

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

松山 雄喜

大学院歯学独立研究科 顎口腔機能制御学講座
(主指導教員：黒岩 昭弘 教授)

松本歯科大学大学院歯学独立研究科博士（歯学）学位申請論文

A study on the fracture of Root Keeper® using finite element method

YUKI MATSUYAMA

*Department of Oral and Maxillofacial Biology, Graduate School of Oral Medicine,
Matsumoto Dental University
(Chief Academic Advisor : Professor Akihiro Kuroiwa)*

The thesis submitted to the Graduate School of Oral Medicine,
Matsumoto Dental University, for the degree Ph.D. (in Dentistry)

要 旨

磁性アタッチメントの1つであり、義歯の維持力を即日的に回復できるルートキーパー®は極めて有用である。しかしながら、臨床においてはルートキーパー®の破折が認められる。本研究では3次元有限要素法を用いて、ルートキーパー®本体の破折の原因と予防方法を究明した。

実験モデルはルートキーパー®の支台歯として下顎犬歯を想定した。磁性アタッチメントはマグネディスク®, ルートキーパー®はルートキーパー® (Mタイプ：愛知製綱) を使用した。接着材はスーパーボンド C&B® (サンメディカル) を使用した。支台歯条件として、歯根長は日本人の下顎犬歯歯根の長さの平均値を参考に14mmとした。歯軸の傾きについては咬合平面に対して垂直（コントロール）に対して25°傾斜させた支台歯モデルを作製し、解析を行った。

有限要素法による解析には、パーソナルコンピュータを用い、ソフトウェアにはANSYS® (Ver.11：サイバネットシステム) を使用し、3次元のモデルを作成し解析を行った。解析方法は、線形静解析で行った。要素分割は10節点4面体要素を用いた。拘束条件としては、モデルの歯根膜外周の全節点について全方向の変位を拘束した。なお、荷重条件については、オーバーデンチャーの支台歯に作用する垂直力は20.0N以下に収束するという報告から、咬合面に垂直に20.0Nの荷重を加えた。

本研究の結果、支台歯の傾斜に関わらず、セメントスペースがある場合、ルートキーパー®本体および歯根象牙質が破折に至る応力は発生しないことが判明した。また、部分的にポストが象牙質に接触した状態で、キーパー部側面の接着材や象牙質の破壊が存在すると、僅かな片側荷重で疲労破壊が起こることが判明した。ルートキーパー®

の破折の予防方法としては、歯質の厚さを考慮しつつポスト部が象牙質に接触しないようにスペースを付与した築造窩洞を形成する必要があると考えられた。

緒 言

わが国で磁性アタッチメントが臨床応用されて15年余りが経過し^{1,2)}、磁性アタッチメントは歯科臨床において義歯の支台装置の1つとして認知されている。支台装置としての磁性アタッチメントは精密鑄造によってキーパー（図1b）とポスト（図1c）が鑄接され製作される。磁性アタッチメントの長所としては①義歯の着脱が容易である。②歯根膜の機能を保存できる。③側方力が発生しにくい。④特殊な技術、専用の器具が不要である³⁾。⑤歯冠歯根比を改善できる⁴⁾など義歯製作や歯の保存といった面で多くの利点をもっている。その反面、清掃性に劣りプラークの付着により齲蝕や歯周炎が起こりやすい⁵⁾などの短所があげられる。

現在では接着材の性能が向上したことからキーパーを既成のポストに溶接したポスト付きキーパーが開発された（図2，図3，表1）。本装置はアタッチメントの製作に時間を費やさない，ア

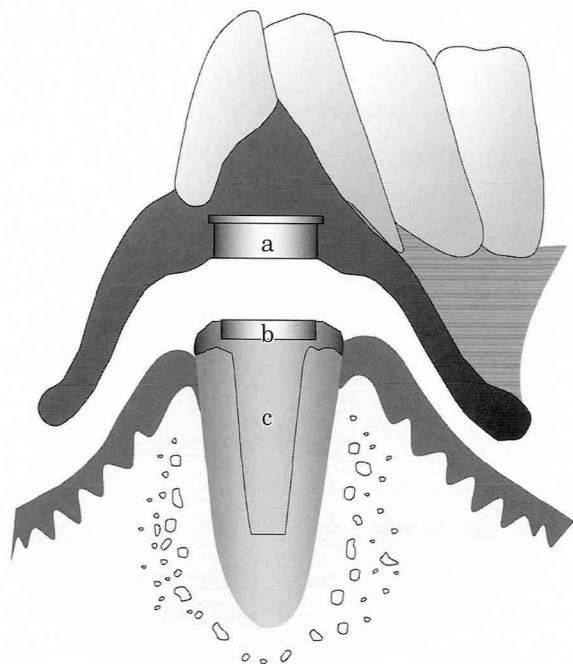


図1：磁性アタッチメント義歯の概念図
a：磁性構造体
b：ポストと鑄接されたキーパー
c：鑄造ポスト

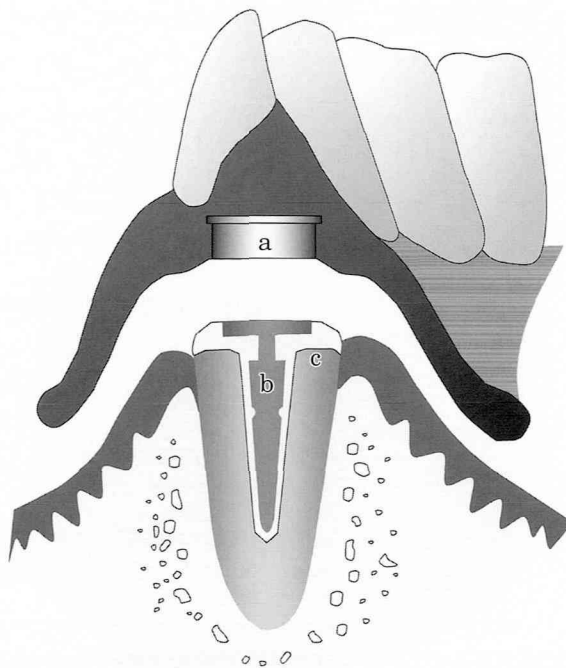


図2：ルートキーパー®を用いた義歯の概念図
a：磁性構造体
b：ポスト付きキーパー
c：接着性着材

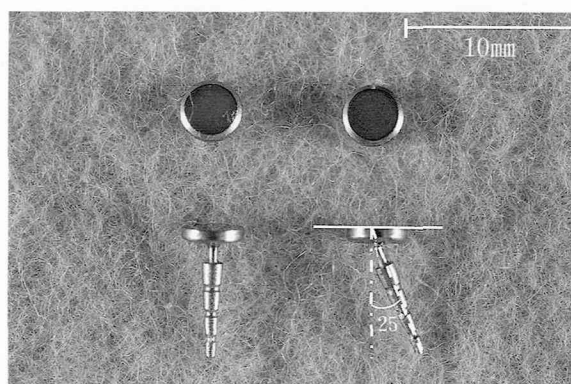


図3：ルートキーパー®の外観：ネック部で屈曲可能・ネック部太さ0.5mm

表1：ルートキーパー®の寸法・組成

構成要素	寸法		組成
磁石構造体	直径3.7mm	高さ1.1mm	AUM-20
キーパー部	直径3.6mm	高さ0.7mm	AUM-20
ポスト部	直径1.2mm	長さ7mm	SUS-316L

タッチメント製作のための印象採得を必要としない，即日的な治療が行えるなど多くの利点を有し，特に簡単で的確に義歯の維持力が回復できる特徴を持っている⁶⁾。また，本装置はネック部の形態によってルートキーパー®とポストキーパーに区分され，前者はネック部が細く支台歯が傾いていても，キーパーが咬合平面と平行に調節する

ことが可能である。後者は屈曲することを前提に開発されておらず、支台歯が傾斜していればキーパーも傾斜して装着される。ポストキーパーの様に、咬合平面に対してキーパー上面が傾斜した状態よりも、ルートキーパー®の様に咬合平面に対して平行にキーパーを設定した方が、義歯の安定が得られ、この点ではルートキーパー®の形態は理にかなったものであると思われる。

従来、我々が行ってきた補綴処置は前処置、義歯修理等を含めて数回から十数回の通院が必要であった。しかしながら、この要求に対して種々の要因から通院できない患者が見受けられるようになってきた。特に高齢者は一人での通院が困難である場合が多い。加えて地方都市などでは交通手段が限られ、核家族化が進む中⁷⁾、高齢者に付き添う家族も減少し、ますます通院が困難となっている。これらの観点からも、補綴物の維持安定を少ない通院回数で簡単に確保でき、在宅診療でもルートキーパー®を利用する方法は有益であると思われる。

しかしながら簡便で有用な方法である本法も、臨床ではルートキーパー®の破折が認められる。これはキーパーとポスト部の接合部での破折が多く、安全性から考えても破折のメカニズムを解明し、対策を講ずる必要があると考えた。本研究では3次元有限要素法を用いて、ルートキーパー®本体の破折の原因と予防方法について検討した。

実験材料及び方法

1. 対象

実験モデルには残存率が高く⁸⁾、支台歯としての頻度も高い下顎犬歯を想定した⁹⁾。歯根長は日本人の下顎犬歯歯根の長さの平均値¹⁰⁾を参考に

表2：構成要素と物性値

構成要素	ヤング率(GPa)	ポアソン比
ルートキーパー® キーパー部	200	0.30
ポスト部	197	0.30
スーパーボンド C&B®	3.20*	0.36*
象牙質	12.0	0.30
根管充填材	0.0007	0.45
歯根膜	0.0098	0.45

*メーカー報告値

(男性：14.31mm, 女性：13.69mm) 14mmとした。磁性アタッチメントはマグネディスク®, ポスト付きキーパーはルートキーパー® (Mタイプ：愛知製鋼)を使用した。なお、ルートキーパー®は歯根にスーパーボンド C&B® (サンメディカル)にて接着することを想定した。これらの材料の弾性率およびポアソン比を示す(表2)^{11, 12, 13)}

2. 分析方法

有限要素法による解析は、パーソナルコンピュータを用い、ソフトウェアにANSYS® (Ver. 11：サイバネットシステム)を使用し、頬舌側に2分割した3次元モデル(図4A)を作製し解析を行った。解析は、線形静解析で行った。要素分割には10節点4面体要素を用いた。拘束条件としては、モデルの歯根膜外周の全節点について全方向の変位を拘束した。荷重条件については、オーバードンチャーの支台歯に作用する垂直力は20.0N以下に収束するという報告¹⁴⁾から咬合面に20.0Nを負荷することを前提に、今回の実験ではモデルを2分割したので10.0Nを負荷し解析した。

1) 歯軸の傾きが支台歯に及ぼす影響

咬合平面に対して垂直なモデルをコントロールとし、補綴処置で利用する支台歯は最大25°の傾斜をとることがあり^{15, 16, 17)}、その場合が最も破折しやすいと考え25°のモデルを作製し検討を行った。

2) ルートキーパー®の解析

ルートキーパー®を歯根に装着しない状態(以下単体とする)で中央荷重、片側荷重における3次元有限要素解析、片側荷重における圧縮試験を万能試験機(インストロン：5882)にてクロスヘッドスピード0.1mm/minにて行い、荷重変位曲線から耐力相当荷重を算出した。

3) キーパー破折の解析

臨床においてルートキーパー®が支台歯に装着された状態を詳細に観察した。その結果を参考としてルートキーパー®破折に至るまでの推測を行うために、まず、ルートキーパー®ポスト部の側壁のセメントスペースが無い状態にて解析を行った。

次にキーパー部に近接した歯科用接着材、側面の象牙質が破折したと仮定して、同部位に相当す

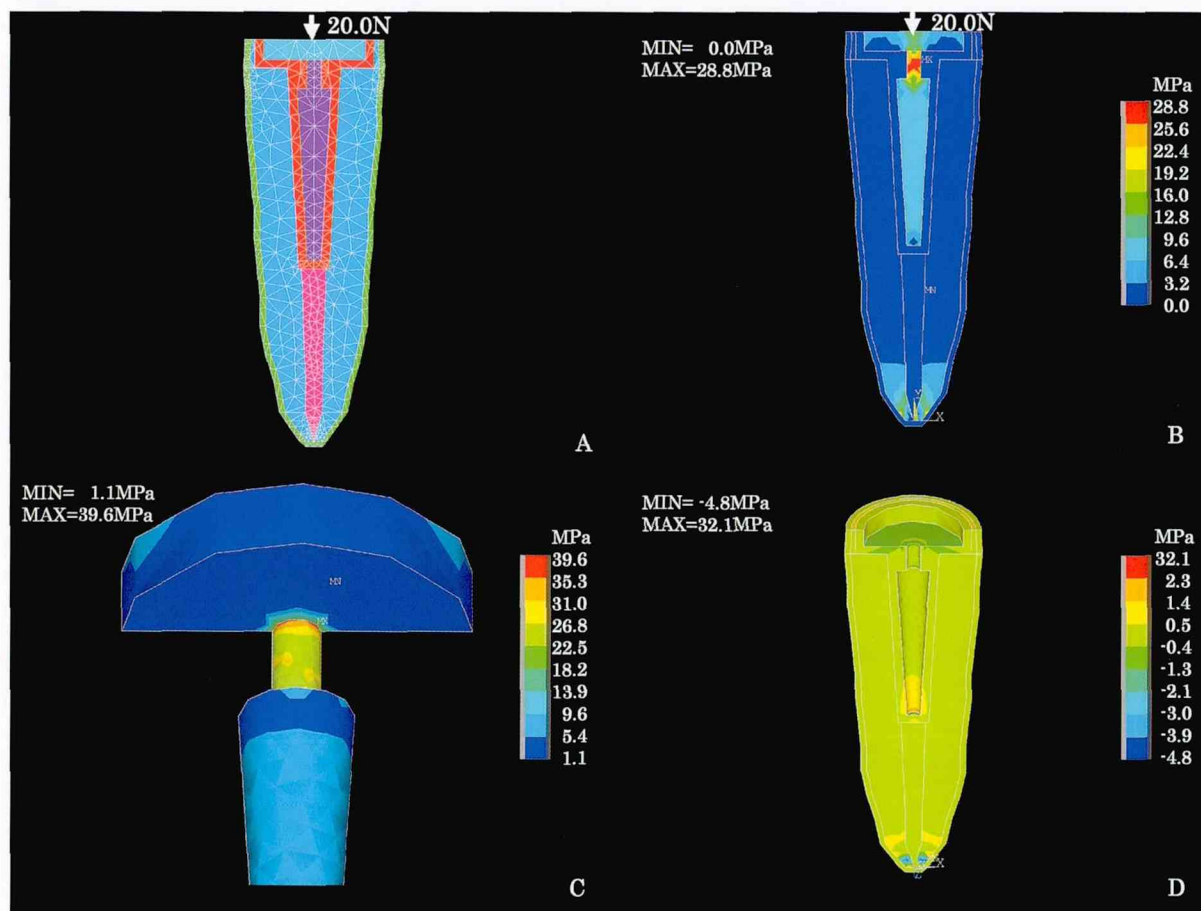


図4：咬合平面に垂直な支台歯に咬合圧20.0Nを加えた場合
 A：3次元モデルのメッシュ図（中央荷重）
 B：フォンミーゼス応力の分布図（中央荷重）
 C：ネック部拡大（フォンミーゼス応力，中央荷重）
 D：引張応力の分布図（中央荷重）

る要素を削除し解析を行った。

4) ルートキーパー®と象牙質の破折の判定

ルートキーパー®本体の破折の判定は，フォンミーゼス応力がルートキーパー®ポスト部（SUS 316L）の耐力175.0MPaを超えるか否かにより判定した。

人象牙質の引張強さは最小で約20.0MPa，最大で約85.0MPaであるという報告¹⁸⁾より，象牙質の破折の判定は引張応力が最小値の20.0MPaを超えるか否かにより判定した。

結 果

1. 歯軸の傾きが支台歯に及ぼす影響

まず，咬合平面に対して垂直の支台歯にルートキーパー®を装着し中央に20.0Nの荷重を加え検討を行った。図4Aは3次元モデルのメッシュ分割図を示し，図4Bはフォンミーゼス応力分布を

示す。そして図4Cはネック部の拡大を示す。応力はネック部（39.6MPa）と根尖（23.3MPa）に集中する傾向を示したが，ポスト部の耐力（175.0MPa）を超えることはなかった。図4Dはセメントならびに歯質部の引張応力の分布図を示す。この図から引張応力は根尖（3.2MPa）に集中する傾向を見せたが，象牙質の引張強さを超えることはなかった。

また，咬合平面に対して頬側に25°傾斜した支台歯に咬合平面と平行になる様屈曲した状態のルートキーパー®を装着し中央に20.0Nの荷重を加えた。図5Aは3次元モデルのメッシュ図を示し，図5Bはフォンミーゼス応力分布を示す。そして図5Cはネック部の拡大を示す。応力はネック部とポスト部の接合面（47.2MPa）に集中する傾向を示したが，ポスト部の耐力を超えることはなかった。図5Dはセメントならびに歯質部

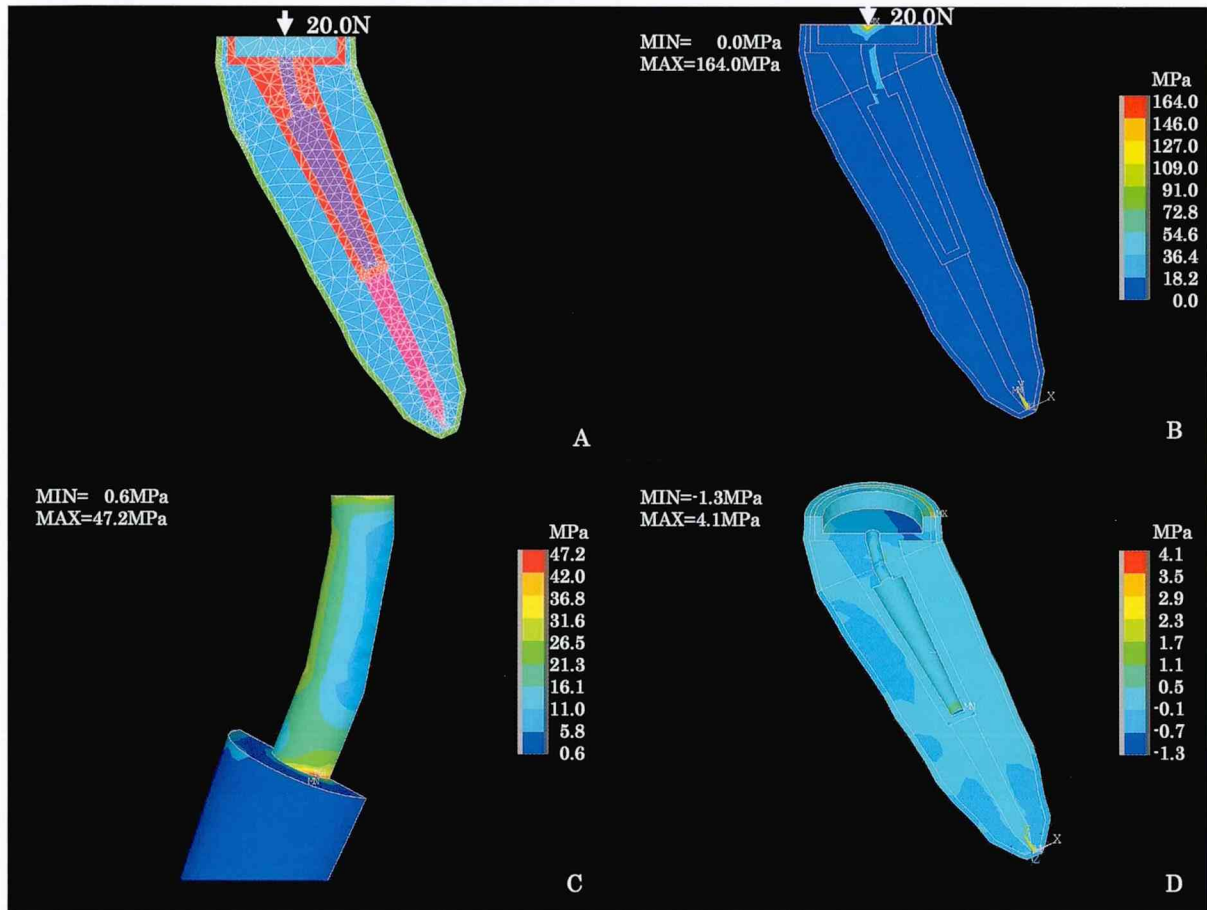


図5：咬合平面に対して25°傾斜させた支台歯に咬合圧20.0Nを加えた場合

- A：3次元モデルのメッシュ図（中央荷重）
 B：フォンミーゼス応力の分布図（中央荷重）
 C：ネック部拡大（フォンミーゼス応力，中央荷重）
 D：引張応力の分布図（中央荷重）

の引張応力の分布図を示す。引張応力は咬合面の舌側（4.1MPa）に集中する傾向を見せたが、象牙質の引張強さを超えることはなかった。

以上のように20.0Nの荷重をキーパー中央に加えた場合、支台歯の傾斜に関わらずルートキーパー®本体および歯根象牙質の破折にまで至る応力は発生しなかった。

2. ルートキーパー®単体の解析

ルートキーパー®単体の3次元モデルを作製し、ポスト部外周の全節点についてX軸およびY軸方向の変位を拘束した。ルートキーパー®の中央に荷重20.0Nを加え解析を行った。図6Aはフォンミーゼス応力の分布状態を示す。ネック部に広範囲で大きな応力（175.0MPa）が生じ、この値はポスト部の耐力と近似した値となった。図6Bはネック部の拡大を示すが、応力はネック部とポスト部の接合面の周囲に集中する傾向を示

した。

図7は20.0Nの片側荷重を加えた時のフォンミーゼス応力の分布状態を示す。応力は荷重点直下、ネック部とキーパーの境界、ネック部とポスト部の境界を越えた広範囲においてポスト部の耐力を上回る値を示した。そこでポスト部の耐力を超える最小の荷重量を求めるため、荷重量を変化させ繰り返し解析を行ったところ、図8A、Bに示すように僅か1.2Nでネック部に耐力を超える値が確認された。図9は万能試験機にてルートキーパー®に圧縮荷重を加えた時の試験片と荷重点の関係を示す。図10は荷重変位曲線を示すが、この荷重変位曲線から耐力相当荷重を実測したところおよそ1.7Nであった。なお耐力相当荷重は小田ら¹⁹⁾の実験結果を考慮し荷重-ひずみ曲線が、直線から分かれる点とした。

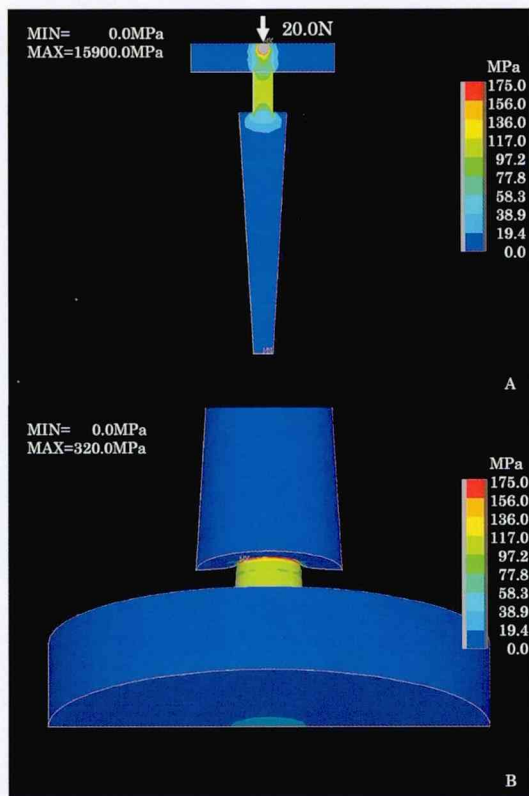


図6：荷重量20.0Nにおけるルートキーパー®単体の応力分布図

A：フォンミーゼス応力の分布図（中央荷重）

B：ネック部拡大（フォンミーゼス応力，中央荷重）

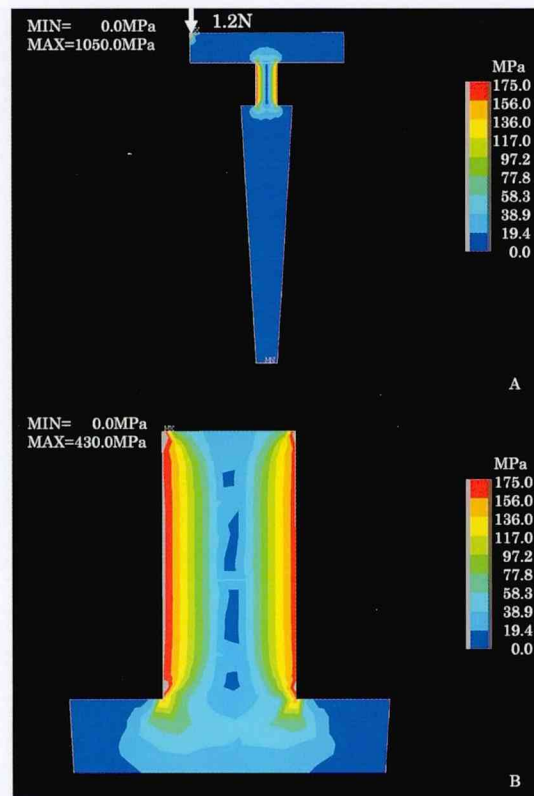


図8：荷重量1.2Nにおけるルートキーパー®単体の応力分布図

A：フォンミーゼス応力の分布図（片側荷重）

B：ネック部拡大（フォンミーゼス応力，片側荷重）

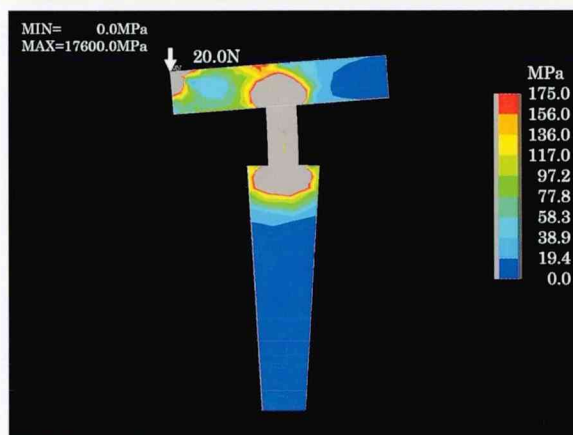


図7：荷重量20.0Nにおけるルートキーパー®単体の応力分布図（フォンミーゼス応力，片側荷重）

3. キーパー破折の解析

図11はルートキーパー®が支台歯に接着された状態をデンタル X 線装置（管電圧59.8kV，撮影時間0.17秒）にて撮影した結果を示す。X 線写真を詳細に観察したところ，セメントスペースはキーパー部で約50 μm ポスト部で約10～20 μm を示した。この結果を参考にポスト部が歯根象牙質に接触した状態を想定して，ポスト部側壁のセメ

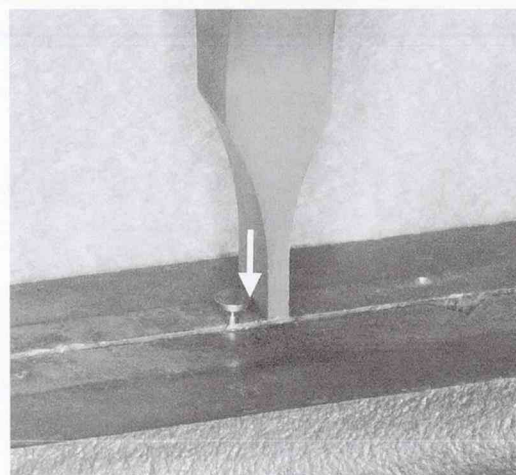


図9：ルートキーパー®の圧縮試験（矢印は荷重点を示す）

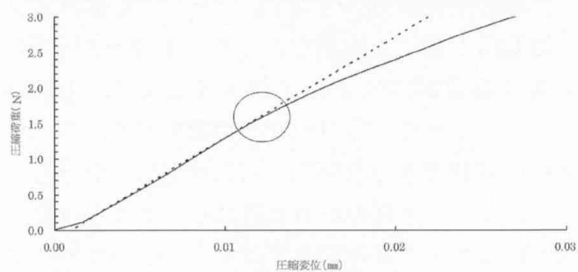


図10：荷重変位曲線（圧縮）

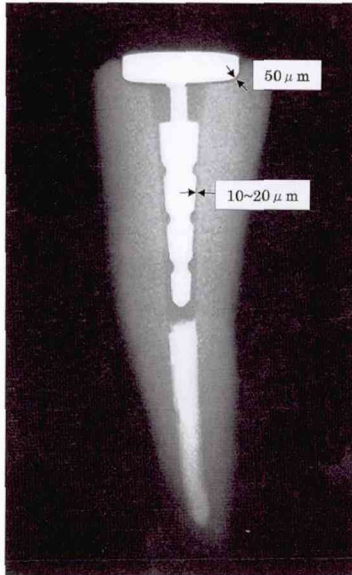


図11：ルートキーパー®が装着された支台歯のX線写真

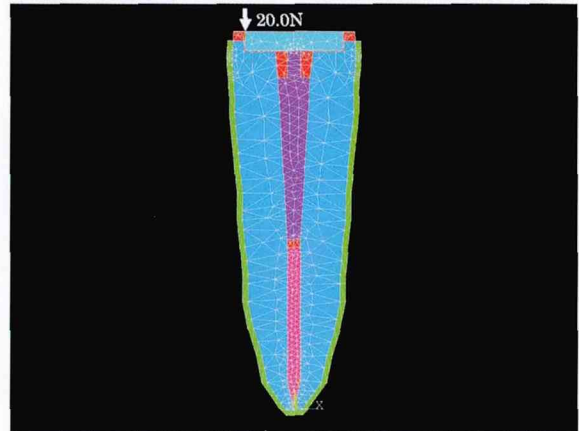


図12：ポスト部側壁のセメントスペースを除外したモデル図

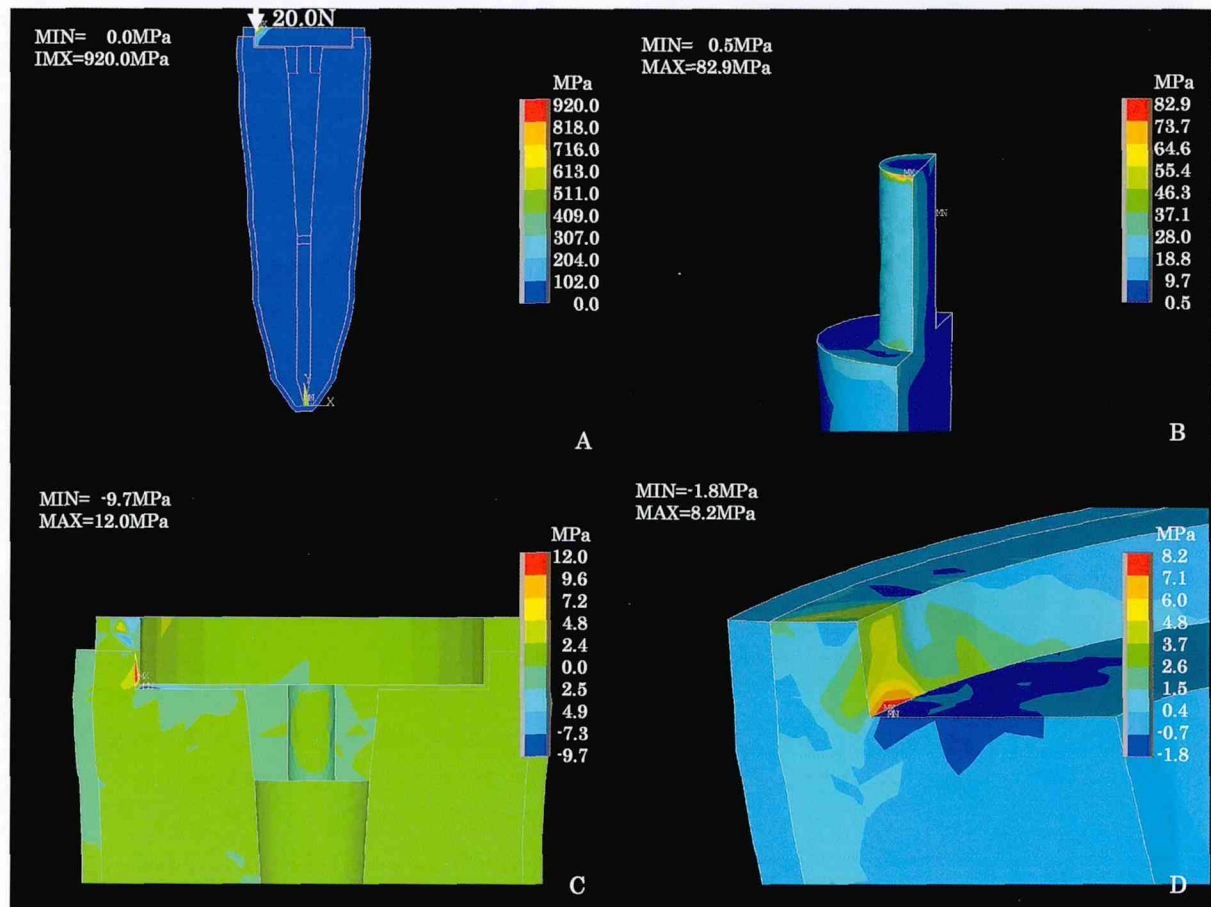


図13：咬合圧20.0Nにおける応力分布図

- A：フォンミーゼス応力の分布図（片側荷重）
- B：ネック部拡大（フォンミーゼス応力，片側荷重）
- C：咬合圧20.0Nにおける応力分布図（圧縮応力，片側荷重）
- D：咬合圧20.0Nにおける応力分布図（引張応力，片側荷重）

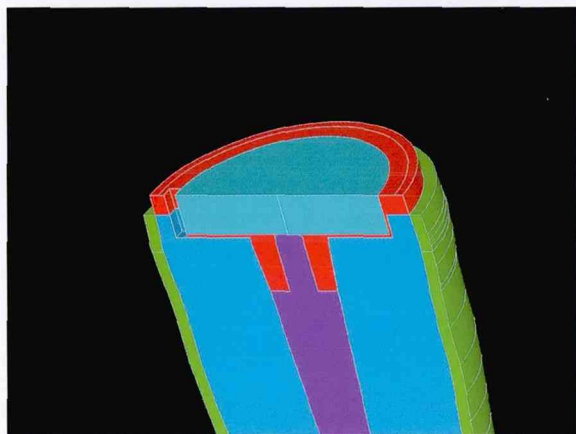


図14：キーパー部側面の接着材，象牙質の部分の要素を消去したモデル

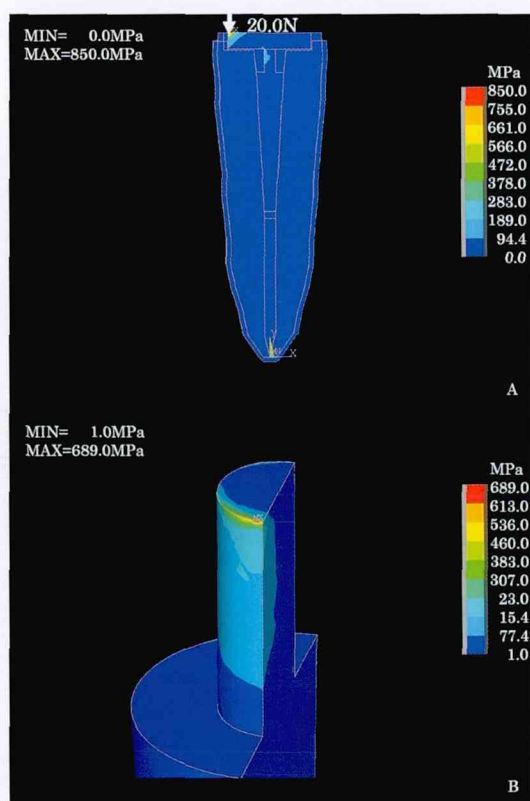


図15：咬合圧20.0Nにおける応力分布図
A：フォンミーゼス応力の分布図（片側荷重）
B：ネック部拡大（フォンミーゼス応力，片側荷重）

ントスペースが無い状態のモデルを図12に示すように作製した。そのモデルに片側荷重で20.0Nを加えたところ図13 Aに示すように荷重点直下に応力（920.0MPa）が集中した。また，図13Bに示すようにネック部に注目すると荷重側のキーパーとポストの接合面に応力が集中した。図13Cは圧縮応力にてスーパーボンド C&B®に集中する応力分布を示す。圧縮応力はキーパー部とスー

パーボンド C&B®の界面に集中（12.0MPa）する傾向を示した。この応力はスーパーボンド C&B®の耐力（84.0MPa）を越えるに至らなかった。図13 Dは引張応力の分布を示す。応力はキーパー下面と軸側の隅角に集中（8.2MPa）する傾向を示したが，この値は象牙質の耐力を超えなかった。さらにこの条件でスーパーボンド C&B®, 歯根象牙質で応力が集中した部分が破壊したことを想定して同部位の要素を消去し図14に示すような解析を行ったところ，図15A, Bに示すように片側荷重20.0Nの条件でネック部にルートキーパー®の耐力を大きく超える値が認められた。

考 察

即日的な治療を行うことができ傾斜した支台歯にも応用できるルートキーパー®は極めて有用であるが，キーパーとポスト部の接合部での破折が生ずる臨床例が見うけられる，本研究では3次元有限要素法を用いて，ルートキーパー®本体の破折の原因と予防方法について検討した。

1. 歯軸の傾きが支台歯に及ぼす影響

咬合面に対して垂直に植立した支台歯に20.0Nの荷重をキーパー中央に加えた場合，図4 C, Dに示したごとく，応力はネック部と根尖に集中したもののルートキーパー®, 歯根象牙質に対して直接破壊に至る応力は発生しなかった。それに対して25°歯軸が傾斜した条件では，図5 Cに示したごとく，ネック部とポスト部の接合面に応力が集中する傾向を示したが，ルートキーパー®の耐力を超えることはなかった。引張応力も図5 Dに示したごとく，咬合面の舌側に集中する傾向を示したが，象牙質の耐力を超えることはなかった。今回の実験で設定した傾斜角度25°は補綴処置で適応できる支台歯の傾斜角度の最大は25°~30°であるとの報告^{15,16,17)}を参考にしているが，下顎犬歯の傾斜角度は頬舌的に平均12°，近遠心的に平均6°^{20,21)}であるので，支台歯の傾斜が平均値に近ければ値はこの解析より軽減する事が考えられる。

実験結果から20.0Nの荷重をキーパー中央に加えた場合，支台歯の傾斜に関わらずルートキーパー®本体および歯根象牙質の破折にまで至る応力は発生しないので，支台歯に加わる力が直接

ルートキーパー®の破壊原因とならないことが確認された。しかしながら、臨床ではルートキーパー®の破折が生じる。そこで、ルートキーパー®がどのような場合に疲労破壊を起こすかを解明するために、ルートキーパー®単体の解析を行った。

2. ルートキーパー®単体の解析

ルートキーパー®自身の物性を求める目的でルートキーパー®単体の中央に荷重20.0Nを加えたところ、図6A, Bに示したごとくネック部の広範囲に大きな応力が生じ、この値は耐力と近似した値となり、ネック部とポスト部の接合面の周囲に集中する傾向を示した。また、20.0Nの片側荷重を加えると、図7に示したごとく荷重点直下とネック部とキーパーの境界、ネック部とポスト部の境界を越えた広範囲に耐力を上回る応力が生じた。この条件でポスト部の耐力を超える最小限の荷重量を求めると、図8A, Bに示したごとく僅か1.2Nでネック部に耐力を越える値が認められた。この様にルートキーパー®単体では120.0gほどの咬合力で塑性変形してしまう。この値は、予想よりもはるかに低いものであったため、確認試験を行った。その結果は図10に示したごとくおよそ1.7Nの荷重で耐力を超えることが判明した。したがって、ルートキーパー®は、歯質に接着されて初めて臨床で用いる剛性を有すると考えられる。

3. ルートキーパー®破折の解析

さらにルートキーパー®が破折を起こす誘因を検討するために、セメントスペースの確保に留意しないでルートキーパー®を装着した状態をデンタルX線装置にて撮影し、X線写真を詳細に観察したところ、図11に示したごとくセメントスペースはキーパー部で約50 μ m、ポスト部で約10~20 μ mを示した。本研究で設定したセメントスペースは、臨床で撤去されたクラウンのセメントスペースが咬合面中心溝部で約200 μ m、咬頭斜面部で約80~120 μ m、頬舌側で約30~50 μ m、歯頸部で約70~100 μ mであったという報告²²⁾と、既成ポストであり、専用の根管形成器具が存在しないことを加味して300 μ mとしたが、セメントスペースを考慮せずにルートキーパー®を装着するとセメントスペースが少なく、また根管とポスト部が接触している部位が存在する可能性が考えられる。これらの状況から、最初のモデルで設定

したセメントスペースがポストの応力集中を緩和しているものと考えられた。そこで、図12に示すごとくポスト部側壁のセメントスペースが無いモデルを作製し解析を行った。その結果、片側荷重で20.0Nを加えたところ、図13A, Bに示したごとく荷重点直下、ネック部荷重側のキーパーとポストの接合面に応力が集中した。この値はセメントスペースがある条件と比べて2倍の値を示したが、疲労破壊にまで至る応力値ではなかった。しかしながら、咬合力が2倍の40.0N(約4.0kg)になれば、ポストの耐力とほぼ同一の応力となる。临床上この程度の咬合力が短期間かかることは容易に想像できる。

さらに圧縮応力にてスーパーボンドC&B®に集中する応力分布を解析したところ、図13Cに示したごとくキーパー部とスーパーボンドC&B®の荷重点直下の界面に集中する傾向を示したが、この応力もスーパーボンドC&B®の耐力を超えなかった。一方、象牙質では図13に示したごとくキーパー下面と軸側の隅角に応力が集中する傾向を示したが、象牙質の引張強さは超えなかった。しかしこの値も咬合力が2.5倍になれば、象牙質の破壊が生じるものである。そこで、スーパーボンドC&B®, 歯根象牙質の応力が集中した部分が破壊したことを想定して、図14に示したごとく要素を消去し解析を行ったところ、片側荷重20.0Nの条件で、図15A, Bに示すがごとくネック部にルートキーパー®の耐力を大きく超える値が認められた。この様に短期間の過なる咬合力が原因でキーパー部側面の接着材および象牙質の破壊が起こると、適正な咬合力でも片側に咬合力が加わるとネック部に疲労破壊が起こり、破折を引き起こす可能性があることが示唆された。

以上の考察から、ルートキーパー®は単体では片側荷重で僅か120.0gで変形する様な構成要素であり、歯根象牙質に適切に接着されてはじめてその機能を発揮することが判明した。

ルートキーパー®を用いる際の適切な条件として、まずセメントスペースが挙げられる。セメントスペースは築造窩洞形成時に残存する歯質の厚さを考慮しながらなるべく広く設定することが望ましい。本研究でのセメントスペースの実験値300 μ mはルートキーパー®が破折しにくい条件と考えられた。次に、片側荷重時にキーパーと接着

材、それに対応した象牙質に応力が集中するので、この部分が破壊されない様に厚さを確保する必要がある。そして、形成時に歯根象牙質内のクラック等を十分に観察し、接着には接着性の高い接着材を用いる必要がある。さらに、実験結果からほとんどの応力集中がネック部とキーパー、ネック部とポスト部の移行部に発生するので、移行部の形態を応力が集中しにくい様に隅肉などを付与するのも破折防止の一助となると考えられた。しかしながら、ルートキーパー®が強靱になれば歯根象牙質が破折する可能性も大きくなるので、歯根象牙質の状態も考慮しながら両者が破壊されない条件を検討する必要がある。

結 論

ルートキーパー®の破折について3次元有限要素で力学的解析を行ったところ、以下の結論に達した。

1. 支台歯の傾斜に関わらず、セメントスペースがある場合、ルートキーパー®本体および歯根象牙質が破折に至る応力は発生しないことが判明した。
2. 部分的にポストが象牙質に接触した状態で、キーパー部側面の接着材や象牙質の破壊が存在すると、僅かな片側荷重で疲労破壊が起こることが判明した。
3. ルートキーパー®の破折の予防方法は、歯質の厚さを考慮しつつポスト部が象牙質に接触しないようにスペースを付与した築造窩洞を形成する必要がある。

以上の結論から、支台歯の歯質の厚さを考慮しつつポスト部が象牙質に接触しないようにスペースを付与した築造窩洞を形成することにより、ルートキーパー®の破折を予防できることが示唆された。

謝 辞

稿を終えるにあたり、懇切なる御指導、ご校閲を賜った松本歯科大学歯科補綴学第1講座 黒岩昭弘教授に謹んで感謝の意を表します。併せて、本研究を遂行するに際し、数々の御助言を頂きました松本歯科大学歯科理工学講座 伊藤充雄教授ならびに永沢 栄准教授に心より謝意を表します。また、研究の円滑な進展のため特別な御配慮

を頂きました松本歯科大学大学院歯学独立研究科 顎口腔機能制御学講座臨床機能評価分野 加藤一誠教授ならびに松本歯科大学歯科補綴学第1講座の皆様を重ねて厚く御礼申し上げます。

参 考 文 献

- 1) 田中貴信 (1992) 磁性アタッチメント-磁石を利用した新しい補綴治療, 3-39, 医歯薬出版, 東京.
- 2) 水谷 紘, 石幡伸雄, 中村和夫 (1994) 磁性アタッチメントを用いた部分床義歯, 9-17, クインテッセンス株式会社, 東京.
- 3) 水谷 紘, 中尾勝彦 (2006) マグネットデンチャーの臨床術式, 10-1, クインテッセンス株式会社, 東京.
- 4) 藍 稔, 平沼謙二 (2000) 磁性アタッチメントの臨床応用 国際シンポジウム抄録版, 37-43, クインテッセンス出版, 東京.
- 5) 細見洋泰 (2001) 根面キャップ (メタルでの根面板) を使わないキーパーの接着方法. ザ・クインテッセンス 20: 1889-95.
- 6) 藍 稔, 平沼謙二 (2000) 磁性アタッチメントの臨床応用 国際シンポジウム抄録版, 70-1, クインテッセンス出版, 東京.
- 7) 矢野恒太記念会 (2007) 日本国勢図会 2007/08年度版, 43-51, 矢野恒太記念会, 東京.
- 8) 藍 稔, 五十嵐順正, 平井敏博, 宮田孝義 (1997) スタンダード部分床義歯補綴学, 1-2, 学建書院, 東京.
- 9) 藍 稔, 平沼謙二 (2000) 磁性アタッチメントの臨床応用 国際シンポジウム抄録版, 66-73, クインテッセンス出版, 東京.
- 10) 上條雍彦 (1962) 日本人永久歯解剖学, 1版, 58-64, アナトーム社, 東京.
- 11) CAE で使える材料物性, <http://www.labnotes.jp/pdf/2/physical%20properties.pdf>, 2004/7/1.
- 12) 谷野之紀, 黒江敏史, 佐藤範幸, 立花佳奈, 三田村好矩, 大畑 昇 (2004) 3次元有限要素法を用いた支台築造の応力解析 -ファイバーポストおよび各種金属ポストの弾性係数の違いによる影響-. 北海道歯誌 25: 10-28.
- 13) 井上義久, 黒岩昭弘, 緒方 彰, 鈴木 章, 大野孝文, 五十嵐順正, 大島和成 (1998) 臼歯部中間欠損症例における可撤性ブリッジの咬合力配分 第1報. 支台歯および支持組織における二次元有限要素法による実験的検討. 補綴誌 42: 823-31.
- 14) 前田芳信 (1998) 力と顎口腔系-生体力学からみた機能と形態. 阪大歯学誌 43: 41-9.
- 15) Tylman SD (下総高次訳, 1982) ティルマン クラウン・ブリッジ (7th ed.), 2-3, 医歯薬出

- 版, 東京.
- 16) 芝 燐彦, 黒岩昭弘, 尾関雅彦 (2007) 新部分床義歯学入門, 6, 医学情報社, 東京.
- 17) Korber K (田端恒雄, 他訳, 1984) ケルバーの補綴学 第2巻, 98-9, クインテッセンス出版, 東京.
- 18) 礪波健一, 黒崎紀正, 高橋英和, 西村文夫 (1999) 人歯象牙質の引張強さ. 歯材器 **18** 33回特別: 98.
- 19) 小田 豊, 松野修次, 櫻井善宣 (1984) 歯科鑄造用合金の引張, 圧縮, 曲げ降伏値について. 歯材器 **3**: 465-70.
- 20) Ash MM Jr (小林茂夫訳, 1990) ホイラー歯の解剖・生理・咬合学, 369-74, 西村書店, 新潟.
- 21) Kraus BS, Jordan RE and Abrams L (久米川正好訳, 1973) 咬合と歯の解剖, 216-25, 医歯薬出版, 東京.
- 22) 吉田恵夫, 井上昌幸, 国島康夫 (1959) 全部鑄造冠及び3/4冠の適合状態について. 補綴誌 **3**: 259-64.