

〔原著〕 松本歯学 35 : 144~149, 2009

key words : 支台築造 — 歯根破折 — 有限要素

## 三次元有限要素応力解析による下顎小白歯歯槽骨吸収に関する研究

新村 弘子<sup>1</sup>, 土屋総一郎<sup>1</sup>, 滝嶋 博<sup>1</sup>, 大島 和成<sup>2</sup>, 山下秀一郎<sup>1</sup>

<sup>1</sup>松本歯科大学 歯科補綴学第二講座

<sup>2</sup>松本歯科大学 物理学講座

Study on alveolar bone absorption of mandibular premolar by stress analysis with  
three dimensional finite element method

HIROKO NIIMURA<sup>1</sup>, SOICHIRO TSUCHIYA<sup>1</sup>, HIROSHI TAKISHIMA<sup>1</sup>,  
KAZUNARI OOSHIMA<sup>2</sup> and SHUICHIRO YAMASHITA<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Prosthodontics II, School of Dentistry, Matsumoto Dental University

<sup>2</sup>Department of Physics, School of Dentistry, Matsumoto Dental University

### Summary

The cause of alveolar bone absorption of mandibular premolar was investigated using three – dimensional finite element models with and without alveolar bone absorption.

For the model weighted from the lingual side without alveolar bone absorption, the zone of stress concentration was identified in the central part of the neck and corner in the mesial or distal direction of the tooth. However, for the model weighted from the lingual side with alveolar bone absorption, there was no area showing stress concentration. Furthermore, for the models weighted from the buccal side and mesial or distal directions, there was no area showing stress concentration.

Therefore, alveolar bone absorption is caused by compressing stress from lingual side load.

### 諸 言

補綴臨床においては失活歯を利用する頻度は非常に高く<sup>1,2)</sup>, 中でもコアの維持部としてポストは重要な役割を担っている. その一方で補綴処置を施した支台歯歯根部歯質に亀裂や破折が継発し, 抜歯に至ることが報告されている<sup>3,4)</sup>.

従来失活歯に用いるポストは, 残存歯質を補強する<sup>5,6)</sup>といわれてきたが, 場合によっては補強効

果はなく, むしろ応力が集中することで, 歯根破折を招く可能性があるとも近年報告されるようになってきた<sup>7-9)</sup>.

斎間ら<sup>10)</sup>の研究によれば, 小白歯歯根部が歯根を近遠心方向に二分する頬舌的な歯根破折を起こす原因は, 咬合力の作用ではなく解剖学的な特徴によるものであると述べられている. しかし, 具体的にどのような解剖学的特徴によるものかは断定できないとも述べられている.

通常、口腔内の硬組織の診査にはX線写真を用いるが、デンタルX線写真では観察方向が限定され、亀裂や破折が確実に把握できないことがある。したがって口腔内で発生した亀裂の状態を調べることができず、患歯の状態を抜歯前に詳しく検査し診断することはできなかつた。さらに歯槽骨についても二次元的な観察しかできないため、歯根破折と歯槽骨吸収部位との位置関係やそれぞれの形状についての三次元的関係は把握できなかった。

著者の一人新村(三澤)は歯科用小型X線CT(3DX Multi-Image Micro CT:3DX, モリタ, 以下3DX<sup>®</sup>と略す)で、下顎小白歯を観察した結果、歯根破折と頰側の歯槽骨吸収が同時に発現している頻度の高いことを報告した<sup>11)</sup>。さらに、歯根破折を起こしていない生活歯においても頰側に歯槽骨吸収を多く認めた。これをもとに三次元有限要素法で応力解析を行った結果、頰側に歯槽骨吸収がある場合は、近心側または遠心側方向からの咬合力が加わった時に歯根破折が生じやすくなることを報告した<sup>11)</sup>。しかし、歯槽骨吸収の原因は十分に解明されていなかった。

本研究では頰側に歯槽骨吸収を引き起こす力の方向を検討すること、さらに先の論文では不十分であった、歯根膜の応力集中を検討することを目的に、三次元有限要素法による応力解析<sup>12,13,14)</sup>を行い、歯槽骨吸収の原因となる荷重方向を分析した。

### 研究方法

#### 1. 解析モデルの作成および解析方法

本研究の解析モデルは、先の研究<sup>11)</sup>で作成した解析モデルと同一である。これは事前に3DX<sup>®</sup>を撮影した歯の中で、頰側に垂直性骨吸収を示した失活歯に対して、ポストコアを装着したモデルである。このモデルの透過図を図1に示す。歯根膜の圧縮応力を観察するだけであれば、ポストコアを装着する必要はなかったが、今後、歯根破折のメカニズムを解明するために、このようなモデルをあえて選択した。また、歯冠部歯質の残存量については、破折強度の観点から最も条件が厳しく<sup>15,16)</sup>、一方で臨床上遭遇頻度の高い<sup>17)</sup>支台歯を想定して、歯冠部残存歯質のないモデルを用いた。解析モデルの座標軸をXは近心側または遠

心側方向、Yは舌側方向、Zは歯冠側方向に定めた後、歯槽骨吸収前である三次元歯槽骨吸収非モデルと、歯槽骨吸収後である三次元歯槽骨吸収モデルをそれぞれ作成し、要素分割した(図2, 3)。要素数は三次元歯槽非骨吸収モデルで22,256、節点数は4,543、三次元歯槽骨吸収モデルの要素数は31,944、節点数は6,697に設定した。このモデルの歯冠頰側咬頭頂に、座標軸にしたがって頰側方向、舌側方向および近心側または遠心側方向の3方向からそれぞれ1Nの水平荷重を負荷した(図3)。

各種材料定数<sup>4,18)</sup>を表1に示す値に設定した上で有限要素プログラム(ANSYS Rev 8.0, AN-

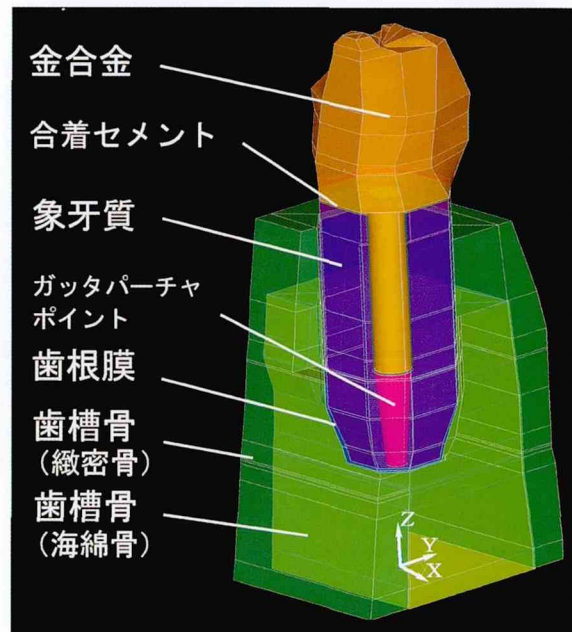


図1：形状モデルの構成(透過図)

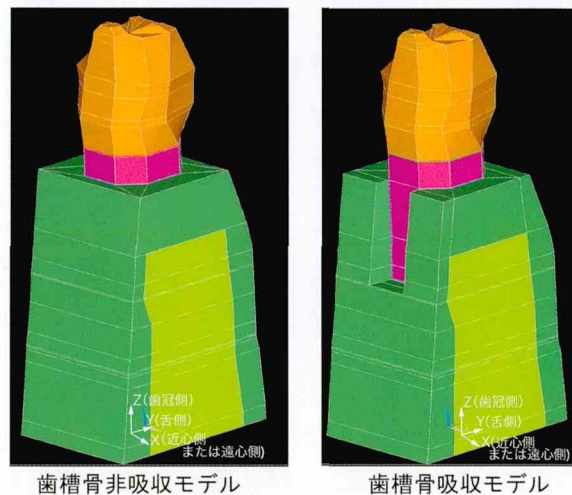


図2：形状モデルの形態



図3: 三次元有限要素モデルにおける荷重方向

表1: 各種材料定数

材料	ヤング率 (GPa)	ポアソン比
金合金	95	0.33
MMA レジンセメント	4.1	0.35
象牙質	14	0.15
ガッタパーチャポイント	0.1	0.39
歯根膜	0.01	0.49
緻密骨	20	0.30
海綿骨	1.4	0.30

SYS 製) を用いて計算を行った。

2. 観察項目

歯槽骨吸収を惹起する荷重方向を調べるために、歯根膜の圧縮応力を示す第3主応力(最小主応力)について歯槽骨吸収モデル、歯槽骨非吸収モデルのそれぞれにおいて観察した。

結 果

第3主応力がマイナスとなった場合、圧縮応力を示すことになるので、本研究ではマイナス値で絶対値の大きい部位を観察した。その結果、歯槽骨非吸収モデルでは、舌側荷重に対し頬側歯頸部中央部と近遠心隅角部に応力集中帯が認められた(図4)。一方、歯槽骨吸収モデルでは、歯根膜全体に応力が分散し、歯槽骨吸収部の最も根尖よりの部分では応力集中は観察されなかった(図

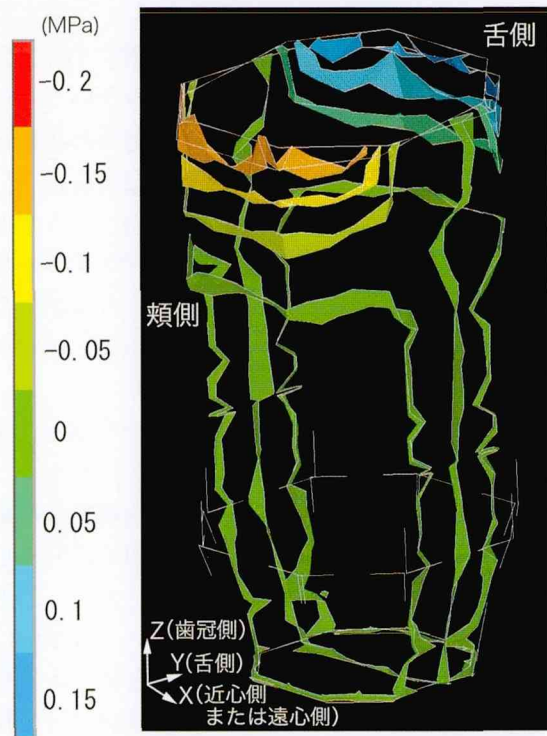


図4: 歯槽骨非吸収モデルにおける舌側荷重時の歯根膜部第3主応力の応力集中部位

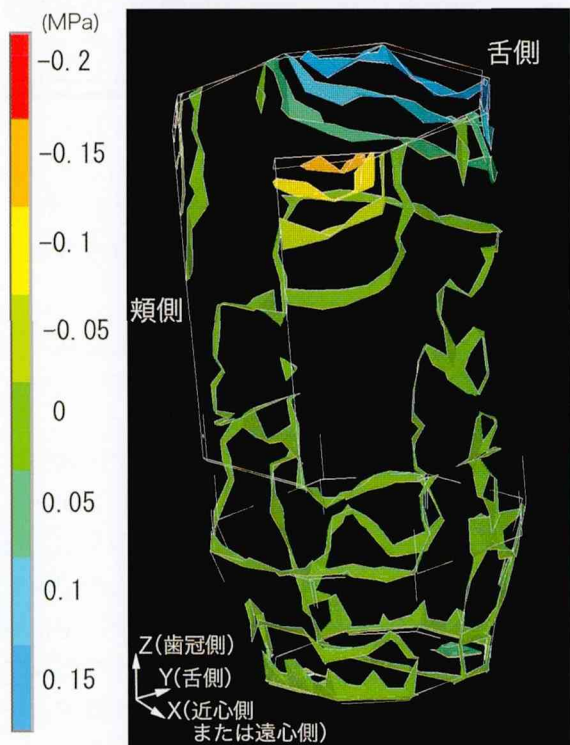


図5: 歯槽骨吸収モデルにおける舌側荷重時の歯根膜部第3主応力の応力集中部位

5).

なお、歯槽骨非吸収モデル、歯槽骨吸収モデルともに頬側荷重に対しては舌側歯頸部、近心側ま

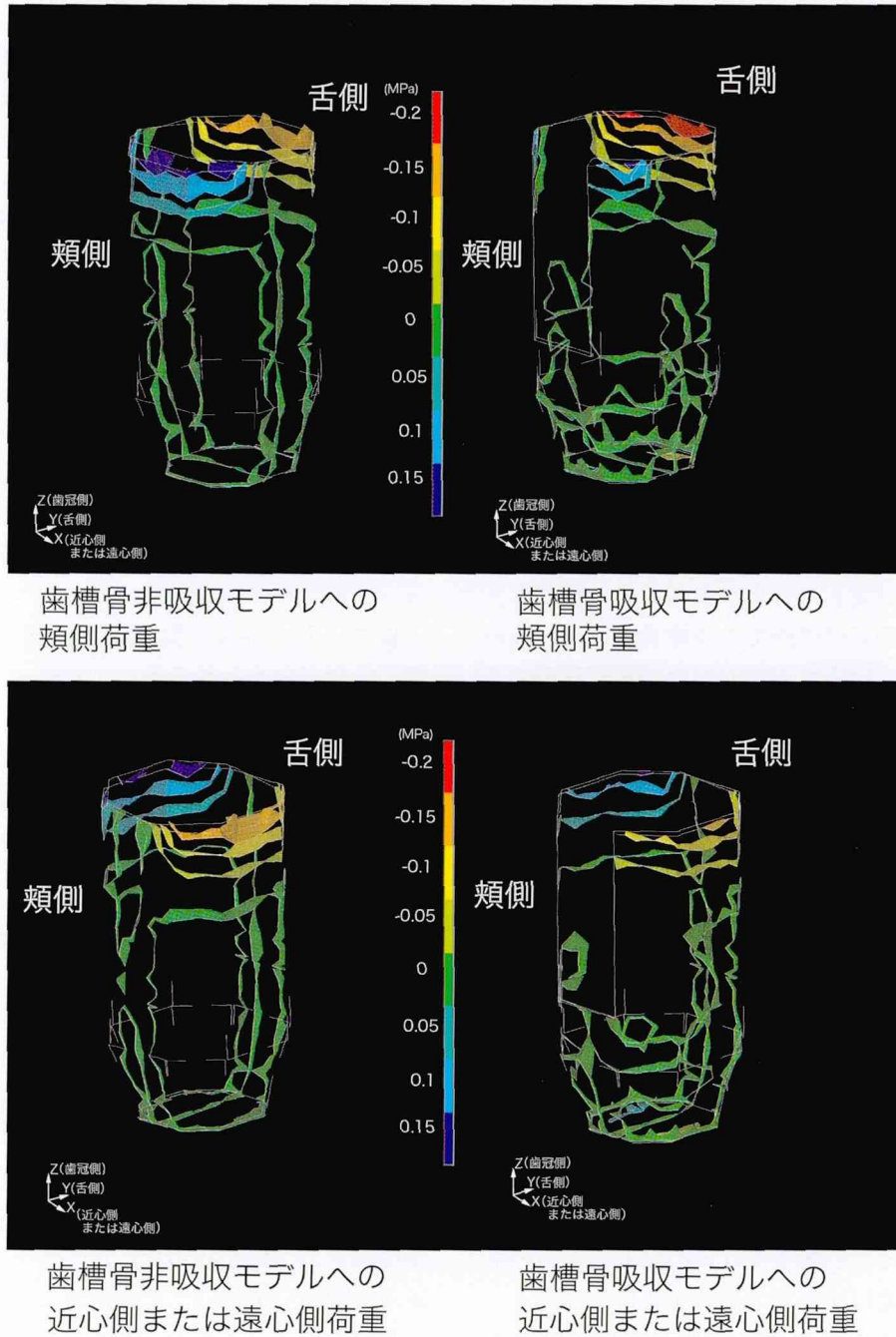


図6：歯根膜部第3主応力の応力集中部位

たは遠心側荷重に対しては、近心又は遠心歯頸部に集中がみられ頬側歯頸部付近への応力集中はみられなかった(図6)。

考 察

1. 実験方法

西平ら<sup>19)</sup>と本村ら<sup>20)</sup>は、ネコ上顎犬歯の移動実験を行い、有限要素応力解析を応用し、歯根膜の変性組織の出現と歯根膜の応力分布について検討

した結果、破骨細胞の出現、変性組織の分布、圧縮応力の集中部位は一致していたと述べている。したがって今回、荷重方向ごとの歯槽骨の吸収部位を調べるため、歯槽骨非吸収モデルと歯槽骨吸収モデルそれぞれの歯根膜について、圧縮応力を示す第3主応力のマイナス値の分布を調べた。なお、歯槽骨吸収モデルは、事前に撮影した3DX<sup>®</sup>の画像をもとに歯槽骨吸収部位を設定した。

## 2. 実験結果

土屋<sup>21)</sup>は上顎前歯部に対する歯槽骨吸収を設定しない模型への荷重実験と、歯質内に発生した亀裂の立体的様相およびこれに基づく有限要素応力解析を行い、根面部付近に亀裂が1本発生し、その亀裂に続いて根尖方向に亀裂がもう一本発生することを報告している。しかしながら、三澤<sup>11)</sup>の報告では口腔内で歯根破折を起こした歯について観察したところ、亀裂は1本のみで、同時に歯槽骨吸収が観察された。この荷重実験と実際の口腔内での相違は、土屋<sup>21)</sup>の実験系では歯槽骨吸収を設定しなかったことが、実際の口腔内での歯根破折の様相とは異なっていたためと判断される。したがって、今回の実験で三次元有限要素モデルに歯槽骨吸収を設定したことは妥当であったと考える。また、実際の口腔内でも歯槽骨吸収後に歯根破折を惹起している可能性が高いことが推測できる。

一方、木村ら<sup>22)</sup>と、菅谷ら<sup>23)</sup>は歯根が垂直破折した場合の歯周組織破壊を病理組織学的に明らかにするため、人工的にビーグル犬の歯を破折させる実験を行った。その結果、根管から破折部に進入増殖した細菌が、歯根膜や歯槽骨に炎症性破壊を引き起こす最も重要な因子であると述べている。しかし、三澤<sup>11)</sup>は3DX<sup>®</sup>で生活歯においても頰側の歯槽骨吸収が観察されると報告していることから、歯根破折した部位から細菌感染し歯槽骨吸収が起こったとは考えにくい。

三澤<sup>11)</sup>は3DX<sup>®</sup>の頰側歯槽骨吸収像の観察とあわせ、有限要素応力解析により、頰側の歯槽骨が吸収していると近心側または遠心側方向からの荷重により歯根破折が生じることを報告している。今回の応力解析で、3DX<sup>®</sup>画像の歯槽骨吸収部位<sup>11)</sup>と歯槽骨非吸収モデルの歯根膜における、マイナス値の第3主応力発現部位とが一致しているため、舌側荷重によって破骨細胞が出現し歯槽骨が吸収したものと思われる。また歯槽骨吸収モデルとあわせて考察すると、歯槽骨吸収部の最も根尖側部位では応力集中は観察されないことから歯槽骨吸収がさらに進展しているとは考えにくい。

歯槽骨吸収モデルでは、舌側からの荷重時に歯根膜の頰側中央には圧縮応力の集中は観察されないが、歯頸部近心及び遠心頰側隅角に圧縮応力の集中が観察される。これは、3DX<sup>®</sup>から歯槽骨吸

収モデル及び、歯槽骨非吸収モデルを作成する際に歯根膜腔の幅をほぼ均一とし、歯根膜腔の拡大や水平的な骨吸収を配慮していないために、圧縮応力集中部位と、歯槽骨吸収部位の差が生じたと考えられる。圧縮応力の集中部位はゆくゆく歯槽骨が吸収する<sup>19)</sup>ので、歯頸部頰側近遠心隅角の歯槽骨吸収により、舌側からの荷重時における応力集中部位には当然変化がみられるはずである。しかしながら、3DX<sup>®</sup>の画像において頰側歯槽骨の吸収が根尖側2/3を越えるものがないことをあわせて考えると、歯槽骨吸収モデルの頰側中央部に応力集中が生じていないことには変わりがないため、今回の舌側方向からの荷重により歯槽骨の吸収が生じるという結果に変化はないと思われる。

以上より、ポスト装着歯の歯槽骨吸収の原因は、舌側方向からの荷重により発生する歯根膜の圧縮応力であると考えられる。

また、臨床的に舌側方向からの荷重成分によって歯槽骨吸収が引き起こされる原因として、側方ガイダンス不良による咬頭干渉や、歯質の欠損や歯の欠損に伴う不正咬合によるくいしばり<sup>24)</sup>、歯の欠損に伴う咬合の変化<sup>25)</sup>などが考えられる。

## 結 論

ポストを有する下顎小白歯の歯槽骨吸収を惹起する荷重方向を調べるために、歯根膜の圧縮応力を示す第3主応力(最小主応力)を観察した。その結果、三次元有限要素モデル作成時に撮影した3DX<sup>®</sup>の歯槽骨吸収部位と、舌側荷重による応力集中部位の一致が認められた。すなわち、ポスト装着下顎小白歯では、舌側荷重により頰側で歯槽骨吸収の生じることが示唆された。

## 参 考 文 献

- 1) 玉岡玲洋, 若松正憲, 柳田史城, 土屋総一郎, 奥田晃則, 石原信彦, 垣花 賢, 倉沢郁文, 甘利光治, 中根 卓 (1994) 平成4年における冠・架工義歯補綴に関する統計的観察 その1 単独冠について. 松本歯学 20: 288-96.
- 2) Heydecke G and Peters MC (2002) The restoration of endodontically treated, single-rooted teeth with cast or direct posts and cores: A systematic review. J Prosthet Dent 87: 380-6.
- 3) 甘利光治, 石原義和 (1987) 失活歯の支台築造.

- 松本歯学 **13** : 191-205.
- 4) 岡本和彦, 猪野照夫, 天野秀雄, 荒井 学, 鈴木めぐみ, 曾根峰世 (2004) 歯冠部残存歯質の有無と合着用セメント層が支台築造歯の象牙質内応力分布に及ぼす影響. 補綴誌 **48** : 602-11.
  - 5) Kantor ME and Pines MS (1997) A comparative study of restorative techniques for pulpless teeth. *J Prosthet Dent* **38** : 405-12.
  - 6) 花村典之 (1990) 支台築造. 18-23, 医歯薬出版, 東京.
  - 7) Sorensen JA and Martinoff JT (1984) Intracoronar reinforcement and coronal coverage : A study of endodontically treated teeth. *J Prosthet Dent* **51** : 780-4.
  - 8) Trope M, Malt DO and Tronstad L (1985) Resistance to fracture of restored endodontically treated teeth. *Endod Dent Traumatol* **1** : 108-11.
  - 9) Morgano SM (1996) Restoration of pulpless teeth. Application of traditional principles in present and future contexts. *J Prosthet Dent* **75** : 375-80.
  - 10) 斎間直人, 朝日保州, 今村智之, 鈴木ゆみこ, 武内清隆, 竹山満晃, 野々山浩介, 浜野弘規 (2002) トラブルを起こさない支台築造を求めて. 歯科評論 **62** : 77-85.
  - 11) 三澤弘子 (2006) ポストを応用した下顎小白歯支台歯の歯根破折と歯槽骨吸収に関する研究. 補綴誌 **50** : 414-20.
  - 12) 石上恵一, 倉澤郁文, 山口泰彦 (2006) ファイバーポスト併用レジン築造の問題点と可能性-議論の端緒にあたって-. 補綴誌 **50** : 145-65.
  - 13) 永沢 栄 (2007) 有限要素法の原理と歯科における応用. 松本歯学 **33** : 10-20.
  - 14) 松山雄喜 (2008) 有限要素法を用いたルートキーパー®の破折に関する研究. 松本歯学 **34** : 137-47.
  - 15) 福島俊士 (2003) 適切な支台築造法を求めて. 補綴誌 **47** : 261-71.
  - 16) 大塚真範 (2005) 歯冠部歯質が失われた支台歯のマージン形態が破折強度および破折様相に及ぼす影響. 補綴誌 **49** : 74-83.
  - 17) 坪田有史, 深川菜穂, 西村 康, 安藤栄里子, 橋本 興, 岩並恵一, 福島俊士 (2004) 支台築造の比較統計的観察 第4報. 補綴誌 **48** : 394-403.
  - 18) 高橋重雄, 平澤 忠, 中村正明, 西村文夫, 西山 實, 宮崎 隆 (1997) 歯科修復物に望まれる物理的・機械的性質の適正值について. 歯器材 **16** : 555-62.
  - 19) 西平守正, 佐藤嘉晃, 森川 一, 山本克之, 石川博之, 中村進治 (1996) 実験的歯科矯正における破骨細胞出現部位の応力解析. 顎顔面バイオメカニクス学会誌 **2** : 27-35.
  - 20) 本村英示, 古谷忠典, 佐藤嘉晃, 西平守正, 森川 一, 石川博之, 山本克之, 脇田 稔, 中村進治 (1998) 歯根膜に生じる変性組織の応力解析. 顎顔面バイオメカニクス学会誌 **4** : 24-5.
  - 21) 土屋総一郎 (2003) ポスト装着歯に生じた亀裂に関する研究. 補綴誌 **47** : 671-80.
  - 22) 木村喜芳, 菅谷 勉, 加藤 熙 (2000) 垂直歯根破折に伴う歯周組織破壊の病理組織学的研究. 日歯周誌 **42** : 255-66.
  - 23) 菅谷 勉, 加藤 熙 (2004) 垂直歯根破折に伴う歯周組織破壊と治療法の基礎的研究. *Clin Res Dent* **1** : 8-17.
  - 24) 日本補綴歯科学会ガイドライン作成委員長 (2002) 1. 咬合異常の診療ガイドライン. 補綴誌 **46** : 585-93.
  - 25) 山下秀一郎 (2004) 短縮歯列の概念. 歯科臨床研究 **1** : 16-21.