



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	The minimization of diameter and length of dental implants according to bone quality using finite element analysis and optimized calculation. [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	上田, 奈々
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(歯学)
Dissertation Number	甲第11244号
Issue Date	2014-03-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/56123
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.1/jp/
Type	doctoral thesis
File Information	Nana_Ueda_abstract.pdf, 論文内容の要旨



学位論文内容の要旨

博士の専攻分野の名称 博士（歯学） 氏名 上 田 奈 々

学 位 論 文 題 名

The minimization of diameter and length of dental implants according to bone quality
using finite element analysis and optimized calculation.

（有限要素解析と最適化計算による
骨質に応じたインプラントの直径と長さの最小化）

インプラント治療においては、骨量と骨質に応じた治療方針や設計が求められており、骨量ならびに骨質に関する評価は重要であると考えられる。現在広く利用されている骨質の分類にはパノラマ X 線写真や CT を用いた Leckholm & Zarb の分類や Misch の分類などがあるが、その生体力学的根拠や臨床にどう応用するかという点に関しては十分に明らかになっていないと考えられる。

Frost は、骨の生体力学的反応について Mechanostat theory (2003)を提唱し、ひずみが 2000～3000 microstrain を超えると負担過重で、4000 microstrain 以上では骨吸収をきたし、逆に 50～200 microstrain を下回ると廃用萎縮をきたすとしている。本研究においては、この説を基にインプラント周囲骨に生じるひずみを定量的に評価し、有限要素解析 (FEA)と最適化計算を用いて種々の骨質において骨に生じるひずみを抑制しながらインプラント体のサイズの最小化を図り、力学的観点からインプラントの選択基準を検討した。

3 次元有限要素 (FE) モデルは、第一大臼歯相当部の下顎骨体、チタン製インプラント、金合金製の上部構造からなり、咬合面中央を荷重点として、垂直荷重と側方荷重の 2 種類の荷重条件を設定した。側方荷重は頬側方向からインプラントの中心軸に対し斜め 15 度とした。荷重量は咀嚼時の第一大臼歯の咬合力負担を想定して 60N とした。解析にあたり、皮質骨の厚さ (C : 0.5～2.0mm、海綿骨のヤング率 (T : 0.1～1.5GPa、CT 値換算で約 344～850HU、Misch の分類 D3 に相当)、インプラント体の直径 (D : 3.5～6.0mm)、長さ (L : 8～13mm) を設計変数とした。これらの設計変数をラテン超方格により割り当てた 500 種類の FE モデルを作製し各々の荷重条件について解析を行い、インプラント周囲骨に生じた相当ひずみの大きさと最大ひずみが生じる位置を評価した。FEA の結果からインプラント周囲骨に生じた最大ひずみを代表値（応答変数）として抽出して応答曲面を作成し、各設計変数との関係性を評価した。Mechanostat theory により生体力学的に適正とされるひずみの最大値を 3000 microstrain と定義し、骨のひずみがこの値を超えずに最も近づくようにインプラントの長さや直径のそれぞれについて最適化計算を行い、各骨質の条件において力学的に適正なインプラントの最小サイズを算出した。長さの最適化では直径を 4mm に固定し、直径の最適化では長さを 10mm に固定した。

FEA の結果、荷重方向で比較すると側方荷重のほうがひずみは大きくなった。海綿骨のヤング率が小さい場合はインプラント先端部周囲の海綿骨に、海綿骨のヤング率が高い場合はインプラント頸部付近の皮質骨に最大ひずみが生じた。各骨質において最大ひずみが生じる位置が変化する境界のヤング率の値が存在した。直径 4mm、長さ 10mm のインプラントを使用した場合、海綿骨のヤング率が約 0.45GPa 以下では先端部周囲に、約 0.75GPa 以上ではネック付近に最大ひずみが生じ、0.45~0.75GPa の場合は最大ひずみが生じる位置は皮質骨の厚さによって変化した。最大サイズである直径 6mm、長さ 13mm のインプラントを使用した場合は皮質骨の厚さに関わらず約 0.45GPa が境界値となっていた。

応答曲面より、皮質骨が薄く海綿骨のヤング率が低いほどひずみは大きく、側方荷重では垂直荷重よりも最大ひずみが大きかった。応答曲面の傾きは変化率を示しており、海綿骨のヤング率は皮質骨の厚さと比較して最大ひずみへの影響が大きかった。

最適化計算の結果、皮質骨の厚さと海綿骨のヤング率がともに小さい場合を除き、インプラントの長さや径を大きくすることにより適正範囲のひずみに抑えることが可能であり、その効果は直径の変更の方が大きかった。海綿骨のヤング率が約 0.5GPa (約 589HU) 以上の場合は、より小さい径や長さのインプラントを使用してもひずみは適正範囲内に抑えられた。垂直荷重の場合、海綿骨のヤング率が約 0.5GPa 以上の骨質では長さ 8mm あるいは直径 3.5mm のインプラントでひずみを適正範囲内に抑制可能であった。側方荷重では約 0.6GPa (約 626HU) 以上の骨質であれば直径 3.5mm のインプラントで抑制可能であった。側方荷重では垂直荷重よりも大きなひずみが生じており、海綿骨のヤング率が約 0.5GPa 以下の場合、最大サイズのインプラントを使用してもひずみを適正範囲内に抑制することが困難であった。皮質骨が約 0.5mm 以下かつ海綿骨のヤング率が 0.5GPa 以下の場合では咬合状態などインプラントのサイズ以外の対策が必要であると考えられた。

側方荷重において最大ひずみがインプラント先端周囲に生じた骨質の条件と、インプラントサイズの変更によるひずみの適正範囲内への抑制が困難であった条件は近似していた。すなわち、ひずみの抑制が困難な骨質では最大ひずみがインプラントの先端周囲に生じる傾向があった。従って、インプラント周囲の骨のひずみを抑制するためには、インプラント先端部の形状最適化などが有効である可能性が考えられた。

本研究は骨量、骨質とインプラントの長さ及び直径の関係を生体力学的観点から検証し、一定の傾向があることを明らかにした。実際の臨床では、本研究で提示した力学的に適正と考えられる最小サイズよりも大きめのサイズを選択するほうがより安全であると考えられるが、インプラントサイズならびにその臨床成績との比較検討が必要である。また、インプラント治療の成否には多因子が関わっており、今回検証した因子以外の影響も考慮に入れて解析を行うことが望ましいと考えられ、今後の研究課題である。

本研究は骨に生じるひずみを定量的に評価することにより生体力学的に適切かつ最小と考えられるインプラントのサイズを骨質に応じて提示した。インプラントの直径や長さの変更はひずみの低減に有効であり、皮質骨が薄くかつ海綿骨のヤング率が小さい場合以外

は適切な直径と長さのインプラントを選択することにより、力学的に適正な範囲のひずみに抑えることができることが明らかとなった。また、疎な骨質では特にインプラント先端に生じるひずみを低減することにより適応が広がる可能性が示された。