

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 11 日現在

機関番号：32622

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2013

課題番号：24792111

研究課題名(和文)有限要素解析によるインプラントアシステッド義歯の動態解析

研究課題名(英文) Dynamics of implant assisted removable partial denture with three dimensional finite element analysis.

研究代表者

伊東 令華 ( ITOH, HARUKA )

昭和大学・歯学部・兼任講師

研究者番号：50514866

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円、(間接経費) 990,000円

研究成果の概要(和文)：失った歯を補綴する方法の一つとしてインプラントと部分床義歯(RPD)を組み合わせたインプラントアシステッドRPD(IARPD)がある。しかしIARPDの機能時の動きが明らかになっておらず基本設計も確立されていない。そこで有限要素解析においてIARPDの動態解析を行い歯周組織への影響と、効果的な義歯設計を調べることを目的とした。結果インプラントを埋入したほうが義歯の動きが制御できIARPDをコンパクトにできることが示唆された。

研究成果の概要(英文)：One of the prevalent prosthetic restraints for partial edentulism is the use of an implant assisted removable partial denture (IARPD), a removable partial denture (RPD) supported by dental implants. However, its standard designs have not been fully established, since the functional characteristics are not analyzed well enough. In this study, we applied FEA on IARPD dynamics to see the effects on supporting tissues and to figure out optimal RPD design. Our results indicate that the placement of dental implants helps to restrict the dynamics of IARPD and achieve economical design of IARPD esthetically and functionally.

研究分野：歯科

科研費の分科・細目：歯科補綴学

キーワード：インプラント 部分床義歯 FEA IARPD

### 1. 研究開始当初の背景

欠損歯列患者に対していくつかの補綴治療法があるが、その中でもインプラント義歯は残存歯に侵襲を与えることなく天然歯に近い機能回復が得られるため欠損補綴治療法として高い評価を得ている。しかし、埋入手術に伴う外科的侵襲や治療期間、保険適応外など問題点も多い治療法である。

一方、部分床義歯（以下 RPD）は侵襲性の少ない補綴治療であり、従来の固定性補綴装置が適応できない多数歯欠損症例や遊離端欠損歯列症例などに広く用いられてきた。しかし、RPD を支持する天然歯と顎堤粘膜は被圧変位量が異なるため、義歯に加わる機能力が適切に配分されないと RPD の過度な動揺を来し、結果として残存歯ならびに欠損部顎堤に為害作用が及ぶ。臨床的にはこれらを回避するために機能時の義歯の動きを最小にするため RPD の設計原則に基づき合理的な義歯設計が行われるが、遊離端義歯欠損で咬合支持が失われたすれ違い咬合など、症例によっては義歯の安定が得られず、長期的に良好な予後が期待できない場合がある。

そこで、部分的歯牙欠損患者に対してインプラント義歯と RPD 両者の利点を組み合わせ、RPD の支台歯としてインプラント体を遊離端欠損の遠心端部に埋入してアタッチメントとし義歯の安定性を向上できるインプラントアシステッド RPD (IARPD) が現実的な解決策として考案され、少数だが臨床報告もされている。先行研究においてもインプラント埋入により従来の RPD の機能時の動きを制御することが可能であることを判明した。これは RPD の予後を飛躍的に向上でき、最小限のインプラント埋入本数で最大限の治療効果が期待できることを意味している。しかし IARPD の機能時の動きが明らかになっておらず基本設計も確立されていない。そこで本研究では有限要素解

析において IARPD の動態解析を行い歯周組織への影響と、効果的な義歯設計を調べることを目的とした。

### 2. 研究の目的

片側遊離端症例を対象として、被験者の CT データー、埋入予定のインプラント体、設計制作した IARPD の  $\mu$ CT データーからそれぞれ DICOM データーを抽出し、それを基に IARPD を装着した三次元有限要素モデルを構築した。インプラント埋入の有無、IARPD の設計 3 種類 (両側設計・片側設計 2 種類)、インプラントの高さ (ヒーリングアバットメント 3・5mm) をそれぞれ変化させ、咬合力を仮定した荷重を与えた。それぞれ支台歯、IARPD の変位を分析、比較し効果的な IARPD の設計を検討した。

### 3. 研究の方法

(1) 三次元有限要素モデルは以下のようにして構築した。

1 下顎右側大臼歯欠損部にインプラント補綴による補綴治療を予定している患者を被験者として選択。

2 被験者の印象採得を行い、研究用模型を製作。

3 片側設計の RPD と同一設計で形態の診断用ステント (radiographic guide) を常温重合レジンで製作。診断用ステントには X 線不透過性の材料を埋込み、CT 撮影時における基準点を付与した。

4 製作した診断用ステントを装着して CT 撮影。

5 CT 結果からインプラント体の形態、本数、埋入部位、埋入方向を決定。

6 決定したインプラント体 (ヒーリングアバットメントの高さを変えた 2 種類) と診断用ステントを改造して作成した 3 種類の設計の IARPD を  $\mu$ CT 撮影し、DICOM データーを抽出。

7 被験者、インプラント、IARPD から抽

出した DICOM データを基に MECHANICAL FINDER Ver .7.0EE( 計算力学研究センター)に取り込み下顎右側 567 欠損で IARPD を装着した三次元有限要素モデルを構築 .

IARPD のモデルは遊離端 3 歯欠損の RPD の通常設計である両側設計 (以下 MC とする) , RPD の横揺れの動きを防止するクラスプと , RPD の沈下防止するレストともに付与した IARPD (以下 CLASP とする) , レストのみ付与した IARPD (以下 REST とする) の 2 種類の片側設計 , 合計 3 種類を用意した . インプラント体はブローネマルク マーク 直径 3.75×10mm を使用し 3mm・5mm のヒーリングアバットメントを装着したもの 2 種類用意し , 右側下顎第 1 大臼歯相当部に CT 撮影の際決定した方向へ埋入した . 構築した各モデル 9 種類を図 1 に , 各材料定数を表 1 に示す . ただし IARPD については材料を単一化し , 部分床義歯用の Co-Cr 合金と考え , 下顎骨のヤング率は CT から得られた濃度値を元に , 生成メッシュのソリッド要素個々の全てを濃度値から重量密度を求め , Keyak の式から算出した . すなわちソリッド要素個々が完全不均一材料として特性を与えている .

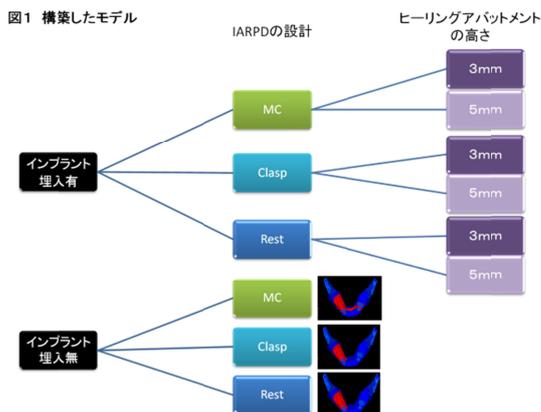


表 1 構成要素の材料定数

	ヤング率	ポアソン比
歯	14.7 GPa	0.3
ISRPD	200.0 GPa	0.3
歯根膜	0.6 MPa	0.45
粘膜	10.0 MPa	0.45
骨(下顎骨)	13.7 GPa	0.3
インプラント体	110.0 GPa	0.35

( 2 ) 拘束点は構築した下顎骨の下縁とした . 咀嚼機能時を想定し , 荷重は仮想咬合平面に対し , 咬合平面から頬側より 45 度の方向で IARPD の右下第 1 大臼歯相当部に 30N を与えた . ( 図 2 ) それぞれ 9 種類のモデルでの IARPD および支台歯の変位を分析した .

IARPD の変位の大きさを最も変位が考えられる床最遠心部 , インプラント埋入部 , 臨床で一番破折が多い部位の IARPD と歯の接合面の計 3 箇所 で計算し , また支台歯の変位の大きさを IARPD のクラスプが設置される 第 1 小臼歯頬側咬頭頂 , 犬歯尖頭の 2 箇所 で計算した . ( 図 3 )

その結果 , 両側設計においてインプラント埋入の有無により 変位量は大きく減少し , 各測定部における変位量はインプラント埋入後 48% 33% となった . 支台歯の変位の大きさも同様に大きく減少 , それぞれ 51% 47% となった . また , ヒーリングアバットメントは 3mm よりも 5mm のほうが両側設計

では 7% 変化なし 4% 6% , 片側設計においては 34% 33% 19% 24% 減少した . インプラントを埋入しない通常の RPD の設計モデルを基準とする各測定部の変位量を表 2 に示す . 各測定部における変位量はインプラントを埋入することにより両側設計において義歯の動きは小さくなりしかもインプラントを埋入したと片側設計と従来の RPD の両側設計では大きく異ならなかった . このことから義歯の動きはインプラントを埋入することで制御でき , IARPD の設計をコンパクトにすることが考えられる .

図3 変位計測部位

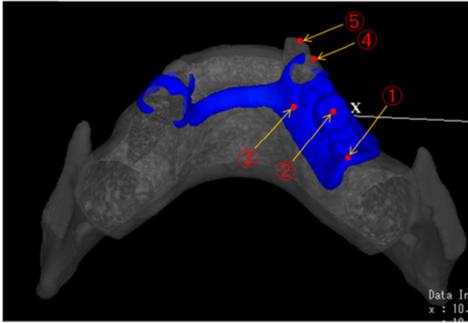


表2 インプラント無MCを基準とした際の各モデル変位量

	IARPD設計	インプラント有						インプラント無		
		MC		Clasp		Rest		MC	Clasp	Rest
		abutment	3mm	5mm	3mm	5mm	3mm	5mm		
IARPD	①	48.9	46.8	76.6	61.7	76.6	61.7	100	402.1	404.3
	②	51.7	48.3	100.0	75.9	100.0	75.9	100	413.8	444.8
	③	52.9	52.9	129.4	100.0	129.4	100.0	100	447.1	447.1
TEETH	④	56.0	52.0	152.0	100.0	152.0	100.0	100	472.0	464.0
	⑤	66.7	66.7	150.0	100.0	150.0	100.0	100	416.7	416.7

(3) モデルの各構成要素内の内部の主応力分布をコンター図で示した。

ヒーリングアバットメントの高さの歯周組織への主応力の違いを図4に示す(IARPDはClasp時)。MCでは主応力分布はヒーリングアバットメントの高さの違いはあまり認められなかったが、片側処理のIARPDではClasp, Restともに5mmのヒーリングアバットメントのほうが歯、歯根膜、粘膜への応力が少ない。これはIARPDにかかる側方力をインプラントで負担していると考えられる。

図4-1 歯の主応力分布

ヒーリングアバットメント  
3mm 5mm

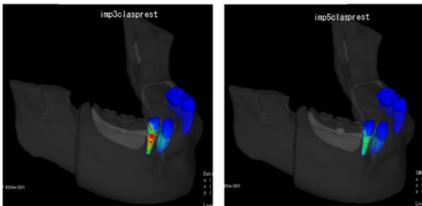
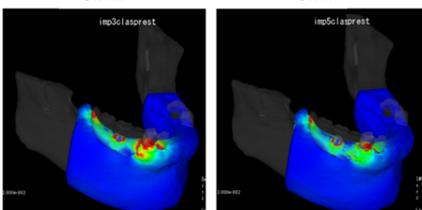


図4-2 粘膜の主応力分布

ヒーリングアバットメント  
3mm 5mm



次に義歯の設計の違いで歯周組織、構成要素内の主応力を図5 (インプラント有MC, インプラント有Clasp, インプラント無MC) に示す。インプラント埋入されていないモデルは構成要素すべてにおいて応力がかかっている。IARPDの両側設計(MC)と片側設計(Clasp)を比較すると骨、粘膜、歯根膜(図5-1, 5-3, 5-4)は両側設計(MC)のほうが応力が少なく歯や、IARPD自体は両者にはあまり差は見られなかった。

図5-1 骨の主応力分布

インプラント有MC インプラント有Clasp インプラント無MC

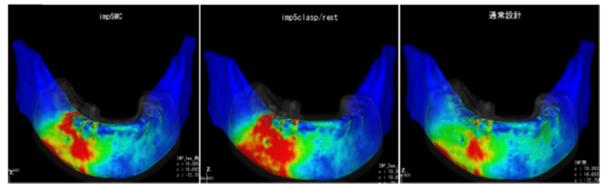


図5-2 歯の主応力分布

インプラント有MC インプラント有Clasp インプラント無MC

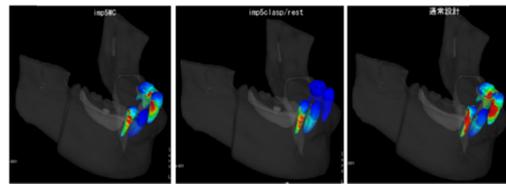


図5-3 粘膜の主応力分布

インプラント有MC インプラント有Clasp インプラント無MC

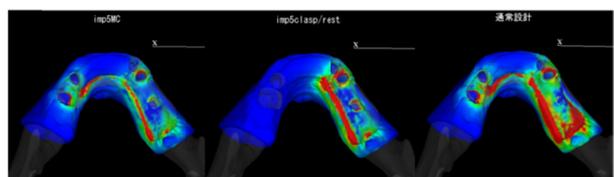


図5-4 歯根膜の主応力分布

インプラント有MC インプラント有Clasp インプラント無MC

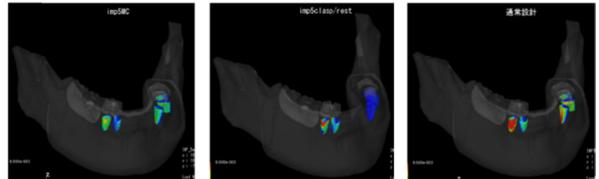
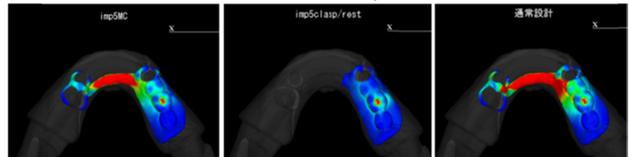


図5-5 IARPDの主応力分布

インプラント有MC インプラント有Clasp インプラント無MC



以上の結果は、有限要素モデル上でより最適なインプラントアシステッド部分床義歯の設計を決定できることが示唆された。インプラントを埋入することで間接支台装置を設定する必要がなくなる可能性がある。すなわち下顎舌側を走行する間接支台装置を設置しない片側設計のIARPDにすることで発音障害、違和感等を軽減、患者のQOLを高めることが期待でき、さらに骨隆起など解剖学的形態により反対側の歯列に間接支台装置を設置できない症例に対応することができる。

近年インプラント治療の普及によりインプラント補綴が広く受け入れられるようになったが、高齢社会に伴い、新たに外科的侵襲を必要とするインプラント治療を望まない患者も増えてきたことも事実である。インプラント義歯の補綴装置にそのまま通常通りRPDの支台装置を設定することはインプラント体の予後からもあまり推奨はされていない。しかし、今回の結果よりすでに口腔内に埋入されているインプラント義歯を応用しIARPDの設計を考慮することで従来のRPDと組み合わせ補綴治療を施すことができ、インプラント体、IARPDの予後をより向上させることができる可能性がある。文献的には過去の研究において実際の患者から得られる複数の要素のCTデータを用いて構築された三次元有限要素モデルを用いて機能時の義歯の挙動を解析した研究は少なく、本研究において構築したモデルは、使用されるインプラント体や実際に設計・製作されたIARPDをモデルに組み込み、顎堤、インプラント体、IARPD、支台歯すべての形態を患者から得たデータを基盤としたシステムである。特に顎堤（下顎骨）や歯はX線透過性の違いから海綿骨、皮質骨を区別し完全不均一材料として計算している。これは過去に多く報告されている平均的な解剖学形態から製作したモデルでは

なく患者個人のモデルを製作出来ることを意味している。また今回使用したMECHANICAL FINDERはANSYS画面上でDICOMデータを読み出し、図を重ねあわせることが可能である。つまり従来の方法に比べ、より正確に下顎骨上にIARPD、インプラントを組み合わせることができる。

この手法を用いることにより、インプラント埋入前の各患者に対し、患者ごとに最適なシミュレーションを行うことが可能となり今後症例数を増やすことでIARPDの設計原則が確立できることが示唆された。

#### 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 件)

〔学会発表〕(計 件)

〔図書〕(計 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 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

伊東 令華 (ITO HARUKA)  
昭和大学・歯学部・兼任講師  
研究者番号：50514866

##### (2) 研究分担者

( )

研究者番号：

(3)連携研究者

( )

研究者番号：