樹子, 黒川 孝一, 下顎片側最後方大臼歯欠損のインプラント治療が咬合力分布へ及ぼす影響. 第48回公益社団法人日本口腔インプラント学会学術大会, 2018年.

Stegaroiu Roxana, Kurokawa Koichi, Yamada Kazuho, Arai Yoshiaki, Hideyoshi Nishiyama, Tanaka Shigeo. A new method to predict stress around dental implants using 3D-finite element method (FEM) with patient computed tomography images and bite force data. Congresul Roman de Stomatologie cu Participare Internationala (The Romanian Dentistry Congress with International Participation 2017), 2017. (招待講演)

Stegaroiu Roxana, Kurokawa Koichi, Yamada Kazuho, Arai Yoshiaki, Hideyoshi Nishiyama, Tanaka Shigeo. Finite Element Analysis of Implant-embedded Mandibular Model from Patient Data. The 95th General Session of IADR, 2017.

Stegaroiu Roxana, 黒川 孝一, 山田 一穂, 荒井 良明, 西山 秀昌. インプラント臨床例と並行して行った咬合力荷重ヒト生体骨梁モデルの3次元有限要素解析. 第46回日本口腔インプラント学会学術大会, 2016年.

[図書](計1件)

Stegaroiu Roxana, Kurokawa Koichi, Yamada Kazuho, Arai Yoshiaki, Hideyoshi Nishiyama, Tanaka Shigeo. O nouă metodă de estimare a stresului din jurul implanturilor dentare folosind metoda elementelor finite (MEF), imagini de tomografie computerizată și forțe masticatorii măsurate la pacient. In: Emilian Hutu (ed.), "Aspecte terapeutice de demult și tratamente actuale ale stomatologiei românești": Volum de rezumate ale lucrărilor susținute în cadrul Congresului Român de Stomatologie cu Participare Internațională. București: MedBook, 2017: 25-26. (ISBN 978-606-93708-5-8)

6. 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名: 荒井 良明  
ローマ字氏名: (ARAI, Yoshiaki)  
所属研究機関名: 新潟大学  
部局名: 医歯学総合病院  
職名: 准教授  
研究者番号(8桁): 10301186

研究分担者氏名: 黒川 孝一  
ローマ字氏名: (KUROKAWA, Koichi)  
所属研究機関名: 新潟大学  
部局名: 医歯学系  
職名: 准教授  
研究者番号(8桁): 60215085

研究分担者氏名: 田中 茂雄  
ローマ字氏名: (TANAKA, Shigeo)  
所属研究機関名: 金沢大学  
部局名: 機械工学系  
職名: 教授  
研究者番号(8桁): 20262602

研究分担者氏名：山田 一穂  
ローマ字氏名：(YAMADA, Kazuho)  
所属研究機関名：新潟大学・  
部局名：医歯学総合研究科  
職名：非常勤講師  
研究者番号：20397152

(2)研究協力者  
研究協力者氏名：山崎 裕太  
ローマ字氏名：(YAMAZAKI, Yuta)

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。