原著論文

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

岡本 和彦 猪野 照夫 天野 秀雄
荒井 学 鈴木めぐみ 曾根 峰世*

Effect of Remaining Coronal Tooth Structure and Luting Cement
on Stress Distributions in Dentin of Abutment Teeth
Restored with a Post-and-Core

Okamoto Kazuhiko, Ino Teruo, Amano Hideo,
Arai Manabu, Suzuki Megumi and Sone Mineyo*

歯科補綴学的意義

無髄歯は、支台築造後に補綴処置が行われるが、支台築造歯では、築造体の脱離や歯根破折を生じることが多い。そこで、支台築造歯の象牙質と合着用セメント層内の応力分布について三次元有限要素法を用いて検討した。その結果、支台築造歯では、歯冠部残存歯質の有無と合着用セメント層が歯根部象牙質の応力分布に影響を及ぼすことが示唆された。

抄 録

目的：本研究の目的は、歯根破折を惹起するといわれるポストコアで支台築造された歯における歯冠部残存歯質の有無と合着用セメント層が歯根部象牙質の応力分布に及ぼす影響について解明することである。

方法：メタルを用いたポストコアにより支台築造を行い、陶材焼付鑄造冠を装着した上顎中切歯について、歯冠部残存歯質の有無、そして、合着用セメント層の材料物性値をMMA系レジンセメントあるいはヤング率を1.00 MPaとして設定した場合について、三次元有限要素法を用いて歯根部象牙質内に生じる応力分布、さらに合着用セメント層内における応力の方向について解析した。

結果：歯根部象牙質および合着用セメント層内のvon Mises応力は、セメント層がMMA系レジンセメントであると、歯冠部残存歯質の有無にかかわらず唇舌的に対称的な応力分布を示したが、低ヤング率の場合では、歯冠部残存歯質の有無によって応力分布が変化し、歯冠部残存歯質のないほうが唇舌的に非対称的な応力分布を示した。しかし、セメント層内の応力分布は、歯冠部残存歯質のないほうが、セメント-象牙質界面に対して垂直な引張応力の発現する範囲が広がった。

結論：歯根部象牙質内の応力分布は歯冠部残存歯質の有無によって、また、合着用セメントの物性によって変化することが示唆された。

和文キーワード

歯冠部残存歯質、支台築造、歯根破折、応力解析、三次元有限要素法

明海大学歯学部歯科補綴学講座（主任：天野秀雄教授）

*明海大学大学院歯学研究科歯学専攻（指導：天野秀雄教授）

Department of Prosthetic Dentistry, Meikai University School of Dentistry (Chief: Prof. Amano Hideo)

*Meikai University Graduate School of Dentistry (Director: Prof. Amano Hideo)

受付：2003年8月21日/受理：2004年6月18日

Received on August 21, 2003/Accepted on June 18, 2004

I. 緒 言

歯内療法処置が施された無髄歯は、支台築造によって歯冠形態を回復したのち補綴処置が行われている。このような支台築造を施した支台歯では、ポストコアとともにクラウンが脱離、あるいは歯根に破折を生じることがある^{1,2)}。支台築造が歯根破折に及ぼす影響について、Kantor ら³⁾は、ポストは歯根の破折抵抗を増すことができ、また、花村⁴⁾によって、失活歯にポストを用いた支台築造を行った場合には、歯質を補強することができることが報告されてきた。

しかし、近年では残存歯質の有無、あるいは築造窩洞の形態によっては、支台築造体が象牙質内での局所的な応力集中を招くことが考えられており、ポストコアによる支台築造は、歯根破折の防止には有効でないことが報告されている⁵⁻⁷⁾。

一方、支台築造法に関する研究は、天然歯や模型歯を用いた破壊試験⁸⁻²¹⁾による強度の比較あるいは、光弾性試験²²⁻²⁵⁾や有限要素法²⁶⁻³¹⁾による象牙質内の応力解析について行われてきた。なかでも、有限要素法は、形態、材料などの条件を容易に設定でき、応力解析の結果が視覚的に捉えられることなどの利点があり、歯根破折を防止するための支台築造法を解明するのに有効な方法であると考えられる。従来の有限要素法では、二次元的解析^{26-28,31)}によるものが多かったが、コンピュータの発達とともに三次元有限要素法が用いられるようになり、ポストの形状や物性による影響^{29,30)}について報告されるようになった。しかし、抜去歯による破壊試験で歯冠部の残存歯質の有無が歯根破折防止のために推奨^{9,10,12,15,21,24,32)}されているが、有限要素法を用いて歯冠部残存歯質の有無が歯根部象牙質の応力分布に及ぼす影響について応力解析を行った報告はみられない。そこで、歯根破折の生じにくい築造窩洞の形態を解明することを目的として、支台築造歯の歯冠部残存歯質の有無と合着用セメント層が歯根部象牙質の応力分布に及ぼす影響について、三次元有限要素法を用いて解析検討を行った。

II. 研究方法

1. 解析モデルの作成

解析モデルは、上顎中切歯の解剖学的形態ならびに寸法については先人らの報告³³⁾を参考とし、歯内療法処置後、ポストコアで支台築造を行い、陶材焼付鑄造冠を装着した支台歯モデルと周囲支持組織を含めた三次元有限要素モデルを作成した。なお、モデルは総節点数 5,404、要素数 4,517 とし、鏡像対称形のうち片側を対象とした (図 1)。

2. 解析条件

解析条件は、歯冠部残存歯質の高さが異なる 2 種類として、歯冠部の歯質を歯頸部から 3.3 mm 残存させたモデル 1、歯頸部まで除去され歯冠部に歯質が残存しないモデル 2 を設定した (図 2)。なお、ポストコアは歯根長 2/3、幅径は解剖学的歯頸線の高さで歯根幅径 1/3 を設定した。また、ポストコア装着における合着用セメント層の影響について検討するため、ポストコア-象牙質間に介在するセメント層の材料定数値について、MMA 系レジンセメントのほかにポストコアの変位が大きくなる状態を想定するため、セメント層のヤング率を 1.00 MPa に設定した。なお、各種材料定数^{26,34,35)}は表 1 に示すとおりである。

荷重は、各モデルの切縁中央部に歯軸に対して舌側 45° 方向から静止荷重 50 N を一点荷重として加えた。なお、拘束条件は、歯槽骨の底面を XYZ 方向および近遠心側面を X 方向に固定し、鏡像対称面について

表 1 Mechanical properties of materials
各種材料定数

Material	Young's modulus (MPa)	Poisson's ratio
Porcelain	69,000	0.28
Metal (gold alloy)	95,000	0.33
Dentin	14,000	0.15
Cortical bone	20,000	0.30
Sponge bone	1,400	0.30
Periodontal ligament	10	0.49
Gutta-percha	100	0.39
MMA resin cement	4,100	0.35
Cement with lower Young's modulus	1	0.35

は近遠心方向だけを固定した (図 1)。

3. 応力解析

解析には、三次元線形弾性体有限要素法プログラム³⁶⁾を用い、ワークステーション (model 712/80, Hewlett Packard) で行い、歯根部象牙質ならびに合着用セメント層に生じる応力を von Mises 相当応力として算出、検討を行った。

III. 結 果

1. 歯根部象牙質内の応力分布

1) MMA 系レジンセメントで着合した場合

象牙質内の von Mises 相当応力は、モデル 1, モデル 2 とともに、ほぼ同様な分布傾向を示した。両モデルにおける相当応力の応力分布は、唇舌側的に対称な分布を示しており、歯根部象牙質の中央における唇舌側の最表層部に応力が集中し、隣接面の応力値は低かった。そして、ポスト先端の隣接面方向にも応力集中が認められたが、唇舌側の最表層部に生じた応力に比較して低い値を示した (図 3)。また、最大応力値は、モデル 1 で 44.24 MPa, モデル 2 で 44.31 MPa であり、モデルによる差はほとんどみられなかった。

2) セメント層を低ヤング率とした場合

合着用セメントのヤング率を 1.00 MPa にした場合の応力分布は、MMA 系レジンセメントの場合と異なる分布傾向を示し、また、モデル 1 とモデル 2 とで差がみられた。モデル 1 では、MMA 系レジンセメントの場合と同様に、歯根部象牙質の中央における唇舌側の最表層部に応力が集中していたが、クラウン辺縁部の唇側ショルダ一部で最大応力を示した。また、ポスト先端部の隣接面方向における応力集中が増大した。これに対してモデル 2 では、MMA 系レジンセメントの場合に比較して歯根唇舌側最表層部における応力集中範囲が減少した。そして、隣接面方向に応力の増大が認められ、特にポスト先端部の隣接面部で最大応力を示した (図 4)。

また、最大応力値についてみると、モデル 1 は 88.13 MPa を示したのに対して、モデル 2 では 45.98 MPa を示し、モデル 1 > モデル 2 であった。

2. セメント層における応力分布

セメント層の剝離、破壊範囲について検討するため、セメント層のヤング率を MMA 系レジンセメントとした場合におけるセメント層と象牙質との界面に生じる応力を平行ならびに垂直な応力に分解した。その結果、界面に平行な剪断応力、垂直な引張応力の応力分布は、モデル 1 と 2 で差が認められた。剪断応力については、各モデルともにポスト先端部の舌側部に最大応力値が発現し、モデル 1 で 18.04 MPa, モデル 2 で 18.03 MPa であり、モデル間で顕著な差はみられなかった (図 5)。また、引張応力については、各モデルともに舌側歯頸部に応力が集中しており、その最大応力値は、モデル 1 で 35.56 MPa, モデル 2 で 27.44 MPa であり、モデル間で顕著な差はみられなかった (図 6)。しかし、応力分布ではモデル 1 で比較的大きな引張応力が舌側根面ショルダ一部に限局しているのに対して、モデル 2 では、根面部舌側半分からポスト舌側の周囲へと及んでいた。

IV. 考 察

1. 研究方法について

失活歯に対する支台築造時のポストは、残存歯質を補強する^{3,4)}といわれてきた。しかし、近年では、支台築造に残存歯質の補強効果はなく、築造窩洞の形態によっては応力集中による歯根破折を惹起させる⁵⁻⁷⁾といわれている。そのため、歯根破折の生じにくい支台築造法ならびに支台歯形態について、天然歯や模型歯を用いた破壊試験⁸⁻²¹⁾、さらに歯根内部に生じる応力分布について調べるために光弾性実験²²⁻²⁵⁾や有限要素法²⁶⁻³¹⁾を用いた象牙質内の応力解析が行われてきた。天然歯を用いた破壊試験は試料が実際の歯であり、そこから得られた結果は有効であると考えられるが、象牙質内部の応力分布を調べることはできず、近年では抜去歯の入手が困難となってきた。また、光弾性実験では象牙質内部の応力分布を調べることはできるが、各構成要素の物性を自由に設定することが困難である。これに対して、有限要素法は、形態、材料などの条件を容易に設定でき、また、解析結果が視覚的に捉えられることから、歯根部象牙質内の応力分布を解明するのに有効な方法であると考えられる。しかし、二次元有限要素法では、解析対象が平面応力とな

り、また、筒状の形態をした歯根の一断面についてモデルを作成し、応力解析をすることは構造に著しい差を生じることなどの欠点がある。そのため、臨床あるいは破壊試験で観察される上顎中切歯の歯根破折における隣接面から唇側^{8~10,13)}、あるいは唇側歯頸部から近遠心面を含んでポスト先端部¹⁶⁾に走行する破折線と、先人らの有限要素法の解析結果での解析面とが必ずしも一致していない。これに対して三次元有限要素法では、モデルの作成は複雑であるが、歯根に近似した筒状のモデルを作ることができ、かつ象牙質内部における任意部位の応力解析が可能である。これらのことから、歯根破折の解明にあたり象牙質内の応力分布について、三次元的応力解析を行うことが有効であると考えられた。そのため、本解析では、三次元有限要素法を用い、歯冠部残存歯質の有無が歯根部象牙質および合着用セメント層に生じる応力分布に及ぼす影響について検討を行った。

2. 解析結果について

1) MMA 系レジンセメントにおける象牙質内応力分布について

von Mises 相当応力は、モデル 1 と 2 で同様な応力分布を示し、歯根部象牙質中央の唇側ならびに舌側方向における最表層部に最大応力が認められた。そして、最大応力発現部位である歯根部中央の舌側最表層部における応力の方向については、主応力で歯冠側方向、剪断応力では象牙質内側方向に生じていた。

材料の破壊に関しては、おもな説として最大主応力説、最大剪断応力説、剪断歪みエネルギー説があり、最大主応力説は脆性材料、最大剪断応力説ならびに剪断歪みエネルギー説は延性材料によく適応する³⁷⁾といわれている。今回の解析では、モデル 1, 2 ともに、最大主応力、最大剪断応力の発現した部位は歯根部象牙質中央の舌側最表層部であり、この部位からの歯根破折を生じる可能性が考えられる。

歯冠部歯質を残存させ支台築造を行った実験のうち、Ho ら²⁹⁾は、上顎中切歯について三次元有限要素法を用い応力解析を行った結果、唇側歯根部の歯頸側 1/3 に応力集中がみられたことを報告しており、今回の解析結果とほぼ一致していた。また、Barkhordar ら⁹⁾は、抜去した上顎中切歯を用いた破壊試験において、歯冠部歯質のない歯では隣接面から歯根部唇側へ

の斜破折を生じるが、歯冠部歯質が残存し歯冠補綴物で被覆した歯では、歯根部象牙質中央の唇舌側に水平破折線が多く観察されたことを報告している。これらの破折線は、本解析における最大主応力、最大剪断応力の応力集中部位に近似していた。

歯冠部歯質がないモデル 2 でも、モデル 1 と同様な応力分布を示した。歯冠部歯質がない抜去歯にポストコアによる支台築造後の破壊試験による破折様相では、歯頸部隣接面内側から唇側中央部にわたる歯根破折線が生じており^{8,9,20)}、本解析では、これらの部位に応力集中を観察することはできなかった。これに対して、梶原ら¹⁶⁾は、エポキシ模型歯に対してメタルコアによる支台築造を行った場合、歯冠部残存歯質の有無にかかわらず、象牙質の唇側歯頸 1/3 と舌側根尖 1/3 でポスト先端部を含んだ斜破折を生じることを報告している。

歯根破折が応力集中部位から生じるものと考えるとき、歯冠部残存歯質がある場合には、本解析における応力集中部位と抜去歯の破壊試験における破折線とは一致したが、歯冠部残存歯質がない場合には、異なる結果となった。しかし、エポキシ模型歯を用いた場合には歯冠部残存歯質の有無にかかわらず、象牙質の唇側歯頸 1/3 と舌側根尖 1/3 でポスト先端部を含んだ斜破折線¹⁶⁾と本解析における応力集中部位とが、ほぼ近似していた。Tjan ら⁸⁾、Barkhordar ら⁹⁾は、ポストコアの合着に際し、リン酸亜鉛セメントで合着していることから、接着性レジンセメントを用いて合着していることから、接着性レジンセメントによりポストが確実に合着、象牙質と一体化されるならば、セメント-象牙質間の界面が固着状態としている本解析結果における最大応力発現部位が斜破折線に近似するものと考えられる。

支台築造を行いクラウンが装着された歯は、歯質、セメント、ポストコア、クラウンの複合体である。歯根破折は、応力集中部位、もしくは脆弱な部分であるセメント層の破壊、あるいは歯質、ポストコアとの界面で生じており、なかでも歯根破折の初期には、合着用セメント層の破壊が生じている^{15,22,38,39)}。

本解析における有限要素法の各要素間は、完全な固着状態として設定されており、合着用セメント層の剝離を考慮していないため、抜去歯を用いた報告と異なる

る応力分布を示したものと思われた。したがって、象牙質、セメント層、そしてポストコアの一体化の有無は、象牙質内応力分布に影響を及ぼし、特に歯冠部残存歯質のない場合には、その影響が著明であるものと考えられた。

2) セメント層を低ヤング率とした場合の象牙質内応力分布について

象牙質、セメント層、ポストコア、これら一体化の有無は象牙質内応力分布に影響を及ぼしており、特に歯根破折に先立ち、セメント層の剝離あるいは破壊が生じている^{15,22,38,39)}ため、支台築造歯の応力解析では合着用セメント層の剝離を考慮する必要があると思われた。そこで、セメント層の剝離した状態、すなわち、ポストコアの変位が大きく生じる状態における象牙質内に発現する応力集中部位について把握することは、初期亀裂発生部位を考察するうえで意義あるものと考えられた。そのため、セメント層の材料定数値を低ヤング率：1.00 MPa²⁶⁾、ポアソン比：0.35 に設定した。その結果、モデル 1 では、歯冠部象牙質の唇側歯頸ショルダー部、モデル 2 ではポスト先端部の象牙質隣接面内側に応力集中がみられ、最大応力値がモデル 2 に比較してモデル 1 で約 2 倍の大きさを呈していた。破壊試験において、歯冠部残存歯質の有無は支台歯の破壊強度に影響^{11,12,15,17)}を及ぼし、歯冠部残存歯質を有する場合に破折強度は高くなるが、本解析ではモデル 1 は 2 に比較して最大応力値は大きな値を示した。これは、モデル 1 における最大応力発現部位が唇側歯冠部残存歯質の厚みが薄く、また、補綴物辺縁の隅角部となることで切り欠き効果が発現しやすい部位であることに起因しているものと思われた。さらに、今回の解析では、ポスト全周のセメント層を低ヤング率とすることによりポスト全体の変位が大きく生じ、同部位の応力集中が助長され、モデル 2 に比較して大きく発現したものと考えられた。

応力分布では、モデル 1 で歯冠部象牙質の唇舌側歯頸ショルダー部ならび歯根部象牙質中央の唇舌側最表層部に応力集中がみられた。Milot ら¹³⁾はアクリル樹脂の上顎中切歯にポストコアで支台築造を行い、支台歯形成がベベル形態の場合、歯根部象牙質の唇舌側歯頸側 1/3 に水平破折線を生じるが、ショルダー形態では舌側歯頸部から斜破折線が生じていることを報告している。今回の解析では、モデルの辺縁をショルダー

形態に設定しており、舌側歯頸部の応力集中部位は、Milot らの報告する破折線と一致するものと思われる。これに対してモデル 2 では、ポスト先端部の象牙質隣接面内側に応力集中がみられ、歯冠部残存歯質を有するモデル 1 と応力分布傾向が異なった。

歯冠部残存歯質がない支台歯に対して鑄造ポストを装着した場合には、歯冠部残存歯質が残存している場合と比較して破折強度は小さく¹¹⁾、象牙質歯頸部隣接面から唇側歯根部表層に走行する斜破折¹⁰⁾が観察されている。このような歯根破折を生じるには、歯頸部隣接面における応力集中が考えられるが、本解析における歯冠部残存歯質がないモデル 2 では、歯頸部隣接面に応力集中が観察されなかった。

支台築造歯の破壊試験では、抜去歯を試料とし、ポストコアおよびクラウンをセメント合着した支台歯に側方荷重を加えていることが多い。抜去歯を用いた支台築造歯に繰り返し荷重を加えた報告では、荷重側歯頸部のセメント層と象牙質との界面に剝離、また、微少漏洩が生じている¹²⁾。したがって、歯根破折までに生じるセメント層の剝離範囲が広く、応力伝達は本解析よりも狭くなるため、セメント層を介したポスト—象牙質間における応力伝達様相の相違が原因であると思われた。これらのことから、合着用セメント層によるポストと象牙質との接着状態が歯根部象牙質内の応力分布に影響を及ぼしており、接着が完全であれば歯冠部残存歯質の有無は、象牙質内の応力分布に及ぼす影響は小さいが、セメント層の剝離あるいは破壊を生じた場合には、歯冠部残存歯質の有無は象牙質内の応力分布に大きな影響を及ぼすものと考えられた。

3) セメント層における応力分布について

ポストコアによる支台築造歯はメタル、象牙質、合着用セメントの複合体である。これらの構成材料のうち象牙質の機械的性質として引張強さ、剪断強さは、合着用セメントの象牙質に対する接着強さよりも強い⁴⁰⁾。合着用セメントの接着力に関しては、一般に引張接着強さと剪断接着強さについて報告^{41,42)}されている。そのため、本解析ではセメント層の剝離や破壊に影響を及ぼす合着用セメント層内に発現する応力について検討するため、セメント層内の主応力を象牙質との界面に対して垂直ならびに平行な応力に分解した。その結果、界面に垂直な引張応力の発現部位は、モデル 1 では、舌側ショルダー部に限局しているのに対し

て、モデル2では、歯頸部舌側根面部からポストの舌側面へ及んでいた。これに対して、界面に平行な剪断応力については、モデル間で顕著な差はみられなかった。

抜去歯を用いた支台築造歯の光弾性実験において神山²²⁾は、リン酸亜鉛セメントで合着したポストコアに口蓋側方向から連続荷重を加えると、セメントの剝離が起こることによって口蓋側の冠マージン相当部から築造体の脱離が生じると報告している。また、Libman ら¹⁵⁾は、歯根破折の原因としてセメント層の破壊を挙げており、今回の解析におけるセメント層内の最大引張応力の発現部位と、繰り返し荷重下でのセメント剝離部位は一致しているものと考えられる。また、Versluis ら⁴³⁾は、剪断接着強さ測定時の象牙質破壊について、セメント層の破壊による応力分布の変化が象牙質の凝集破壊を引き起こすと報告している。これらのことから、荷重が加わった場合において、象牙質と合着用セメント層での剝離、あるいは破壊が生じ、歯根破折にいたるものと考えられ、セメント層内に生じる応力解析が重要であると思われる。

リン酸亜鉛セメントでの合着力は、剪断接着強さよりも引張接着強さのほうが小さく⁴⁴⁾、MMA 系レジンセメントにおいても、象牙質に対する剪断接着強さが、23.2~34.8 MPa であるのに対して引張接着強さは 14.0 MPa^{38,39)}と小さく、引張応力に対して剝離を生じやすいものと思われる。

本解析では 50 N の荷重を設定したが、両解析モデルとも舌側ショルダー部に最大引張応力が 27.44~35.56 MPa 発現していた。最大引張応力は、上記の接着強さよりも大きな応力を生じているが、一般にセメントの合着力として報告されている値は、試料の接着面積に対する荷重量で算出された平均値であり、接着の破壊の起始点における応力は、これらの値よりも高く発現しているものと考えられるため、切縁上に 100 N の荷重が加わっても必ずしもセメント層による接着の剝離が生じるとはいえない。しかし、口腔内では、接着操作の困難性から合着力が低いこと、また、繰り返し荷重が加わることから、経時的に引張側ではセメント層による接着の剝離を生じる可能性が考えられた。すなわち、界面に対して垂直な引張応力が働く部位から接着の剝離が生じるものとするならば、歯冠部舌側から荷重が加わった場合、モデル1のような歯

冠部歯質が多く残存している形態では、歯頸部舌側のセメント層界面に垂直な引張応力が発現し、セメント層の剝離が生じても、舌側ショルダー部に限局するが、モデル2のような歯冠部残存歯質がない形態では、根面からポスト周囲へと広範囲の剝離が生じる可能性が考えられる。

これらのことから、支台築造の行われた歯は、荷重下において、セメント層の剝離もしくは破壊が生じ、ポストコアの挙動が変化し、歯根部象牙質内に限局した応力集中をきたすことにより歯根破折を引き起こす可能性が考えられた。そして、歯冠部残存歯質を有し、歯冠補綴物で被覆された支台築造歯では、セメント層の剝離範囲が狭く、応力分布に変化が少ないものと考えられた。

V. 結 論

歯根破折の生じにくい築造窩洞の形態について解明するため、歯冠部残存歯質を有するモデルとないモデルを作成し、三次元有限要素法を用いて検討を行った結果、以下の結論が得られた。

1. MMA 系レジンセメントで合着した場合では、歯冠部残存歯質の有無にかかわらず、象牙質内の応力分布、最大応力値で同様な傾向が認められた。

2. セメント層を低ヤング率とした場合では、MMA 系レジンセメントと比較して、歯冠部残存歯質の有無によって、象牙質内の応力分布、最大応力値が異なった。

3. セメント層内の応力分布において、界面に平行な応力は、歯冠部残存歯質の有無による影響が認められなかった。しかし、界面に垂直な応力では、歯冠部残存歯質が残存している場合、大きな引張応力を示す範囲が歯頸部舌側に限局しているのに対して、残存しない場合には、歯頸部舌側根面部からポストコア周囲の広範囲に認められた。

以上のことから、支台築造の行われた歯は、荷重下において、セメント層の剝離および破壊によって歯根部象牙質内の応力分布に変化が生じる。そして、支台築造歯の歯冠部残存歯質の有無は、合着用セメントによる完全な接着状態では、象牙質内応力に差がみられないが、セメント層の剝離した状態では、象牙質ならびにセメント層に生じる応力に影響を及ぼすことが示

唆された。

文 献

- 1) Sorensen JA, Martinoff JT. Clinically significant factors in dowel design. *J Prosthet Dent* 52 : 28-35, 1984.
- 2) 福島俊士, 坪田有史. 支台築造の予後成績. *補綴誌* 45 : 660-689, 2001.
- 3) Kantor ME, Pines MS. A comparative study of restorative techniques for pulpless teeth. *J Prosthet Dent* 38 : 405-412, 1977.
- 4) 花村典之. 支台築造 6-8, 医歯薬出版 : 東京, 1990.
- 5) Sorensen JA, Martinoff JT. Intracoronal reinforcement and coronal coverage : A study of endodontically treated teeth. *J Prosthet Dent* 51 : 780-784, 1984.
- 6) Trope M, Malt DO, Tronstad L. Resistance to fracture of restored endodontically treated teeth. *Endod Dent Traumatol* 1 : 108-111, 1985.
- 7) Morgano SM. Restoration of pulpless teeth. Application of traditional principles in present and future contexts. *J Prosthet Dent* 75 : 375-380, 1996.
- 8) Tjan AHL, Whang SB. Resistance to root fracture of dowel channels with various thicknesses of buccal dentin walls. *J Prosthet Dent* 53 : 496-500, 1985.
- 9) Barkhordar RA, Radke R, Abbasi J. Effect of metal collars on resistance of endodontically treated teeth to root fracture. *J Prosthet Dent* 61 : 676-678, 1989.
- 10) Sorensen JA, Engelman MJ. Effect of post adaptation on fracture resistance of endodontically treated teeth. *J Prosthet Dent* 64 : 419-424, 1990.
- 11) Sorensen JA, Engelman MJ. Ferrule design and fracture resistance of endodontically treated teeth. *J Prosthet Dent* 63 : 529-536, 1990.
- 12) 渡辺厚生. 支台築造に関する研究—歯冠部残存歯質の影響について—. *補綴誌* 34 : 7-17, 1990.
- 13) Milot P, Stein RS. Root fracture in endodontically treated teeth related to post selection and crown design. *J Prosthet Dent* 68 : 428-435, 1992.
- 14) Assif D, Bitenski A, Pilo R et al. Effect of post design on resistance to fracture of endodontically treated teeth with complete crowns. *J Prosthet Dent* 69 : 36-40, 1993.
- 15) Libman WJ, Nicholls JJ. Load fatigue of teeth restored with cast posts and cores and complete crowns. *Int J Prosthodont* 8 : 155-161, 1995.
- 16) 梶原浩忠, 中島由佳, 嶺崎良人ほか. 支台築造に関する実験. *補綴誌* 40・96 回特別号 : 129, 1996.
- 17) 石原正隆. 支台築造された失活歯の残存歯質が破折強度および破折様相に与える影響. *鶴見歯学* 24 : 157-170, 1998.
- 18) 長谷川晃嗣, 小田 豊. 破折を起こさない支台築造を考察する—既製根管ポストと歯根の破折について—. *接着歯学* 16 : 88-95, 1998.
- 19) 天川由美子. 鑄造支台築造とレジン支台築造の保持力に関する研究. *補綴誌* 42 : 1054-1065, 1998.
- 20) 長田貴幸, 割田研司, 川和忠治. 歯根部歯質の残存量が支台築造した歯の破壊強度に及ぼす影響 : 天然歯による予備的研究. *補綴誌* 44 : 757-767, 2000.
- 21) 橋本 興, 坪田有史. 漏斗状ポスト孔の支台築造に関する研究. *補綴誌* 46 : 54-63, 2002.
- 22) 神山範子. 支台築造に関する力学的研究—特に脱落時の変化について—. *鶴見歯学* 10 : 399-418, 1984.
- 23) Assif D, Oren E, Marshak BL et al. Photoelastic analysis of stress transfer by endodontically treated teeth to the supporting structure using different restorative techniques. *J Prosthet Dent* 61 : 535-543, 1989.
- 24) Huter AJ, Feiglin B, William JF. Effects of post placement on endodontically treated teeth. *J Prosthet Dent* 62 : 166-172, 1989.
- 25) Loney RW, Kotowicz WE, McDowell GC. Three-dimensional photoelastic stress analysis of the ferrule effect in cast post and cores. *J Prosthet Dent* 63 : 506-512, 1990.
- 26) 大塚 潔. 前歯における合釘ならびに歯根部歯質の応力解析. *補綴誌* 27 : 1001-1020, 1983.
- 27) Ko C-C, Chu C-S, Chung K-H et al. Effects of posts on dentin stress distribution in pulpless teeth. *J Prosthet Dent* 68 : 421-427, 1992.
- 28) Cailleteat JG, Ringer MR, Akin JE. A comparison of intracanal stresses in a post-restored tooth utilizing the finite element method. *J Endod* 18 : 540-544, 1992.
- 29) Ho M-H, Lee S-Y, Chen H-H et al. Three-dimensional finite element analysis of the effects of posts on stress distribution in dentin. *J Prosthet Dent* 72 : 367-372, 1994.
- 30) Holmes DC, Diaz-Arnold AM, Leary JM. Influence of post dimension on stress distribution in dentin. *J Prosthet Dent* 75 : 140-147, 1996.
- 31) 秋山主税, 原 節宏, 亀沢広嗣ほか. 有限要素法による歯および支持組織の応力解析—歯根膜の設定条件による影響について—. *歯学* 86 : 783-793, 1999.
- 32) 高橋英和. 支台築造歯の歯根破折のメカニズム. *補綴誌* 45 : 669-678, 2001.
- 33) 上條雍彦. 日本人永久歯解剖学 229-230, 東京 : アナトーム, 1962.
- 34) 日野年澄. ニューセラミックスのクラウン・ブリッジ臨床応用に関する力学的研究. *阪大歯学誌* 35 : 240-267, 1990.
- 35) 川崎貴生, 高山芳幸. 無髄歯の予後を良好にするための築造法とは. *補綴誌* 47 : 244-252, 2003.
- 36) Zienkiewicz OC, Taylor RL. *The Finite Element Method Fifth edition Volume 1. The Basis* 127-139,

Oxford : Butterworth-Heinemann, 2000.

- 37) 中沢 一, 宮川松男, 水野正夫. 材料力学 I 68-70, 東京: 朝倉書店, 1967.
- 38) 松野敬宣, 松田哲治, 海渡智義ほか. セメント層の力学的挙動に関する基礎的研究. 歯学 85 : 656-664, 1998.
- 39) 海渡智義, 松田哲治, 亀沢広嗣ほか. 全部鑄造冠のセメント層に関する力学的研究. 歯学 86 : 898-913, 1999.
- 40) 小田 豊. 材料から見た支台築造. 接着歯学 17 : 125-133, 1999.
- 41) 北迫勇一, 山田敏元, 二階堂徹ほか. 接着性レジンセメントに関する研究—第2報 引張ならびに剪断接着強さについて—. 歯材器 14 : 117-130, 1995.
- 42) 吉田圭一, 舟木和紀, 棚川美佳. 各種合着用セメントの諸性質. 補綴誌 39 : 35-40, 1995.
- 43) Versluis A, Tantbirojn D, Douglas WH. Why do shear

bond tests pull out dentin?. J Dent Res 76 : 1298-1307, 1997.

- 44) 高橋世紀, 宮本弘平, 安倍 敏ほか. 新鮮抜去非包埋牛歯象牙質面と歯科用セメントの剪断接着強さ—引張り接着強さとの比較—. 日歯保存誌 44 : 243-254, 2001.

著者連絡先: 岡本 和彦

〒350-0283 埼玉県坂戸市けやき台 1-1

TEL : 049-285-5511 (内線 548)

FAX : 049-287-6657

E-mail : okamoto@dent.meikai.ac.jp

図 1 A bird's-eyes view of analysis models and direction of loads
解析モデルの鳥瞰図と荷重方向

図 2 Form of finite element analysis models
解析モデルの形態

図 3 von Mises equivalent stress distributions in dentin luted with MMA resin cement
MMA 系レジンセメント介在時における von Mises 相当応力の象牙質内応力分布

図 4 von Mises stress distributions in dentin luted with cement modified to lower Young's moduli
低ヤング率セメント介在時における von Mises 相当応力の象牙質内応力分布

図 5 The stress distributions of the shear stresses parallel to the cement-dentin interface, in cement layer (MMA resin cement)
セメント層におけるセメント-象牙質界面に平行な応力 (MMA 系レジンセメント)

図 6 The stress distributions of the tensile stresses vertical to the cement-dentin interface, in cement layer (MMA resin cement)
セメント層におけるセメント-象牙質界面に垂直な応力 (MMA 系レジンセメント)

Effect of Remaining Coronal Tooth Structure and Luting Cement on Stress Distributions in Dentin of Abutment Teeth Restored with a Post-and-Core

Okamoto Kazuhiko, Ino Teruo, Amano Hideo,
Arai Manabu, Suzuki Megumi and Sone Mineyo*

Department of Prosthetic Dentistry, Meikai University School of Dentistry
(Chief : Prof. Amano Hideo)

*Meikai University Graduate School of Dentistry
(Director : Prof. Amano Hideo)

J Jpn Prosthodont Soc 47 : 602-611, 2004

ABSTRACT

Purpose : Excessive stress in the dentin is thought to be a cause of root fracture. This study evaluated the effect of a remaining coronal tooth structure and luting cement on the stress distributions in dentin of abutment teeth restored with a post-and-core.

Methods : Stress distributions in the dentin of maxillary central incisors restored with a post-and-core and a porcelain fused-to-metal crown were analyzed by the 3-dimensional finite element method. The studied factors were the existence of the coronal tooth structure remaining in the abutment tooth restored with post-and-core, and the properties of cement luting the post-and-core, i.e., the MMA resin cement and a cement whose Young's modulus was modified to be 1.00 MPa.

Results : On the model using the resin cement, both models of the abutment tooth with and without remaining coronal tooth structure showed buccolingually symmetric distributions of von Mises stress in their root. On the other hand, for the model using the modulus-modified cement the model without remaining coronal tooth structure showed a more asymmetric stress distribution than the model with remaining coronal tooth structure. Additionally, the resin cement layer luting the post-and-core to the abutment tooth without remaining coronal tooth structure showed more intensive tensile stress vertical to the cement-dentin interface than the one for the coronal tooth structure abutment tooth with remaining coronal tooth structure.

Conclusions : The data suggest that the remaining coronal tooth structure and the properties of the luting cement in the abutment tooth had some effects on the stress distributions in root dentin.

Key words

remaining coronal tooth structure, post-and-core, root fracture, stress analysis, 3-dimensional finite element method