

## 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24年 3月31日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2009～2011

課題番号：21592440

研究課題名（和文） 無歯顎症例における顎堤形態に応じた適切な咬合面形態の最適形状決定法による検討

研究課題名（英文） An investigation of the occlusal surface of artificial teeth on complete dentures using finite element analysis and the optimization method

研究代表者

高山 芳幸（TAKAYAMA YOSHIYUKI）

北海道大学・北海道大学病院・講師

研究者番号：30236369

研究成果の概要（和文）：有限要素解析および最適化手法を用いて、全部床義歯の人工歯排列の最適化を試みた。下顎のみの解析では人工歯咬合面がその直下の顎堤の傾斜と近似した値となった。しかし、上下全部床義歯の解析では、最大の咀嚼効率を求めるか、あるいは人工臼歯部のどの部位でも平均的に咀嚼できる義歯を目指すかで結果が異なった。本研究で用いた手法は、義歯の人工歯排列方法の決定に役立つ可能性があると考えられた。

研究成果の概要（英文）：Optimization of the arrangement of artificial molars on complete dentures was performed with finite element analysis. The result for the arrangement of artificial molars on mandibular dentures showed that the occlusal surface should be parallel to the alveolar ridge surface below them. As to maxillary and mandibular complete dentures, the result depended on the response variable: maximum chewing efficiency in a specific teeth, or maximization of the lowest chewing efficiency of all teeth. The method in this study was considered to have a potential usefulness for the determination of the arrangement of artificial teeth.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	2,200,000	660,000	2,860,000
2010年度	900,000	270,000	1,170,000
2011年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	3,600,000	1,080,000	4,680,000

研究分野：医歯薬学

科研費の分科・細目：歯学・補綴系歯学

キーワード：全部床義歯、人工歯排列、有限要素法、最適化

## 1. 研究開始当初の背景

8020運動の進展などにより年々減少しているとはいえ、高齢者における無歯顎者の割合は現在も大きい。高齢者では、有病者が多いことなどにより、依然としてインプラントよりも全部床義歯による補綴が大きな

ウェイトを占めている。また、歯周治療の進歩や高齢化により、顎堤吸収の進行した難症例が増加すると考えられている。

申請者らは、無歯顎顎堤の3次元的形態が義歯の動揺に及ぼす影響について、有限要素法により解析を行っており<sup>1)</sup>、無歯顎の顎堤

形態を義歯の動揺という観点から評価することが可能となった。その結果、咬合力が垂直的に作用しても比較的大きな水平的変位を生じうる顎堤形態が少なからず存在することが判明した。また、この水平的変位を生じさせる顎堤の形態的要素を、主成分分析と重回帰分析により明らかにした。

義歯の咬合様式を考えると、その水平移動を可能な限り抑制することが重要であるが、現在までに明らかにされていることは、咬頭傾斜、咬合接触様式、咬合面の幅径などである。また、機能を優先して設計された無咬頭歯などの非解剖学的人工歯も存在する。しかし、顎堤形態に応じた理想的な咬合面形態を実証的に追求した研究はほとんど見られない。

## 2. 研究の目的

顎堤での応力の均等化を図るための咬合面の要件を検討する。設定条件としては

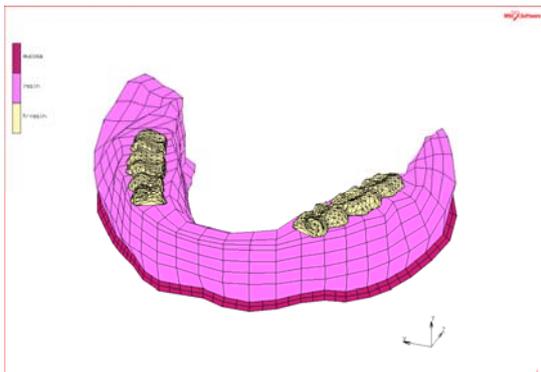
一般的な咬合様式(両側性平衡咬合あるいはリングライズドオクルージョン)を想定し、咬合の各要素の関連性を表す「Hanauの五角形」に基づいた顎路以外の各要素(咬頭の高さ、咬合平面の傾斜、調節彎曲、切歯路角)等を種々変更して、顎堤での応力分布が最も均一化するような条件を、最適形状決定法により探索する。

## 3. 研究の方法

### (1) 実験1：下顎全部床義歯における咬合平面の傾斜の最適化

#### ①有限要素モデルの作成

人工歯排列の終了した蠟義歯を非接触レーザースキャナを用いて3次元計測し、その表面形状データを基に義歯と顎堤粘膜からなる有限要素モデルを作成した(図1)。人工歯と義歯床を個別に要素分割した後、両者を剛体リンクにより結合し、人工歯部分を容易に移動できるようにした。荷重条件は、食物咀嚼時に受ける力を想定し、人工歯咬合面への面荷重(要素の各面に対して垂直方向の荷重)を用いた。粘膜を構成する要素の骨面に相当する節点の全方向の変位を拘束した。



### 図1 下顎全部床義歯有限要素モデル ②解析条件

咬合面を標準的な位置から前後的に±10°の範囲で傾斜させ、荷重時の義歯の移動量が最小となるような傾斜角を最適化計算により求めた。義歯と顎堤粘膜の間は接触解析を行い、粘膜面は顎堤粘膜の非線形物性を考慮した。荷重は各々の人工歯について個別に行い、それぞれ最適化計算を行った。モデルの作成と変更にはMSC.Marc2008、最終の応力計算にはMSC.Marc2008(日本MSC)を用いた。また、以上のソフトウェアを用いながら最適化計算を行うためOPTIMUS9(サイバネットシステム)を用いた。

### (2) 実験2：上下全部床義歯における咬合平面と調節彎曲の最適化

#### ①有限要素モデルの作成

モデルは、上下顎堤、上下の全部床義歯、および疑似食片からなる(図2)。義歯は人工歯を省略した咬合堤様の形状とし、咬合面はMonson球面に倣い、平坦面としたうえで下顎切歯点と下顎第二大臼歯遠心相当部を通る半径100mmの球面に一致させた。顎堤は粘膜の要素のみとし、上顎の骨面に相当する節点を拘束した。疑似食片は左側上下の人工臼歯咬合面間で、第2小臼歯、第1大臼歯、または第2大臼歯相当部(以下それぞれF1、F2、F3とする)に介在させた(図3)。

#### 図2 上下全部床義歯有限要素モデル

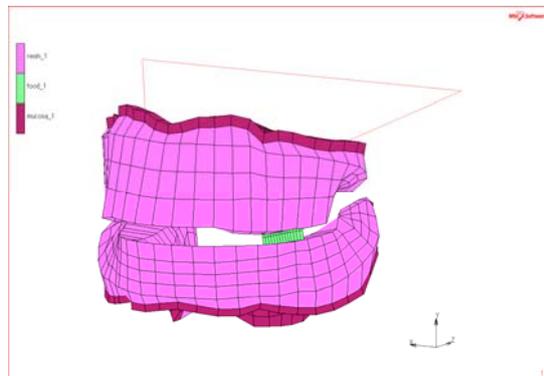


表1 各構成要素の材料定数

構成要素	ヤング率 (GPa)	ポアソン比
義歯 (アクリルジン)	2000	0.3
食片 (シリコーンバー)	100	0.49
顎堤粘膜 (二相性)	5 10	0.3 0.49

下顎の骨面に相当する節点を、回転角として $2^{\circ}$ 左側方位かつ $3^{\circ}$ 開口させた位置から、左側の顎頭点に相当する点を中心に回転させ咬頭嵌合位に向かって強制変位を与えた。この際の平衡側の矢状顎路角は $30^{\circ}$ とした。上下の義歯と粘膜の間、食片と下顎義歯咬合面、上下義歯の咬合面間は接触解析を導入した。また、顎堤粘膜に相当する要素は、2相性の被圧変位性を示すように非線形材料として解析した。有限要素解析にはMSC.Marc2010 (MSC社)を用いた。

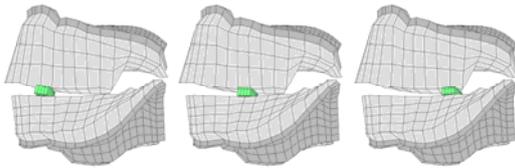


図3 食片の位置  
左から、F1, F2, F3を示す。

#### ②解析条件

咬合平面の傾斜 (Inc) と調節湾曲の強さ (Cur) の変更は、有限要素プリポストプロセッサ MSC.Marc.Mentat および Optimus10 (サイバネット社) を用いて自動的に行った。前者は上顎犬歯遠心相当部を中心に人工臼歯部の後端を矢状面内で $\pm 3^{\circ}$ の範囲 (+ が後方傾斜) で回転させた。後者は、人工臼歯部咬合面と一致させた球面の半径を、下顎中切歯および第二大臼歯遠心端の位置を変化させずに、 $90\sim 110\text{mm}$ の範囲で変化させた。

#### ③解析結果の評価

有限要素解析の結果を評価するパラメータは、顎堤粘膜における最大応力に対する食片での応力の平均値の比率 (以下 Ef とする) とした。以上の条件下、Optimusにより咬合平面の傾斜と調節湾曲の強さを種々設定して有限要素解析を行い、食片の位置が F1 ~ F3 まで変化したときの Ef (Ef1, Ef2, Ef3) のうち最小の Ef (Ef-min) および最大の Ef (Ef-max) について、Inc, Cur との関連を応答曲面として表示させた。

### 4. 研究成果

#### (1) 実験 1

荷重時の義歯の移動量を最小とするような傾斜角は、荷重点位置、顎堤形態により異なったが、荷重点、すなわち各々の人工歯直下の顎堤の傾斜と近似した値となる傾向がみられた (図4)。従って、咬合平面の設定には従来の解剖学的あるいは審美的

基準の他、顎堤形態も考慮する必要のあることが示された。

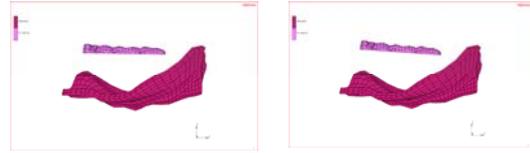


図4 最適化の一例  
義歯床部分を省略し、人工歯と顎堤のみ表示した。左：最適化前、右：最適化後

#### (2) 実験 2

##### ①食片の位置ごとの解析 (図5-7)

Ef1~Ef3のうち、Ef2が最大の値を示した。また、Ef2はInc= $3^{\circ}$ 、Cur= $110\text{mm}$ のときに最大となったが、Ef1およびEf3はInc= $-3^{\circ}$ 、Cur= $90\text{mm}$ のときに最大となった。

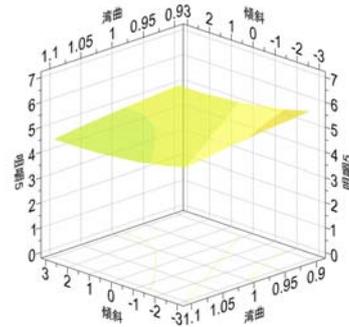


図5 Ef1を目的変数とした応答曲面  
湾曲 (Cur) は基準値 (100mm) にたいする割合として表示した (以下同様)。

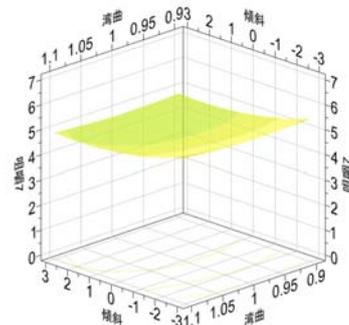


図6 Ef2を目的変数とした応答曲面

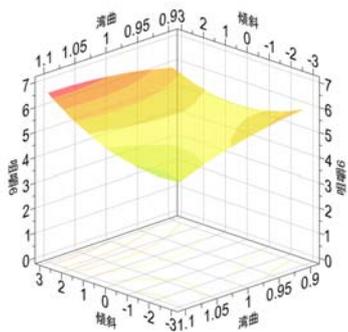


図7 Ef3を目的変数とした応答曲面

## ②最適化

IncおよびCurは、いずれもEfに影響した。Ef-minは、Inc=-3° Cur=90 mmのとき、すなわち咬合平面が前方に傾斜し、調節湾曲が強いほど、大きくなった(図8)。また、その際の最もEfの小さかった食片の位置はF3であった。すなわち、人工臼歯部後方の咬合面が直下の顎堤と平行に近づくことで、咀嚼する位置によって極端に咀嚼能力が落ちることの少ない義歯となる可能性が示唆された。

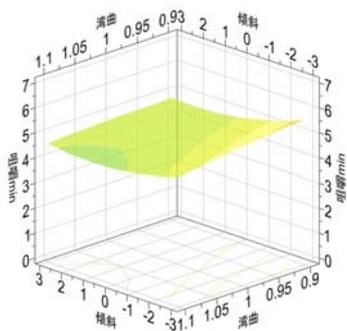


図8 Ef-minを目的変数とした応答曲面最適化を図ると、図の左上の領域に収束した。

一方Ef-maxは、Inc=3°、Cur=110 mmのとき、すなわち咬合平面が後方に傾斜し、調節湾曲が弱い場合に最大となった(図9)。その際の最もEfの大きかった食片の位置はF2、すなわち第一大臼歯相当部であった。この場合は、大きな咀嚼力を発揮できる一方、その際の食片の位置は限られており、患者にとって使いにくい義歯でもある可能性が考えられた。

以上のように、上下全部床義歯の解析では、最大の咀嚼効率を求めるか、あるいは人工臼歯部のどの部位でも平均的に咀嚼できる義歯を目指すかで結果が異なった。

本研究で用いた手法は、義歯の人工歯排列方法の決定に役立つ可能性があると考えられた。今後、咬頭や小窩裂溝等の咬合面形態も再現したモデルを作成するとともに、種々の顎堤形態について、これに応じた理想的な咬合面形態を検討する予定である。

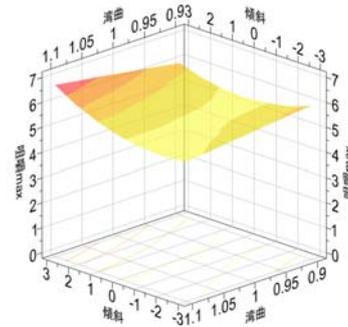


図9 Ef-maxを目的変数とした応答曲面最適化では、図の右上の領域に収束した。

## 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0件)

[学会発表] (計2件)

- ① Takayama Y., Sasaki H., Goto M., Saito M., Yokoyama A. Morphological factors of residual ridges determining stability of complete dentures. 88<sup>th</sup> General Session of the International Association of Dental Research. 2010年7月16日, パルセロナ
- ② 高山芳幸, 後藤まりえ, 水野健太郎, 齋藤正恭ほか. 有限要素解析を用いた最適化手法による全部床義歯の人工歯排列の検討—第1報 応答曲面による検討—. 日本補綴歯科学会学術大会第121回学術大会. 2012年5月27日, 産業貿易センター(横浜市).

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

高山 芳幸 (TAKAYAMA YOSHIYUKI)  
北海道大学・北海道大学病院・講師  
研究者番号: 30236369

### (2) 研究分担者

齋藤 正恭 (SAITO MASAYASU)

北海道大学・大学院歯学研究科・准教授  
研究者番号：00133752

水野 健太郎 (MIZUNO KENTAROU)  
北海道大学・北海道大学病院・医員  
研究者番号：50374541

後藤 まりえ (GOTO MARIE)  
北海道大学・北海道大学病院・助教  
研究者番号：40374540