

令和 2 年 6 月 11 日現在

機関番号：33902

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2019

課題番号：18K18372

研究課題名（和文）三次元有限要素法を用いた最適な部分床義歯設計を目指した解析システムの構築

研究課題名（英文）Construction of analysis system for optimal partial denture design using three-dimensional finite element method

研究代表者

神原 亮（kanbara, ryo）

愛知学院大学・歯学部・講師

研究者番号：40633855

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 1,900,000 円

研究成果の概要（和文）：部分床義歯の設計、製作を行う際、口腔内諸組織の特性を把握し、義歯の機能を十分に発揮させることは、重要な事項である。しかしながら、義歯に付与される機能力については、歯の欠損状態や、残存組織の状態、年齢、性別など多様であるため、患者個人に最適な義歯設計のシミュレーションを行うにあたり、患者情報を踏まえた正確な解析条件の設定は必要不可欠である。

本研究は、患者個人に最適な義歯設計をシミュレーションするため、三次元有限要素法解析において、患者の生体情報であるCTデータ、研究用模型ならびに咬合接触部位、面積および咬合力を解析条件に適用することにより、生体情報を反映させた解析システムの構築を可能とした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

超高齢社会である現在、歯科治療における有床義歯による補綴治療の臨床的な需要は確実に高まり、今後の歯科補綴治療の根幹を担っていくことが予想される。このような社会背景の中、本研究結果である三次元有限要素法を用いた患者個人に最適な義歯設計における解析システムの構築は、製作した部分床義歯を長期に亘り安全に且つ快適に口腔内で機能させることへと繋がり、国民の良好な咀嚼機能を維持するだけでなく、QOLの向上、口腔内の健康維持に大きく貢献できるものと考えられる。さらには、本研究結果を活用し、得られたシミュレーション結果の集積することにより、部分床義歯設計における確固とした力学的根拠の確立も可能であると考えられる。

研究成果の概要（英文）：When designing and manufacturing a partial denture, it is important to understand the characteristics of the tissues in the oral cavity and to maximize the function of the denture. However, the occlusal force applied to the denture varies depending on the state of tooth loss, the state of residual tissue, age, and sex. Therefore, in order to simulate the optimal denture design for individual patients, it is essential to set accurate analysis conditions that reflect the patient's biometric information.

In this study, in order to simulate the optimal denture design for each patient, in the three-dimensional finite element method analysis, the patient biometric information such as CT data, research model, occlusal contact site, area, and occlusal force are applied as analysis conditions. This made it possible to construct an analysis system that reflects biological information.

研究分野：歯科補綴学

キーワード：三次元有限要素法 生体情報 部分床義歯設計 解析システム

様式 C - 19 , F - 19 - 1 , Z - 19 (共通)

1 . 研究開始当初の背景

基本的に口腔内に発現する機能力に対して歯根膜粘膜負担様式を主体とする部分床義歯の設計、製作を行う際、口腔内に残存した歯を含めた諸組織の特性を十分に把握し、安全の確保、かつ義歯自体の機能を十分に発揮させることは、極めて重要な事項である。これらの事項を十分に掌握するためには、口腔内において部分床義歯へ付与される機能力が残存諸組織に対して如何なる影響をもたらすのかを検討することは必要不可欠であり、これらの事象は臨床成果や臨床術式にも直結し得る歯科治療における根本的な課題として、詳細に解明されなければならない。しかしながら、実際の臨床では、患者各々により、歯の欠損状態の違いや、残存組織の状態の違い、さらには、年齢、性別による咬合力の違いなどから、これら最適な義歯設計に関しては、未だ確固とした力学的根拠が存在しないことが現状である。さらには、その不確定要素の多さ故に、歯科医師の臨床経験を頼りに、適当と思われる義歯設計が患者へ施されてしまうことが現状であり、その結果、義歯装着後、数ヶ月で残存歯が抜歯に至る症例も少なくはない。安全で最適な部分床義歯を国民へ提供するためには、これら部分床義歯設計における確固たる力学的根拠および、それらを構築するシステムの確立は必要不可欠なものであり、現在の超高齢社会背景を考慮に入れると、有床義歯による補綴処置の需要は確実に高まるため、可及的に早急な対応が必要である。

我々研究グループは、従来より有限要素法解析を用いて、これら部分床義歯に関する様々なシミュレーションモデルによる力学的検討を行い、これまで多くの研究成果を報告してきた。その中でも、解析結果に直接影響を及ぼすシミュレーションモデルの形状および構築方法については、従来の単純な形態でのシミュレーションモデルではなく、患者 CT データおよび研究用模型を活用した、個性を有する患者個々の口腔内形態に対して極めて細部再現性の高いシミュレーションモデルの構築法を確立した。さらに、口腔内で機能する部分床義歯を適切にシミュレーションするにあたり、最も重要とされる口腔内諸組織の特性の再現については、これ迄最大の難関とされてきた顎堤粘膜および歯根膜の粘弾性挙動に関して、可及的に忠実に計算により再現し、シミュレーションに導入する手法を確立した。

2 . 研究の目的

本研究は、これまでの研究成果を基盤として、さらに詳細な患者個人の臨床情報を解析条件としてシミュレーションに導入することにより、患者個人に最適な部分床義歯設計について三次元有限要素法を用いてシミュレートする解析システムを構築し、さらに、これら解析結果を集積することにより、未だ確立されていない部分床義歯設計における力学的根拠の確立を目的としたものである。また、本解析システムの確立は、これ迄、不可能とされてきた「患者個人の生体情報の有限要素法解析への反映」に対する飛躍的な前進となるだけでなく、最終的な目的である臨床現場への有限要素解析の導入への第一歩であり、歯科補綴臨床における部分床義歯設計の力学的根拠に繋がる研究である。

3 . 研究の方法

本研究は、これまでの研究成果を基盤として、部分床義歯の設計、製作を行うにあたり、口腔内の残存歯を含めた諸々の組織の特性を十分に把握し、患者個人に最適な義歯設計を三次元有限要素法を用いてシミュレートするシステムを構築し、義歯設計における確固とした力学的根拠を確立することを目的としたものである。そのため、患者個人の CT 画像データや研究用模型、咬合力や咬合接触域等を用いてシミュレーションを行うに先立ち、予備実験として、これまでの研究成果が今後の多様な条件設定に対応可能かどうか検証を行った。その上で、研究に協力を頂いた患者から実際の生体情報を提供していただき、三次元有限要素法に正確に解析条件として反映させることで、三次元有限要素法を用いて最適な部分床義歯設計を目指した解析システムの構築を行った。

(1) 予備実験

予備実験には、下顎石膏模型 (ニッシン社製) および頭蓋骨モデル (P10-SB.1) (ニッシン社製) を用いて解析モデルの構築を行い、粘弾性特性を持つ顎堤粘膜、歯根膜に加え顎骨支持様式をとるインプラント支持を踏まえた磁性アタッチメント義歯の力学的検討を行った。

(2) 患者個人の生体情報の解析条件への導入

本研究の対象患者としては、愛知学院大学歯学部附属病院に現在通院中であり、欠損歯列を有し、診断、治療が行われ、既に CT 撮影が行われている患者の中で、本研究への協力に同意が得られた方を対象とし、患者情報である CT データおよび研究用模型から三次元有限要素モデルの構築を行い、その上で、実際の患者情報である咬合接触状態を採得し、その情報を解析条件に反映させ、患者個人に最適な部分床義歯設計を検討し、一連の解析システムの構築を行った。(愛知学院大学歯学部倫理委員会 承認番号 540)

4 . 研究成果

(1) 予備実験

解析モデルの構築

解析モデルの構築に関して、本研究に用いた解析環境としては、モデル構築には、msc 社製、汎用有限要素プリポストプロセッサ・パトラン 2013 64bit を用い、解析には、msc 社製、汎

用非線形構造解析ソルバー・マーク 2010 を用いた。モデル構築には、ニッシン社製、下顎石膏模型およびニッシン社製頭蓋骨モデル(P10-SB.1)を用い、この石膏模型をデンタルウイングス社製 3D スキャナー7 シリーズを用いてスキャンを行い、模型形状データを STL フォーマットにて作製した。顎骨および歯根形状データについては、頭蓋骨モデルを CT 撮影し、得られた CT データを三次元構築ソフト ミミックスを用いて、下顎骨データ、歯根形状データを STL フォーマットにて作製した。これらのデータを汎用有限要素プリポストプロセッサ パトランにインポートし、モデル構築を行った。

下顎義歯モデルの構築については、部分床義歯設計としては、下顎左側第二大臼歯にキーパー付根面板を設計し、両側の第一小臼歯には RPI クラスプを支台装置とした金属床義歯とした。義歯モデルの構築については、模型上で下顎左側第二大臼歯にキーパー付根面板のワックスパターン、両側の欠損部にろう義歯を作製し、これらを、3D スキャナーにて下顎義歯形状データを作製し、汎用有限要素プリポストプロセッサ パトランにてモデル構築を行った。構築した解析モデルを図 1 に示す。

解析項目

解析項目を図 2 に示す。

解析項目は、下顎左側第二大臼歯にキーパー付根面板を設計し、両側の第一小臼歯には RPI クラスプを支台装置とした金属床義歯を設計したの基本モデルおよび基本モデルの下顎右側第二大臼歯相当部に長さ 10.0mm、3.8mm にて構築したインプラントを埋入したインプラント支持モデルの 2 種とした。インプラント支持モデルのインプラントには、高さ 4.0mm のヒーリングアバットメントを装着し、義歯床下に支持域として設定し、検討を行った。

解析条件

解析に用いた荷重条件は、下顎両側義歯咬合面 第 2 小臼歯および第 1 大臼歯相当部 合計 4 箇所とし、荷重方向は咬合平面に対して垂直に付与した。加えた荷重量については文献値を参考にし、合計 200N の荷重量とした。

粘弾性特性を有する歯根膜および顎堤粘膜に関しては、材料定数変換プログラムによりそれらの材料非線形性を導入した。

解析結果

a. 応力分布図

下顎歯槽骨の応力分布図を図 3 示す。

下顎左側第二大臼歯部の歯槽窩部の応力分布を図 3_a に示す。基本モデルと比べ、インプラント支持モデルに応力の緩和が確認された。

下顎右側第一小臼歯部の歯槽窩部の応力分布図を図 3_b に示す。歯槽窩遠心部および歯槽周囲において基本モデルと比べ、インプラント支持モデルに応力の緩和が確認された。

b. 下顎義歯床変位量

下顎義歯床の沈下量を図 4 に示します。

下顎右側第二大臼歯相当部、第 1 大臼歯相当部、第 2 小臼歯相当部の沈下量としては、基本モデルと比べ、インプラント支持モデルに沈下量の減少が確認され、また、沈下量の傾向としては、基本モデルでは遠心に行くにつれて沈下量が増す傾向を示し、インプラント支持モデルでは近心に行くにつれて沈下量が増す傾向を示した。下顎左側第二大臼歯相当部、第 1 大臼歯相当部、第 2 小臼歯相当部の沈下量としては、基本モデルと、インプラント支持モデルでは顕著な沈下量の差は見られず、また、沈下量の傾向としては、基本モデル、インプラント支持モデルともに近心に行くにつれて沈下量が増す傾向を示した。

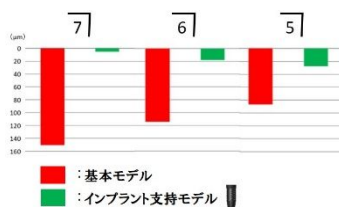


図 4 下顎義歯床沈下量 (予備実験)

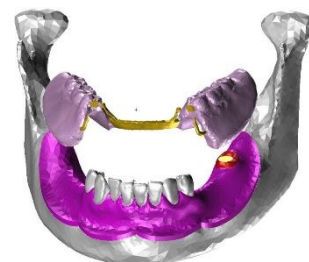


図 1 解析モデル (予備実験)

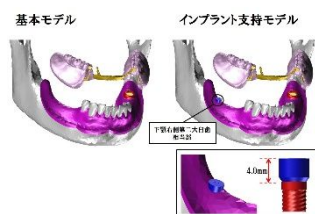


図 2 解析項目 (予備実験)

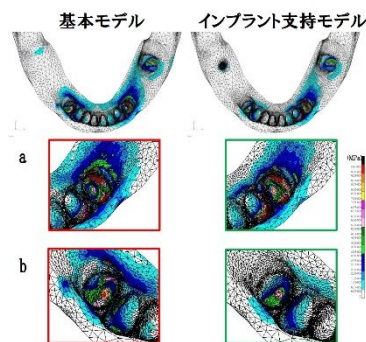


図 3 応力分布図 (下顎歯槽骨)

a: 下顎左側第二大臼歯歯槽窩部

b: 下顎右側第一小臼歯歯槽窩部

以上の予備実験の結果から、これまでの研究成果が三次元有限要素法解析において、多様な条件設定条件下においても対応可能であることが示せたとともに、磁性アタッチメントを適用した部分床義歯設計におけるインプラント支持の力学的効果としては、磁性アタッチメントを適用した支台歯およびインプラント支持側における支台歯周囲組織の応力緩和が観察され、また、義歯の負担様式においても、粘膜負担域を減少させ、義歯床変位量の抑制が確認された。

(2) 患者個人の生体情報の解析条件への導入 対象患者

本研究の対象患者は、愛知学院大学歯学部附属病院に現在通院中であり、欠損歯列を有し、診断、治療が行われ、既に CT 撮影が行われている患者の中で、本研究への協力に同意が得られた方で、年齢は、38 歳 女性 欠損は下顎左側第一第二大臼歯であった。

解析モデルの構築

予備実験と同様に、モデル構築には、患者 CT データおよび研究用模型を用いた。CT データを、三次元構築ソフト ミミックスを用いて、下顎骨データ、歯根形状データを STL フォーマットにて作製した。次に、患者研究用模型をデンタルウイングス社製 3D スキャナー7 シリーズを用いてスキャンを行い、模型形状データを STL フォーマットにて作製した。これらの STL データを汎用プリポストプロセッサ Patran2013 64bit にインポートし、有限要素モデルの構築を行った。構築した解析モデルを図 5 に示す。

咬合接触状態の採取

図 6 には研究用模型上で製作した模擬的な義歯を示す。この模擬義歯を口腔内に装着し、研究に協力が得られた患者個人の有床義歯による欠損補綴を想定した咬合接触状態を再現し、GC 社製デンタルプレスケールによる咬合力の計測結果を行い、患者個人の咬合接触点数、咬合接触面積、咬合力の情報を獲得した(図 7)。次に、GC 社製ブルーシリコンによる咬合接触部位の計測を行い、患者個人が実際に咬合面のどこで咬合接触がされているか明確に採得した(図 8)。

これら得られた計測データに加え、模擬義歯を模型上に納めた模型咬合面データを製作し、データの重ね合わせを行った。データの重ね合わせにあたり、デンタルプレスケールおよびブルーシリコンデータは咬合面を反転させた計測データを用いたため、咬合面データも便宜的に左右反転させたデータを用いた(図 9)。

解析項目

本解析モデルを用いた解析項目を図 10 に示す。検討を行う義歯設計としては、直接支台装置として下顎左側第二小臼歯にエーカークラスプを適用し、間接支台装置として下顎右側第二小臼歯、第一大臼歯に双子鉤を適用した Akers model と、その Akers model の下顎左側第一小臼歯に間接支台装置として近心レストを付与した Akers-Rest model の 2 種類とした。これら下顎義歯モデルの構築には、研究用模型上に製作したフレームワークパターンと模擬義歯をデンタルウイングス社製 3D スキャナー7 シリーズにてスキャンし、パトランにインポートすることで下顎義歯モデルの構築を行った。

解析条件

解析に用いた荷重条件を図 11 に示す。荷重部位は、重ね合わせデータの情報を解析モデルに反映させ、合計で 15 箇所とした。各々の荷重量については、図 11 に示す。荷重は、各部位、面圧荷重として加えた荷重量の合計は 156.9N とした。



図 5 解析モデル



図 6 模擬的な義歯

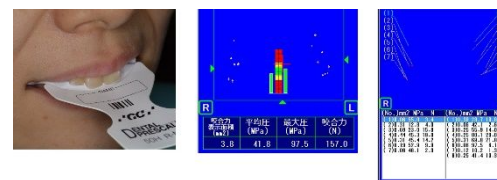


図 7 デンタルプレスケールによる咬合力の計測

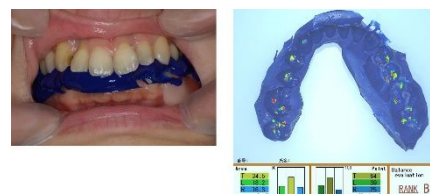


図 8 ブルーシリコンによる咬合接触部位の計測

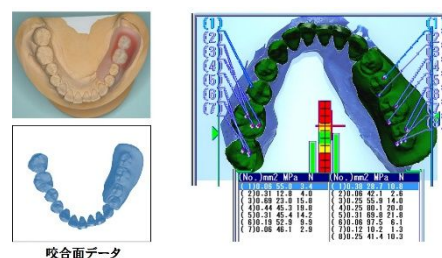


図 9 計測データの重ね合わせ

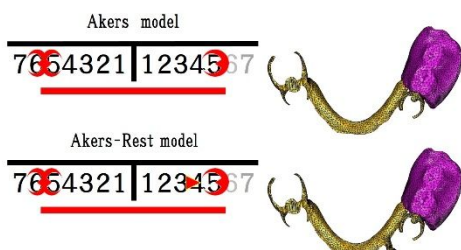


図 10 解析項目

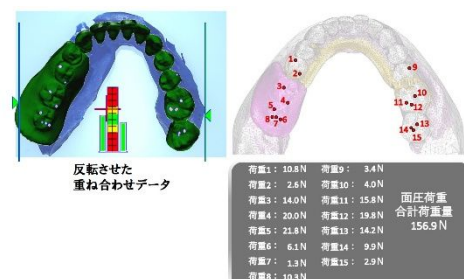


図 11 荷重条件

解析結果

a. 応力分布図

下顎皮質骨および支台歯の応力分布図を図12に示す。下顎右側第二大臼歯部，第一大臼歯部の応力分布図において，Akers model と比べ，Akers-Rest model に応力の緩和が確認されました。

b. 下顎義歯床変位量

義歯床沈下量について図13に示す。下顎義歯床の沈下量については，Akers-Rest model と比べ，Akers model に沈下量の増加が見られた。

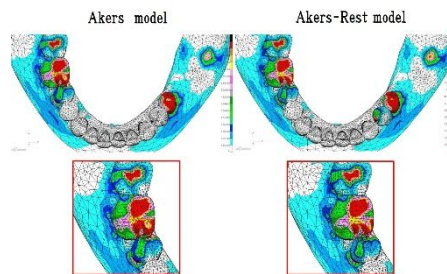


図12 応力分布図（下顎皮質骨および支台歯）

以上の研究結果から，荷重条件に生体情報の咬合接触部位，面積および咬合力を三次元有限要素法解析に反映させる手法が確立できることにより，患者個人の生体情報を三次元有限要素法解析に反映させた一連の解析システムが構築することができた。また，本解析結果から，間接支台装置の力学的効果を示すことができ，義歯設計における支台歯間線の効果を確認することができた。

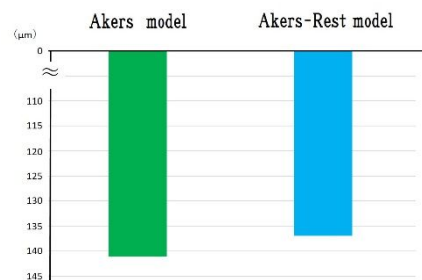


図13 下顎義歯床変位量

<引用文献>

安藤彰浩，中村好徳，神原 亮，大野芳弘，田中貴信：三次元有限要素法による歯冠外磁性アタッチメント支台歯周囲組織の応力解析．日磁歯誌，18(1):32-41,2009.

Nakamura Y, Kanbara R, Ochiai KT, Tanaka Y. A finite element evaluation of mechanical function for three distal extension partial denture designs using a new three dimensional nonlinear soft tissue modeling method. J Prosthet Dent 2014;112:972-980.

Kanbara R, Nakamura Y, Ochiai KT, Kawai T, Tanaka Y. Three-dimensional finite element stress analysis : The technique and methodology of non-linear property simulation and soft tissue loading behavior for different partial denture designs. Dent Mater J 2012;31(2):297-308.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 神原 亮, 熊野弘一, 中村好徳, 庄司和伸, 青山莉子, 武部 純	4. 巻 28
2. 論文標題 三次元有限要素法を用いた最後方臼歯に適用したキーパー吸着面の角度の違いによる支台歯周囲組織の応力解析	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 日本磁気歯科学会雑誌	6. 最初と最後の頁 63-70
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 0件／うち国際学会 0件）

1. 発表者名 神原 亮, 熊野弘一, 中村好徳, 庄司和伸, 田中茂生, 武部 純
2. 発表標題 磁性アタッチメント義歯における 最後方臼歯に適用したキーパー吸着面の 角度の違いによる支台歯周囲組織の応力解析
3. 学会等名 第28回日本磁気歯科学会学術大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 神原 亮, 熊野弘一, 青山莉子, 藤波和華子, 中村好徳, 庄司和伸, 永井秀典, 武部 純
2. 発表標題 磁性アタッチメント義歯設計におけるインプラント支持に関する力学的検討
3. 学会等名 第29回日本磁気歯科学会学術大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 神原 亮, 熊野弘一, 林 建佑, 青山莉子, 尾澤昌悟, 村上 弘, 武部 純
2. 発表標題 三次元有限要素法を用いた部分床義歯設計におけるインプラント支持に関する力学的検討
3. 学会等名 第40回日本口腔インプラント学会 中部支部
4. 発表年 2019年

1．発表者名 神原 亮，熊野弘一，青山莉子，佐久間翔太，小島規永，藤波和華子，中村好徳，伊藤創造，武部 純
2．発表標題 生体情報を反映させた三次元有限要素法解析システムの構築
3．学会等名 令和元年日本補綴歯科学会 東海支部
4．発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6．研究組織			
	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考