

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 5 月 24 日現在

機関番号：11301  
 研究種目：基盤研究(C) (一般)  
 研究期間：2014～2016  
 課題番号：26462910  
 研究課題名(和文) パーソナルFEAシミュレーションによるインプラント設計的最適化システムの開発  
  
 研究課題名(英文) Development of optimizing simulation for treatment planning with dental implant.  
  
 研究代表者  
 重光 竜二 (SHIGEMITSU, RYUJI)  
  
 東北大学・大学病院・助教  
  
 研究者番号：00508921  
 交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、患者の口腔内にて実測された三次元的な荷重データを荷重条件として用いたFEAにより、支台インプラント本数が荷重状況に及ぼす影響を考察することを目的とした。被験者は下顎左側第二小臼歯から第二大臼歯部に部分欠損を有し、同部に3本のインプラントが埋入されている。インプラントに加わる荷重測定はインプラント3本支台の連結固定タイプ、インプラント2本支台のBrタイプ、遠心延長Brタイプ、近心延長Brタイプの4タイプで、各々の有限要素モデルを作成し解析を行った。解析結果からカンチレバーデザインにおいて、上部構造の変位量の増加および欠損部に隣接した支台インプラント周囲の応力増加が明らかとなった。

研究成果の概要(英文)：This time we would like to focus on how the superstructure design of implant-supported fixed prosthesis and the number of implant affects mechanical behavior. The patient is 67-year-old woman, and three implants were installed between second premolar to second molar region in the left side of mandible. 3 Types of superstructure design were modeled with biological loading data. In summary, 1) Decrease of the number of implants supporting FPDs doesn't always cause an increase of stress and displacement. 2) Cantilever bridge design causes an increase of stress and displacement. 3) The stress and displacement were increased remarkably during function. Finally in conclusion, from this study, the design of cantilever bridge may cause an increase of stress in peri-implant bone and displacement of superstructure in implant-supported FPDs.

研究分野：補綴歯科学

キーワード：歯科インプラント 有限要素解析 上部構造 最適化

### 1. 研究開始当初の背景

(1) 歯科インプラントの長期経過調査において、上部構造およびフィクスチャの破折、スクリーウの緩み等の様々な臨床的合併症が報告されており、過度な力学的負荷がそのリスクファクターとして認識されている。そのため、インプラント治療の良好な長期経過には感染の制御に加え、力学的挙動の制御が極めて重要である。

近年の歯科インプラント臨床においては、術前診断用に撮像した CT 画像に対する、3D レンダリング処理により患者固有の骨形態・骨質を可視化し、インプラント埋入位置や埋入角度を決定する術前シミュレーションが普及している。しかしながら、これらの術前シミュレーションは骨量・骨質などの解剖学的分析に用いられており、生体力学的分析を行うまでには至っていない。

学術研究としては有限要素解析法 (Finite Element Analysis: FEA)、光弾性模型法、歪みゲージ計測法などを用いた研究が数多くなされており、上部構造の材質、インプラント長径・直径・埋入位置・角度・本数などのインプラント補綴設計が生体力学的挙動に影響を及ぼすことが報告されている。なかでも、FEA は生体内での計測が難しい力学的挙動のシミュレーション手法として非常に有効である。近年では、顎骨 CT データからのモデル幾何形状の構築、および CT 値 (Hounsfield unit) に基づく材料特性の設定により飛躍的に解析精度が向上し、医工学分野での応用が進んでいる。

(2) 歯科インプラントに関する FEA に基づく研究成果は多数存在する。しかし、モデルの単純化誤差および生体モデル化の過程における技術的問題から臨床応用されるまでには至っていない。

これまで、本課題の代表者である重光らは、被験者の CT データを用いて患者個体差を反映した FEA システムを、計算力学を専門とする本学工学分野との共同研究により開発した。同システムは CT 画像から患者固有の幾何形状および骨密度分布を反映した材料特性を有する FE モデル合成が可能であり、臨床応用を想定したシミュレーション手法である。

### 2. 研究の目的

歯科インプラント臨床においては、CT 画像から骨形態・骨質を可視化し、設計を策定する術前シミュレーションが普及しているが、臨床成績に関わる力学的な診断を加味するまでには至っていない。

本課題では、インプラント固定性上部構造を装着した被験者をモデルとして、インプラント体に加わる機能力を生体内計測し、上部構造設計が力学挙動に与える影響を考察した。これにより、インプラント治療設計をバイオメカニクスの観点から最適化するシミュレーション: optimizing simulation の確立に資することを目的とした。

### 3. 研究の方法

#### (1) FE モデル構築

被験者とインプラント荷重の生体測定  
被験者は下顎左側第二小臼歯から第二大臼歯部に部分欠損を有し、同部に 3 本のインプラント (ブローネマルクシステム Mk TiU 直径 3.75mm、長さ 13mm) が埋入されている。67 歳の女性である。



図 1

図 1 に被験者の口腔内および上部構造装着時の写真を示す。インプラントを第二小臼歯～第二大臼歯の順に Imp1～Imp3 とする。インプラントに加わる荷重は小型水晶圧電式センサー (Type Z18400, Kistler Instrument) を設置用ジグと上部構造とともにインプラント上に一体固定した状態で測定された。測定はインプラント 3 本支台の連結固定タイプ (以下 3 本支台)、インプラント 2 本支台の Br タイプ (以下 Br)、遠心延長 Br タイプ (以下 DCBr)、近心延長 Br タイプ (以下 MCBr) の 4 タイプで、各々の最大咬みしめ時 (以下 MVC 時) および WAX 咀嚼時 (以下 WAX 時) の 2 種類のタスクに対して行った。

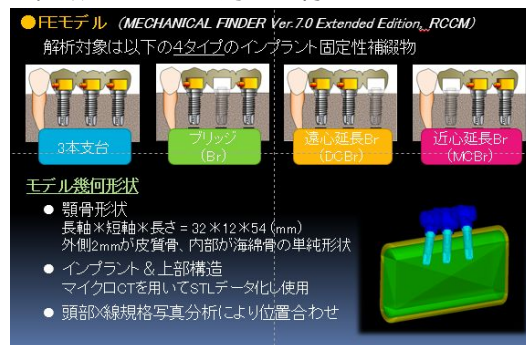


図 2

インプラント、上部構造および顎骨形状のモデル化

インプラント、上部構造および圧電式センサーをマイクロ CT で撮影し STL ファイル化した。顎骨は日本人平均顎骨形状に基づいて、長軸 (z 軸) 32mm、短軸 (x 軸) 12mm、長さ (y 軸) 54mm の単純モデルを CAD ソフトウェア (solidworks2012, ソリッドワークスジャパン) を用いて作成し、骨形状のうち外側 2mm を皮質骨とした。

#### 材料特性

口腔内と同様に、インプラントはチタン合金、上部構造およびセンサー設置用ジグは白金加金、顎骨の材料定数は文献から引用し、図 3 のように設定した。

### 荷重条件

解析入力荷重は被験者口腔内実測荷重とし、MVC 時および WAX 時に各インプラントにおいて測定された三次元的な荷重をインプラント上面に入力した。測定荷重は歯科における頭蓋部の基準平面である FH 平面ならびに正中矢状面を基準とする顎顔面座標系に基づいており、Imp2 の中心軸は FH 平面に直交しているため、入力荷重座標系を右図のように定義した。

解析入力荷重を図 3 に示す。

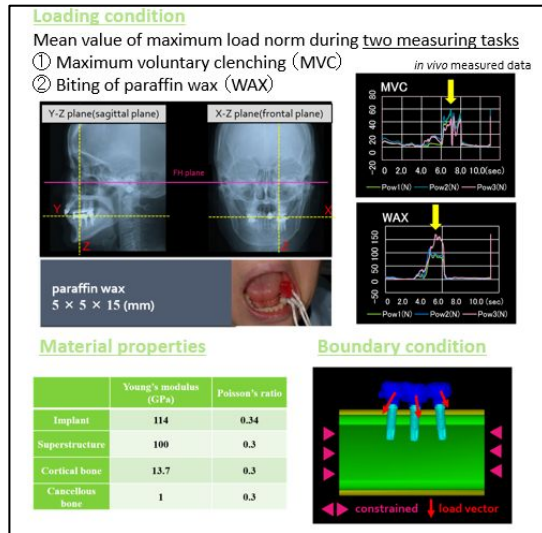


図 3

### 拘束条件

モデルの近遠心方向の最遠端面を 6 自由度全て完全拘束した。

### 解析

有限要素ソフトウェア (MECHANICAL FINDER Ver.7.0 Extended Edition, RCCM) を用いて線形弾性解析を行った。

### 4. 研究成果

解析結果を下記に示す。MVC 時の Br, DCBr および WAX 時の DCBr における荷重方向のベクトル図および相当応力コンター図を示す。コンター図はモデルの上面観 (x-y 平面) と断面観 (Imp2 の中心軸を通る y-z 断面) を示している。各々のコンター図内には、上部構造と支台インプラントの位置関係を把握するために、模式的に上部構造を表示している。

(1) 最大咬みしめ時の Br では、支台となっている Imp1 および Imp3 の周囲皮質骨に応力分布が見られた。口腔内実測荷重ベクトルを反映して前方の支台である Imp1 の近心頰側に応力分布が見られた。3 本支台時に比較して Br においては支台周囲の応力分布が広がっており、インプラント支台本数の減少の影響が見て取れた (図 4) 最大咬みしめ時の遠心延長 Br (DCBr) では Imp1 の近心頰側、Imp2 の遠心頰側に応力分布が見られた。3 本支台および Br と同様に口腔内実測荷重ベクトルの荷重方向を反映した応力分布となった。(図 5)

また、Br に比較して、支台となっている 2 本のインプラント周囲には高い応力発現が見られた。

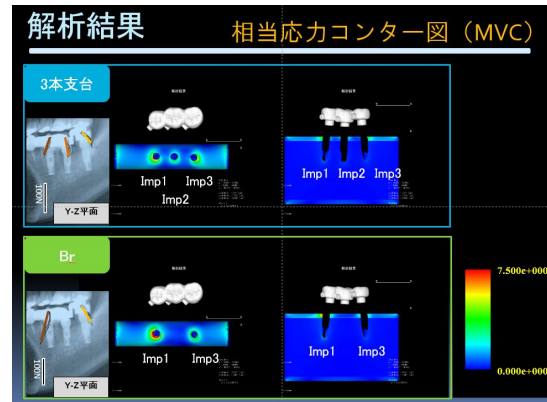


図 4

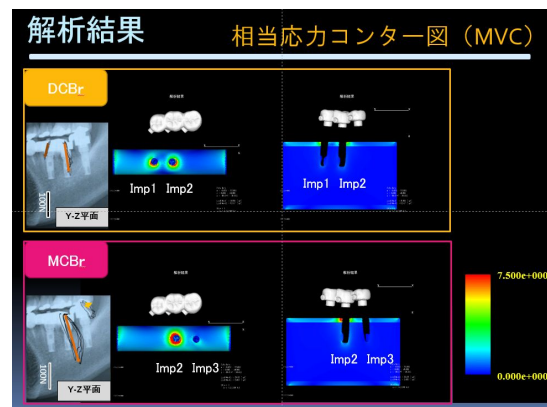


図 5

(2) WAX 咀嚼時には、3 本支台と比較して Br において応力分布が広い傾向が見られた。また MVC 時と比較すると応力分布範囲は広くなっており、口腔内実測荷重ベクトルのノル

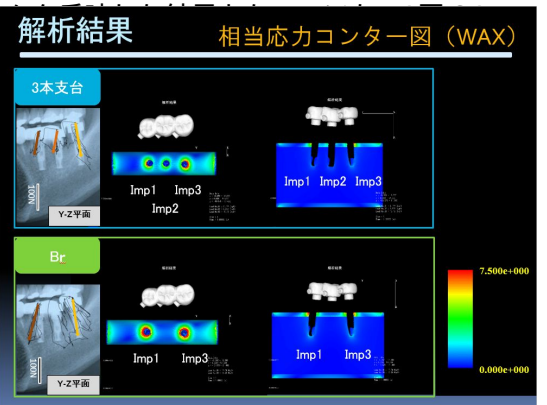


図 6

遠心延長 Br (DCBr) では Imp2 周囲に広範囲の応力集中が見られた。MVC 時の解析結果と比較して WAX 咀嚼時には主機能部位である左下 6 相当部の Imp2 に非常に高い応力集中が見られた。(図 7)

WAX 咀嚼時の全ての解析ケースにおいて、応力分布は口腔内実測荷重のノルムおよびベクトルの影響を受けていた。



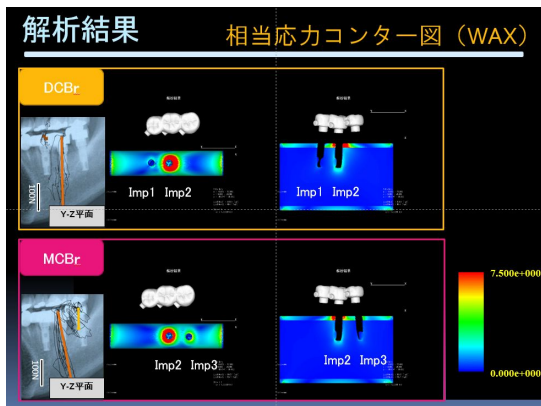


図 7

図 8 に近心延長 Br および 3 本支台における MVC 時の上部構造の変位図を示す。この図からも明らかのように、延長 Br においてはポンティック部により大きな変位が発生しており、骨内応力におけるアンバランスを裏付ける結果となっている。また、咀嚼中などの機能時には食品の介在部位に相当するインプラント周囲に応力集中が見られることも明らかになった。



図 8

図 9 に各インプラント周囲領域における相当応力最大値を示す。応力コンター図の結果同様に、WAX 咀嚼時の延長 Br (DCBr, MCB r) において欠損部に隣接した Imp2 において非常に高い応力値が観察された。図 8 に示す様に同部はポンティック部に隣接しているインプラントであり、上部構造の大きな変位が結果としてインプラント周囲骨における大きな応力を発生させることに繋がっていることが明らかとなった。

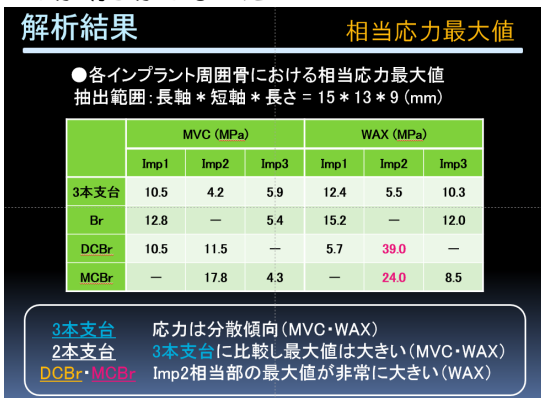


図 9

着目すべき点としては、本研究における解析結果の全てにおいて、生体内荷重データの荷重方向およびノルムが骨内応力に大きな影響を及ぼしていた点である。これは、顎口腔系における有限要素解析研究における生体内荷重データの有効性を示している。すなわち、咀嚼筋などの口腔周囲筋により発生する複雑な機能力を荷重条件に用いることにより、個々の患者における荷重条件を再現することが可能である。

本研究結果から、Br に比べ延長 Br における骨内応力は応力値、応力分布ともに違いが観察された。これは、インプラント上部構造の設計、インプラント本数が荷重状況に影響を及ぼすことを示している。

#### 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 0 件)

〔学会発表〕(計 4 件)

Shigemitsu R, Sato E, Yoda N, Sasaki K  
Biomechanical FEA study for cantilever design of implant superstructure.  
China-Japan-Korea  
Dental Science Symposium 2016  
Fuzhou Strait International Conference & Exhibition Center  
Fuzhou, CHINA 2016/12/9-10

Sato E, Mito T, Shigemitsu R, Sasaki K  
The influence of superstructure design on implant-supported FPDs using FEA study.  
The 4th Denal Implantology and Biomaterial Academic Symposium in West Coast of Taiwan Straits The 3rd Sino - Japan Dental Science Symposium Fujian, China 2015/11/24-25

Shigemitsu R, Mito T, Yoda N, Sasaki K  
Evaluation of the influens of implant alignment to peri-implant stress  
5th. Advanced Digital Technologies in head and neck reconstruction: (ADT)  
Beijing International, China 2014/9/6-8

Mito T, Shigemitsu R, Yoda N, Sasaki K  
Comparative study on the homogeneity and inhomogeneity of bone modeling in FEA stress analyses of peri-implant bone  
The 9th Scientific Meeting of the Asian Academy of Osseointegratio Sapporo Education and Culture Hall Sapporo, Japan 2014/7/4-5

〔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  
<http://www.apd.dent.tohoku.ac.jp/works/works/works.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

重光 竜二 (SHIGEMITSU RYUJI)  
東北大学・大学病院・助教  
研究者番号：00508921

(2) 研究分担者

小川 徹 (OGAWA TORU)  
東北大学・歯学研究科・准教授  
研究者番号：50372321

佐々木 啓一 (SASAKI KEIICHI)  
東北大学・歯学研究科・教授  
研究者番号：30178644

山川 優樹 (YAMAKAWA YUKI)  
東北大学・工学(系)研究科・准教授  
研究者番号：80324010

池田 清宏 (IKEDA KIYOHIRO)  
東北大学・工学(系)研究科・教授  
研究者番号：50168126

(3) 連携研究者

( )

研究者番号：

(4) 研究協力者

( )