

学位研究紹介

CTデータを用いた上顎骨モデルにおける
インプラント有限要素解析：従来型モデル
との比較検討とその応用
Finite Element Analysis of an
Implant-embedded Maxilla Model
from CT Data: Comparison with the
Conventional Model and One Application

口腔生命科学専攻 口腔健康科学 生体歯科補綴学分野
奥村 暢旦
Division of Bio-Prosthetics
Department of Oral Health Science
Course of Oral Life Science
Niigata University Graduate School of Medical and Dental
Sciences
Nobuaki Okumura

【目 的】

過度の咬合負担は、インプラントの成否に影響するリスクファクターとされている。この力学的問題の検討に、3次元有限要素解析(3D - FEA) はこれまで広く用いられてきたが、その大部分は下顎の部分的なモデルを用いたものである。上顎においてはインプラントの成功率が劣るとされているにも関わらず十分な検討が行われてこなかった。特に上顎臼歯部に関しては依然として多くの検討すべき点が存在するが、実際に力学的な環境を厳密にシミュレートするためには、まずFEAモデルのサイズ・荷重条件を生体と近似する必要がある、その上でより詳細な検討を行うべきである。

そこで、頭蓋骨から導出したモデル(広範囲モデル)を構築・応力解析し、その解析結果による応力分布を考慮した単純な片側上顎臼歯部モデル(部分モデル)を構築し、応力解析を行った。両者の解析結果を比較することで部分モデルの有用性を検討した。

その後、この部分モデルを応用した臼歯部分モデルを用いて、上顎の皮質骨の厚さ・インプラントの形態および直径による骨応力への影響について検討を行った。

【方 法】

ヒト無歯顎乾燥頭蓋骨のヘリカルCT撮影によって得

られたDICOMデータをデータ変換し、大規模構造解析用要素分割ソフトを用いて、上下的には上顎歯槽骨から上顎洞約2/3まで、前後的には上顎骨前鼻棘から蝶形骨翼状突起、左右的には両側頬骨側頭突起基部までを含む「広範囲モデル」を構築した。この広範囲モデル右側第一大臼歯部に4.1×8mmのシリンダーインプラントを構築し、四面体要素にて要素分割、インプラント中央軸方向に100Nの荷重条件(図1)と上顎洞上部および両側頬骨側頭突起の拘束を設定し解析した。応力解析結果をvon Mises相当応力にて表示した(図2)。さらに、広範囲モデルの結果からモデルサイズを決定し(近遠心20mm, 頬舌9.5mm, 高さ13mm)、右上臼歯部歯槽骨と上顎洞2/3に限局した部分モデル(海綿骨の有無により、「モデル1, 2」)を同解析ソフトにて構築した(図3a,b)。四面体要素にて要素分割し、広範囲モデルと同様な荷重・拘束条件にて(図3c)インプラント周囲骨における応力分布を解析し、von Mises相当応力にて表示することで広範囲モデルと比較した。

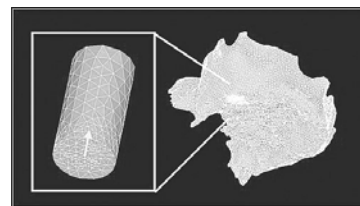


図1 広範囲モデル全体及びインプラント拡大(矢印:荷重)

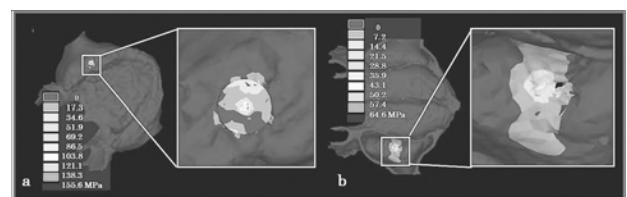


図2 広範囲モデル von Mises 相当応力表示 a:咬合面側全体図及びインプラント頸部拡大図 b:上顎洞底側全体図及びインプラント先端付近皮質骨拡大図

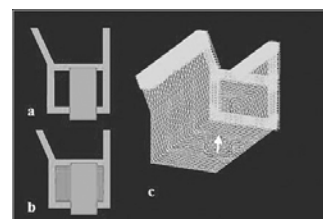


図3 a:モデル1(断面図), b:モデル2(断面図), c:要素分割モデル1(矢印:荷重, 拘束)

その後、上記の結果を考慮して、単純化した海綿骨周囲を皮質骨で被覆し、上顎洞を含む臼歯部分モデルを構築した(近遠心 30 mm, 頬舌 9.9mm, 高さ 29mm) (図 4)。その際、歯槽骨頂部の皮質骨厚さをモデル 3 : 1.5 mm, モデル 4 : 1.0 mm, モデル 5 : 0.5 mm, モデル 6 : 0 mm と設定した。それぞれについてシリンダー (直径 4.1mm) とスクリュー (直径 4.1mm と 4.8mm) のインプラントモデルを構築し、垂直方向に 100N もしくは頬舌方向に 50N の荷重を加え、合計 12 モデル・24 パターンについてインプラント周囲骨の応力分布を検討し、応力値を比較した。

【結 果】

(1) 広範囲モデルの構築を通じて、CT 撮影によって得られた解剖学的形態を可及的に維持したうえで、モデルに反映し解析することが可能となった。

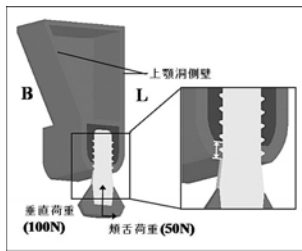


図 4 モデル 3 4.8 mm スクリュー 断面図

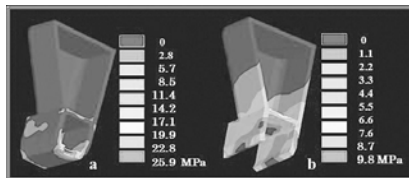


図 5 4.1 mm スクリュー垂直荷重皮質骨断面図 von Mises 相当応力表示 a: モデル 3 b: モデル 6

表 1

皮質骨最大応力値	モデル 3	モデル 4	モデル 5	モデル 6
シリンダー 4.1 (垂直)	23.407	27.485	42.202	9.101
(頬舌)	52.984	57.648	81.429	10.639
スクリュー 4.1 (垂直)	25.659	29.343	39.529	9.889
(頬舌)	65.659	78.049	99.207	10.368
スクリュー 4.8 (垂直)	20.419	23.694	36.343	8.352
(頬舌)	49.163	51.745	75.691	10.385
海綿骨最大応力値	モデル 3	モデル 4	モデル 5	モデル 6
シリンダー 4.1 (垂直)	1.164	1.55	1.728	2.955
(頬舌)	1.51	1.916	2.779	8.943
スクリュー 4.1 (垂直)	1.413	1.497	2.852	2.872
(頬舌)	2.351	2.434	5.196	10
スクリュー 4.8 (垂直)	1.424	1.453	2.481	3.1
(頬舌)	1.762	1.854	4.254	9.277

(2) 広範囲モデルの応力は、インプラントの頸部周囲の皮質骨および根尖付近の上顎洞底部皮質骨に集中し、そこから近遠心に 1 歯分程度周囲に拡がるという分布傾向を示した。モデル 1, 2 も同様な応力分布を示した(図 2)。

(3) 歯槽頂部の皮質骨が薄くなるに従い、皮質骨の最大応力値の増加が認められ(表 1), モデル 6 においては、垂直荷重時の応力が上顎洞底にまで及んでいた(図 5)。

(4) モデル 6 における海綿骨の最大応力値の増加は頬舌荷重時に顕著であり、モデル 3 もしくは 4 と比較した場合、インプラントの形態および直径に関わらず、最大応力値は 300% 以上増加した(表 1)。

【考 察】

今回、上顎骨 CT データを導出し、応力解析を行った結果、下顎での手法と同様な臼歯部分モデルを研究対象とする上で必要な同等性が解析結果から得られた。部分モデルサイズに関しては、インプラント近遠心に 1 歯相当の範囲および 11mm 程度の高さの上顎洞を備えていれば、広範囲モデルに近似した力学的に整合性の高い結果を得られることが確認され、その有用性が示された。今後、効率的な解析が可能な臼歯部分モデルを研究対象として用いた、上顎におけるインプラントと周囲骨との力学的関係について様々な検討を加えることで、将来の臨床ツールとして期待されると考える。

歯槽頂部の薄い皮質骨は、インプラント周囲骨に高い応力集中を導き、インプラント失敗のリスクを高める可能性が示唆された。さらに同部皮質骨が欠損している場合には、より高い応力が海綿骨に分布し、特に頬舌方向に荷重を加えた場合に顕著となる。力学的観点からは、歯槽頂部に皮質骨が存在し咬合力の頬舌方向への作用が強い症例には、シリンダーインプラントもしくはより太い直径のインプラントを選択することで、インプラント周囲骨への応力がある程度軽減することが可能となる。しかし、シリンダーインプラントの初期固定・太い径のインプラントの埋入手技の難易度などを考慮すると、上顎臼歯部の成功率を高めるためには、インプラントの選択よりも歯槽頂部皮質骨の厚さに基づいた術前検討を十分行った上で、適応症例を判断することが重要であると考える。