原 著 論 文

クラウンの保持力に関する研究

—レジンモディファイドグラスアイオノマーセメントのサーマルサイクルによる検討—

大前 百子

A Study on the Retention Force of Crowns

—Influence of Thermal Cycling Cemented with Resin-modified Glass-ionomer Cements—

Momoko Ohmae

Abstract : The purpose of this study was to clarify the long-term endurance of crown retention cemented with resin-modified glass-ionomer cements (RMGI) by thermal cycling simulating the oral environment.

In this study, two kinds of cement, Fuji lute (FL) and Vitremer luting cement (VL), were selected, and Super bond C & B (SB), a resin system cement, and Fuji I (FI), a traditional GI cement, were also tested as controls.

All specimens were cemented to metal abutments with each cement, and put through the thermal cycling ($4^{\circ}\text{C} \rightarrow 60^{\circ}\text{C} \rightarrow 37^{\circ}\text{C}$) test 0 times, 5,000 times, 10,000 times, and 15,000 times, respectively.

The result was as follows :

1. The retention force of crowns cemented with FL showed little variation due to thermal cycling.
2. The retention force of crowns cemented with VL increased due to thermal cycling.
3. After 15,000 times of thermal cycling, the values of FL and VL were similar to the value of SB, and these were about two times that of FI.

Key words : resin-modified glass-ionomer cement, luting cement, retention force of crown, thermal cycling, thermal expansion

I. 緒 言

レジンモディファイドグラスアイオノマーセメント^{1,2)} (以下, RMGI と略記) は, 従来型のグラスアイオノマーセメント (以下, GI と略記) の酸-塩基反応とレジンのラジカル重合とによって硬化する^{3,4)}セメントである。これによって, GI が持っていた初期感水性, 耐摩耗性, 脆性などの種々な欠点が改善され^{2,5)}, その臨床使用頻度はより増加する傾向⁶⁾にある。

この RMGI に関しては, その機械的性質^{7~12)}および歯

質や金属に対する接着強さ^{13~19)}などの基礎的研究が報告されている。この材料は合着材としての使用を前提としており, 臨床使用に際して重要なクラウンの保持力や浮き上がり量に関し, 著者らは2種類の RMGI を用い合着したクラウンの浮き上がり量とクラウンの保持力について検討^{20,21)}した。その結果, RMGI は GI と比較して浮き上がり量が少なく, クラウンの保持力が向上することを報告した。

しかし, 臨床ではクラウンが口腔内で長期間機能を果たすためには, 合着直後のクラウンの保持力のみならず, 合着後一定期間経過した長期耐久性についても検討する必要がある。そこで本研究では, RMGI で合着したクラウンの長期耐久性について明らかとするため, 口腔内環境を考慮したサーマルサイクル試験を行った時のクラウンの保持力を測定し, 検討した。

日本大学歯学部補綴学教室クラウンブリッジ学講座 (指導: 五十嵐孝義教授)

Department of Crown and Bridge Prosthodontics, Nihon University School of Dentistry (Director: Prof. Takayoshi Igarashi)
平成 10 年 7 月 17 日受付

II. 材料および方法

1. セメント

本実験に使用したセメントの略号、製造番号および実験におけるメーカー指示の粉液比を表1に示す。実験に用いたRMGIは、フジリユート（ジーシー、以下、FLと略記）ならびにビトレマーTMルーティングセメント（3M、以下、VLと略記）である。対照には、4META含有のレジン系セメントのスーパーボンドC & B（サンメディカル、以下、SBと略記）と化学重合型のGIであるFuji I（ジーシー、以下、FIと略記）とを用いた。

各セメントの液の濃度は、FLおよびVLは田村らの実験結果²²⁾から4°Cに冷却し、SBはダッペンディッシュ、モノマー液共にメーカー指示の16°Cに冷却し、FIでは23°Cとして用いた。練和時間は、FL、VLおよびFIでは30秒間とし、直ちに合着に用いた。また、SBでは混和后直ちに合着した。

サーマルサイクル試験では材質の熱膨縮の影響が予想されることから、あらかじめFLおよびVLの熱膨張係数を求めたところ、FLの熱膨張係数は $17.3 (\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C})$ およびVLの熱膨張係数は $22.5 (\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C})$ であった。なお、その他の材料についてはこれまでに報告²³⁻²⁵⁾された値を用いた。

2. クラウンの保持力の測定

1) 金属支台歯および金属クラウン

クラウンの保持力の測定に用いた金属支台歯（以下、支台歯と略す）および金属クラウン（以下、クラウンと略す）は、ニツ谷ら²⁶⁾の方法に準じ、各セメントの実験条件ごとに5個ずつ作製した（図1および図2）。支台歯はSUS 303 鋼ステンレス製（東京技研、表面粗さRz、平均 $0.6 \mu\text{m}$ ）、クラウンは12% 金銀パラジウム合金製（キャストウェル MC、ジーシー）である。

2) セメント合着

クラウンの合着は各セメントの練和・混和后に、コンボジットシリンジ（ヤマウラ）を用いてセメント泥をクラウン内に一定量（0.12 ml）注入し手指で圧接した後、可及的速やかに上方から定荷重器で147 N（15 kgf）の静荷重を10分間加えた。なお、SBに関しては、混和后セメント泥をクラウン内に小筆にて塗布し直ちに圧接した後、定荷重器で10分間静荷重を加えた。余剰セメントは探針で取り除いて、これをクラウンの保持力測定用の試験体とした。支台歯の温度は臨床を想定し、37°Cの精製水中に保管したものを合着直前に取り出し、綿花にて余剰水分を清拭して使用した。試験体数は各セメントについて5個とし、セメントの計量、練和・混和および合着は室温 $23 \pm 1^{\circ}\text{C}$ 、相対湿度 $50 \pm 5\%$ の恒温恒湿室中で行った。

表1 Experimental cements and standard powder-liquid ratio of experimental cements
実験に使用したセメントおよびセメントの標準粉液比

商品名	略号	製造番号		標準粉液比	製造会社
		粉	液		
Fuji LUTE	FL	230761	240761	2.28 g/ml	ジーシー
Vitremer Luting Cement	VL	7287	763	1.96 g/ml	3 M
Super-Bond C & B	SB	60401	60501	モノマー 0.09 g カタリスト 0.008 g 粉 0.05 g	サンメディカル
Fuji I	FI	070441	181031	2.08 g/ml	ジーシー

図1 Metal abutment
支台歯の寸法

図2 Metal abutment and crown fitted
金属支台歯に試適した金属クラウン

図 3 Flowchart of test

サーマルサイクルによるクラウンの保持力のフローチャート

3) サーマルサイクル試験

試験体は、練和・混和開始 30 分後に温度 37°C の恒温槽内の精製水中に保管した。サーマルサイクル試験²⁷⁾を行う試験体は、セメント練和開始 24 時間後に、4°C、60°C および 37°C の恒温槽（アドバンテック東洋，LCH-4 V）に浸漬させた。各恒温槽にそれぞれ 30 秒ずつ浸漬する熱負荷を 1 回として（以下、サーマルサイクルと略記，図 3）5,000 回、10,000 回および 15,000 回行った後に、クラウンの保持力の測定をそれぞれ行った。

4) クラウンの保持力

クラウンの保持力の測定は、室温 23±1°C、相対湿度 50±5% の恒温恒湿室にて、万能試験機（ミネベア，TCM 5000 A）を用いてクロスヘッドスピード 1 mm/min で引張り試験を行い、脱離の際の最大荷重をクラウンの保持力とした^{26,28-33)}。各セメントでサーマルサイクル 0 回を基準として 5,000 回、10,000 回および 15,000 回における値との間に有意差が認められるか t-検定を行った。

また、RMGI である FL および VL について、対照であるレジン系セメントの SB および従来型 GI の FI の値との間に有意差があるか t-検定を行い検討した。

III. 成 績

クラウンの保持力の測定結果を表 2 および図 4-a, b に示した。また、同一セメントにおける各サーマルサイクル回数間の有意差検定結果を図 4-a に、サーマルサイクル同回数時における各セメント間の有意差検定結果を表 3~6 に示した。

FL は、0 回では 1,399 N および 15,000 回では 1,259 N とほぼ同じ値を示し、各サーマルサイクル回数間に有意差は認められなかった。

FL と SB のサーマルサイクル同回数間について比較すると、0 回および 5,000 回で SB のほうが有意に大きかったが、10,000 回および 15,000 回では有意差は認められなかった。また、FL と FI のサーマルサイクル同回数間に

ついて比較すると、各回数間でクラウンの保持力は FI のほうが有意に小さかった。

VL は、0 回では 1,032 N、10,000 回では 1,245 N および 15,000 回では 1,317 N を示し、0 回に比較していずれも有意に増加した。

VL と SB のサーマルサイクル同回数間を比較すると、0 回および 5,000 回で SB のほうが有意に大きかったが、10,000 回および 15,000 回では有意差は認められなかった。また、VL と FI のサーマルサイクル同回数間を比較すると、各回数間でクラウンの保持力は FI のほうが有意に小さかった。

IV. 考 察

1. 使用セメント

RMGI は、その硬化機構のなかでレジンのラジカル重合が起こると共に、GI 本来の硬化反応である酸-塩基反応もそのまま残されており³⁻⁵⁾、レジン系セメントと GI 自体が持つ特徴とを兼ね備えている。このように両セメントの物性を持つと考えられる RMGI について、フィラーをまったく含まないレジン系セメントである SB と従来型 GI である FI とを対照として、各 RMGI にサーマルサイクルを与えた際のクラウンの保持力に及ぼす影響について比較、検討した。

FL は、液と粉を練和すると GI の酸-塩基反応が始まり、同時に HEMA を含む二官能レジンモノマーが重合開始剤によって重合してマトリックス内で架橋構造体を作って硬化する^{2,3,5)}。したがって、レジンセメントと GI との反応様式を合わせ持つものである。しかし、レジンの重合反応のほうが早く終了し、セメント自体は硬化体となるが、GI の酸-塩基反応はそのまま続き長期間進行する^{3,5)}といわれている。

一方 VL は、ややその硬化反応が FL とは異なり、前述の HEMA の重合に加え、液成分のポリカルボン酸の分子側鎖あるいは分子端にペンダントのように結合したレジン基の重合も同時に起こる^{3,5)}とされている。このように RMGI で合着後のクラウンに加わるサーマルサイクルは、レジン系セメントである SB および従来型の FI で合着したクラウンの保持力に与える影響と類似あるいは相違しているか比較、検討することにした。

2. サーマルサイクル

口腔内環境を想定したサーマルサイクルの条件設定は、温度設定、浸漬時間など実験者により様々な条件で行われている³⁴⁻³⁶⁾のが現状である。今回の実験では恒温槽の温度は一般的に行われている 4°C と 60°C^{37,38)}に対し、さらに口腔内温度を考慮して、4°C → 60°C → 37°C の温度変化を 1 回のサーマルサイクルとし 0 回から 15,000 回まで 4

表 2 Retention force of crown cemented with experimental cements
クラウンの保持力

セメント	サーマルサイクル(回)			
	0	5,000	10,000	15,000
FL	1399 (67)	1405 (63)	1315 (113)	1259 (241)
VL	1032 (69)	1072 (42)	1245 (150)	1317 (79)
SB	1980 (277)	1841 (284)	1337 (265)	1293 (109)
F I	546 (40)	434 (45)	520 (68)	616 (71)

n=5, Unit : N, () : SD, 略号表 1 参照

段階で行った。なお、各温度条件における浸漬時間は、支台歯、セメントおよびクラウンの試験体全体に十分温度変化が伝わるように²⁷⁾各槽 30 秒間ずつ係留するよう条件設定した。

また、クラウンの保持力に影響を及ぼす因子のうち、セメントに関してはセメント自身の熱膨張係数とクラウンおよび支台歯の熱膨張係数との差があげられている²⁵⁾。レジ系セメントは熱膨張係数が大きく、温度変化によりその物性が変化し接着強さが著しく低下する³⁷⁻³⁹⁾ことが知られている。そこで、RMGI の熱膨張係数と各材料のそれとから比較、検討した。

RMGI の FL と VL との熱膨張係数は、17.3 (×

図 4

a : Retention force of crown cemented with experimental cements
b : Retention force of crown cemented with experimental cements by thermal changes

a : 各サーマルサイクルにおけるクラウンの保持力

b : クラウンの保持力

表 3 Results of t-test

Retention force of crowns 0 times of thermal cycling

サーマルサイクル 0 回時のクラウンの保持力の t-検定結果

	FI	SB	VL
FL	**	**	**
VL	**	**	
SB	**		

—：有意差なし
 *：危険率 5% で有意差あり
 **：危険率 1% で有意差あり

表 4 Results of t-test

Retention force of crowns 5,000 times of thermal cycling

サーマルサイクル 5,000 回時のクラウンの保持力の t-検定結果

	FI	SB	VL
FL	**	*	**
VL	**	**	
SB	**		

—：有意差なし
 *：危険率 5% で有意差あり
 **：危険率 1% で有意差あり

表 5 Results of t-test

Retention force of crowns 10,000 times of thermal cycling

サーマルサイクル 10,000 回時のクラウンの保持力の t-検定結果

	FI	SB	VL
FL	**	—	—
VL	**	—	
SB	**		

—：有意差なし
 *：危険率 5% で有意差あり
 **：危険率 1% で有意差あり

表 6 Results of t-test

Retention force of crowns 15,000 times of thermal cycling

サーマルサイクル 15,000 回時のクラウンの保持力の t-検定結果

	FI	SB	VL
FL	**	—	—
VL	**	—	
SB	**		

—：有意差なし
 *：危険率 5% で有意差あり
 **：危険率 1% で有意差あり

$10^{-6}/^{\circ}\text{C}$) および $22.5 (\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C})$ で、レジ系セメントの SB は、 $100.6 \sim 146.8 (\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C})^{23,25)}$ 、従来型 GI は $11 (\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C})^{24)}$ であり、また、金属クラウン用合金の 12% 金銀パラジウム合金は $18.3 (\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C})^{25)}$ および支台歯の SUS 303 鋼ステンレスは $16.3 (\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C})^{25)}$ である。

合着にかかわる材料の熱膨張係数の差が大きく異なると、合着物の耐久性に影響を及ぼすことが報告されている²⁵⁾が、レジ系セメントの SB と 12% 金銀パラジウム合金および SUS 303 鋼ステンレスとの熱膨張係数の差は約 5 倍から 7 倍であり、熱的膨縮の影響が現れやすいと考えられた。それに対して、RMGI と GI の熱膨張係数と合着にかかわる各材料との熱膨張係数の差はそれぞれ約 1.1 倍、0.5 倍であることから熱的膨縮の影響は極めて小さいと考えられた。

3. サーマルサイクルによるクラウンの保持力への影響

FL のサーマルサイクル 0 回のクラウンの保持力は 1,399 N、15,000 回では 1,259 N とサーマルサイクル各回数間のクラウンの保持力に有意差は認められなかった (表 2 および図 4-a)。

サーマルサイクル回数が増加しても、FL のクラウンの保持力は低下することなく、0 回から 15,000 回まで安定

した値を示したことから、FL は熱による影響を受けにくい安定したセメントであることが明らかとなった。また、合着初期から高い保持力を示したことから、FL は、レジ成分の含有量が多いために硬化時間が短く²¹⁾、硬化反応が比較的早期に進行して、練和開始 24 時間後には硬化反応の大部分が終了していることが示唆された。

FL と SB を比較すると、SB は 0 回では 1,980 N と本実験において最大値を示したが、サーマルサイクルによってクラウンの保持力は 0 回に比較し有意に低下し、5,000 回で約 93%、10,000 および 15,000 回でそれぞれ約 68 および 65% の値となり、15,000 回では 1,293 N と FL と同程度となった。SB における初期の接着強さは長期間保持されることなく、サーマルサイクルが加わるとセメントの耐久性が著しく低下²³⁾し、温度変化により接着強度が大幅に低下する³⁷⁻³⁹⁾ことが再確認された。サーマルサイクルによってクラウンの保持力が低下した理由としては、他のセメントと比べ SB の熱膨張係数がきわめて大きいことから、サーマルサイクルによってセメント自体の弾性的変化⁴⁰⁾や材料の劣化³⁴⁾が早期に起こったためである。一方、FL の熱膨張係数は前述のとおり、12% 金銀パラジウム合金および SUS 303 鋼ステンレスと同程度であるため、SB のような熱的膨縮の影響を強く受けなかったものと考えられた (表 2 および図 4-a, b)。

次に、FLとFIを比較すると、FIは、0回では546 N、15,000回では616 Nと増加傾向を示したが、FLのクラウンの保持力は0回から15,000回まで通じてFIの2~3倍の値を示した。FIは脆性材料⁴¹⁾であり、練和後の時間の経過とともに圧縮強さが増加⁴²⁾し、合着強さにおいても練和後に水中保管した場合では、その合着強さは7日目が最大である⁴³⁾と報告されている。本実験結果からも、FIはサーマルサイクルによってセメント自体の物性が向上し、これによりクラウンの保持力が増加傾向を示したものと考えられた。これは、セメント自体の物性が向上することによってクラウンの保持力も向上する²⁶⁾という報告と同様の結果であった。FLはFIのような増加傾向はなく、合着初期から安定した高いクラウンの保持力を示したことから、合着材としての有用性が示唆された。また、レジン成分 (HEMA) の添加によりセメントの物性が向上した¹²⁾ため、FLのサーマルサイクル各回数間でFIよりも高いクラウンの保持力を示したものと考えられた (表2, 図4-a, b)。

VLのサーマルサイクル15,000回のクラウンの保持力は1,317 Nであり、0回の値1,032 Nの128%を示し、サーマルサイクルによってクラウンの保持力は有意に増加した。クラウンの保持力が徐々に増加した理由としては、VLは練和開始後24時間ではRMGIのレジン成分の重合は終了しているが、化学重合型のGI成分の硬化反応は十分完了していないことが考えられた。すなわち、レジン基の重合^{3,5)}が酸-塩基反応よりも先に開始され、本来の酸-塩基反応を抑制している^{3,5)}ことが考えられた。また、VLは、サーマルサイクル5,000回および10,000回ではFLに比較していずれも低い値を示したが、サーマルサイクルによって硬化反応がさらに進行し、最終的には15,000回でFLと同程度のクラウンの保持力を示したものと推察された (表2, 図4-a, b)。

VLとSBとを比較すると、0回ではVLはSBの約1/2の低いクラウンの保持力を示したが、15,000回ではFLおよびSBと同程度となり、合着材としての有用性が示唆された (表2, 図4-a, b)。

さらにVLとFIとを比較すると、VLのクラウンの保持力は0回から15,000回まで通じてFIの約2倍の値を示した。これはFLと同様、レジン成分 (HEMA) の添加によってセメントの物性が向上した¹²⁾ためと考えられた。また、VLではFIと同様のクラウンの保持力の増加傾向を示したことから、VLはFIと同様に練和開始後24時間では完全に硬化反応が進行しておらず⁴²⁾、その後のサーマルサイクルによって硬化反応が進行し、セメントマトリックスの物性が安定しクラウンの保持力の増加が起ったものと考えられた (表2, 図4-a, b)。

以上のことから、RMGIであるFLは合着24時間後より十分な強度が発揮され、サーマルサイクルによる影響の

少ない安定したセメントで、レジン系セメントの性質を有することが、また、VLはサーマルサイクルによってクラウンの保持力が次第に向上するセメントであり、従来型GIセメントの性質を有することが明らかとなった。

V. 結 論

レジンモディファイドグラスアイオノマーセメントであるフジリユート (FL) およびビトレマールーティングセメント (VL) の2種類と、対照としてレジン系セメントのスーパーボンドC & B (SB) と従来型のグラスアイオノマーセメントであるFuji I (FI) とを用い、金属支台歯に金属クラウンをセメント合着し、サーマルサイクル試験を行い、クラウンの保持力について検討を行ったところ以下の知見を得た。

1. FLは、サーマルサイクルによるクラウンの保持力の変化は認められなかった。
2. VLは、サーマルサイクルによってクラウンの保持力は増加した。
3. FLおよびVLは、サーマルサイクル15,000回後ではSBと同程度のクラウンの保持力を示し、FIと比較して約2倍の値を示した。

稿を終えるにあたり、本研究に終始ご懇篤なるご指導およびご校閲を賜りました日本大学歯学部五十嵐孝義教授、またご専攻の立場からご指導賜りました日本大学歯学部大木一三教授、森谷良彦教授、西山實教授に深く感謝の意を表します。

また、本研究に多大なるご協力を頂きました齊藤仁弘先生をはじめとする日本大学歯学部歯科理工学教室員各位に感謝の意を表します。

最後に、ご助言ご鞭撻を頂きましたクラウンブリッジ学講座医局員各位、大学院各位ならびに塩野英昭先生に感謝の意を表します。

文 献

- 1) Hunt P. Glass ionomers : The next generation a summary of the current situation. J Esthetic Dent 6 : 192-194, 1994.
- 2) Sidhu SK, Watson TF. Resin-modified glass ionomer materials. Am J Dent 8 : 59-67, 1995.
- 3) Wilson AD. Resin-modified glass-ionomer cements. Int J Prosthodont 3 : 425-429, 1990.
- 4) McLean JW, Nicholson JW, Wilson AD. Proposed nomenclature for glass-ionomer dental cements and related materials. Quintessence Int 25 : 587-589, 1994.
- 5) 富士谷盛興, 新谷英章. グラスアイオノマーを整理する. 千田彰編, デンタルダイヤ臨時増刊号 The GIC 12-17, 東京: デンタルダイヤモンド社, 1997.
- 6) Christensen GJ. A promising new category of dental cements. J Am Dent Assoc 126 : 781-782, 1995.
- 7) Burgess J, Norling B, Summitt J. Resin ionomer restorative

- materials: The new generation. J Esthetic Dent 6: 207-215, 1994.
- 8) 日比野靖, 橋本弘一. 新しい合着用グラスアイオノマーセメントの諸性質. 歯材器 14: 554-559, 1995.
 - 9) 園田 潔. 合着用グラスアイオノマーレジンセメントに関する研究 特に粉液比が練和物および硬化物の物性に及ぼす影響について. 日歯保存誌 39: 840-846, 1996.
 - 10) 吉田圭一, 棚川美佳, 熱田 充. 各種合着用セメントの諸性質. DE 118: 8-19, 1996.
 - 11) Ohno H, Araki Y, Endo K et al. Evaluation of water durability at adhesion interfaces by peeling test of Resin film. Dent Mater J 15: 183-192, 1996.
 - 12) 菊井徹哉, 島野偉健, 鈴木郁男ほか. Resin-modified Glass-ionomer Cement の歯科理工学的性質. 奥羽大歯誌 23: 55-59, 1996.
 - 13) Cortes O, Garcia-Godoy F, Boj JR. Bond strength of resin-reinforced glass ionomer cements after enamel etching. Am J Dent 6: 299-301, 1993.
 - 14) 高田恒彦, 山田敏元, 片海正明ほか. 新しい合着用レジン強化型グラスアイオノマーセメントの各種被着体に対する接着性能について. 歯材器 14: 228-229, 1995.
 - 15) Swift EJ, Pawlus MA, Vargas MA. Shear bond strengths of resin-modified glass-ionomer restorative materials. Oper Dent 20: 138-143, 1995.
 - 16) Fritz UB, Finger WJ, Uno S. Resin-modified glass ionomer cements: Bonding to enamel and dentin. Dent Mater 12: 161-166, 1996.
 - 17) 上田裕彦, 北野忠則. 口腔内環境における接着性レジンセメントおよびレジン強化型グラスアイオノマーセメントの象牙質に対する接着強さについて. 日歯保存誌 39: 587-600, 1996.
 - 18) 北野道廣. 合着用グラスアイオノマーセメントに関する研究 特に粉液比とデンティンプライマーが象牙質接着強さに及ぼす影響について. 日歯保存誌 39: 847-853, 1996.
 - 19) Irie M, Nakai H. Marginal Sealability of resin-modified glass ionomers for base/liner: effect of hygroscopic expansion and bond strength. Dent Mater J 15: 193-200, 1996.
 - 20) 大前百子, 翠川嘉男, 渡邊真哉ほか. クラウンの保持力に関する研究—RESIN MODIFIED GLASS IONOMER CEMENT による検討—. 補綴誌 40・96 回特別号: 139, 1996.
 - 21) 星野 篤, 渡邊真哉, 田村好之ほか. クラウンの保持力に関する研究—操作余裕時間を延長させたレジンモディファイドグラスアイオノマーセメントによる検討—. 第 50 回日本大学歯学会総会講演内容要旨: 8, 1998.
 - 22) 田村好之, 塩野英昭, 五十嵐孝義ほか. Resin Reinforced Glass Ionomer Cement に関する研究—クラウンの圧接開始時期が保持力および浮き上がり及ぼす影響—. 補綴誌 41・98 回特別号: 169, 1997.
 - 23) 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.
 - 24) 山本昌雄, 若狭邦男. 成形修復材. 橋本弘一編, スタンダード歯科理工学 224-225, 東京: 学建書院, 1995.
 - 25) 池田 泰. 金属とレジンの接着耐久性に及ぼすレジンセメントの影響. 歯材器 14: 42-51, 1995.
 - 26) ニツ谷 真, 當間和弘, 澁谷昌孝ほか. クラウンの保持力に関する研究 第 5 報 サーマルサイクルがクラウンの保持力に及ぼす影響. 日大歯学 65: 1078-1087, 1991.
 - 27) 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 1 報 サーマルサイクル試験条件の設定. 歯材器 5: 660-665, 1986.
 - 28) 藤井 宏, 古田義博, 萩原芳幸ほか. クラウンの保持力に関する研究 第 1 報 仮着材の影響. 補綴誌 30: 959-964, 1986.
 - 29) 藤井 宏, 古田義博, 萩原芳幸ほか. クラウンの保持力に関する研究 第 2 報 保管条件の影響. 補綴誌 31: 1186-1194, 1987.
 - 30) 澁谷昌孝, 岩崎俊一, 古屋佳浩ほか. クラウンの保持力に関する研究 第 3 報 初期硬化時における水分の影響がセメントの物性に及ぼす影響. 日大歯学 64: 397-404, 1990.
 - 31) 澁谷昌孝, ニツ谷 真, 當間和弘ほか. クラウンの保持力に関する研究 第 4 報 初期硬化時における水分との接触がセメントの物性に及ぼす影響 (支台歯の前処置による水分浸透の抑制). 日大歯学 64: 964-974, 1990.
 - 32) 當間和弘, ニツ谷 真, 澁谷昌孝ほか. クラウンの保持力に関する研究 第 6 報 牛歯を用いた支台歯の検討. 日大歯学 66: 224-231, 1992.
 - 33) ニツ谷 真, 當間和弘, 柴山 聖ほか. クラウンの保持力に関する研究 第 7 報 仮着材がクラウンの保持力に及ぼす影響—とくにリン酸亜鉛系セメントに対して—. 日大歯学 66: 232-241, 1992.
 - 34) 宮入裕夫, 高久田和夫. 接着性レジンのサーマルサイクリング. 接着歯学 4: 35-44, 1986.
 - 35) 長谷部伸一, 中村健吾. 接着ブリッジ用 Ni-Cr-Co-Mo 合金の諸性質. 歯材器 5: 773-790, 1986.
 - 36) 越智守生, 広瀬由紀人, 肥後文章ほか. シアノアクリレート系 FH セメントの接着強度試験に関する研究 熱サイクルによる影響. 補綴誌 33: 1388-1397, 1989.
 - 37) 香川文宗, 山田純嗣, 鈴木敏光ほか. レジンセメントの被膜厚さと合着力との関係について サーマルサイクルによる影響. 日歯保存誌 34: 392-398, 1991.
 - 38) 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用材料に対する各種合着材の接着強さ. 補綴誌 38: 571-576, 1994.
 - 39) 吉田圭一, 舟木和紀, 棚川美佳ほか. 市販接着性レジンセメントの機械的性質と歯質および貴金属合金との接着強さに関する研究. 歯材器 13: 529-536, 1994.
 - 40) 佐藤一夫. 各種合着材がクラウン合着時の浮き上がりに及ぼす影響に関する実験的研究. 歯科学報 89: 1317-1337, 1989.
 - 41) 藤島昭宏, 青山眞理子, 宮崎 隆ほか. レジン添加型グラスアイオノマーセメントの機械的性質. 歯材器 16: 359-367, 1997.
 - 42) 鞍立暁則. グラスアイオノマーセメントに関する研究 合着用材料の諸物性について. 新潟歯学会誌 20: 19-28, 1990.
 - 43) 柿川 宏, 横山有紀, 田島清司ほか. 繰り返し荷重によるセメント合着強さの変化. 歯材器 8: 783-789, 1989.