

学 位 研 究 紹 介

ラット咬合荷重下インプラント周囲骨の 応力分布と形態学的変化の関連性 Correlation of Stress Distribution and Morphological Changes of the Bone Surrounding Occlusally Loaded Implants in Rats

新潟大学医歯学総合研究科 生体歯科補綴学分野
高野遼平

Division of Bio-prosthetics, Department of Oral Health
Science, Niigata University Graduate School of Medical and
Dental Sciences Course for Oral Life Science
Ryohei Takano

【目 的】

インプラントへの過大な咬合力負荷によりオッセオインテグレーションが崩壊するという報告¹⁾があるが、骨に生じる応力と骨改造の関連性は詳細に解明されていない。これまでも動物実験モデルにてインプラントへの静的な荷重や咬合力負荷による骨形態変化と2次元有限要素法による応力解析結果の関連性を検索した研究は報告されているが、3次元有限要素法（以下3D-FEM）を用いた咬合時に生じるインプラント周囲骨の応力解析結果と同一固体で実際に起こる骨形態変化との関連性は不明である。また、近年マイクロCTの解像度が向上して骨形態把握の精度が向上し、骨形態を高い精度で観察できるようになってきている。これに伴い、3D-FEMによる荷重下インプラント周囲骨の応力解析の精度も向上しており、有力な解析方法となっている。そこで、本研究は2つの異なる過大な咬合条件により生じたラット上顎インプラント周囲骨の応力分布と骨形態・骨組織の変化との関連性を検討することを目的とした。

【材料および方法】

4週齢ウィスターラット雄16匹の上顎両側第1,2臼歯を抜歯し、4週後に左側上顎第1臼歯部にインプラント（直径1.8mm）を埋入した。埋入4週後に、8匹を屠殺し、これらをコントロール群とした。他の8匹に対し、近遠心長7mmの上部構造（遠心カンチレバー）を装着し、5日間固形食を与えた後に屠殺した。それぞれ

の上部構造に認められたシャイニングスポットを咬合接触部位とし、その位置によって、近心群（インプラント直上で咬合）および遠心群（インプラント遠心のカンチレバーで咬合）とした。全群の上顎骨をマイクロCTにて撮影し、3D骨梁構造測定ソフトによるインプラント周囲骨体積を測定した。群間での計測結果の比較に加え、インプラント周囲骨のマイクロCT画像を用いて骨形態も比較した。また、各モデルのマイクロCT画像を基に、3D骨梁応力解析ソフトを用いて3D有限要素モデル（以下FEMモデル）を作成した。各モデルに対して咬合接触部位に、垂直方向に20Nもしくは頬舌方向に5Nの荷重条件を設定し、同ソフトを用いて応力解析を行って、最大相当応力および応力分布を比較した。さらに、通法に従ってラット上顎骨を脱灰した後、インプラントを抜去してパラフィン包埋、薄切し、H-E染色を施して、光学顕微鏡下にて組織学的観察を行った。同部位にてインプラント周囲骨の応力分布と骨形態計測結果・組織学的所見の関連性を検索した。

【結 果】

（1）インプラント周囲骨の体積（平均値±SD（mm³））はコントロール群（4.69±0.76, N=8）、近心群（4.06±0.91, N=6）、遠心群（2.36±0.13, N=2）の順に低い値を示す傾向が認められ、特に遠心群での減少が顕著であった。

（2）マイクロCT画像による骨形態比較から、コントロール群では明らかな骨吸収は認めず、近心群ではインプラント遠心側に軽度の骨吸収が認められた試料があったものの、多くの試料において骨吸収は認められなかった。一方、遠心群ではインプラント遠心側と先端側周囲骨に明らかな骨吸収が認められた。

（3）近心群FEMモデルでは低い応力が主に近心側と頬側のインプラント周囲骨に局限していた。一方、遠心群FEMモデルでは、高い応力が遠心側のインプラント周囲骨に認められ、近心群に比べより高い値を示した応力がより広い範囲に分布していた。

（4）最大相当応力の平均値は近心群FEMモデルより遠心群FEMモデルにおいて、垂直荷重20Nおよび水平荷重5Nの両条件下共に高い値を示した。

（5）近心群の多くの試料では、インプラント周囲に骨吸収や破骨細胞は認めず、オッセオインテグレーションはほぼ全周で維持されていた。遠心群では、皮質骨の吸収は認められなかったが、海綿骨においては部分的な

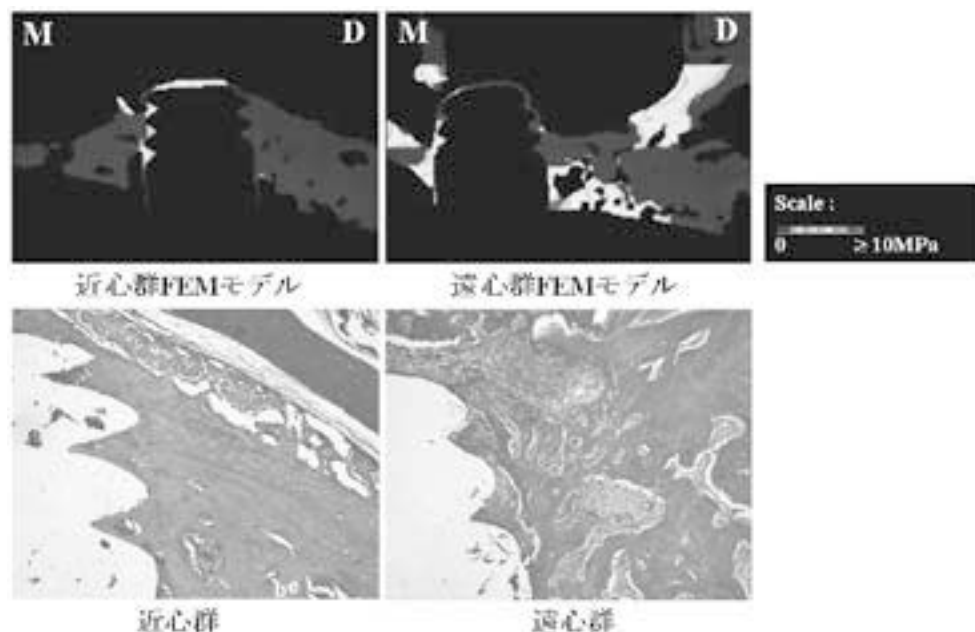


図1 垂直荷重下での骨応力分布とインプラント遠心側の組織学的所見（矢状面）

オッセオインテグレーションの喪失が認められた。また、インプラント遠心側では活発な骨吸収や破骨細胞の出現を認めた。（図1）

【考 察】

骨形態計測結果およびマイクロCT画像の群間での比較および応力解析結果より、特に遠心群において認められたインプラント周囲の骨量減少は過大な咬合力によるものであったと推察された。近心群の多くの試料では、マイクロCT画像および組織形態観察から周囲骨の吸収はほとんど認めず、近心群モデルではインプラント周囲骨に生じた応力は生体が適応できる範囲であったため、オッセオインテグレーションが維持されていると考えられた。一方、遠心群モデルではインプラント遠心側と先端側に生じた骨吸収部位に高い応力が分布しており、過

大な応力集中により骨吸収が生じていると考えられた。以上の結果より、咬合条件により荷重下インプラント周囲骨の骨改造は異なり、比較的低い荷重負担ではインプラント周囲骨は適応し維持されるが、高い荷重負担では高い応力により骨吸収が生じる可能性が示唆された。また、3D有限要素モデルによる解析結果は実際に生体で起こる骨改造をある程度予測し得ることが示された。

【文 献】

- 1) Duyck J, Rønold HJ, Van Oosterwyck H, Naert I, Vander Sloten J, and Ellingsen JE: The influence of static and dynamic loading on marginal bone reactions around osseointegrated implants: an animal experimental study. Clin Oral Implants Res, Jun;12(3):207-218, 2001.