

最近のトピックス

力学的要因がインプラントおよび周囲骨に与える影響

三次元有限要素法を用いた応力解析

Biomechanics of implants and the surrounding bone: a 3-dimensional finite element analysis

新潟大学大学院医歯学総合研究科
口腔生命科学専攻
口腔健康科学講座
加齢・高齢者歯科学分野
北村 絵里子, 野村 修一

Division of Oral Health in Aging and
Fixed Prosthodontics, Department of Oral Health Science,
Course for Oral Life Science, Graduate School of Medical and
Dental Sciences, Niigata University
Eriko Kitamura, Shuichi Nomura

はじめに

日本でインプラント治療が開始されてからわずか15年程度であるが、外科手技、審美的問題、材料など機能と形態の両面でのめざましい発展を遂げて、すでに補綴治療の1オプションとしての地位を確立している。インプラントの長期予後を左右する因子には大きく分けると生物学的要因と力学的要因の二つに別けられる。RenouardとRangert¹⁾の分類によれば、力に関する要因が多数を占めており、力学的因子のコントロールがインプラントの長期予後と維持安定に大きな影響を与えていることがわかる。そこで今回、力学的因子がインプラント体およびその周囲骨に与える影響について、最近の当講座における三次元有限要素法による研究論文を紹介する。

1. 骨質およびインプラント形態の影響

生体力学的な問題には、インプラント体(形態、長さ、直径、材質、表面性状など)と患者の状態(骨質、咬合力、健康状態など)が挙げられる。一般に、スクリュー型に比べてシリンダー型のインプラントの方が、頸部骨の吸収量が多く、長さの短いインプラント体での予後が悪いと言われている。骨とインプラント体との接触面積が減少することによって、周囲骨にかかる負担が増大するためと考えられている。

多田らは、これらの関係を調べるために、インプラン

ト体の形態、長さおよび骨質が、骨応力および歪みに与える影響を三次元有限要素法にて調べた²⁾。下顎臼歯部に単独植立されたインプラント体を想定し、形態(スレッド型、シリンダー型)と4種類の長さ(9.2 - 14.0mm)を変えたチタン製インプラント体モデルに、Bone type 1-4を参考に4種類の海綿骨の骨密度モデルを作製した。インプラントアバットメント中央部に垂直および頬舌側方向の静的荷重をそれぞれ加え、汎用有限要素プログラムANSYS(ANSYS, Inc)を用いて解析し、皮質骨、海綿骨およびインプラント体についての相当応力と相当歪みについて調べた。

この実験によると、荷重方向に関わらず、最大相当応力と歪みは海綿骨骨密度の増加に伴い減少した。この結果は、術前の骨質の診断がインプラントの長期予後に重要な影響を与えることを示唆している。また、垂直荷重時、海面骨骨密度が低い場合にはスクリュー型インプラントで最大相当歪みは小さな値を示したことから、形態の効果を発揮すると考えられる。さらに、垂直荷重時において、インプラント体の長さによる骨応力の影響は、骨密度の低い場合に著明に現れたことから、特に海綿骨の骨密度が低い場合には長いインプラント体を用いることが望ましいと思われる。

つまり、臨床的には、海綿骨の骨密度が適度に高い方が生体力学的にはよりよい植立条件となり、海綿骨の骨密度が低い場合にはできるだけ長いスクリュー型インプラントを用いる方が望ましいと考えられる。

2. 機能開始後のインプラント周囲骨吸収の形態について

インプラント周囲骨吸収は、インプラント喪失原因の一つである。一方、予後良好症例においても骨吸収は僅かに生じることから、適度な咬合力下でのインプラント頸部の皮質骨に起こる骨吸収は必ずしも失敗につながるわけではなく、応力に対する生体力学的適応の結果と考えられることも可能である。筆者はこの仮説に基づき、骨吸収量と吸収形態が骨とインプラント体に与える影響について調べた^{3,4)}。(図1)

荷重方向および吸収深さにかかわらず、同じ吸収量では、全く骨吸収の生じていない状態や水平的骨吸収モデルに比べ、カップ状吸収形態では皮質骨の応力は低い値を示した。特に吸収量が1.3mmのカップ状吸収形態の場合に、垂直荷重時では全く吸収が生じていない状態の約43%、頬舌側荷重時では約72%という著しく低い最大応力値を示した。また、インプラント体においては、頬舌側荷重時では最大相当応力は吸収量が増すと増加し、吸収が進行するにつれてアバットメントスクリュー下部の

中空部に集中した。

この結果から、インプラント周囲骨に生じるある程度のカップ状骨吸収は、応力集中部位である顎部皮質骨の荷重負担を軽減させるための力学的適応である可能性が示唆された。しかし、骨吸収が進むにつれて、頬舌側荷重下では海綿骨とインプラント体にかかる応力を増大させるので、骨吸収の進行はインプラントの喪失や破折の危険性を高める事につながる可能性がある。

ま と め

現在のインプラントシステムでは、rough surface加工されたスクリュー型インプラントが主流であり、約4mm、長さ10mm以上が推奨されるとともに、骨質によってフィクスチャーを選択することが提唱されている。

経過が良好な13症例をまとめた論文では、インプラント植立初期には0.4 - 1.6mmの範囲内で平均約0.9mmの顎部骨吸収が生じると報告されている⁵⁾。また、機能的な安定を示す指標に、周囲骨の骨密度が増加し、表層の皮質骨が連続していることを挙げている論文⁶⁾もある。さらに、インプラント体に関しては、骨吸収を伴うインプラント体の破折部位は第三スレッド付近が多いと報告されている⁷⁾が、そこは本実験での応力集中部位に相当している。

このように、今回紹介した2つの論文は臨床での疑問を生体力学的観点から解明している。

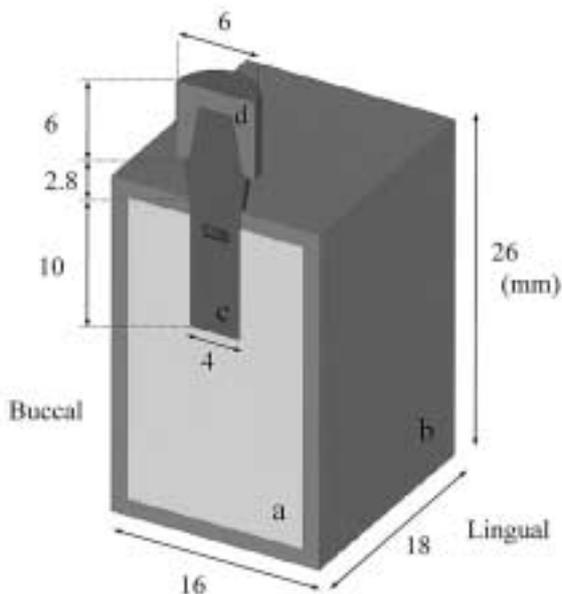


図1 基準となるモデル形態。a = 海綿骨
b = 皮質骨, c = インプラントとアバットメント
d = 上部構造

参考文献

- 1) Renouard, F. and Rangert, B. (前田芳信, 米畑有理訳): インプラント補綴のリスクファクター - 予知性を高めるための臨床的分析法 - クインテッセンス出版, 東京, 2000.
- 2) Tada, S., Stegaroiu, R., Kitamura, E., Miyakawa, O. and Kusakari, H. Influence of implant design and bone quality on stress/strain distribution in bone around implants: A three-dimensional finite element analysis. International Journal of Oral & Maxillofacial Implants. 18:357-368, 2003.
- 3) Kitamura, E., Stegaroiu, R., Nomura, S. and Miyakawa, O. Biomechanical aspects of marginal influence bone resorption around osseointegrated implants: considerations based on a three-dimensional finite element analysis. Clinical Oral Implants Research. (in press)
- 4) Kitamura, E., Stegaroiu, R., Nomura, S. and Miyakawa, O. Influence of marginal bone resorption on stress around an implant - A three-dimensional finite element analysis - Journal of Oral Rehabilitation. (accept)
- 5) Goodacre, C.J., Kan, J.Y.K. and Rungcharassaeng, K. Clinical complications of osseointegrated implants. Journal of Prosthetic Dentistry. 81: 537-552, 1999.
- 6) Young-Chul, Jung., Chong-Hyun, Han. and Keun-Woo, Lee. A 1-year radiographic evaluation of marginal bone around dental implants. The International Journal of Oral & Maxillofacial Implants. 11:811-818. 1996.
- 7) Bo, Rangert., Paul H.J.K., Burton, Langer., and Ned Van Roekel. Bending overload and implant fracture: a retrospective clinical analysis. 10: 326-

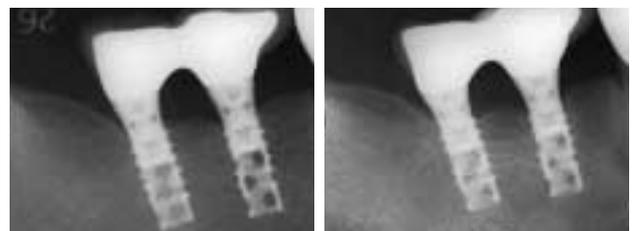


図2 左図は機能開始後約3年経過後, 右図は約10年後。共に歯槽硬線は連続しており, カップ状で安定した吸収形態を示している。