

プロビジョナルブリッジにおけるPEMAとアネトールを 基材とした仮着材の保持力に関する研究

五十嵐一彰¹ 盛植泰輔¹ 石田喜紀² 岡田英俊²

Study on Retention Force of Temporary Luting Material Made from PEMA and Anethole in Provisional Fixed Partial Denture

Kazuaki IGARASHI¹, Taisuke MORIUE¹, Yoshinori ISHIDA² and Hidetoshi OKADA²

Purpose : In the system using provisional fixed partial dentures (PB), retention force of PEMA and Anethole-based temporary luting material (Pa) was compared with those of commercial temporary luting materials.

Methods : PBs were attached to stainless steel dies, which simulated abutment teeth for mandibular posterior, using commercial polycarboxylate temporary luting materials or Pa. Then tensile adhesion tests were performed under a static condition (Immersion in distilled water at 37°C for 7 days) and after two dynamic conditions (thermal cycles or three-point repeated loading tests). Repetitive luting capability of Pa were also examined.

Results : Under a static condition and after three-point repeated loading tests, Pa showed significantly greater retention force. on the other hand, after the thermal cycles, there were no significant differences between the two types of material. In addition, in the cases of using Pa, there were no cracks or fractures of PB. In the tests of repetitive temporary luting, 2nd, 3rd and 4th times were equivalent to 1st time. However, for the 4th time, the margin of PB was distorted.

Conclusions : It was confirmed that Pa offers sufficient retention force and better usability due to stress-buffering and shock-absorbing capabilities.

Key words : temporary luting material, fixed partial denture, retention force

緒 言

クラウンブリッジ補綴治療ではプロビジョナルレストレーションを用いて最終補綴装置装着までの期間、咬合機能や審美性の回復を行うこととなる。プロビジョナルレストレーションは仮着材を用いて支台歯に装着されることとなるが、その間、

脱離などのトラブルも少なくない。とくにブリッジ(Fixed Partial Denture)による補綴治療では支台歯が生活歯であることもしばしば認められ^{1,2)}、それらの脱離により冷水痛といった臨床症状を呈する恐れがあるため、外来刺激からの保護の観点³⁾からも重要である。

仮着材の所要性質には、一定期間、補綴装置が

受付：平成31年4月9日，受理：令和元年5月14日
奥羽大学大学院歯学研究科生体材料・医用工学専攻¹
奥羽大学歯学部生体材料学講座歯科理工学分野²

Department of Biomaterials and Medical Engineering,
Ohu University, Graduate School of Dentistry¹
Division of Dental Engineering, Department of
Biomaterial Science, Ohu University School of
Dentistry²

Table 1 Anatomical parameters and material of prepared abutment dies

Tooth	Mesiodistal (mm)	Buccolingual (mm)	Height (mm)	Tapers (°)	Finish Line	Code
5	7.50	8.66	5.00	10	Chamfer	P2
6	11.71	11.05	—	—	—	M1
7	11.22	10.78	5.00	10	Chamfer	M2

脱離しない接着力を持つことや必要に応じて補綴装置の除去が容易にできること、被着面に付着したセメントの除去、清掃が容易であることなど⁴⁾が挙げられる。林らはこれまでにポリエチルメタクリレート（以下 PEMA）とアネトールを主成分とする仮着材を開発⁵⁾し、機械的諸性質や単冠における保持力、支台材料への残存および合着材への影響、さらに細胞毒性を検討し、その結果、いずれも良好な結果を示している。保持力⁶⁾は前述のとおり臨床的な評価における重要なパラメータのひとつであり、合着材と異なり撤去が前提となるため、いかに制御できるかが重要となる。また、支台歯側の条件として歯種^{7,8)}、表面粗さ^{8~10)}、軸面傾斜角（テーパー）^{7,11~14)}、支台歯高径^{8,12,13)}、補助的保持形態の有無¹⁵⁾、ひいては支台築造用材料との相互作用¹⁶⁾などが挙げられる。とくにブリッジの場合、他支台歯との融通性の面からテーパー角を大きく設けることとなる¹⁷⁾。

我々は、これまでに CAD/CAM (Computer Aided Design/Computer Aided Manufacture) によるステンレス鋼製の解剖学的支台金型を試作しており、歯種やテーパー、さらにフィニッシュラインの形態といった支台歯の臨床的形態を再現することが可能となっている¹⁸⁾。これにより各種理工学的項目を評価し得るツールとしている¹⁹⁾。以上を踏まえて、本研究では解剖学的支台金型およびプロビジョナルブリッジを用いて PEMA とアネトールを基材とした試作仮着材の諸性質を市販 2 種のポリカルボキシレート系仮着材と比較検討することとした。

材料および方法

1. 支台金型の設定およびプロビジョナルブリッジの製作

下顎第一大臼歯は最も早期に喪失しやすい歯の

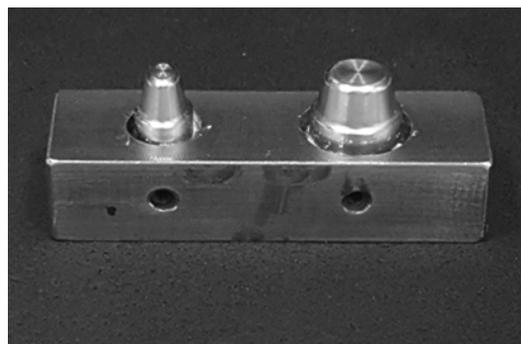


Figure 1 Abutment dies made of stainless steel

ひとつである^{20,21)}。つまり、下顎第二小臼歯と下顎第二大臼歯を支台歯としたブリッジ治療が臨床的に高頻度で行われる可能性が高いため、今回これらの全部金属冠を支台装置として想定した下顎左側 3 ユニットブリッジ²²⁾用の解剖学的パラメータ²³⁾および軸面傾斜角¹⁷⁾で設定されたステンレス鋼製の支台金型を製作¹⁸⁾した (Table 1 および Figure 1)。プロビジョナルブリッジ（以後 PB）材料として PMMA 系常温重合レジンであるキュアグレース（粉液比 2.0, トクヤマデンタル）を用いた。また、PB 製作用として、支台金型と PB 間のセメントスペースを 100 μ m、咬合面の厚さを 1.5mm、ポンティックを船底型として設計した真鍮製のファブリケーター¹⁸⁾を製作した (Figure 2)。ファブリケーターに餅状期となったレジンを、加圧填入器 (OIL PRESS α II, ヨシダ) を用いて填入圧 1.96MPa で填入し 10 分間常温で重合させ PB を製作した。

2. 用いた仮着材の種類および練和方法

PEMA とアネトールの化学構造を Figure 3 に、用いた仮着材の成分および粉液比を Table 2 にそれぞれ示す。PEMA とアネトールを基材とした試作仮着材（以下 Pa）および対照群としてポリカルボキシレート系仮着材であるハイボンドテン

Table 2 Components and powder to liquid ratios of temporary luting materials used

Temporary luting materials	Powder component	Liquid component	Powder to Liquid Ratio	Codes
HYBOND Temporary Cement Soft	Zinc Oxide	Acrylate Tricarmonic acid Copolymer	2.2	Ts
HYBOND Temporary Cement Hard	Zinc Oxide	Acrylate Tricarmonic acid Copolymer	1.6	Th
PEMA-Anethole	Polyethyl Methacrylate	Anethole	2.0	Pa



Figure 2 Fabricator designed and manufactured for production of PB

This fabricator was designed so that 100 μ m space created between PB and abutment dies.

ポラリーセメントソフトおよびハイボンドテンポラリーセメントハード（以下それぞれ Ts および Th, いずれも松風）をそれぞれ用いた。練和方法として Pa はダッペンガラスとプラスチックスパチュラによる攪拌型の練和^{5,24)}を, Ts および Th は業者指定の練和方法で行った。

3. 各種仮着材硬化体の SEM 観察

各種仮着材練和物を内径6mm, 高さ2mmの亚克力製チューブに充填し10分間硬化させ観察試料とした。その後, 観察試料を走査型電子顕微鏡 (TM3030Plus 形 Miniscope, 日立ハイテクノロジー) を用いて加速電圧15.0kV にて観察を行った。

4. 接着試験による保持力

1) 接着試料の製作

各種仮着材練和物を PB 内面に充填し, 定荷重試験機 (青機社) を用いて98N で支台金型に10分間圧接, 硬化させ接着試料とした。

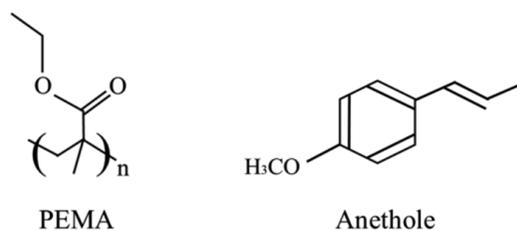


Figure 3 Chemical structures of Polyethylmethacrylate (PEMA) and Anethole

2) 静的条件での保持力

接着試料を37 $^{\circ}$ Cの蒸留水中で7日間保管し, 万能試験機 (MODEL-1310DW, アイコーエンジニアリング) にブリッジリムーバーを装着, P2-M1間または M1-M2間に適用した (Figure 4)。クロスヘッドスピードについては, Pa が弾性を示すこと²⁵⁾や接着試料が立体構造であることを考慮し40mm/min にて接着試験を行った²⁶⁾。計測された最大荷重 (mN) を脱離が生じた支台金型の表面積で除した値を保持力 (kPa) として算出した。試料数は6実験群とも5個とし, 総数30試料とした。

3) 熱サイクル負荷試験後の保持力

仮着材は合着材のように長期間の使用を目的としていないことから, 接着試料を5 $^{\circ}$ Cと55 $^{\circ}$ Cの水槽に各30秒間ずつ浸漬する熱サイクル負荷を100サイクル行った。その後, 前述の万能試験機にブリッジリムーバーを装着し, P2-M1間または M1-M2間でクロスヘッドスピード40mm/min にて, 接着試験を行った。保持力の算出および試料数は前述の静的条件下の実験に準じた。

4) 三点繰り返し荷重試験後の保持力

接着試料を工業用スクリューで固定後, 荷重試

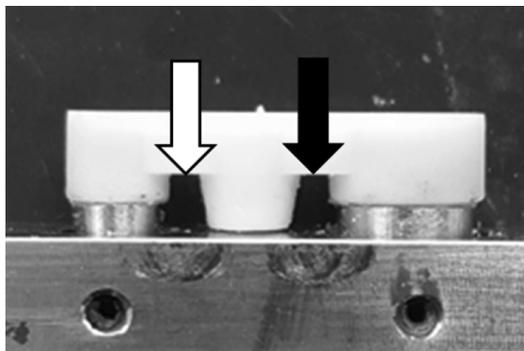


Figure 4 Temporary luting of PB to abutment dies

White arrow indicates the position of the remover between P2 and M1. Black arrow indicates the position of the remover between M1 and M2.

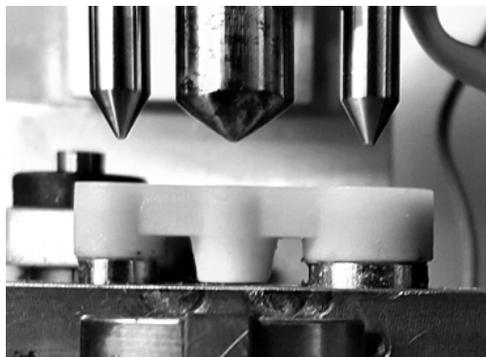
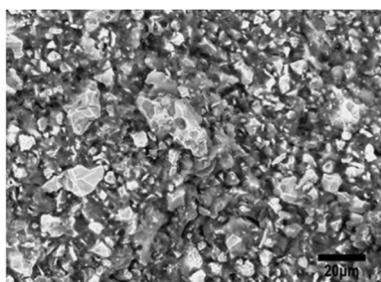
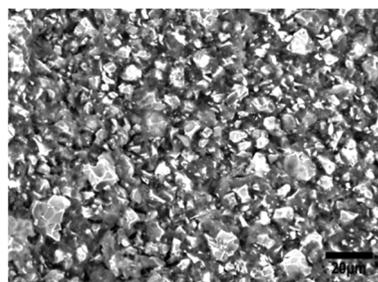


Figure 5 Three-point repeated loading tests

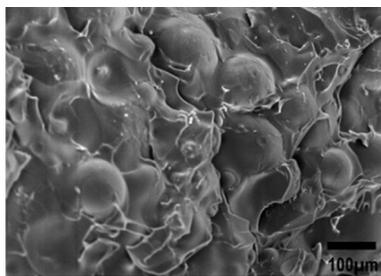
The test jig tips imitated a cusp, both of which were set to have the same sphericity.



TS



TH



PA

Figure 6 SEM observation images of various cured temporary luting materials

験機（オリエンタルモーター）に三点荷重試験用ジグを装着（Figure 5）し、岡田の方法^{27）}に準じて、接着試料のPB各歯の中心に対し垂直方向から3.49Nの荷重を25mmの高さより繰り返し自由落下させた。本条件においても短期的な挙動を観察するため100rpmにて500回の衝撃荷重を与えた。その後、前述の万能試験機にブリッジリムーバーを装着し、P2-M1間またはM1-M2間でクロ

スヘッドスピード40mm/minにて、接着試験を行った。保持力の算出および試料数は前述の静的条件下の実験に準じた。

5. Paの反復仮着能の検討

Paはメチルメタクリレート樹脂と親和性が高く、撤去後はPBに残留した状態が予想される^{5）}。つまり、PBからPaを除去することが困難であると考えられるため、再度または複数回、アネトー

Table 3 Result of two-way ANOVA in retention force of a static condition

Source	s.s.	d.f.	m.s.	Fo	p
Type of temporary luting materials	312095	2	156048	54.051	0.000
Sites bridge remover was applied	5016	1	5016	1.737	0.200
Interaction	3065	2	1532	0.531	0.595
Residual error	69289	24	2887		
Sum total	389465	29			

s.s. : Sum of squares d.f. : Degree of freedom m.s. : Mean square Fo : F value p : p value

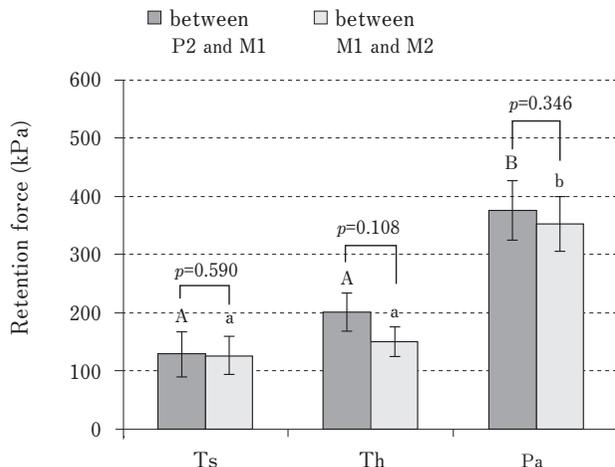


Figure 7 Retention force of PB set by various temporary luting materials in a static condition

There is no significant difference between the same capital alphabets, and there is a significant difference between different capital alphabets. The same interpretation applies to lower case alphabets. In addition, these p values in the figure are results of Mann-Whitney's U tests.

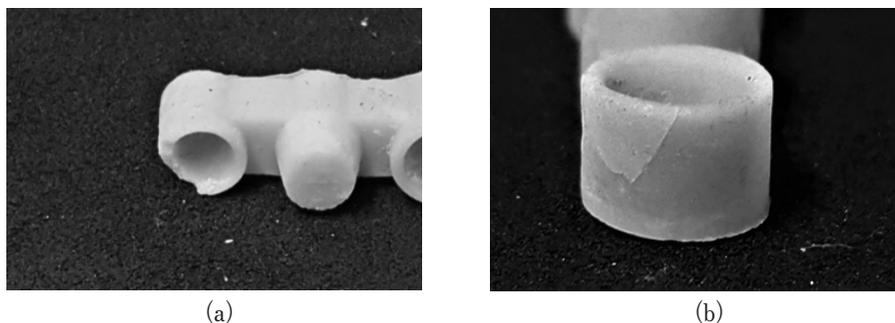


Figure 8 Destructions of PB after tensile adhesion tests
(a) fracture (b) crack

ルを作用させ反復仮着の有効性について検討した。静的条件下での接着試験による撤去後、Paが残留したPB内面にアネトールを各部100 μ l滴下し

60秒間作用させ、定荷重試験機を用いて98Nで支台金型に10分間圧接し接着試料とした。その後、静的条件下での保持力と同様の方法で接着試験

Table 4 Result of two-way ANOVA in retention force after 100 times of thermal cycles

Source	s.s.	d.f.	m.s.	Fo	p
Type of temporary luting materials	38937	2	19468	2.972	0.070
Sites bridge remover was applied	21049	1	21049	3.214	0.086
Interaction	24347	2	12174	1.859	0.178
Residual error	157201	24	6550		
Sum total	241534	29			

s.s. : Sum of squares d.f. : Degree of freedom m.s. : Mean square Fo : F value p : p value

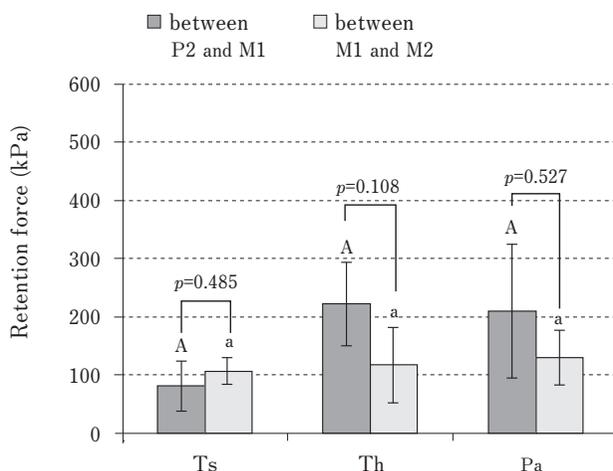


Figure 9 Retention forces of PB set by various temporary luting materials after 100 times of thermal cycles

を行った。

6. 統計処理

静的条件の1条件および動的条件の2条件にそれぞれ仮着材の種類とブリッジリムーバー適用部位を変動要因として二元配置分散分析を行い、ブリッジリムーバー適用部位ごとにBonferroni補正法により仮着材の種類による影響の有無について検定を行った。また、同一仮着材におけるブリッジリムーバー適用部位の違いによる有意差の有無を1実験群当たりの試料数を考慮しMann-Whitney's U testにて検定した。Paの反復仮着能の検討では、初回仮着群を対照として変動要因に仮着回数およびブリッジリムーバー適用部位を配した二元配置分散分析を行った。各変動要因または相互作用が有意であった場合にブリッジリムーバー適用部位ごとにDunnnett検定を行い、初回仮着群に対し有意差が生じる仮着回数を調査

した。また、仮着回数ごとにおけるブリッジリムーバー適用部位による有意差の有無を前述と同様の理由でMann-Whitney's U testを行い検定した。なお、有意水準はすべて5%とし、Shapiro-Wilk検定にて正規性を、Bartlett検定にて等分散性を事前検定した。

結果

1. 各種仮着材硬化体のSEM観察

各種仮着材硬化体のSEM像をFigure 6に示す。いずれの硬化体においても未溶解粉末の核および周囲が粉末表面の溶解物で構成された有核構造が認められた。しかしながら、TsおよびThはいずれも不定型の微細な粒子が凝集した有核構造となっており酷似しているが、Paでは巨大なほぼ球型の核部およびそれらをマトリックス部が包含した特異な有核構造が観察された。

Table 5 Result of two-way ANOVA in retention force after 500 times of three-point repeated loading tests

Source	s.s.	d.f.	m.s.	Fo	p
Type of temporary luting materials	279896	2	139948	27.534	0.000
Sites bridge remover was applied	5795	1	5795	1.140	0.296
Interaction	18801	2	9400	1.849	0.179
Residual error	121984	24	5083		
Sum total	426476	29			

s.s. : Sum of squares d.f. : Degree of freedom m.s. : Mean square Fo : F value p : p value

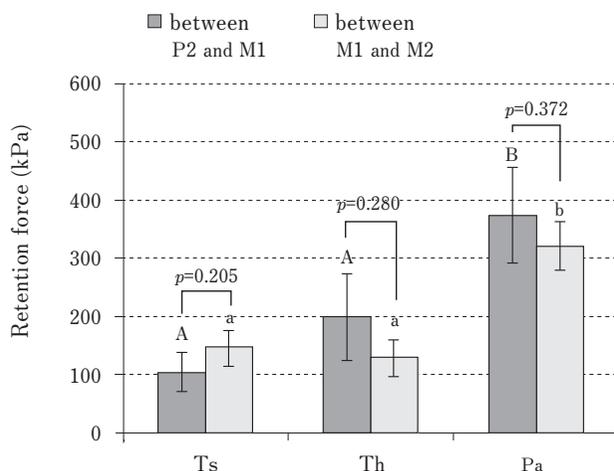


Figure 10 Retention forces of PB set by various temporary luting materials after 500 times of three-point repeated loading tests

2. 静的条件における保持力

静的条件における保持力の二元配置分散分析結果を Table 3に示す。仮着材の種類に有意な主効果を認め、ブリッジリムーバー適用部位および相互作用は有意な主効果を示さなかった。また、静的条件における保持力の比較結果を Figure 7に示す。Ts および Th と比較して Pa は有意に高い保持力を示した ($p < 0.05$)。M1-M2間にブリッジリムーバーを適用した Th では PB の M1近心に60%の試料で破折が生じ、残り40%は亀裂が生じた (Figure 8)。また、M1-M2間にブリッジリムーバーを適用した Pa では接着試験時に P2部での脱離 (以下、遠隔脱離) が20%の試料で認められた。

3. 熱サイクル負荷試験後の保持力

熱サイクル負荷試験後の保持力の二元配置分散分析結果を Table 4に示す。いずれの変動要因お

よび相互作用も主効果を示さなかった。また、熱サイクル負荷試験後の保持力の比較結果を Figure 9に示す。いずれの仮着材およびブリッジリムーバー適用部位でも保持力の有意差は認められなかった。M1-M2間にブリッジリムーバーを適用した Th では PB の P2近心に40%の試料で亀裂が生じた。また、Paにおける遠隔脱離は認められなかった。

4. 三点繰り返し荷重試験後の保持力

三点繰り返し荷重試験後の保持力の二元配置分散分析結果を Table 5に示す。仮着材の種類に有意な主効果を認めたが、ブリッジリムーバー適用部位および相互作用は有意な主効果を示さなかった。三点繰り返し荷重試験後の保持力の比較結果を Figure 10に示す。P2-M1間にブリッジリムーバーを適用した Pa は Ts および Th と比較して有意に高い保持力を示したが、P2-M1間にブリッ

Table 6 Result of two-way ANOVA in retention force of repetitive temporary luting by Pa

Source	s.s.	d.f.	m.s.	Fo	p
Number of temporary luting	11292	3	3764	0.393	0.759
Sites bridge remover was applied	11085	1	11085	1.157	0.290
Interaction	22710	3	7570	0.790	0.508
Residual error	306556	32	9580		
Sum total	351643	39			

s.s. : Sum of squares d.f. : Degree of freedom m.s. : Mean square Fo : F value p : p value

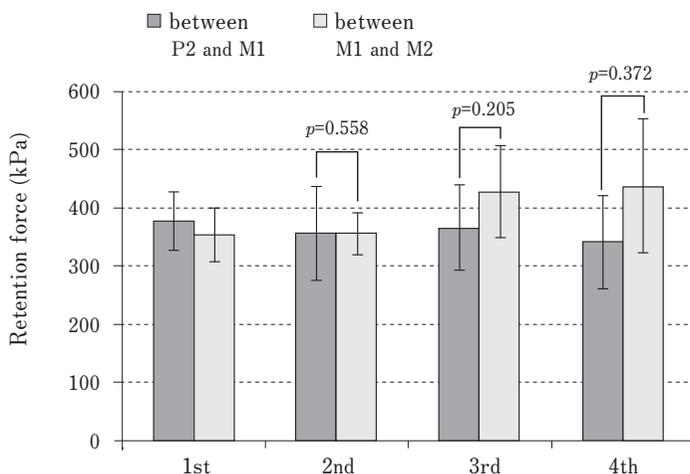


Figure 11 Number of repetitive temporary luting and the retention force of PB set by Pa

These p values in the figure are the results of Mann-Whitney's U tests.

ブリッジリムーバーを適用した Th はそれ以外の実験群との有意差は認められなかった。M1-M2間にブリッジリムーバーを適用した Th では PB の P2 近心および中央それぞれ20%の試料で亀裂が生じた。また、M1-M2間にブリッジリムーバーを適用した Pa では40%の試料で遠隔脱離が生じた。

5. PA の反復仮着能の検討

PA を反復仮着した際の保持力の二元配置分散分析結果を Table 6 に示す。いずれの変動要因および相互作用も主効果を示さなかった。Pa を反復仮着した際の保持力の比較結果を Figure 11 に示す。いずれのブリッジリムーバー適用部位においても有意差は認められなかった。また、M1-M2間にブリッジリムーバーを適用した場合、PB の遠隔脱離が2回目まで40%、3回目および4回目

で20%生じた。4回目の試験後に、P2-M1間にブリッジリムーバーを適用した場合、PB の M2 遠心のマージンの変形が60%の試料で認められた。同様に、4回目の試験後に、M1-M2間にブリッジリムーバーを適用した場合、PB の P2 近心のマージンの変形が40%の試料で認められた (Figure 12)。

考 察

1. 静的条件での保持力について

ポリカルボキシレート系セメントの硬化機構は酸塩基反応による酸化亜鉛粒子の溶出およびアクリル酸のカルボキシル基と Zn^{2+} のキレート結合によるマトリックス形成によるものであり、有核構造となっている (Figure 6)。また、親水性を

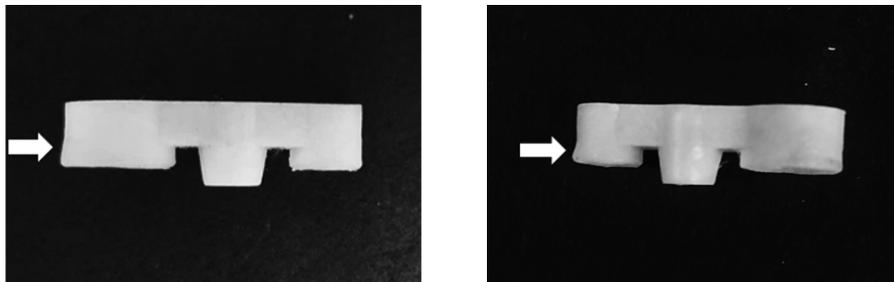
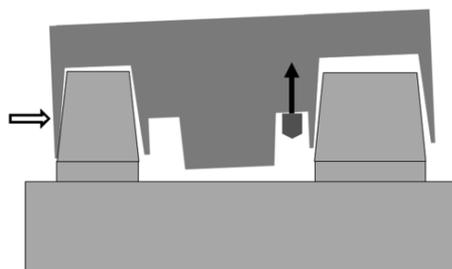


Figure 12 Distortions of PB
White arrows



← Stress acting on desorption

⇐ Stress concentration

Figure 13 Schematic diagram of the stress during tensile adhesion tests

示すウォーターベースセメントであり²⁸⁾、水中崩壊率は7日間で大きい値を示すことが知られている²⁹⁾。崩壊挙動としては水分子による再極性化に起因するキレート結合の分解と考えられ、崩壊に伴う Zn^{2+} の溶出³⁰⁾ を生じる。緑野らの報告³¹⁾ によると大きな被膜厚さを示す場合、水中での水分曝露が大きくなるため崩壊挙動が上昇している。今回の実験ではセメントスペースは100 μ mであり、7日間の水中浸漬によりマージン部からの水の侵入によりセメント硬化体の崩壊が進行したものと考えられた。一方、Paについても未溶解PEMAを核として、PEMA表面がアネトールにより溶解され、線状分子がマトリックスを形成する有核構造を呈する (Figure 6)。しかしながら、Paの粉末であるPEMAは重合性官能基としてビニル基を、液のアネトールはベンゼン環をそれぞれ有し、これらの化学的構造は疎水性を示すため、

経時的な水分曝露の影響が小さくなったものと推察された。なお、過去の報告⁵⁾ によるとPaの溶出率は24時間での測定結果が記されているにとどまっており、今後、中・長期的な測定が必要であると考えられた。

2. 熱サイクル負荷試験後の保持力について

今回の実験モデルでは熱伝導率の高い支台金型から接着層への温度変化が生じると考えられる。つまり、支台金型と仮着材の接着界面は最も温度変化による影響を受けやすいと推察される。ここで、材料の分類について言及すると、Paは基材として有機高分子材料であるPEMAを用いているが、TsおよびThはいずれも粉末が酸化亜鉛であり熱膨張率はステンレス鋼よりやや小さい値である^{32,33)}。これらのことからPaはTsおよびThと比較して熱膨張係数が遥かに大きい³⁴⁾と推察され、支台金型とのひずみ量の違いから接着界面に応力集中が生じ接着破壊が生じる⁵⁾ため保持力が低下したものと考えられた。しかしながら、熱伝導モデルは天然歯の場合と異なることを考慮した場合、TsおよびThでは各材料の相互作用において、PBとセメントは機械的嵌合とvan der Waals forceによるもののみとなる¹⁶⁾が、セメントのカルボキシル基は天然歯の Ca^{2+} とキレート結合する。また、熱伝導は外側のPBから伝わることとなり、これらの理由から実際の口腔内では、熱変化による膨縮応力の集中の変位により挙動が変化する可能性がある。一方、PaではPBと仮着材層間は化学的親和性が高く、マトリックスを共有し同程度の熱膨張を起こすと考えられ、熱伝導の方向が変化しても応力集中部位の変化は生じないと推察される。そのため、実際の

口腔内においても今回の実験挙動と大きく変わらないものと推察された。

3. 繰り返し荷重試験後の保持力について

宮本の報告³⁵⁾によると、一点集中繰り返し荷重における2歯支台ブリッジの各支台が負担する曲げモーメントおよび負担荷重についての考察において、荷重時に咬合面では衝撃に加え曲げ応力が生じ、軸面ではせん断応力が加わるが金属製のブリッジを用いた場合はその優れた機械的性質によりこれらの影響が小さくなるため三点荷重時も同様の脱離挙動を示すとしている。今回用いた材料はPMMA製のプロビジョナルレストレーションであり、これらの応力による影響はより強く表れるものと考えられた。一方、Paの硬化体はゴム弾性体であり、緩圧・緩衝作用^{36,37)}に優れたエラストマー³⁸⁾としての性質を有していると考えられ、繰り返し荷重試験後も仮着材層の破壊が生じず保持力に対して多大な影響が生じなかったものと推察された。ポリカルボキシレート系仮着材であるTsおよびThはステンレス製支台金型においては非貴金属元素と接着が生じると言われている^{39,40)}。しかしながら、PBの材料であるPMMAとは化学的な接着を生じない¹⁶⁾とされ、機械的投錨効果およびvan der Waals forceによるものである。すなわち、繰り返し荷重による衝撃により、早期に仮着材とPB間の界面接合が破壊され、さらに非弾性材料であるため、さらなる衝撃により仮着材層の破壊が生じたものと推察された。

4. ブリッジリムーバー適用部位と生じる応力ならびに各種仮着材の特性について

静的、動的いずれの条件下でも接着試験を行っているが、試験モデルとしては一種の引張接着試験であるといえる。しかしながら、被着体は支台構造をとっており咬合面、隅角部およびフィニッシュラインには引張応力が、軸面にはせん断応力がそれぞれ生じることとなる。また、PBにかかる応力は支台金型の2支点、P2-M1間またはM1-M2間の1力点となっており、近位支点への応力は比較的垂直方向へ働くが、遠位にある支点外側はPBが脱離する回転運動の回転軸となり曲げ応力が生じることとなる。つまり、M1-M2間にブリッジリムーバーを適用した場合はP2近

心がM2を脱離させる応力の作用点となる。この応力は、相対応力であるkPaに脱離部の表面積を乗じた値mNで表される。すなわち、P2-M1間にブリッジリムーバーを適用した場合のM2遠心への応力よりM1-M2間にブリッジリムーバーを適用した場合のP2近心への応力の方が大きいと考えられた。一方、被着体に注目してみると、支台金型材料であるステンレス鋼は表面で大気中の酸素と瞬時に結合し酸化被膜を形成する。酸化被膜の形成により表面エネルギーは増大し、ぬれ性に係るパラメータである接触角が小さくなる⁴¹⁾。すなわち、前述の非貴金属元素との微弱な接着の発生とこれらの被着体の性質から接着界面での相互作用の発生が推察され、この場合、脱離に働く応力への抵抗は仮着材の機械的性質に依存することとなる。そして、それはThの方がTsより優れている¹⁶⁾ため、結果としてP2近心への絶対応力の集中により破折に至ったものと推察された(Figure 13)。さらにこの場合、保持力計測の際、脱離時ではなく破折または亀裂が生じた際の値となっているためP2-M1間にブリッジリムーバー適用時と比較して計測値がやや小さく表れたものと考えられた。Paについては、エラストマーの特性である摩擦係数の高い^{42,43)}ことや前述したとおり、応力の緩衝および分散能力を有している^{36~38)}と推察され、この場合、その摩擦力は支台金型双方の被着面積に係ることとなる。そのため、界面での接着破壊が生じない限り、高い保持力を示したと考えられた。また、P2近心に極度の応力が集中すると考えられるM1-M2間にブリッジリムーバーが適用した場合において遠隔脱離が認められるのも、これらの性質によるものであると推察された。すなわち、ブリッジの形態をとっていることにより、Paを用いたPBの保持力は、その弾性に起因する高い摩擦力で脱離に抵抗し、応力緩衝能をもって破損を免れている可能性が示唆された。

5. PAの反復仮着能の検討について

クラウンブリッジの臨床術式では、支台歯形成後に1回目のPBの仮着を行う。その後、精密印象採得後に2回目、フレームワーク試適時に3回目といったように最終補綴装置の装着に至るまで

に複数回の仮着操作を要する。多数歯に渡るロングスパンブリッジでは咬合支持域の観点⁴⁰から咬合床による咬合採得が必要となるケースや、クロスマウント法による顎路の決定⁴⁵など、オプションとなる処置が増えればPBの撤去や再仮着の回数が増えることとなる。PaはPMMAレジンに対し親和性が高くPBからの除去が困難といった欠点を有するが、再度極性化すれば反復して使用できるのではないかという起想から今回の検証に至った。初回と同程度の保持力が維持できた反面、マージン部の変形が生じた試料も観察された。今回の実験では仮着材層が100 μ mでありアネトールはPB内面の残留仮着材表層に対し再度反応するが、支台金型への圧接時にマージン部が通路としての機能を持つため、溢出したアネトールが反復仮着によりマージン部のPMMAに作用し、さらに、接着試験時の応力集中部位に曲げ応力が生じ変形に至ったと考えられた。しかし、PMMA製のPBの変形については、接着試験の反復による機械的応力で塑性変形したことも考えられることから、今後、対照材料でも反復仮着試験を行い、その結果を検証する必要があると考えられた。さらに、反復仮着回数に制限が生じることが示唆されたため、今後、PBの材料を含めた検討を要する。

結 論

PEMAとアネトールを基材とした仮着材に関連し、プロビジョナルブリッジを想定し静的条件下での静置、熱サイクル試験および三点繰り返し荷重試験後の保持力ならびに反復仮着能の検討についての実験的研究を行ったところ以下の結論を得た。

1. PEMAとアネトールを基材とした仮着材は水中浸漬7日間の条件において市販ポリカルボキシレート系仮着材と比較して高い保持力を示した。

2. PEMAとアネトールを基材とした仮着材は熱サイクル試験を100回負荷した条件において市販ポリカルボキシレート系仮着材と同等の保持力を示した。

3. PEMAとアネトールを基材とした仮着材は繰り返し荷重試験を500回負荷した条件におい

て市販ポリカルボキシレート系仮着材と比較して高い保持力を示した。

4. PEMAとアネトールを基材とした仮着材は応力緩衝能に優れ、プロビジョナルブリッジ撤去時の破壊が認められなかった。

5. PEMAとアネトールを基材とした仮着材は数回程度以上の反復仮着で変形した。

以上のことから、PEMAとアネトールを基材とした仮着材は、仮着時は脱離しにくく、次回来院時には容易に撤去が可能という臨床的に期待される要件を満たし、さらに、プロビジョナルブリッジの破損を予防でき得る理想的な性質を具備していた。

謝 辞

本研究の遂行にあたり、ご協力頂きました冠橋義歯補綴学分野教室員の先生方に感謝申し上げます。

本論文の要旨は一般社団法人 日本歯科理工学会第72回秋期学術講演会（平成30年10月）において発表した。

本研究に関し、開示すべき利益相反状態にある企業等はない。

文 献

- 1) 玉岡玲洋, 土屋総一郎, 若松正憲, 小坂 茂, 柳田史城, 甘利光治, 平井拓也, 中根 卓: 平成3年における冠・架工義歯補綴に関する統計的観察(その2) 架工義歯について. 松本歯学 20: 185-196 1994.
- 2) 川添堯彬, 末瀬一彦, 土佐淳一, 木村公一, 弓場直司, 徳永 徹, 吉川広行: 本学臨床実習における冠・架工義歯の統計的観察. 歯科医学 48: 704-714 1985.
- 3) 木本克彦: 第2章 臨床操作 VI プロビジョナルレストレーションA 臨床的意義. クラウンブリッジ補綴学(矢谷博文, 三浦宏之, 細川隆司, 小川 匠編) 第5版: 145 医歯薬出版 東京 2014.
- 4) 赤坂 司, 吉田靖弘: 14 接着・合着用材料 G 仮着用セメント. スタンダード歯科理工学(中嶋 裕, 西山典宏, 宮崎 隆, 米山隆之編) 第6版: 262 学建書院 東京 2016.
- 5) 林 幹太, 石田喜紀, 岡田英俊: PEMAとアネトールを主成分とする仮着材の開発. 奥羽大歯学誌 43: 23-32 2016.
- 6) 土川博子: テンポラリー・クラウンの保持力に関する研究. 補綴誌 29: 418-439 1985.

- 7) Kaufman, E.G., Coelho, D.H. and L. Colin : Factors influencing the retention of cemented gold castings. *J. Prosthet. Dent.* **11** ; 487-502 1961.
- 8) Lorey, R.E., Embrell, K.A. and Myers, G.E. : Retentive factors in pin-retained castings. *J. Prosthet. Dent.* **17** ; 271-276 1967.
- 9) Øilo, G. and Jørgensen, K.D. : The influence of surface roughness on the retentive ability of two dental luting cements. *J. Oral Rehab.* **5** ; 377-389 1978.
- 10) Smith, D.C. : The effect of prepared dentin on the retention of castings. *J. Prosthet. Dent.* **23** ; 187-198 1970.
- 11) Jørgensen, K.D. : The relationship between retention and convergence angle in cemented veneer crowns. *Acta. Odont. Scand.* **13** ; 35-40 1955.
- 12) 末瀬一彦 : 全部鑄造冠の維持力に関する合着セメント層の力学的研究. *歯材器誌* **37** ; 53-84 1980.
- 13) Colley, I.T., Hampson, E.L. and Lehman, M.L. : Retention of Post Crowns. *Brit. Dent. J.* **124** ; 63-69 1968.
- 14) 大橋康良 : 架工義歯の前歯支台装置に関する研究 第1編 歯面傾斜度とCEMENT合着力との関係. *歯科学報* **68** ; 715-725 1968.
- 15) 清水太加志, 長田貴幸, 藤島昭宏, 割田研司, 胡書海, 川和忠治 : 補助的保持形態である咬合面孔が歯冠補綴物の保持力に及ぼす影響. *歯材器* **23** ; 306-312 2004.
- 16) 五十嵐一彰, 盛植泰輔, 大木達也, 齋藤龍一, 石田喜紀, 岡田英俊, 寺田善博 : 仮着用ポリカルボキシレートセメントの粉末粒径が計量誤差および機械的性質に及ぼす影響. *日歯理工誌* **36** ; 261-269 2017.
- 17) 俵木 勉 : ブリッジのセメント合着に関する研究 (第2報) -とくに, 軸壁傾斜角度とセメント練和時の練板温度について-. *歯材器* **5** ; 222-231 1986.
- 18) Igarashi, K., Moriue, T., Ishida, Y., Okada, H. and Terada, Y. : Manufacture of the metal dies for the experiment in the adhesion examination. *International Dental Materials Congress 2016* ; 106 2016.
- 19) 大木達也, 齋藤龍一, 盛植泰輔, 五十嵐一彰, 石田喜紀, 関根秀志, 岡田英俊 : 常温重合レジンの操作条件が機械的性質と適合性度に及ぼす影響について. *日歯理工誌* **36** ; 374 2017.
- 20) 渡辺隆史, 大沢孝一, 岡田典久, 中野憲一, 田中庄二, 町野 守, 中里義博, 藤野悦男, 増田 屯 : 第1大白歯の動向. *城歯大紀要* **15** ; 103-112 1986.
- 21) Yoshino, K., Ishizuka, Y., Watanabe, H., Fukai, K., Sugihara, N. and Matsukubo, T. : Sex- and age-based differences in single tooth loss in adults. *Bull. Tokyo Dent. Coll.* **56** ; 63-67 2015.
- 22) 腰原 好 : 補綴症例解説下顎第1大白歯欠如に対するブリッジの症例. *歯科評論* **374** ; 130-132 1973.
- 23) Suzuki, N. : Generational differences in size and morphology of tooth crowns in young modern Japanese. *Anthropol. Sci.* **101** ; 405-429 1993.
- 24) 岡田英俊, 及川 均, 龍方一郎, 石田喜紀, 林幹太, 覚本嘉美, 川島 功, 八木原淳史, 遠藤 学, 大塚保光 : メタクリレート系ポリマーを基材とした歯科用仮着材の開発 練和方法の違いが諸性質に及ぼす影響. *奥羽大歯学誌* **41** ; 9-13 2014.
- 25) 田邊 元, 中禮 宏, 吉田結梨子, 和田敬広, 宇尾基弘, 上野俊明 : マウスガード用表面処理剤の積層接着力への効果. *日歯理工誌* **36** ; 324 2017.
- 26) Kobayashi, M., Okubo, C., Shimpo, H., Ishikawa, Y., Kurihara, D., Hosoi, T. and Murata, T. : Retentive force of the konus telescope on one-piece implant. *Prosthodont. Res. Pract.* **7** ; 216-218 2008.
- 27) 岡田英俊 : グラスアイオノマーセメントの接着耐久性に関する研究. *奥羽大歯学誌* **28** ; 226-238 2001.
- 28) JIS T 6609-2005. 歯科用ウォーターベースセメント. 日本規格協会.
- 29) 長沢悠子, 日比野靖, 中嶋 裕 : 仮着用セメントの蒸留水中における崩壊挙動. *明海歯学* **36** ; 17-21 2007.
- 30) 日本歯科医師会器材薬劑室 : 歯科用材料の崩壊溶出試験 合着用セメントからの構成元素の溶出について. *日歯医師会誌* **41** ; 619-631 1988.
- 31) 緑野智康, 大橋 桂, 山口紘章, 濱野奈穂, 鈴木敏行, 井野 智, 木本克彦, 二瓶智太郎 : 10種仮着用セメントの被膜厚さ, 圧縮強さ, 接着強さについて. *日補綴会誌* **8** ; 192-199 2016.
- 32) 高木邦明, 岡村弘行, 吉田隆一 : 歯科用セメントの熱膨張. *日歯産会誌* **18** ; 35-48 2004.
- 33) 大寄紀子, 吉田隆一 : ク라운の接着強さ クラウンと支台の熱膨張係数の違いによる影響. *日歯産会誌* **18** ; 26-34 2004.
- 34) 宮坂 平 : 3 材料の性質 C 物理的性質 2 熱膨張. *スタンダード歯科理工学 (中嶋 裕, 西山典宏, 宮崎 隆, 米山隆之編) 第6版* ; **36** 学建書院 東京 2016.
- 35) 宮本 論 : ブリッジの保持力に関する実験的研究. *日補綴会誌* **34** ; 1091-1105 1990.
- 36) 神永 美穂子 : 非接触型動的応力解析システムによる咬合伝達系の応力分布の検討. 神奈川歯

- 学 27 ; 277-292 1992.
- 37) 早川正哉, 嶋村一郎, 岸 正孝: 緩衝シート介在による歯列を介して伝達される衝撃とその緩和. 歯科学報 106 ; 81-90 2006.
- 38) 藤波 想, 中嶋 健, 西 敏夫: 原子間力顕微鏡フォース測定によるエラストマーブレンドの粘弾性解析. 高分子論文集 69 ; 435-442 2012.
- 39) 井田一夫, 森脇 豊, 山賀礼一: カルボキシレートセメントと金属との接着性. 歯材器誌 30 ; 259-269 1973.
- 40) 円谷多喜男: 各種セメントの被膜厚さと合着力と表面接着力について. 口病誌 49 ; 288-296 1982.
- 41) 福村勉郎: 高分子工学講座 9 接着と積層. 金属の接着 (高分子学会編) 2 版 ; 160-182 地人書館 東京 1969.
- 42) 桃園 聡: エラストマーの凝着を伴う摩擦の発生機構. 日本ゴム協会誌 88 ; 48-54 2015.
- 43) 河野健太郎, 廣田正嗣, 新保秀仁, 村石絵麻, 徳江 藍, 遠山岳史, 早川 徹, 大久保力廣: 義歯床用材料の表面摩擦感の客観的評価に関する研究. 日補綴会誌 4 ; 294-301 2012.
- 44) 松村 裕, 浜田 徹, 浅野明敏, 岸本秋朗, 柳田勇夫: 歯科受診患者の歯牙欠損の分布について 咬合状態とアイヒナーの分類 (第1報) 男女別・年齢階層別調査対象者数, 年齢階層別平均残存歯数, 残存歯数から見た欠損ステージについて. 日歯技工誌 21 ; 34-38 2000.
- 45) 伊藤雄策: 補綴臨床の New Concept & Technique クロスマウントテクニック. QDT 30 ; 778-784 2005.

著者への連絡先: 五十嵐一彰, (〒963-8611) 郡山市富田町字三角堂31-1 奥羽大学歯学部歯科補綴学講座
Reprint requests : Kazuaki IGARASHI, Department of Prosthetic Dentistry, Ohu University School of Dentistry 31-1 Misumido, Tomita, Koriyama, 963-8611, Japan