原 著 論 文

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

大塚 真範

Effects of Margin Designs on Fracture Strength and Pattern of Endodontically-treated Teeth with No Coronal Tooth Structure

Ohtsuka Masanori

歯科補綴学的意義

歯冠の崩壊が高度で、歯冠部歯質がほとんどない症例の歯冠修復は、クラウンが歯冠部歯質を把持することによって発揮される帯環効果が得られず、臨床的に大きな問題である。本論文では、こうした症例に種々のマージン形態を付与し破折試験を行うことによって、ベベルドショルダー型あるいは小さなショルダーを付与したショルダー型を付与することの有効性を示した。

抄 録

目的：歯冠部歯質 0 mm の条件における破折強度の向上に、マージン形態がどのような意味をもつかを明らかにすること。

方法：牛歯 168 本を複製模型のヒト上顎前歯歯根形態と同一に倣い加工して試料とした。この試料にマージン形態 5 種類、築造材料 3 種類、歯冠部歯質量 2 種類の合計 16 条件について破折試験を行い、破折強度と破折様相を検討した。また 6 条件について、30 万回の繰り返し荷重を 37°C の水中で負荷した条件と、同繰り返し荷重に要する時間だけ水中浸漬した条件についても同様の試験を行った。

結果：各種マージン形態のうち、鑄造金属によって支台築造した場合は、小さなショルダーを付与したショルダー型およびベベルドショルダー型が高い破折強度を示し、歯冠部歯質 0 mm であっても 1 mm のときと同等の破折強度を示した。シャンファー型とショルダー型の破折強度は十分でなかった。しかし、シャンファー型マージンの築造体に補助的な保持装置であるピンを付与すると破折強度は有意に向上し、歯冠部歯質 1 mm に匹敵する破折強度を示した。しかし、鑄造金属によって支台築造した場合はベベルやショルダーの有無にかかわらず主に破折様相 C または D を示し、再修復の困難な破折様相を示した。

結論：歯冠部歯質 0 mm の支台歯の修復後の破折強度を高めるには、ベベルドショルダー型あるいは小さなショルダーを付与したショルダー型を形成することが有効である。

和文キーワード

失活歯の修復、破折強度、破折様相、マージン形態、ベベルドショルダー型

鶴見大学大学院歯学研究科歯科補綴学専攻（指導：福島俊士）

Division of Prosthetic Dentistry, Graduate School of Dental Medicine, Tsurumi University (Director : Prof. Fukushima Shunji)

受付：2004 年 8 月 4 日/受理：2004 年 11 月 30 日

Received on August 4, 2004/Accepted on November 30, 2004

I. 緒 言

日常臨床において失活歯に支台築造して修復する症例は多い。支台築造では、歯冠部の残存歯質量が重要な意味をもち、*in vitro* の実験では残存歯質量が多いほど破折強度が顕著に高くなることが示されている^{1,2)}。特に、残存歯質量 0 mm と 1 mm の間には大きな差があり^{3,4)}、臨床で少しでも多くの歯質を残すべきとする根拠となっている。

実際の臨床では、歯冠部の残存歯質が 0 mm あるいは歯冠の崩壊がさらに進み歯肉縁下に達している症例が多く、そうした症例に対して矯正的な歯根挺出術や外科的な歯冠延長術の施行が推奨されている^{3,5,6)}。いずれもクラウンが把持する歯冠部歯質を人工的に準備する試みである。しかし、これらには特別な処置が必要なこと、処置後に歯冠歯根比が不都合となること⁶⁾、前者の術式では処置に時間がかかることなどから、一般的な処置法となるにはいたっていない。

そこで、本論文では歯冠部歯質が 0 mm の条件における破折強度および破折様相の改善に、マージン形態がどのような意味をもつかを明らかにすることを目的とした。

II. 研究方法

1. 実験試料

実験に用いた支台歯のマージン形態は、Type I ～ V の 5 種類とした (図 1)。このとき、根面は平面とし、歯冠部の残存歯質は 0 mm とした。ただし、Type I, III, IV, V においては残存歯質 1 mm の条件についても実験した (図 2)。Type I と II のマージン形態はともにシャンファーである。Type II には、Type I の根面に対し根管口と歯根の口蓋側外周との中央に直径 0.8 mm、深さ 1 mm のピンホールを形成した。Type III は、幅 1 mm のショルダーを全周に付与したものである。Type IV は、Type III に対し全周に幅と深さそれぞれ 0.5 mm のベベルを付与したベベルショルダー型である。Type V は、Type III に対し全周に幅と深さそれぞれ 0.5 mm のショルダーを付与したマージン形態 (以下、小さなショルダーを付与したショルダー型) である。本研究に用いた築造材料

図 1 Types of margin designs
マージン形態の種類

は、ワックス (インレー WAX ソフト, ジーシー), 支台築造用レジン (クリアフィル® DC コア, クラレメディカル), 12% 金含有金銀パラジウム合金 (キャストウェル® M.C. 12% ゴールド, ジーシー) の 3 種類である。ワックスについて 3 条件, レジンについて 4 条件, 鑄造金属について 9 条件, 合計 16 条件について実験した。各試料の条件と略号を表 1 に示す。なお、歯冠部歯質 0 mm で、シャンファー型の I (0) M をコントロールとした。また、1 つの条件に対し 6 試料ずつ製作して実験した。

2. 試料の製作

牛下顎前歯 168 本の歯冠部を切断後、120 号まで根管拡大を行い、ヒト上顎右側中切歯の複製模型 (B 3-SB.1-#11, ニッシン) をマスターモデルとして、CELAY system (Mikrona, スイス) により歯根外形形態を倣い加工した。

1) 築造窩洞形成

シーラーを用いずガッタパーチャのみで根管充填後、根尖側 4 mm の根管充填剤を残し、旋盤を使用して根管バー (CP-4, CA-4, CAF-4, ワンアンドスリーカムミラ) にてポスト孔を形成した。その結果、根面からポスト孔先端までの長さは 10 mm (歯冠部歯質 1 mm の場合は 11 mm) となった。その後、根管清掃用ブラシと研磨用ブラシを用いて平均粒径 25 μ m の酸化アルミニウム粒子と精製水で窩洞内の清掃を行った。

2) 支台築造と支台歯形成

ワックスによる築造はワックスを作業模型のポスト孔に圧接したのちにワックスを満たしたマトリックスを使った間接法で製作し、ワックスによる築造体の浮き上がりを防止する目的で、接着性レジンセメント (スーパーボンド C&B, サンメディカル) を使用して合着した。レジン支台築造 (以下、レジン築造) は ED プライマー II (クラレメディカル) とクリアフィ

図 2 Schematic diagrams of specimen types of metal post-and-core
(i) : Artificial silicone periodontal membrane, (ii) : Luting cement
 鑄造支台築造における各 Type の模式図
 (i) : シリコン製擬歯根膜, (ii) : レジンセメント

表 1 Specimen types of sixteen groups
各試料の条件

Margin designs (Type)	Coronal tooth structure(mm)	Core materials	abbrev.
I	0	Cast metal	I (0)M
	1	Cast metal	I (1)M
II	0	Resin	II (0) R
		Cast metal	II (0)M
III	0	Wax	III (0)W
		Resin	III (0) R
		Cast metal	III (0)M
	1	Cast metal	III (1)M
IV	0	Wax	IV (0)W
		Resin	IV (0) R
		Cast metal	IV (0)M
	1	Cast metal	IV (1)M
V	0	Wax	V (0)W
		Resin	V (0) R
		Cast metal	V (0)M
	1	Cast metal	V (1)M

ル®フォトボンド (クラレメディカル) を支台歯の被着面に処理したのちにクリアフィル®DC コア (クラレメディカル) レジンペーストを使用して直接法で製作した。鑄造支台築造 (以下, 金属築造) は通法に従い, 間接法で製作した。鑄造体の接着面にはサンドブラスト処理後, 金属接着性プライマー (V-プライマー, サンメディカル) で処理を行った。鑄造体の合着には接着性レジンセメント (スーパーボンド C&B) を用いた。合着の際, 5 分間, 4.9 N の荷重を加えた。支台歯形成には CELAY system でタイプ別に同一寸法に製作した。全部鑄造冠の製作および合着はすべての実験条件において鑄造体と同じ材料, 方法を用いて行った。その後, 付加型シリコンラバー印象材 (デュ

プリコーン, 松風) による擬歯根膜を 200~400 μm の厚みで歯根周囲に付与し, アルミニウム製リングの中央に歯の長軸を垂直にして, Type I, II, III はフィニッシュラインの 2 mm 下方まで, Type IV, V はフィニッシュラインの 1.5 mm 下方まで常温重合レジン (ユニファスト II, ジーシー) で包埋した。

3. 実験条件

次の 3 つの実験条件を設定した。

- 1) 実験条件 a : 完成試料を 37°C 水中に 24 時間, 無荷重で水中浸漬後に破折試験を行う。
- 2) 実験条件 b : 30 万回の繰り返し荷重に必要な 83 時間を無荷重で 37°C 水中浸漬後に破折試験を行う。
- 3) 実験条件 c : 30 万回の繰り返し荷重を水中浸漬にて 83 時間負荷後に破折試験を行う。

なお, 繰り返し荷重の負荷は, 37°C の水中において, 300 N, 1 Hz, 30 万回, 歯の長軸に対して口蓋側 45° 方向から行った。

ただし, 実験条件 b, c については, 実験条件 a の 16 条件のうち, レジン築造の III (0) R, V (0) R, 金属築造の I (0) M, III (0) M, V (0) M, I (1) M の計 6 条件についてのみ行った。

破折試験には, 万能試験機 (オートグラフ AGS-5 kND, 島津製作所) を使用して, Crosshead speed : 0.75 mm/min, 繰り返し荷重の負荷と同じ方向で片持ち梁形式の破折試験を行った。

4. 破折強度および破折様相

破折試験の際、荷重-時間曲線を記録し、曲線において最初の顕著な屈曲時の荷重を破折強度とした。また試験後、破折様相を0.5%フクシン染色液と双眼実体顕微鏡により観察し、橋本ら⁴⁾の方法(図3)によって分類した。

5. 統計処理

得られた破折強度は、統計解析用ソフト(SPSS 10.0 J, SPSS Japan)を用いて統計処理を行った。一元配置分散分析後、Tukeyの検定を用い有意水準5%で多重比較した。破折様相は、有意水準5%でPearsonの χ^2 検定を行った。

III. 結 果

1. 破折強度

1) 実験条件aの破折強度

ワックスによる築造について各種マージン形態を比較すると(図4)、実験を行ったすべてのタイプ間に有意差が認められた。また、コントロールのI(0)Mと比較すると、III(0)W、IV(0)Wは有意に低い破折強度を示したが、V(0)Wは同等の破折強度を示し有意差がなかった。

レジン築造について各種マージン形態を比較すると

図3 Classification of failure modes

Failure mode A: The lowest point of the fracture line is located above the margin line of full cast crown. Failure mode B: The lowest point of the fracture line is located between the margin and the tooth root embedded in the resin. Failure mode C: The lowest point of the fracture line is reaching the inside of the tooth root embedded in the resin. Failure mode D: There exist more than one fracture line that run both vertically and horizontally

破折様相の分類

破折様相A: 破折線の下縁が全部鑄造冠のマージンより上部にある。破折様相B: 破折線の下縁が全部鑄造冠のマージンから包埋用レジンの間にある。破折様相C: 破折線の下縁が包埋用レジンの縁下に及んでいる。破折様相D: 破折線の下縁が包埋用レジンの縁下で、縦破折と横破折が混在している

(図5)、III(0)RとIV(0)R間には有意差がなかったが、これらとII(0)RおよびV(0)R間にはそれぞれ有意差が認められた。また、コントロールのI(0)Mと比較すると、V(0)Rのみが有意に高い破折強度を示した。

金属築造について各種マージン形態を比較すると(図6、表2)、II(0)M、III(0)M、IV(0)M、V(0)MはI(0)Mよりも有意に高い破折強度を示した。特にII(0)M、IV(0)M、V(0)MはI(1)Mと同等の高い強度を示した。さらに、歯冠部歯質1mmの条件では、IV(1)M、V(1)MがI(1)M、III(1)Mよりも有意に高い破折強度を示した。

次に、各種マージン形態について、築造材料すなわちワックス、レジン、鑄造金属を比較すると、実験したType III~Vのいずれについても、すべての築造材料間に有意差が認められた。すなわち、同じマージン形態ならば鑄造金属、レジン、ワックスの順で破折強度が高かった。

2) 実験条件bおよびcの破折強度

実験条件bについて、III(0)RとV(0)Rのレジン築造を比較すると(図7)、同等で有意差がなかった。また金属築造を各種マージン形態で比較すると、V(0)MとI(1)MがI(0)Mよりも、またI(1)MがIII(0)Mよりも有意に高い強度を示した。レジン築造の2条件とI(0)Mとの間に有意差はなかったが、III(0)Mとの間には認められた。

実験条件cについて、同様にレジン築造を比較すると(図8)、III(0)RとV(0)R間に有意差はなかった。また金属築造については、V(0)MとI(1)MがI(0)M、III(0)Mよりも有意に高い強度を示した。レジン築造のIII(0)RとI(0)M、III(0)M間に有意差は認め

図4 Failure loads of wax post-and-core in experimental stage a
実験条件aにおけるワックスによる支台築造の破折強度

られなかったが、V(0)RとI(0)M、III(0)M間に有意差があった。

実験条件bの破折強度が実験条件aと異なったのはレジン築造ではIII(0)R、金属築造では、I(0)MとIII(0)MとI(1)Mであった。実験条件aではIII(0)MとV(0)M間に有意差があったが、実験条件bでは有意差を示さなかった。また、実験条件bとcの比較では、V(0)Rが実験条件cで有意に低い破折強度を示したが、ほかに変化は認められなかった。

2. 破折様相

1) 実験条件aの破折様相

破折様相を歯冠部歯質0mmの場合について、築造材料別にみると(表3)、ワックスによる築造ではすべてのマージン形態で破折様相Aを示し、II(0)Rを除くすべてのレジン築造と有意差を示した。

レジン築造ではマージン形態がType II, III, IV, Vと変化するに従って、破折様相Aから順次Cに移行する傾向があった。それに伴い歯冠部歯質0mmのときの金属築造と比較すると、II(0)Rはすべての金属築造と有意差を示したが、IV(0)R、V(0)RはV(0)Mを除くすべての金属築造と有意差がなかった。

図5 Failure loads of composite resin post-and-core in experimental stage a
実験条件aにおけるレジン支台築造の破折強度

金属築造ではベベルやショルダーの有無にかかわらず、いずれのマージン形態でもその多くが破折様相Cを示し、すべてのマージン形態間に有意差がなかった。

ただし、歯冠部歯質1mmの場合を含めると、III(0)MとIV(1)MおよびV(1)M間、I(1)MとIV(1)M間に有意差が認められた。

2) 実験条件bおよびcの破折様相

実験条件bの破折様相をみると(表3)、実験したほとんどすべてが破折様相CおよびDを示し、有意差がみられたのはI(1)MとI(0)M、III(0)R、V(0)R間、およびIII(0)RとV(0)M間のみだった。

実験条件cで有意差がみられたのは、III(0)RとIII(0)MおよびV(0)M間のみだった。

対応する実験条件bとc間で有意差の認められた組み合わせはなかった。しかし、実験条件aとb間ではIII(0)RとI(1)M、実験条件aとc間ではIII(0)Mで有意差を示した。

IV. 考 察

1. 研究方法について

1) 根面形態について

築造体の破折強度は歯冠部の歯質がある程度残存し

図6 Failure loads of cast metal post-and-core in experimental stage a
実験条件aにおける鋳造支台築造の破折強度

表2 Comparison of failure loads of cast metal post-and-core in experimental stage a
実験条件aにおける鋳造金属支台築造の破折強度の多重比較

I(0)M									
II(0)M	0.000*								
III(0)M	0.000*	0.015*							
IV(0)M	0.000*	0.263	0.000*						
V(0)M	0.000*	0.122	0.000*	1.000					
I(1)M	0.000*	1.000	0.003*	0.623	0.379				
III(1)M	0.000*	0.907	0.000*	0.965	0.841	0.998			
IV(1)M	0.000*	0.000*	0.000*	0.143	0.298	0.001*	0.008*		
V(1)M	0.000*	0.000*	0.000*	0.002*	0.006*	0.000*	0.000*	0.793	
I(0)M	II(0)M	III(0)M	IV(0)M	V(0)M	I(1)M	III(1)M	IV(1)M	V(1)M	

*Significant: 有意差あり

図 7 Failure loads of composite resin and cast metal post-and-core in experimental stage b
実験条件 b におけるレジンと鋳造支台築造の破折強度

図 8 Failure loads of composite resin and cast metal post-and-core in experimental stage c
実験条件 c におけるレジンと鋳造支台築造の破折強度

表 3 Failure modes of all specimen groups
全実験条件における破折様相の結果

Failure modes	Type															
	I (0)M	II (0)R	II (0)M	III (0)W	III (0)R	III (0)M	IV (0)W	IV (0)R	IV (0)M	V (0)W	V (0)R	V (0)M	I (1)M	III (1)M	IV (1)M	V (1)M
Experiment a	A	0	6	0	6	0	0	6	0	0	6	0	0	0	0	0
	B	0	0	1	0	3	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	C	4	0	4	0	3	4	0	6	4	0	6	3	5	3	2
	D	2	0	1	0	0	0	0	0	2	0	0	3	1	3	4
Experiment b	A	0				0	0				0	0	0			
	B	0				0	0				1	0	0			
	C	5				6	4				5	3	1			
	D	1				0	2				0	3	5			
Experiment c	A	0				0	0				2	0	0			
	B	0				1	0				1	0	0			
	C	3				5	2				3	2	3			
	D	3				0	4				0	4	3			

Unit : Teeth

ているならば、築造方法が異なってもおよそ同じ強度を示すとされ、その量として 0.5 mm あれば十分とするもの⁷⁾、1 mm 必要とするもの^{3,4)}、1.5 mm 必要とする¹⁾などの意見がある。一方、歯冠部歯質 0 mm における破折強度は低いとされており、同じ 0 mm の中で築造条件を変化させて検討したものは西村⁸⁾が報告しているが、マージン形態を変化させて検討したものはほとんどない。

2) マージン形態について

本研究ではマージン形態として 5 タイプを設定した。Type I のシャンファー型は基本的な形態とし、ほかの形態がシャンファー型の破折強度を越えられるかを評価の 1 つの目安とした。Type II では、Type I の舌側にピンホールを追加した。これは継続歯の補助的保持形態として、その有効性が明らかとなっているものである^{9,10)}。ただし、今回は臨床における形成の容易さを優先して、深さを通常の 2 mm でなく 1 mm とした。Type III のショルダー型はシャンファー

型とともに臨床で頻繁に利用されているものである。Type IV と V はフィニッシュラインを Type I ～ III よりもさらに 0.5 mm 歯根側に延長したもので、臨床的にこの程度の延長が可能な場合を想定した。Type IV は、Type III の全周にベベルを付与したもので、臨床では前装部となる唇側や頬側のみに付与するが、今回は破折強度の向上を期待して全周とした。Type V は同様に Type III の全周に小さなショルダーを付与したもので、臨床的にこの形態はないが、歯頸部の金属に厚みを付与する効果をみるために設定した。

3) 築造方法について

本研究の目的は、条件の悪い歯冠部歯質 0 mm の条件における破折強度の向上にマージン形態がどのような意味をもつかを検討することであるため、機械的強度に優れた金属を中心としてマージン形態をさまざまに変化させた。これに対し、ワックスを実際の臨床に用いることはないが、各種マージン形態を純粋に評価するために設定した。また、コア部分のレジンは金属

と比較して機械的性質が低いため、歯冠部歯質が 0 mm のとき著しく低い破折強度を示すことがわかっている^{2,4)}ものの、マージン形態を変えることによって破折強度にどのような影響を与えるかを明らかにするためにレジンを用いた。

4) 荷重条件について

実験条件として同様な検討を行った過去の報告^{2,4)}を参考として実験条件 a を設定し、16 条件について破折強度を計測した。そのなかから実験条件 b および c のために 6 条件を選抜した。実験条件 c は、咬合力を想定した繰り返し荷重を負荷している同様の報告⁹⁾を参考とし、37°C 水中下で 300 N の荷重を 30 万回付与する設定で負荷を行った。しかし、繰り返し荷重の負荷によってクラウンが脱落したり歯根破折を起こした試料はなかった。したがって、荷重回数によって破折強度を表現するには、荷重回数をさらに多くする、あるいは荷重量を増す必要がある。しかし、荷重回数による評価や荷重後の試料にみられる変化を評価した実験の多くはリン酸亜鉛セメントを合着材として用いていて^{8,11)}、今回のように接着性レジンセメントを用いた場合には破折強度が高く、荷重回数によって表現することは適切でない可能性がある。そこで、実験条件 c では繰り返し荷重後さらに実験条件 a と同様に静的な破折試験を行い¹²⁾、その強度によって評価した。また、実験条件 c は、繰り返し荷重を水中下で 83 時間負荷したのちに破折試験を行ったが、水中浸漬の影響を明らかにするため、実験条件 c と同一の 83 時間試料を水中浸漬してレジンの重合時間を同一にした実験条件 b を設定した。実験条件 c の結果、歯冠部歯質 0 mm の条件では I (0)M と III (0)R で破折強度が有意に増加した。ただし、これらは繰り返し荷重の負荷を行わないで 37°C 水中浸漬した実験条件 b でも同様の現象がみられたので、上記の強度の上昇は 37°C 水中浸漬によるものと推測できる。その理由としては、合着に用いた接着性レジンセメントの重合促進による¹³⁾と考えられる。また、Type V で破折強度が逆に低下した理由としては、築造体に対して Type III よりも Type V のほうが繰り返し荷重の負荷に影響されやすい形態である可能性があり、その結果、レジン自体の機械的性質に影響を及ぼしたと考えられる。

2. シャンファー型について

Type I のシャンファー型は、現在の歯冠修復におけるマージン形態としてもっとも基本的なものである。そのため今回の実験では、コントロールとして扱った。

歯冠部歯質が 0 mm の I (0)M と 1 mm の I (1)M を比較すると、ほかの報告^{2,4)}と同様に後者が有意に高い破折強度を示し、本実験においても歯冠部歯質 1 mm による帯環効果の重要性を確認できた。

シャンファー型は歯冠部歯質 0 mm の金属築造 5 条件のうち最も低い破折強度を示した (図 6)。すなわち、ショルダー型と比べて有意に低い強度だった。ショルダー型には舌側軸面が明確にあり、上部構造の脱離に対する抵抗性において優れていることが推測できるが、両者の多くが破折様相 C を示して同様だったことを考えると、ともに歯冠継続歯^{14~17)}として抵抗した可能性が高い。したがって、この破折強度の差は、マージン形態に起因するのではなく、シャンファー型がダブルマージンで、セメント層が二重になっていることが影響したものと思われる。

ただしシャンファー型は、37°C の水中への 83 時間浸漬によって約 2 倍の破折強度を示し、同じ条件のショルダー型とも有意差を示さなくなった。また、この関係は繰り返し荷重後でも変わらなかった。このように水中浸漬だけで破折強度が増したのは、すでに記したように使用した MMA 系のレジンセメントの重合が進行したためと思われる¹³⁾。

一方、根面にピンホールを形成することにより、築造体の保持力が向上するだけでなく⁹⁾、歯根の応力分布が改善されることは¹⁰⁾、以前から知られていた。このピン付き築造体を装着した Type II は、マージン形態として同じシャンファー型でありながら、破折強度は約 2 倍となり、歯冠部歯質 1 mm の破折強度と同等となった。これは歯根の破折強度を高めるうえで、築造体の保持力を改善することの有効性を示すものである。

また、今回の実験ではピンの長さを通常の 2 mm でなく 1 mm と短くした。こうした短いポストであっても、破折強度の向上につながったことは興味深い。すなわち、根面にピンホールを形成するだけの歯質があるならば、ぜひ実行すべきと思われる。

しかし、破折様相からみると、ピンがあってもなくても金属築造ではすべて破折様相 C あるいは D を示

し、ひとたび破折したのちの再利用は困難であることを示している。

3. ショルダー型について

ショルダー型は、金属のないジャケットクラウンのためのマージン形態で、審美性の重視される今後において普及する可能性のあるマージン形態である。

歯冠部歯質 1 mm のとき、0 mm のときと比べ有意に高い破折強度を示したのは、シャンファー型におけるのと同様に帯環効果によると思われる。

レジン築造のショルダー型である III (0) R の破折強度が II (0) R よりも有意に高く、金属築造のシャンファー型である I (0) M と同等であったことは、破折強度の向上を求めた場合のマージン形態として、シャンファー型よりもショルダー型が有利となる可能性を示している。また、同じショルダー型でのレジン築造と金属築造との破折強度の差は、亀沢ら¹⁸⁾が有限要素法によって示した材料の弾性係数による応力分布の差に起因すると思われる。

また、水中浸漬によってレジン築造と金属築造の破折強度がともに向上したのはシャンファー型と同じ理由で 37°C 水中浸漬により、使用した接着性レジンセメントの重合促進¹⁹⁾が考えられる。

4. ベベルドショルダー型について

ベベルドショルダー型はショルダー型の欠点であるマージン部のセメント層の厚さを減少させるために推奨されているマージン形態である。

今回は 0.5 mm 幅および深さのベベルが歯根を把持することによって、帯環効果を期待できるかを検討した。実際の臨床でもフィニッシュラインを 0.5 mm 歯根側に延長できる症例は多いものとの判断に立っている。

その結果、レジン築造では認められなかったが、ワックスによる築造および金属築造ではベベルの付与によって有意に破折強度が増した。特に、金属築造では次項の小さなショルダーを付与したショルダー型と同様の高い破折強度を示した。口腔内でのベベルの形成は小さなショルダーを付与したショルダー型と比べればはるかに容易なことを考えると、ベベルドショルダー型の臨床的意義は高いと思われる。

5. 小さなショルダーを付与したショルダー型について

臨床的にはこの型のマージン形態は存在しない。しかし、0.5 mm フィニッシュラインを歯根側に延長できると仮定した場合の可能性を追求する観点から、本実験ではこの型を設定した。

この型の付与による破折強度の向上は顕著であった。すなわち、ワックスによる築造であってもショルダー型を小さなショルダーを付与したショルダー型とすることによって破折強度は 2 倍以上に増加し (図 4)、I (0) M と同等になった。また、レジン築造でも金属築造でも有意に破折強度が向上した。小さなショルダーを付与したショルダー型でこのような効果が認められるのは、クラウンのマージンを構成する幅および厚さそれぞれ 0.5 mm の金属部が帯環効果を発揮するためと推測できる。

この型で金属築造の破折強度は、水中浸漬や繰り返し荷重の負荷によっても影響を受けることなく、金属材料による帯環効果の安定性を示している。

6. 失活歯の破折強度に影響する因子について

失活歯の破折強度に影響する因子として歯冠部残存歯質があり、これが 1 mm 以上あるときは 0 mm のときと比べ顕著に高い破折強度を示すこと、その場合にはどの築造法も同様の破折強度を示すことが知られている²⁴⁾。しかし、歯冠部歯質 0 mm のときの報告は少なく、臨床的な指針が示されていない。

歯冠部歯質 0 mm の場合にはポストが必要だが、ポスト孔を形成すると、それに伴う歯質の喪失によって歯根の破折強度は著しく減少する^{19,20)}。したがって、ポスト孔の太さは印象材が変形しないなどほかに影響のでない範囲で、できるかぎり細く形成することが望ましい。ただし、長さについては、長く形成することによって応力の分散を効果的に図れるので、歯質の喪失は伴うが長いほうがよい²¹⁾。

支台築造材料の種類については、歯冠部歯質 0 mm の場合には、強度的に優れたものが望ましく、本実験によれば鑄造金属が最も優れている。Trope ら²⁰⁾も根管内に接着性レジンを充填した場合よりも、鑄造金属を挿入したほうが高い破折強度を示したとしている。

また、補助的保持形態としてピンホールを深さ 1 mm でも形成することは、破折強度の向上に有効で

あった。したがって、場所的にピンホールを形成する余裕のある場合には、進んで形成するべきと思われる。

以上は、いずれも破折強度を向上するためにできる築造方法の工夫だが、本研究ではさらにマージン形態を工夫することの有用性が明らかになった。すなわち、ベベルドショルダー型あるいは小さなショルダーを付与したショルダー型を付与することで、破折強度が著しく向上し、歯冠部歯質が 1 mm あるときと同等の強度を示した。これは合着材としてリン酸亜鉛セメントを用いた実験ではあるが、渡辺⁷⁾が漏洩試験によって歯冠部歯質はたとえ 0.5 mm でもあれば有効であるとしたことを支持する内容でもある。

V. 結 論

歯冠部歯質が 0 mm の条件における破折強度および破折様相の改善に、マージン形態がどのような意味をもつかを明らかにすることを目的に繰り返し荷重を含んだ破折試験を行い、以下の結論を得た。

- 異なるマージン形態を付与することによって、破折強度は有意に変化した。
- 同じマージン形態であっても、築造材料の種類によって破折強度は異なり、鑄造金属、レジン、ワックスの順で高かった。
- シャンファー型に補助的な保持装置であるピンホールを深さ 1 mm でも付与すると、破折強度は有意に向上した。
- 金属築造では、ベベルやショルダーの有無にかかわらず、主として破折様相 C または D を示し、再修復の困難な破折様相を示した。
- レジン築造では、シャンファー型、ショルダー型、ベベルドショルダー型、小さなショルダーを付与したショルダー型の順に重篤な破折様相を示した。
- 金属築造によるベベルドショルダー型と小さなショルダーを付与したショルダー型は、歯冠部歯質 0 mm であっても 1 mm のときと同等の破折強度が得られ、その有用性を示したが、破折様相は再修復の困難なものだった。

文 献

- Libman WJ, Nicholls JJ: Load fatigue of teeth restored with cast posts and cores and complete crowns. Int

- J Prosthet Dent 8: 155-161, 1995.
- 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よる影響. 鶴見歯学 24: 157-170, 1998.
- Sorensen JA, Engelman MJ. Ferrule design and fracture resistance of endodontically treated teeth. J Prosthet Dent 63: 592-536, 1990.
- 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.
- Morgano SM. Restoration of pulpless teeth: Application of traditional principles in present and future contexts. J Prosthet Dent 75: 375-380, 1996.
- Gegauff AG. Effect of crown lengthening and ferrule placement on static load failure of cemented cast post-cores and crowns. J Prosthet Dent 85: 96-98, 2001.
- 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.
- 西村 康. 歯冠部歯質が失われた失活歯に対する支台築造に関する研究. 補綴誌 48: 49-58, 2004.
- 村岡清孝. 継続歯の力学的研究 (その 2) 各種根面形態における二次元光弾性実験 (特に補助維持装置の影響について). 補綴誌 16: 400-406, 1972.
- 羽野高根スサナ. 支台築造に関する研究—歯冠部歯質が崩壊した支台歯について—. 口病誌 55: 525-539, 1988.
- Isidor F, Brondum K, Ravnholt G. The Influence of post length and crown ferrule length on the resistance to cyclic loading of bovine teeth with prefabricated titanium posts. Int J Prosthodont 12: 78-82, 1999.
- Strub JR, Pontius O, Koutayas S. Survival rate and fracture strength of incisors restored with different post and core systems after exposure in the artificial mouth. J Oral Rehabil 28: 120-124, 2001.
- 高木明夫, 藤山えり子, 清水博史ほか. 接着性レジンと金銀パラジウム合金の接着強さに関する研究. 補綴誌 28: 59-14, 1984.
- 花村典之. 継続歯合釘に関する研究 (第 2 報) 合釘のテーパー, 長さの保持力に及ぼす影響について. 補綴誌 8: 162-172, 1964.
- 村岡清孝. 継続歯の力学的研究 (その 1) 各種根面形態における二次元光弾性実験. 補綴誌 16: 387-399, 1972.
- 村岡清孝. 継続歯の力学的研究 (その 3) 各種根面形態における三次元光弾性実験. 補綴誌 17: 45-62, 1973.
- 青木保之. 合釘の形態による保持力の差について. 鶴見歯学 6: 181-197, 1980.
- 亀沢広嗣, 原 節宏, 丸山 薫ほか. 上顎前歯部におけるジャケットクラウンの二次元有限要素法による応力解析. 歯学 80: 1472-1483, 1993.
- Trabert KC, Caputo AA, Abou-Rass M. Tooth fracture—A comparison of endodontic and restorative treatments. Dent Clin North Am 28: 923-51, 1984.
- Trope M, Maltz DO, Trpnstad L. Resistance to fracture of restored endodontically treated teeth. Endod Dent Traumatol 1: 108-111, 1985.
- 鶴山秀夫. 支台築造に関する力学的研究. 鶴見歯学 7: 79-98, 1981.

著者連絡先: 大塚 真範

〒230-8501 神奈川県横浜市鶴見区鶴見
2-1-3

TEL: 045-581-1001

FAX: 045-573-9599

E-mail: otsuka-masanori@tsurumi-u.ac.jp

Effects of Margin Designs on Fracture Strength and Pattern of Endodontically-treated Teeth with No Coronal Tooth Structure

Ohtsuka Masanori

Division of Prosthetic Dentistry, Graduate School of Dental Medicine, Tsurumi University
(Director : Prof. Fukushima Shunji)

J Jpn Prosthodont Soc 49 : 74-83, 2005

ABSTRACT

Purpose : To determine the importance of margin design on fracture strength and pattern of endodontically-treated teeth with 0 mm of coronal tooth structure.

Methods : Using the CELAY system (MIKRONA, Switzerland), 168 human maxillary central incisors, identical in size and shape, were replicated from bovine teeth. The fracture strength and pattern of 5 types of margin design, three core materials and two levels of remaining coronal tooth structure were examined after 24 hours of water immersion (37°C) under 16 conditions and 83 hours under 6 conditions without cyclic loading, as well as after 83 hours of water immersion with 300,000 cyclic loading under 6 conditions.

Results : In the case of cast metal post-and-cores with 0 mm of coronal tooth structure, both beveled and shouldered shoulder margin designs resulted in a higher fracture strength than chamfer and shoulder ones, achieving almost the same strength of chamfer margin design with 1 mm of coronal tooth structure. In addition, pinhole preparation on the root surface increased the fracture strength of chamfer margin design to the level of those of the above-mentioned two desirable margin designs. From a fracture pattern viewpoint, however, all margin designs were unsuitable for re-restoration of the tooth.

Conclusions : Both beveled and shouldered shoulder margin designs improve fracture strength of endodontically-treated teeth with 0 mm of remaining coronal tooth structure.

Key words

restoration of pulpless tooth, fracture strength, fracture pattern, margin designs, beveled shoulder margin