原 著 論 文

鑄造支台築造とレジン支台築造の保持力に関する研究

天川由美子

Retentive Forces of the Prefabricated Post and Composite Resin Cores in Comparison with the Cast Post and Cores

Yumiko Amakawa

Abstract : Recently, adhesive dentistry has made a lot of progress, and now its effects should be shared by post and core techniques for restoration of endodontically treated teeth. The purpose of this study was to compare the prefabricated metal post and composite resin cores with the conventional cast post and cores with respect to retention. Three kinds of luting cement for the cast post and cores, that is, zinc phosphate cement (EC), Panavia 21 (P 21), and Super-bond C&B (SB) were examined. In addition, three kinds of core build-up technique for the prefabricated post and composite resin cores were prepared for dislodgment tests. They were the prefabricated post cemented with P 21 and light polymerized Clearfil photo core (P 21+PC), the same post and dual polymerized Clearfil DC core (P 21+DC), and the prefabricated post cemented with DC and DC core (DC+DC).

The results were as follows :

1. The dislodgment forces of the cast post and cores cemented with EC were the smallest, although the forces did not decrease after thermocycling.
2. Three kinds of the prefabricated post and composite resin core were equal in retention to the cast metal post and cores cemented with resin cements, P 21 and SB.
3. The cast post and cores cemented with SB, and two types of the prefabricated post and core, P 21+PC and DC+DC, showed significantly lower values in retention after thermocycling.
4. SEM photographs showed different images in each post and core technique. Fractured dentin surfaces in EC were covered with a smear layer. P 21 and SB were covered using a resin cement layer, and P 21+PC, P 21+DC, and DC+DC were covered using a bonding layer.

Key words : post and core technique, adhesives, retention, composite resins, resin cements

I. 緒 言

支台築造は、主に歯冠の崩壊が著しい歯、特に失活歯を修復し、その上にクラウンやブリッジを装着できる状態にする術式である。いわば歯の再生法にあたり、その臨床的

意義は誠に大きい。特にわが国では諸外国と比べ失活歯の利用頻度が高いため¹⁻³⁾、支台築造を実施する機会が多く、日常の臨床に占める意義が大きい。

近年、歯科接着の基礎と臨床が著しく進歩し、齲蝕罹患歯における歯髄保存の可能性が増し、コンポジットレジン充填および鑄造修復物における二次齲蝕の抑制が期待されるなど、支台歯を長く機能させる条件が揃ってきた。また歯の欠損に対しても、歯質の保全が可能な接着性ブリッジの術式がこれまでより確実なものとなってきた。

これらの進歩の基礎となるものの多くは、歯質、特に象

鶴見大学大学院歯学研究科歯科補綴学専攻 (指導: 福島俊士教授)
The Second Department of Prosthetic Dentistry, Tsurumi University School of Dental Medicine (Director: Prof. Shunji Fukushima)

平成 10 年 7 月 31 日受付

牙質に対するコンポジットレジンの接着にある。この接着が支台築造にどのような変化をもたらさうか、特にレジン支台築造⁴⁾が従来の鑄造支台築造に対してどのような位置にあるのか十分に検討する必要がある。

そこで、窩洞形態を同一とした金属鑄造支台築造（以下、鑄造支台築造と略す）と金属製既製ポスト併用のレジン支台築造（以下、レジン支台築造と略す）を準備し、これらの保持力を測定するとともに、試験後の破断面を観察することによって両者を比較、検討した。また、耐久性を知る目的でサーマルサイクリング試験を行った場合についても検討を加えた。

II. 材料と方法

1. 実験材料

実験に使用した材料と略号を表1に示す。

合着用セメントとして、従来型のセメントであるリン酸亜鉛セメントのエリートセメント100（ジーシー）（以下、ECと略す）、また、レジンセメントであるパナビア21（クラレ）（以下、P21と略す）、スーパーボンドC&B（サンメディカル）（以下、SBと略す）の3種類を用いた。また、コア用レジンとして、光重合型のクリアフィルフォトコア（クラレ）（以下、PCと略す）、光・化学のデュアルキュア型のクリアフィルDCコア（クラレ）（以下、DCと略す）の2種類を用いた。

2. 実験方法

1) 試料の作製

(1) 築造窩洞形成

実験には、抜去後4℃蒸留水中に保管しておいたヒト単根管抜去歯を用いた。根管処置として、歯頸部で歯冠部を切断した後、歯髄を除去し、K-file #80（メルファー）まで根管拡大した。根管充填には、シーラーの根管内歯質への接着に対する影響を少なくするため⁵⁾、ガッタパーチャのみを根管充填するシステムであるObturation system（東洋化学研究所）を使用した。

根管充填した歯根部を37℃蒸留水中に7日間保管した後、外径20mm、内径18mm、高さ15mmのアルミチューブに模型用超硬石膏（フジロック、ジーシー）を満たし、そのなかに植立した。その際、被着面が底面と平行になるように調整した。その後、象牙質根面を耐水研磨紙#400、#600を用い流水下で研磨した。

ポスト孔の形成には旋盤を用い、効率、耐久性に優れたダイヤモンドポイント⁶⁾（スクリューコントラダイヤモンドバー、セブンヒルズ）のリーマー型#3（CP-3）、テーパー1/20のテーパーシリンダー型#3（CA-3）で深さ8mmまで根面に対して直角に窩洞形成した。次に、ラウンドバー（マイジンガーインスツルメント、ヘレウスデンタルマテリアル）で根管口部に回転防止部を形成し、さらにカーボランダムポイントにて根管口部全周にベベルを付与した。最後に、蒸留水中で10分間の超音波洗浄を行った。

表1 Materials used in this study
実験に用いた材料

Code	Material	Manufacturer	Batch number	
合着用セメント				
EC	Elite cement 100 (light yellow)	GC	Powder	70851
			Liquid	310851
P 21	Panavia 21 (EX)	Kuraray	ED primer	Liquid A 0205
				Liquid B 030
			Composite resin	Universal 0229
				Catalyst 0219
SB	Super-bond C & B (Clear)	Sun Medical	Oxyguard II	0116 A
			Green	51102
				Monomer 70202
				Catalyst 704011
コア用レジン				
PC	Clearfil photo core	Kuraray		Polymer powder 60404
			K-etchant	186
			New bond bonding agent	Universal 974
DC	Clearfil DC core	Kuraray		Catalyst 868
			Composite resin	1355
			ED primer	Liquid A 025
				Liquid B 030
			Photo bond bonding agent	Universal 289
				Catalyst 184
	Universal 0029			
	Catalyst 0031			

鑄造支台築造, レジン支台築造ともに, この窩洞形成とした。

(2) 鑄造支台築造

鑄造支台築造体は, 間接法で通法に従い製作した(図1)。

まず, 印象用カスタムトレーを用いてビニルシリコンラバー印象材(エグザファイン インジェクションタイプ, ジーシー)で印象採得し, 模型用超硬石膏で作業模型を製作した。その後, 蠟型採用用ワックス(プラストデントG, デグサ)で蠟形成し, 湿らせたライナー(ノン-アスベスト, 松風)で裏層した鑄造リングにクリストバライト埋没材(クリストバライトミクロ, ジーシー)で埋没した。鑄造には, 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)を用いた。なお, コア部の蠟形成には, 内径 4 mm, 外径 6 mm, 高さ 4 mm の透明 PFA チューブを用いて規格した。スプルーはポスト部と可及的に平行に植立し, 引き抜き試験の際に治具で把持するため, 直径 2 mm の湯だまりを付与した。鑄造した支台築造体には酸処理を行い, 合着面を平均粒径 50 μ m のアルミナでサンドブラスト処理した。その後, 蒸留水中で 10 分間の超音波洗浄を行いセメント合着に備えた。

セメント合着に際し, 象牙質歯面処理剤が付属している

図 1 Schematic drawing of three types of specimen
a: cast metal, b: luting cement, c: composite resin,
d: prefabricated post

鑄造支台築造とレジン支台築造の模式図

a: 鑄造金属, b: 合着用セメント, c: コンポジットレジン,
d: 既製ポスト

P 21, SB においては象牙質をそれぞれメーカー指示どおりに前処理し, 築造体をセメント合着した。また, 硬化時間まで 2 kgf の荷重をかけた。

(3) レジン支台築造

レジン支台築造には, 既製ポストをセメント合着した後にコア部をコア用レジンで築盛する方法と, ポストの合着とコア部の築盛をともにコア用レジンによる方法の 2 種類を用いた(図 1)。本研究で用いたコア用レジン は光重合型の PC と, 光・化学のデュアルキュア型の DC である。PC をポストのセメント合着に用いることはできないため, DC についてのみ両方法を行った。それぞれの歯面処理方法を表 2 に示す。

既製ポストの合着に際しては, ポスト孔の象牙質を付属の歯面処理剤でメーカー指示どおりに前処理した後, P 21 または DC を CR シリンジ (C-R シリンジ用 ノズル ニードルチューブ, セントリックス) を用いて填塞した。その後ただちにサベイヤーで把持した直径 1.5 mm, 長さ 17 mm (UEL) の既製ポスト (スクリューポスト II, サンキン) を, 可及的に窩洞の中央に位置するよう植立した。なお, DC+DC においては, 既製ポストの合着とコア部の築盛を同時に行った。他の P 21+PC, P 21+DC においては, P 21 の硬化後それぞれコア用レジン付属の歯面処理剤で前処理し, コア部を築盛した。コア部には, 鑄造支台築造の際に使用したのと同じ透明 PFA チューブに, CR シリンジ (YS コンポジットシリンジ F 型 小, ワイディエム) を用いた。その後, 上面から 60 秒の光照射 (クイックライト・モデル VL-1, クラレ) を行った。

2) 引き抜き強さの測定と破断面の観察

(1) 引き抜き試験

引き抜き強さは治具を用い, 万能試験機オートグラフ AGS 5 kND (島津製作所) により, crosshead speed 0.75 mm/min で測定した。各条件 10 試料の値の平均を引き抜き強さとした。

実験条件については, 37°C 水中に 24 時間保管のもの, その後 5°C, 55°C を各 60 秒間で 1 サイクルのサーマルサイクリング試験を 5,000 回, 10,000 回行ったものの 3 条件とした (以下それぞれ TC 0, TC 5,000, TC 10,000 とする)。したがって, 試料数は各条件 10 試料, 合計 180 試料である。

表 2 Dentin treatments of each prefabricated post and composite resin core technique
レジン支台築造の歯面処理方法

	P 21+PC	P 21+DC	DC+DC
ポスト部	ED primer 60 sec	ED primer 60 sec	ED primer 60 sec
	P 21 paste	P 21 paste	Photo bond
コア部	K-etchant 10 sec	ED primer 60 sec	DC core
	New bond	Photo bond	ED primer 60 sec
	Photo core	DC core	Photo bond
			DC core

(2) 破断面の観察

引き抜き試験後の試料について、破断面を肉眼的に観察し破壊様相を分類した。分類は、象牙質の凝集破壊が一部でも認められたものをCF、象牙質・セメント間あるいは、象牙質・レジン間の界面破壊をAF(1)、セメント内あるいはレジン内凝集破壊を含む混合破壊をMix、セメント・メタル間の界面破壊をAF(2)とした。さらに、根面の象牙質側をAuイオンコーティング(SC-701 AT, サンヨー電子)し、走査型電子顕微鏡(JSM-840, 日本電子)(以下SEMと略す)を用いて加速電圧15 kVで観察を行った。なお、SEM観察のコントロールは、象牙質根面を耐水研磨紙#400, #600で研磨後、蒸留水中で10分間の超音波洗浄を行った試料とした。

3. 統計解析

統計処理には、統計用解析ソフトSPSS 7.5 J for Windowsを用いた。引き抜き試験で得られた値については、等分散性の検定の結果、等分散の仮定が成立しないことが判明した。そのため、一元配置分散分析の代わりにノンパラメトリック検定のKruskal Wallis検定を行った。有意水準5%で有意差が認められたグループについては、さらにBonferroniの修正による多重比較を行った。Bonferroniの修正では、有意水準5%をすべての水準の組合せ数 $n(n-1)/2$ で割り、その値を各水準ごとの差の検定における有意水準としている。この差の検定はt検定の代わりにMann-WhitneyのU検定を用いている。また、接着性材料を用いた場合の鑄造支台築造とレジン支台築造の支台築造方法間での比較には、有意水準5%でScheffeの方法による多重比較を用いた。

破壊様相の肉眼的な分類については、カイ二乗検定を行った。ただし、組合せのなかに0が存在しているためSPSSの正確確率検定を使用した。

III. 結 果

1. 引き抜き強さ

図2に、引き抜き試験の結果を示す。

1) 鑄造支台築造

ECでは、TC 0, 5,000, 10,000でそれぞれ256.1, 258.9, 246.8 Nを示し、サーマルサイクリングの違いによる有意差は認められなかった。しかし、TC 0, 5,000, 10,000すべてでP 21, SBと比較し有意に低い値を示した。P 21では、それぞれ533.3, 528.0, 486.1 Nとサーマルサイクリングにより低下傾向を示したものの、それぞれの値に有意差は認められなかった。SBでは、それぞれ555.7, 502.5, 428.2 Nを示し、TC 0とTC 5,000の間に有意差は認められなかったものの、TC 0とTC 10,000との間には有意差が認められた。P 21とSBの間には、

図2 Dislodgment forces of each post and core technique
引き抜き試験の結果

TC 0, 5,000, 10,000すべてにおいて有意差は認められなかった。

2) レジン支台築造

P 21+PCでは、TC 0, 5,000, 10,000でそれぞれ553.9, 397.5, 382.2 Nを示し、TC 0と5,000, TC 0と10,000の間に有意差が認められた。TC 5,000では、P 21+PCとDC+DCの間に有意差が認められた。P 21+DCでは、それぞれ476.0, 457.5, 415.7 Nを示し、サーマルサイクリングによる有意差は認められなかった。DC+DCでは、TC 0, 5,000, 10,000でそれぞれ587.7, 549.9, 462.4 Nを示し、TC 0と5,000の間に有意差は認められなかったものの、TC 0と10,000の間には有意差が認められた。

TC 0, TC 10,000においては3種のレジン支台築造の間に有意差は認められなかった。

3) 支台築造方法による比較

接着性材料を用いた場合の鑄造支台築造とレジン支台築造すなわち、P 21, SBを合わせたグループとP 21+PC, P 21+DC, DC+DCを合わせたグループ間での比較では、TC 0, TC 5,000, TC 10,000すべてで有意差は認められなかった。

2. 破断面の観察

1) 肉眼的観察

表3に引き抜き試験後の破壊様相の分類を示す。象牙質内の凝集破壊は、SBのTC 0の1試料、P 21+DCのTC 5,000の1試料、DC+DCのTC 0の4試料、5,000, 10,000それぞれ2試料で認められた。それらの破壊はいずれも根管口部で起きていた。

鑄造支台築造のECでは、サーマルサイクリングの各条件間の破壊様相に有意差は認められなかった。しかし、P 21, SBにおいては、TC 0で混合破壊が多く認められたのに対し、サーマルサイクリング後には破壊部がセメント・金属間の界面部へと移行する傾向が認められた。統計

表 3 Types of failure mode after dislodgment test
引き抜き試験後の破壊様相の分類

鑄造支台築造

	EC			P 21			SB		
	TC 0	TC 5,000	TC 10,000	TC 0	TC 5,000	TC 10,000	TC 0	TC 5,000	TC 10,000
CF							1		
AF (1)	2	1		2		1	1		
Mix	8	9	10	8	9	5	8	5	3
AF (2)					1	4		5	7

CF : Partially cohesive failure inside the dentin

AF (1) : Adhesive failure at the dentin/cement interface

Mix : Mix failure

AF (2) : Adhesive failure at the cement/metal interface

レジン支台築造

	P 21+PC			P 21+DC			DC+DC		
	TC 0	TC 5,000	TC 10,000	TC 0	TC 5,000	TC 10,000	TC 0	TC 5,000	TC 10,000
CF					1		4	2	2
AF (1)	10	10	10	10	7	9	6	8	8
Mix					2	1			

CF : Partially cohesive failure inside the dentin

AF (1) : Adhesive failure at the dentin/resin interface

Mix : Mix failure

図 3 SEM photograph of polished surface of canal dentin followed by ultrasound cleaning (original magnification $\times 2,000$)
研磨後に超音波洗浄を行った試料

図 4 SEM photograph of fractured dentin surface in EC at TC 0 (original magnification $\times 2,000$)
EC の TC 0 における SEM 像

学的には、SB のみが有意に破壊様相が変化していた。レジン支台築造の破壊様相に、サーマルサイクリングによる変化は認められなかった。

2) SEM 観察

図 3 にコントロールとした根面の像を、図 4 に EC の TC 0 における破断面の像を示す。コントロールには、研磨による線状痕と一部露出した象牙細管が認められた。鑄造支台築造のなかで歯面処理を施さない条件である EC の破断面は、すべての条件でスメア層で覆われている同様の像を呈した。また、これらの試料のみ SEM 観察のための

乾燥操作に起因するクラックが観察された。

図 5 に P 21, SB における SEM 像を示す。歯面処理を施す P 21, SB の破断面は、EC と比較してまったく異なった像を呈した。すなわち、スメア層は認められず、TC 0 ではセメント面が観察された (図 5-a, b)。また、サーマルサイクリング後でも同様であったが、一部には象牙質面も観察された (図 5-c, d)。P 21 は、象牙質の表面が粗糙感を呈した薄いレジンで覆われており、一方 SB は、レジンが管間象牙質に浸透している様相を呈した。また、SB の TC 10,000 における SEM 像では、根管口付近

図 5 SEM photographs of fractured dentin surface in P 21 and SB

a : P 21- TC 0, b : SB- TC 0 (original magnification $\times 2,000$), c : P 21- TC 10,000, d : SB- TC 10,000 (original magnification $\times 1,000$), e : SB- TC 10,000, exfoliation of SB is visible near orifice of the root canal (original magnification $\times 130$), f : SB- TC 10,000, fractured surface between SB and dentin (original magnification $\times 5,000$)

C : luting cement, D : dentin

P 21, SB における SEM 像

a : P 21- TC 0, b : SB- TC 0, c : P 21- TC 10,000, d : SB- TC 10,000, e : SB- TC 10,000, 根管孔部付近での SB の剥離, f : SB- TC 10,000, SB と象牙質間の破壊部

C : セメント面, D : 象牙質面

図 6 SEM photographs of fractured dentin surface in P 21+PC at TC 0

a : P 21+PC-TC 0, cohesive failure surface inside the dentin (original magnification $\times 2,000$),

b : P 21+PC-TC 0, dentin surface covered by bonding layer (original magnification $\times 2,000$)

P 21+PC の TC 0 における SEM 像

a : P 21+PC-TC 0, 象牙質内の凝集破壊部, b : P 21+PC-TC 0, ボンディング層で覆われている面

図 7 SEM photographs of fractured dentin surface in P 21+PC and DC+DC at TC 10,000

a : P 21+PC-TC 10,000, b : DC+DC-TC 10,000 (original magnification $\times 5,000$)

P 21+PC, DC+DC の TC 10,000 における SEM 像

a : P 21+PC-TC 10,000, b : DC+DC-TC 10,000

でのセメントの剥離とともに (図 5-e), 象牙質・セメント間が移行的に経過し両者の一体化が図られている様子が観察された (図 5-f)。

図 6 に P 21+PC の TC 0 における SEM 像を示す。TC 0 では、象牙質内の凝集破壊 (図 6-a) と薄いボンディング層に覆われた象牙質面 (図 6-b) が観察された。この傾向は P 21+DC, DC+DC でも同様であった。さらに TC 10,000 ではすべての条件で、管間象牙質のほとんどがボンディング層に覆われていた。しかし、レジニングの様相は異なっており、P 21+PC では象牙細管内に残留する細管内壁から離れたレジニングが (図 7-a)、一方 P 21+DC, DC+DC では細管内壁に一部接着しているよ

うなレジニングが認められた (図 7-b)。

接着性の材料を用いた条件においては、肉眼的に象牙質・セメント間での界面破壊または混合破壊と分類された試料においても、SEM 観察では多くが象牙質表面にレジニングが残存している様相を呈した。

IV. 考 察

支台築造を長期的に観察した報告によれば⁷⁻⁹⁾, 支台築造の失敗は年率にしておよそ 2% である。このうち築造体の脱落が占める割合は高く、臨床的に大きな問題である。

築造体の脱落を防止するには、その保持力を高めること

が重要で、ポストの長さ、太さ、形状、適合度、セメントの種類などが関連する。これらのうちポストに関するものは歯冠継続歯の原則が適用され、例えばポスト長については歯冠長と等長あるいは歯根長の2/3が必要とされてきた¹⁰⁾。

しかし、これらの原則はセメントが歯質との接着性を有しなかった時代に、主として鑄造支台築造において確立されたもので、接着性の材料を用いた鑄造支台築造やレジン支台築造については新たに原則を検討する必要がある。

とりわけ後者のレジン支台築造については、歯質の保全を図ることができるとともに臨床操作の合理化も期待できるため、同じ条件のもとで従来の鑄造支台築造と比較する必要がある。

そこで本稿では、近年注目されているレジン支台築造の評価を目的とし、従来から日常的に多く臨床応用されている鑄造支台築造と比較した。評価方法は、引き抜き強さの測定と、試験後の破断面の観察である。また、耐久性を知る目的でサーマルサイクリング試験を行った場合についても検討を加えた。

1. 研究方法について

1) 築造窩洞形態

各種支台築造法の適否を判断するには、窩洞形態を同一にしなければならない。そこで、支台歯としてヒト単根管歯を選択するとともに、形態を単純化するために歯冠部歯質がまったくない残根状の窩洞を対象とした。この窩洞は、臨床的に厳しい条件の1つであり各方法間の相違を明確にしやすいくと考えた。

ポスト孔の形態として、鑄造支台築造ではテーパーあり、レジン支台築造では既製ポストを使用できるためテーパーなしとするのが一般的であるが、本研究では窩洞形態を揃えるため後者もテーパーありとした。鑄造支台築造については、テーパーのある窩洞よりもテーパーのないもののほうが保持力は高くなるので^{10,11)}、本研究における設定はレジン支台築造にとって不利となる可能性がある。しかし、一般に根管口部は、歯内療法の際の形成などによりすでにフレアー形成されており、この部分に既製ポストの良好な適合を得ることは難しい¹²⁾。したがって、残存歯質が十分な症例を除いて、臨床では多くの症例が本研究の条件に近いものと思われる。

また、コア用レジンの物性が象牙質に近くなった特徴を生かして、応力集中の少ない支台築造をする立場からは^{13,14)}既製ポストは必ずしも窩洞に適合する必要はなく、レジンの物性の足りないところ、すなわち曲げ強さを補う意味でのみ使用することも考えられる。

2) 合着用セメント

鑄造支台築造の合着用セメントとして、接着性レジンセメントであるリン酸エステル系のP21、およびMMA-

TBB・O系のSBを用いた。これらは組成が著しく異なるにもかかわらず、象牙質に対しいずれも高い接着強さを示す¹⁵⁻¹⁷⁾からである。また、接着効果を知る意味で従来のリン酸亜鉛セメントについても検討した。

レジン支台築造における既製金属ポストの合着には、上記のP21とともにデュアルキュア型のコア用レジンであるDCを用いた。このレジンを合着用セメントとして用いるにはフローが十分でないが、既製ポストの窩洞に対する適合度が低いと、装着に困難はなかった。コア用レジンを合着用として用いる利点は、ポストの合着とコアの築盛を同時に行えること、両者に界面のないことである。

3) 鑄造支台築造

鑄造支台築造の保持力においては、築造体適合度の影響が大きい。そのため、製作は通常の臨床にならって間接法によって行った。また、鑄造された築造体の合着面をサンドブラスト処理して、金属とセメントとの結合力を高めた。これは、築造体をできるかぎり良い条件で製作するとともに、合着面の状態を揃えるためである。ただし金属プライマーによる処理は行わなかった。

4) レジン支台築造

レジン支台築造に用いる既製ポストには、金属表面に溝があるもの、溝のないもの、および歯質内にねじ込まれるものがある。また、テーパーのあるものとないもの、すなわちパラレルのものがある^{18,19)}。これらのうち本研究では、予備実験により良好な成績を示した、溝がありテーパーのないものを用いた。溝によって金属とセメントとの結合力を高め、レジンと象牙質の界面に引き抜き力がかかるようにするためである。ただし、ポスト上端を引き抜き試験の治具として用いるため、強度の高いステンレス鋼製とした。

コア用レジンとしては、光重合型のPCと、デュアルキュア型のDCをともに用いた。象牙質に対する剪断接着強さでは後者のほうが優れているが²⁰⁾、操作性では前者が優れ、臨床的にともに利用されているからである。

5) 引き抜き試験

条件の異なる支台築造法を比較するには、保持力の測定と破折試験がもっとも一般的である。本研究の目的は築造体の脱落を防止するための条件を探索することなので、保持力を測定した。保持力の測定には引き抜き試験によることが多いが、何らかの負荷を与え、その後に漏洩試験²¹⁻²³⁾をすることも行われている。この方法は補綴物が脱落する以前の状態を知ることができるので、より詳細な知見が得られる可能性がある。しかし、評価が定性的になりやすい欠点がある。

また、耐久性をみるには繰り返し荷重やサーマルサイクリングを行い、その後に引き抜き試験あるいは漏洩試験が行われる。本研究では、金属とコンポジットレジンまたは象牙質との熱膨張係数の差や、温度変化によるレジンの重

合の進行の影響を重視し、サーマルサイクリング試験を採用した。付与した条件は日常生活では起こりえない非常に厳しい条件であるが、長期の耐久性を予測する上では適していると考えた。

2. 合着材料について

今回の引き抜き試験の結果によると、鑄造支台築造の EC は、サーマルサイクリングの有無にかかわらず他の条件と比較し有意に低い値を示した。すなわち、本研究の結果も、接着性材料の有効性を示唆する先人らの報告^{17,24,25)}と一致していた。

また、破断面の SEM 観察によると、歯面処理を施さない条件である EC では、スメア層の上にセメント合着されていることがうかがえ、他の試料の様相と大きく異なっていた。すなわち、接着性の材料を用いた試料では SEM 観察のための乾燥操作によるクラックは認められず、歯面処理によるレジン浸透が推察された。特に SB の破断面においては、象牙質・セメント間の界面が移行的になっている樹脂含浸層と思われる所見が認められた。この層が接着力が向上した理由の主体をなすことは、すでに多くの報告で明らかにされている²⁶⁻²⁸⁾。これらのことから、スメア層を除去しセメントやレジン浸透性を高めることは、接着力の向上につながることを確認した。すなわち、支台築造の保持力を高めるためには、接着性材料を用いることが望ましい。

本研究では接着性レジンセメントとして P 21 と SB を用いた。これらについては多くの研究が行われているが^{15-17,29)}、優劣については意見の一致がみられておらず、本研究においても差は認められなかった。

鑄造支台築造では、間接法により各々の窩洞に適した築造体を製作する。一方、レジン支台築造では、既製ポストを使用することから適合性が劣り、セメント層は鑄造支台築造に比べて厚くなる。その結果負荷により劣化しやすくなり、保持力が低下するとの考えがある¹²⁾。しかし、レジンセメントにおいてはセメント層の厚みの影響を受けないとするものや¹⁶⁾、不適合な既製ポストが適合の良いものより高い保持力を示したとする報告³⁰⁾から、歯質への接着性を有する材料では、セメント層の影響が結果に直結しないことが考えられる。セメント層が厚くなることから生じる収縮応力についても、それ自体が膨収縮する材料の場合は影響が少なくなる可能性がある³¹⁾。

本研究の結果によれば、接着性材料を用いた場合の鑄造支台築造とレジン支台築造の引き抜き強さは同等であり、合着材料や適合度の影響は認められなかった。これは、ポスト長やテーバーが理想的に付与されているため、ポスト部の機械的な保持力が高く、剪断や引っ張り試験と比較し差が表れにくかった可能性がある。また、レジンセメントやコア用レジン象牙質に対する接着力や、材料自体の物

性が向上したことも考えられる。

レジン支台築造では、破断面の SEM 観察において接着システムの違いによるものと思われる相違がレジntagの部分に認められた。しかし、それぞれの引き抜き強さに差は認められないので、臨床的にはポスト部コア部ともに同一の材料を用いる DC+DC の方法が簡便で時間的な短縮もはかれるため有用と思われる。

3. サーマルサイクリングの影響

高い接着力を有する材料であっても、それが長期的に維持されなければ意味がない。そこで、本研究ではサーマルサイクリング試験を行い接着耐久性を評価した。

鑄造支台築造における引き抜き強さをみると、EC では絶対値としてはレジンセメントと比較し有意に低い値を示すが、サーマルサイクリングの影響はまったく受けず、このセメントが物性的に非常に安定した材料であることを確認した。これに対し、レジンセメントである P 21 と SB では、サーマルサイクリングにより引き抜き強さの低下傾向が認められ、不安定な材料であることを示していた。

破断面の肉眼的観察によれば、破壊様相は、初期には大部分が混合破壊であったものが、サーマルサイクリングが進むに従ってセメント・金属間の界面破壊へと移行する傾向がうかがえた。レジンセメントは合着用セメントであるため、象牙質と金属に対して2つの界面がある。そのうち、サーマルサイクリングによって劣化が進みやすいのは、象牙質・セメント間よりもセメント・金属間であると思われた。すなわち、象牙質と金属をそれぞれ被着体とし、本研究と同様にサーマルサイクリング試験を行った基礎的な研究^{15,32)}と同様の結果であった。

ただし、肉眼的に混合破壊と分類された試料でも、SEM 観察においてはほとんどがレジンセメントに覆われた像を呈していた。また、肉眼的にセメント・金属間の界面破壊と分類された試料のなかにも、SEM 観察では一部に象牙質面が露出している所見がみられた。このように肉眼的な観察と SEM 観察の所見に差がみられ、全体的な傾向は肉眼的な観察で把握できるが、実際にはそれとは異なる複雑な破壊様相を示すことがあり、SEM 観察の必要性が示唆された。

P 21 と SB を比較すると、SB において特に引き抜き強さの低下傾向が顕著で、TC 0 と TC 10,000 間に統計学的な有意差が認められた。これは SB が組成的に線状ポリマーで、温度の影響をより強く受け軟化する³³⁾ためと思われる。

一方、レジン支台築造では、サーマルサイクリングによる保持力の低下傾向が鑄造支台築造よりも顕著であった。これは、築造体を構成するレジン割合が増したためとみられ、現状では避けられないレジン支台築造の特徴といえる。

破断面の観察においては、コア用レジンが半透明な材料であるため肉眼的な破壊様相の分類は困難であった。しかし、SEM観察においては、鑄造支台築造と同様により詳細な情報を得ることができた。すなわち、TC0で肉眼的に象牙質・レジン間の界面破壊と分類されたものも、SEM観察では象牙質内の凝集破壊やボンディング層に覆われた象牙質面が認められた。また、サーマルサイクリングによりボンディング層に覆われた面が増す傾向があることがわかった。こうしたことから、破断はボンディング層で起こっており、サーマルサイクリング後の接着力の低下が象牙質との界面直上のこの層の強度に起因することが強く示唆された。

このボンディング層については、厚さが不均一なものは接着力が劣り³⁴⁾、物性的に不安定な層であるためサーマルサイクリングの影響を受けやすい³⁵⁾などの報告がある。しかし、実際の臨床において、塗布したボンディング剤をエアブローによって均一に薄層化することは困難である。特にポスト孔では、光照射や窩洞形態による重合への影響が懸念される。

一方、ボンディング層の重合が不十分である初期には、未重合層の存在がコンポジットレジンの接着に必須であり³⁶⁾、硬化不十分な層が重合収縮による応力を吸収する³⁷⁾との考えに立てば、接着に對し有効に作用する可能性もある。ただし、この場合でもサーマルサイクリングによる加熱によって重合が促進されるため、硬化が進みクラックが発生または波及しやすくなることが推察される。本研究においてはDC+DCのみ、ほとんどの引き抜き強さを担っているポスト部にもボンディング層が介在している条件であり、サーマルサイクリングによる影響を受けたことがこの層と関連している可能性がある。

4. 支台築造方法による比較

支台築造の適応となる歯冠部歯質の崩壊の程度は、症例によってさまざまで、崩壊が少ない場合は一般に成形材料のみによる築造が行われる。成形材料としては現在のところコンポジットレジンが一般的であると思われる。

さらに崩壊が進むと成形材料のみによる支台築造は困難となり、根管を維持に利用せざるをえなくなる。すなわち、ポストの利用である。臨床的にはこうした段階の支台築造が多く、本研究における鑄造支台築造も既製ポスト併用のレジン支台築造もこれにあたる。

こうした崩壊の著しい歯に対する支台築造法を比較するには、基礎的な研究としては、保持力を評価する引き抜き試験と漏洩試験、また強度を評価する破折試験が多く試みられている。

漏洩試験では、負荷試験後に色素中に浸漬し、色素の侵入の様子から評価を行う。漏洩試験で評価した渡辺²²⁾はリン酸亜鉛セメントについてではあるが、鑄造支台築造とレ

ジン支台築造に差はなかったとしている。また、レジンセメントについて同様に試験を行った佐藤ら²³⁾も、繰り返し荷重あるいはサーマルサイクリングを負荷したとき、両者に差はなかったとしている。

また、破折試験による比較でも、既製ポスト併用のレジン支台築造と鑄造支台築造との間に差がないとする研究が多い。特に歯冠部に残存歯質がある症例ではほとんど同じ結果である³⁸⁻⁴⁰⁾。ただし、レジンセメントと従来のリン酸亜鉛セメントとの間にも差を認めない報告があり⁴¹⁾、評価法としての破折試験の限界を示していると思われる。

レジン支台築造の保持力を引き抜き強さによって検討した研究には、各種のセメント^{24,25)}や既製ポストを比較したもの^{18,42)}が多く、窩洞形態を一定にして鑄造支台築造との優劣を論じた報告はごく少ない。

Stegaroiuら¹²⁾は、両者に繰り返し荷重を負荷した後、引き抜き強さを測定し、荷重の負荷後にはレジン支台築造の保持力が有意に低下したとしている。本研究では、サーマルサイクリング後に同様に引き抜き強さを測定したが、両者に差は認められなかった。これは、負荷試験の方法が異なったためと思われる。すなわち、レジン支台築造においては、繰り返し荷重という衝撃に対しては適合度が意味を持つが、サーマルサイクリングという熱変化によっては影響を受けない可能性がある。

ただし、破断面の観察からは、レジン支台築造におけるほうが象牙質内の凝集破壊が認められることが多く、歯質との一体化という点でレジン支台築造が優れていると思われる。

このように実験室のデータは、レジン支台築造が鑄造支台築造と同等の引き抜き強さ、辺縁漏洩への抵抗性、または破壊強度を有していることを示し、臨床での検証を待っている段階にある。

臨床データにおいて、既製ポスト併用のレジン支台築造と鑄造支台築造を厳密に比較した報告はほとんどみられない。臨床操作には常にいくつかの選択肢があり、同じポスト孔の形態やセメントの種類のことを揃えることが困難であり、さらにこの領域の材料の進歩が著しいことが重なったためである。Sorensenら⁴³⁾は鑄造ポストと既製ポストの成功率をそれぞれ87.3、97.7%とし、既製ポストの優れていることを主張している。一方、著者らの調査⁹⁾では鑄造支台築造とレジン支台築造の11年後の機能率はそれぞれ80、72%で鑄造支台築造のほうが良好であった。ただし、これらの報告の築造体の多くはリン酸亜鉛セメントで着着されていたと思われる。これに対し、接着性レジンセメントを用いた山下ら⁴⁴⁾の報告では、15年後の機能率をそれぞれ86.7、84.5%とし、両者に差を認めていない。

臨床操作の上からは、レジン支台築造には、窩洞にアンダーカットを許容できるため歯質の保全に有効なこと、築造窩洞を形成したその日に築造できることなどの優れた特

徴がある。しかし、狭い口腔内での唾液の侵襲を心配しながらの成形は術式として不安定で、臨床経過を左右しかねない。良好な経過を得るには、直接間接法⁴⁵⁾や間接法^{2,14)}などの導入が望ましいと思われる。

一方で、鑄造支台築造、既製ポスト併用のレジン支台築造のいずれにおいても歯根破折が生じたときには歯の保存は難しく抜歯となる可能性が高い^{39,40)}ことから、ポスト孔の形成自体が再検討され始めている^{39,41,46)}。この観点からは、コンポジットレジンの物性は象牙質に近く、歯根破折を惹起するような応力の集中を回避できることから、レジン支台築造に将来的な可能性があるように思われる。

V. 結 論

鑄造支台築造と既製ポスト併用レジン支台築造の保持力をヒト単根管抜去歯を用いて検討し、下記の結論を得た。

1. 鑄造支台築造の EC は、サーマルサイクリングの影響は受けなかったが、他の方法と比較しすべての条件で最も低い値を示した。

2. レジン支台築造の P 21+PC, P 21+DC, DC+DC はいずれも鑄造支台築造の P 21, SB と同等の保持力を示した。

3. 鑄造支台築造の SB, レジン支台築造の P 21+PC, DC+DC はサーマルサイクリングによって有意に保持力が低下し耐久性に不安が残る材料であることが示唆された。

4. SEM 観察によれば、鑄造支台築造の EC の破断面はスミア層に覆われていたが、P 21, SB ではレジンセメント層が認められた。また、レジン支台築造ではボンディング層に覆われた象牙質面が認められた。

稿を終えるにあたり、本研究に対して終始ご懇篤なるご指導とご校閲を賜りました恩師福島俊士教授ならびにご校閲下さいました歯科補綴学第一講座細井紀雄教授、第一歯科保存学講座河野 篤教授に深甚なる謝意を表します。

また、本研究の遂行にあたり、貴重な直接のご教示とご指導をいただいた歯科補綴学第二講座坪田有史博士ならびに小久保裕司博士をはじめ教職員各位に心より感謝いたします。さらに、統計処理についてご助言をいただいた数学石村貞夫助教授、電子顕微鏡観察に際してご指導をいただいた第一解剖学講座島貫芳雄助手をはじめ、抜去歯をご提供下さいました先生方に厚くお礼を申し上げます。

本論文の要旨の一部は第 99 回日本補綴歯科学会学術大会 (1998 年 5 月 30 日, 仙台) において発表した。

文 献

1) 丹下幸信, 池島久美子, 渡辺律子ほか. 支台築造に関する臨床的観察 (1). 補綴誌 27: 475-484, 1983.

- 2) Karlsson S. A clinical evaluation of fixed bridges, 10 years following insertion. J Oral Rehabil 13: 423-432, 1986.
- 3) Leempoel PJB, Käyser AF, van Rossum GMJM et al. The survival rate of bridges. A study of 1674 bridges in 40 Dutch general practices. J Oral Rehabil 22: 327-330, 1995.
- 4) 福島俊士, 天川由美子, 坪田有史ほか. 支台築造と接着-レジン支台築造について一. 補綴誌 41: 881-887, 1997.
- 5) Tjan AHL, Nemetz H. Effect of eugenol-containing endodontic sealer on retention of prefabricated posts luted with an adhesive composite resin cement. Quintessence Int 23: 839-844, 1992.
- 6) 倉本佳明, 清水 友. 試作低速用ダイヤモンドポイントによるコンポジットレジンコア材料の研削に関する研究. 昭歯誌 16: 381-392, 1996.
- 7) Mentink AGB, Meeuwissen R, Käyser AF et al. Survival rate and failure characteristics of the all metal post and core restoration. J Oral Rehabil 20: 455-461, 1993.
- 8) Torbjörner A, Karlsson S, Ödman PA. Survival rate and failure characteristic for two post designs. J Prosthet Dent 73: 439-444, 1995.
- 9) 天川由美子, 福島俊士, 坪田有史ほか. 装着 11 年後における支台築造の経過観察. 補綴誌 41・98 回特別号: 136, 1997.
- 10) 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.
- 11) Tjan AHL, Miller GD. Comparison of retentive properties of dowel forms after application of intermittent torsional forces. J Prosthet Dent 52: 238-242, 1984.
- 12) Stegaroiu R, Yamada H, Kusakari H et al. Retention and failure mode after cyclic loading in two post and core systems. J Prosthet Dent 75: 506-511, 1996.
- 13) 野口幸彦, 近藤善一郎, 坪田有史ほか. 支台築造用コンポジットレジンに関する研究 第 6 報 有限要素法による応力解析. 鶴見歯学 20: 363-375, 1994.
- 14) 坪田有史, 天川由美子, 小林和弘ほか. 成形材料による支台築造-とくにレジン支台築造について一. 接着歯学 16: 96-103, 1998.
- 15) 小久保裕司, 坪田有史, 小林和弘ほか. 象牙質および支台築造材料に対する各種着材の接着強さ. 補綴誌 38: 571-576, 1994.
- 16) 大岩美樹, 大澤雅博, 松元 仁. レジンセメントによる接着性鑄造修復法に関する研究-各種面処理法, サーマルストレスならびに被膜厚さの接着強さに及ぼす影響一. 日歯保誌 38: 1212-1221, 1995.
- 17) 天川由美子, 坪田有史, 渡邊麻実ほか. 支台築造の保持力に関する研究-メタルコアとレジンコアの比較一. 補綴誌 40・96 回特別号: 127, 1996.
- 18) Kurer HG, Combe EC, Grant AA. Factors influencing the retention of dowels. J Prosthet Dent 38: 515-525, 1977.
- 19) Miller III AW. Post and core systems: Which one is best?. J Prosthet Dent 48: 27-38, 1982.
- 20) 天川由美子, 石原正隆, 岩並恵一ほか. 支台築造用コンポジットレジンに関する研究 第 10 報 各種支台築造用コンポジットレジンの接着強さについて. 鶴見歯学 21: 305-311, 1995.

- 21) 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.
- 22) 渡辺厚生. 支台築造に関する研究—歯冠部残存歯質量の影響について—. 補綴誌 34 : 7-17, 1990.
- 23) 佐藤範幸, 小林國彦, 疋田一洋ほか. 接着性セメントを用いた三種類の支台築造法の辺縁漏洩. 補綴誌 40 : 1164-1170, 1996.
- 24) Standlee JP, Caputo AA. Endodontic dowel retention with resinous cements. J Prosthet Dent 68 : 913-917, 1992.
- 25) Mendoza DB, Eakle WS. Retention of posts cemented with various dentinal bonding cements. J Prosthet Dent 72 : 591-594, 1994.
- 26) Wang T, Nakabayashi N. Effect of 2-(Methacryloxy)ethyl phenyl hydrogen phosphate on adhesion to dentin. J Dent Res 70 : 59-66, 1991.
- 27) 杉崎順平. コンポジットレジンの象牙質接着性に及ぼす各種プライマーの効果に関する研究—特に樹脂含浸層のSEMおよびTEM観察とプライマーの接着向上効果について—. 日歯保誌 34 : 228-265, 1991.
- 28) van Meerbeek B, Dhém A, Goret-nicaise M et al. Comparative SEM and TEM examination of the ultrastructure of the resin-dentin interdiffusion zone. J Dent Res 72 : 495-501, 1993.
- 29) 吉田圭一, 舟木和紀, 棚川美佳ほか. 各種合着用セメントの諸性質. 補綴誌 39 : 35-40, 1995.
- 30) Nathanson D, Ashayeri N. Effects of a new technique, an in vitro study comparing various posts was conducted to determine the effects on retention. J Calif Dent Assoc 16 : 27-31, 1988.
- 31) Alster D, Venhoven BAM, Feilzer AJ et al. Influence of compliance of the substrate materials on polymerization contraction stress in thin resin composite layers. Biomaterials 18 : 337-341, 1997.
- 32) 野口八九重, 中村かおり, 赤間ゆかりほか. 歯質接着性セメントの接着強さの経時的変化 第2報 被着材と接着材の熱膨張係数差が及ぼす接着強さへの影響. 歯材器 6 : 196-204, 1987.
- 33) 野口八九重, 中村かおり, 小園江芳之ほか. 歯科用セメントの接着強さと圧縮強さ—温度依存性—. 歯材器 4 : 543-550, 1985.
- 34) Hilton TJ, Schwartz RS. The effect of air thinning on dentin adhesive bond strength. Oper Dent 20 : 133-137, 1995.
- 35) Bullard RH, Leinfelder KF, Russell CM. Effect of coefficient of thermal expansion on microleakage. J Am Dent Assoc 116 : 871-874, 1988.
- 36) Podshadley AG, Gullett CE, Binkley TK. Interface strength of incremental placement of visible light-cured composites. J Am Dent Assoc 110 : 932-934, 1985.
- 37) Davidson CL, van Zeghbroeck L, Feilzer AJ. Destructive stresses in adhesive luting cements. J Dent Res 70 : 880-882, 1991.
- 38) Milot P, Stein RS. Root fracture in endodontically treated teeth related to post selection and crown design. J Prosthet Dent 68 : 428-435, 1992.
- 39) Sidoli GE, King PA, Setchell DJ. An in vitro evaluation of carbon fiber-based post and core system. J Prosthet Dent 78 : 5-9, 1997.
- 40) 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.
- 41) Trope M, Maltz DO, Tronstad L. Resistance to fracture of restored endodontically treated teeth. Endod Dent Traumatol 1 : 108-111, 1985.
- 42) Tjan AHL, Tjan AH, Greive JH. Effects of various cementation methods on the retention of prefabricated posts. J Prosthet Dent 58 : 309-313, 1987.
- 43) Sorensen JA, Martino JT. Clinically significant factors in dowel design. J Prosthet Dent 52 : 28-35, 1984.
- 44) 山下 敦, 辻 清薫. 臨床疫学調査からみた接着技法の臨床効果. 補綴誌 41 : 895-901, 1997.
- 45) 横塚繁雄, 大竹博明. 光重合型コンポジットレジン (クリアフィルフォトコア) を用いた補綴臨床. デンタルマガジン 55 : 85-89, 1986.
- 46) 眞坂信夫. 変革が必要とされる支台築造法. 歯科評論 667 : 54-57, 1998.