

原 著

光重合レジン添加型ガラスアイオノマーセメントの 歯科矯正用ボンディング材としての臨床的評価 ——DBS 患者におけるブラケットの脱落率, ディボン ディング時の疼痛と歯面へのセメント残留について——

斎藤 茂 藤島昭宏* 宮崎 隆* 柴崎好伸

昭和大学歯学部歯科矯正学教室

*昭和大学歯学部歯科理工学教室

SAITO Shigeru, FUJISHIMA Akihiro*, MIYAZAKI Takashi* and SHIBASAKI Yoshinobu

Department of Orthodontics, School of Dentistry, Showa University

*Department of Oral Biomaterials and Technology, School of Dentistry, Showa University

キーワード：レジン添加型ガラスアイオノマーセメント, ブラケット脱落率, ディボンディング, VAS, 歯面残留セメント

抄録：マルチブラケット装置の接着に対し、光重合レジン添加型ガラスアイオノマーセメント (LC) とレジン系接着剤 (SB) を同時に使用し、治療期間中のブラケット脱落率とディボンディング時の歯の疼痛や歯面への接着剤残留の程度を比較検討することが本研究の目的である。

研究対象は昭和大学歯科病院矯正科外来において、マルチブラケット装置が装着された 18 名の 316 歯である。ボンディングは、上顎の片側に LC を、他側に SB を用い、下顎では左右で用いる接着剤を入れ換え、ブラケットは小白歯部ではメタル (ME)、前歯部は ME またはセラミック (CE) とした。ブラケットの脱落率は「脱落歯数÷総接着歯数÷来院回数×100 (%)」として算定し、ディボンディング時の歯の疼痛を VAS 法により評価し、歯面への接着剤の残留状況を肉眼的ならびにレプリカによる実体顕微鏡にて観察し、以下の結果を得た。

1. LC のブラケット脱落率は SB の約半分であり、両者には統計学的有意差が認められた。下顎ブラケットの脱落率は上顎に比べて大きく、また小白歯の脱落は前歯よりもわずかに多かった。前歯部に ME を用いると CE に比べてやや脱落が多かったが、いずれの比較においても統計学的有意差は認められなかった。

2. ディボンディング時の歯の疼痛 (VAS 値) に関して、LC は SB よりわずかに低く、また下顎歯は上顎歯よりも大きかったが、いずれの比較においても統計学的有意差は認められなかった。また前歯の VAS 値は小白歯よりも大きく、前歯部において ME の VAS 値は CE に

比べて低い傾向を示したものの、両者の有意差はどちらも認められなかった。

3. ディボンディング後の歯面に残留した接着剤は、LC において SB よりも少ない傾向を示したが、両者の接着剤残留指数の平均には大きな差は認められなかった。

以上の結果より、LC はディボンディング時の歯の疼痛や歯面への残留状態は SB とほぼ同等であるが、矯正用接着剤として SB よりも治療中の脱落が少なく、矯正臨床において有用な接着剤であることが示唆された。

(Orthod Waves 61(5) : 357~366, 2002)

Clinical evaluation of the light cured resin-modified glass ionomer cement as an orthodontic bonding material —Incidence of bracket failure during treatment, pain reaction and residual cements at debonding—

Abstract : A clinical evaluation was carried out to compare the clinical bond strength of a light cured resin-modified glass ionomer cement (LC) with a MMA, 4-META resin (SB). This was used in combination with two types of bracket materials ; metal (ME) and ceramic (CE).

Eighteen patients entered the trial and 316 brackets were placed. The incidence and site of bond failure

was recorded. The overall failure rate for LC in combination with both types of bracket was 0.8% and 1.6% for SB. There was statistically significant difference detected between the failure rates of LC and SB.

In addition, the pain level at bracket debonding was evaluated by visual analogue scales (VAS). None of each combination listed below was found to be statistically significant ; between VAS score of SB and LC, ME and CE at anterior segment, between anterior teeth and premolars, maxillary teeth and mandibular teeth.

Finally, the residual cements on enamel surface

after bracket debonding was also examined visually with naked eyes and a microscope. The results indicated that the volume of the residual cements by LC was slightly lesser than those by SB, however, these differences were not statistically significant.

These findings indicate that the frequency of bracket failure during active orthodontic treatment with LC was lesser than those with SB. Resultantly, LC suggested to be a effective bonding material for multi-bracket system.

(Orthod Waves 61(5) : 357~366, 2002)

緒 言

近年開発されたレジン添加型ガラスアイオノマーセメント (Resin-modified glass ionomer cement ; 以下, RMGIC と略記する) は, レジン成分の添加により脆性の改善や顕著な物性の向上が報告され¹⁻³⁾, 光重合化による操作性の向上も図られている. 最近では, RMGIC が歯質と金属材料の両者に対する接着性, フッ素徐放性, 抗菌性など矯正用接着材料として有利な点を多く有している^{4,5)}ため, 次世代の矯正用接着システムとして注目されている⁵⁻¹²⁾. しかしながら, 矯正臨床におけるダイレクトボンディング法 (以下 DBS とする) では依然としてレジン系接着剤が使用頻度において優位であることは疑いのないところである.

われわれは以前, ヒト抜去歯と各種ブラケットとの接着試験に RMGIC とレジン系接着剤を用いて検討を行った⁷⁾. その結果, 化学重合と光重合の2種類の RMGIC は金属製もしくはセラミック製ブラケットとの剪断接着強さにおいて, レジン系接着剤には劣るものの臨床上十分な接着強度を有することが示唆された. そこでわれわれは使用ブラケットを金属製とセラミック製に限定し, 化学重合型 RMGIC と現在の主流であるレジン系接着剤を実際の矯正臨床で比較使用した¹²⁾. その結果, DBS による治療期間中のブラケット脱落率は両者に有意差はなく, ディボンディング時の歯の疼痛において化学重合型 RMGIC はレジン系接着剤よりも軽減しており, また歯面へのセメント残留も少なく, 矯正用接着剤として有用であることが示唆された.

本研究では, 高強度の照射が可能な光照射器の登場¹¹⁾でその使用頻度が増加傾向にある光重合型 RMGIC と従来型レジン系の両接着剤を用いて, 前報¹²⁾と同様に DBS による治療期間中のブラケット脱落率とディボンディング時の疼痛ならびに歯面への接

着剤の残留状態を比較, 検討した.

被験者および方法

I. 被験者および矯正装置

昭和大学歯科病院矯正科外来において, DBS によるマルチブラケット装置にて治療を開始する患者のうち, 本研究内容を口頭で説明し同意の得られた 18 名について, 紙面での確認とその後の署名を得て以下の研究を行った. 表 1 に被験者 18 名 (男子 7 名, 女子 11 名) の DBS 開始時年齢とその平均値, ブラケット装着期間とその平均値を示した. なお, これら患者のうち 9 名の上下顎前歯には, 患者の希望によりセラミックブラケットを使用した. また, 18 名中 6 名は非抜歯, 10 名は上下 4 本抜歯, 2 名は上顎 2 本抜歯後マルチブラケット装置にて治療を行ったため, 総被験歯は 316 歯 (中切歯, 側切歯, 犬歯は上下顎とも各 36 歯, 小白歯は上顎が 48 歯で下顎が 52 歯) となった. 抜歯部位は左右側は同名歯で, 上下顎それぞれにおいて第一または第二小白歯であった.

本研究の被験者は過去においてボンディングの既往がなく, 第三大臼歯以外の永久歯に欠如がなく, 極端な矮小歯や形態異常歯を有するもの, さらには全部被覆冠を装着しているものを除き, また被験歯から大臼歯を除外した. なお, 前歯, 小白歯について意図的にブラケットを再装着させたもの, 途中でブラケットの材質や接着剤の種類を変更したもの, 途中でボンディングからバンディングに変更したもの, さらには,

表 1 被験者 18 名のブラケット装着時年齢と装着期間

ブラケット装着時年齢	ブラケット装着期間
11 歳 6 か月~32 歳 3 か月 平均 19 歳 7 か月	1 年 1 か月~2 年 6 か月 平均 1 年 10 か月

チューブをボンディングした患者においてはすべて本研究の被験者から除外した。

本研究に用いた 2 種類の矯正用接着剤はレジン系接着剤の 4-META (4-methacryloxyethyl trimellitate anhydride) を接着性モノマーとして含有する MMA (methylmethacrylate) 系レジン (A 社; 以下 SB とする) とガラスアイオノマー系接着剤の光重合型 RMGI セメント (B 社; 以下 LC とする) である。また、ブラケットの材質はステンレス鋼製 (C 社; 以下 ME とする) またはセラミック製 (D 社; 以下 CE とする) であり、いずれも .018"×.025" スロットのスタンダード用エッジワイズブラケットを使用した。なお、ブラケットと歯面の接着操作はすべての被験者について全研究期間を通じ、10 年以上の臨床経験を有する一人の矯正歯科医により DBS で行い、LC の接着にはプラズマアーク型光照射器 (D 社) にて一歯当たり CE では 5 秒、ME では近遠心各 5 秒計 10 秒の照射を行った。ボンディングに際しては、われわれの前報¹²⁾や Galindo ら¹³⁾の報告に準じて、上顎の片側に LC を、他側に SB を用い、下顎では左右に用いる接着剤を逆転させ、左右間格差にも考慮した。ボンディング前の歯面処理は通法どおりで、歯面研磨に続いて SB では 65% 正リン酸、LC では 10% ポリアクリル酸を用い、それぞれ 30 秒間の酸処理を施した。

II. 方法

1. DBS 中のブラケット脱落率の算定

ブラケットの脱落率は前報¹²⁾にならい「累積脱落歯数÷総接着歯数÷来院回数×100 (%)」として接着剤別 (SB と LC)、ブラケット材別 (ME と CE)、部位別 (前歯と小臼歯; 上顎と下顎) にそれぞれ算定した。累積脱落歯数とは、同一歯が 2 回脱落した場合には 2 歯として算定したという意味である。

2. デイボンディング時の歯の疼痛評価

ブラケット脱落率を算定したすべての歯 (316 歯) に対して、デイボンディング時の歯の疼痛を Visual Analogue Scale (以下 VAS とする) にて評価した。デイボンディングに際し、アーチワイヤーをブラケットから外し、バンドやチューブ、さらには大白歯部など脱落率を算定しなかったブラケットを先に除去した。次いで、正中より遠心方向に沿って順次、左右の同名歯をブラケットリムーバー (E 231, Dentronix, USA) を用いて主に剪断応力をブラケットに負荷して、除去操作を行った。VAS の評価は Ngan らの報告¹⁴⁾に準じ、10 cm スケールの横棒に対し、被験者自ら一歯ずつデイボンディング時の歯の疼痛を記入してもらい、その実測値 (cm) を 0.5 cm きざみで表示して VAS 値とした。すなわち、VAS 値 0 は全く痛みなし、10 は最大の痛み、5 は中等度の痛みであることをあら

かじめ患者に説明したうえで記入してもらった。なお、デイボンディングならびに VAS の評価はすべて前述の矯正歯科医が一人で行った。

3. デイボンディング直後の歯面の観察

VAS の評価を行った歯は、その日のうちに水本らの報告⁷⁾に準じて、歯面への接着剤残留状況を肉眼的に 5 段階で評価した。すなわち接着剤残留状況をブラケットベースの接着面積に対して ① 歯面に接着剤の残留が全くないもの、② 歯面に接着剤の残留が 1/3 以下のもの、③ 歯面に接着剤の残留が 1/3~2/3 のもの、④ 歯面に接着剤の残留が 2/3 以上のもの、⑤ すべての接着剤が歯面に残留しているもの、に分け接着剤残留指数として表した。接着剤残留指数の評価は各歯ごとにデイボンディング直後 (以下 T1 とする)、1 歯当たり 15 秒間の超音波スケーラー (スプラソン 2, スケーラーのチップは No2 タイプ、(株) モリタ東京製作所、埼玉) による接着剤除去後 (以下 T2 とする)、ならびにラウンドバーを用いた電気エンジンの低速回転による最終研磨後 (以下 T3 とする) の計 3 回行った。なお、超音波スケーリング後の一部の歯面や最終研磨後のすべての歯面観察は肉眼的に不十分であったため、Kraut らの方法¹⁵⁾に準じた精密印象採得を行い、レプリカを作成し、実体顕微鏡を用いて上記 5 段階評価を行った。印象採得はまず、超音波スケーリング後または最終研磨後の歯面を乾燥させ、スパーサーとしてパラフィンワックスを歯面上に置き、パテタイプ付加型重合シリコーン印象材 (エグザファイン、(株) ジーシー、東京) で一次印象を採得し、圧接のためのコアとした。再度、歯面を乾燥させ、一次レプリカ材としてレギュラータイプ付加型重合シリコーン印象材 (エグザミックスファイン、(株) ジーシー、東京) を歯面上とコア内に注入した。歯面上の一次レプリカ材の上からコアを圧接し、硬化後除去した (一次レプリカ)。作成した一次レプリカ材は必要な部分のみを切り出し、無水アルコール中に浸漬し、超音波洗浄を 10 分間行った後、パラフィンワックスでボックスフォームを形成した。一次レプリカ材に二次レプリカ材 (EPO-MIX EPOXID, Buehler, USA) を気泡が入らないように注射器にて 1 滴ずつ注入後、72 時間暗所にて室温保存、硬化させ歯面観察用レプリカとした。

4. 統計分析

本研究で着目したブラケット脱落率とデイボンディング時の疼痛 (VAS 値) の相関性を調べるため、ノンパラメトリック Spearman の順位相関にて検定を行ったところ、上記 2 項目には相関が認められなかった。そこで本研究の被験者における上記 2 項目について、ボンディング材、ブラケット材ならびに接着部位が及ぼす影響について要因分散分析によって検定を行った。統計処理には統計用ソフトウェア SPSS 10.0

表2 ポンディング材, ブラケット材ならびに接着部位別脱落率(%)の平均値と標準偏差ならびに各因子間の分散分析値(F値, p値)

	被験歯数	平均値	標準偏差	F値	p値
SB	158	1.59	2.07	4.923	0.038
LC	158	0.81	1.23		
前歯	216	1.16	1.54	1.241	0.341
小白歯	100	1.28	1.68		
ME	108*	1.34	1.49	1.132	0.412
CE	108	0.98	1.31		
上顎	156	0.95	1.27	4.215	0.053
下顎	160	1.45	1.89		

* MEはCEとの比較のため前歯108歯の平均を表示した

表4 ポンディング材, ブラケット材ならびに接着部位別VAS値の平均値と標準偏差ならびに各因子間の分散分析値(F値, p値)

	被験歯数	平均値	標準偏差	F値	p値
SB	158	3.29	1.18	1.192	0.387
LC	158	3.01	1.41		
前歯	216	3.31	1.32	1.718	0.224
小白歯	100	2.81	1.59		
ME	108*	2.91	1.37	4.092	0.063
CE	108	3.71	1.72		
上顎	156	2.93	1.19	1.681	0.247
下顎	160	3.39	1.71		

* MEはCEとの比較のため前歯108歯の平均を表示した

表3 SB, LCの部位(ブラケット材料)別平均脱落率(%)

		前歯(CE)	前歯(ME)	小白歯	全歯
SB	両顎	1.13 (54)	2.00 (54)	1.65 (50)	1.59 (158)
	上顎	0.50 (27)	1.57 (27)	1.08 (24)	1.05 (78)
	下顎	1.76 (27)	2.44 (27)	2.21 (26)	2.14 (80)
LC	両顎	0.83 (54)	0.71 (54)	0.90 (50)	0.81 (158)
	上顎	0.50 (27)	0.82 (27)	1.20 (24)	0.84 (78)
	下顎	1.17 (27)	0.59 (27)	0.59 (26)	0.77 (80)

小白歯はすべてMEであり, カッコ内は被験歯数を示す

J (SPSS Japan Inc., Tokyo) を用いた。

結 果

I. ブラケット脱落率

表2より, ブラケット脱落率に関しては, 2種のボンディング材料間でのみ有意差が認められ, 2種のブラケット材料間さらには接着部位での有意差はいずれも認められなかった。また, 上記の各要因について平均脱落率を調べたところ, LCはSBの約半分であり, MEはCEより高い脱落率を示した。また, 小白歯部の脱落は前歯部よりわずかに多く, 同様に下顎歯が上顎歯よりも多かった。また, 今回検討したSB, LCそれぞれの脱落率を部位(上顎と下顎, 前歯と小白歯)別に比較した(表3)。前歯部はCEとMEに等分されたが, 小白歯はすべてMEを用いた。まず, LCの脱落率は上顎の小白歯を除いてSBのそれより少なかった。

また, LCの脱落率は全体としては上下顎にほとんど差がなかったが, SBでは下顎歯の脱落が上顎よりも全体としては2倍多かった。また, CEとMEの脱落率についてはLCでは差がなかったが, SBではMEの脱落率が大きくなっていった。

II. ディボンディング時の歯の疼痛

表4に示したように, VAS値に関する2種のボンディング材料間, 2種のブラケット材料間さらには接着部位での有意性を検討したところ, SB>LC, 前歯>小白歯, CE>ME, 下顎歯>上顎歯という傾向が見られたが統計学的な有意差はどの2群間にも認められなかった。さらに上記の各要因について平均VAS値を調べたところ(表5), 前歯部におけるSBではMEよりもCEで, さらに上顎歯よりも下顎歯でVAS値が大きく, 下顎にCEを用いると約5となり, 本研究結果における最大値を示した。

MEを用いた場合には前歯や小白歯といった部位や上下顎でのVAS値に大きな差はなかった。一方, LCにおいてはSBに見られるような部位や材料による大きなVAS値の変動は見られず, 2.57~3.71であった(表5)。ただし, これらのなかでの最大値はSBと同様に下顎前歯部にCEを用いたものであった。

III. ディボンディング後の歯面の観察

接着剤残留指数に関しては, ディボンディング後の各ステップ(T1, T2, T3)における分布状況とその平均値をSBとLCに分けて表6に示した。なお, 接着剤残留指数の平均値については, 全体の平均以外に部位とブラケット材料により表3や表5と同様に前歯

表 5 SB, LC の部位別, ブラケット材料別平均 VAS 値

		前歯 (CE)	前歯 (ME)	小白歯	全歯
SB	両顎	4.06 (54)	2.89 (54)	2.93 (50)	3.29 (158)
	上顎	3.13 (27)	2.61 (27)	3.03 (24)	2.92 (78)
	下顎	4.98 (27)	3.22 (27)	2.84 (26)	3.70 (80)
LC	両顎	3.37 (54)	2.94 (54)	2.70 (50)	3.01 (158)
	上顎	3.03 (27)	3.25 (27)	2.57 (24)	2.95 (78)
	下顎	3.71 (27)	2.69 (27)	2.84 (26)	3.08 (80)

小白歯はすべて ME であり, カッコ内は被験歯数を示す

表 6 ディボンディング直後の各ステップ (T1, T2, T3) における両ボンディング材による接着剤残留指数の分布状況とその平均値

		接着剤残留指数					平均値	部位 (ブラケット材料) 別平均値		
		5	4	3	2	1		前歯 (CE)	前歯 (ME)	小白歯
SB	T1	51	107	0	0	0	4.32	4.35	4.18	4.41
	T2	0	25	107	26	0	2.99	3.12	2.78	3.06
	T3	0	0	0	28	130	1.18	1.24	1.10	1.19
LC	T1	36	121	1	0	0	4.22	4.25	4.07	4.31
	T2	0	9	96	53	0	2.72	2.91	2.58	2.67
	T3	0	0	0	12	146	1.08	1.09	1.06	1.08

T1=ディボンディング直後, T2=超音波スクーリング後, T3=ラウンドバーによる最終研磨後 各数字は被験歯数を示す

(CE), 前歯(ME), 小白歯に分類して表示した。この指数には1から5までの整数しかないため, 平均値はあくまで参考値であり, この結果には統計処理を行わなかった。

表6より, SBもLCもT1からT2, T3へと指数の減少は顕著であるが, 両者の同一ステップでの比較ではLCの指数がSBよりも低いもののその差はわずかであった。また, 部位やブラケット材料による差も極めて少なかった。両接着剤とも, T1では大多数が指数4であり, T2では指数3となり, T3で指数1となるが, SBにおいてはT3における28歯に接着剤の残留が認められ, LCの12歯に比べて2倍以上の歯数となった。

考 察

I. 被験者の選定と方法について

本研究においては前報¹²⁾と異なり, すべて上下顎にマルチブラケット装置を装着した被験者を選定した。さらに, 本研究では前報と異なり, 先天欠如歯を有する患者や前歯部, 小白歯部に全部被覆冠を装着した患者を除外したため, 被験歯は上下顎や歯種別に均等化されたと考えられる。したがって, 被験者数は前報より少ない18名であるが, 被験歯数は前報とほぼ同じ316歯となった。

なお, 被験者には顎変形症患者6名と唇顎裂患者2名が含まれており, それらの患者の多くと他の不正咬合患者の一部には前歯部や側方歯の被蓋がマイナスになっている部分があった。被蓋や咬合の状態はブラケットの脱落に影響を及ぼす重要な因子であるが^{16~20)}, すべての患者の上下顎においてSBとLCを均等使用したため, 本研究ではブラケット脱落率の患者間格差は大きかったが, 被蓋や咬合状態での選別は行わなかった。ただし, 咬合状態によっては治療当初からブラケットのボンディングが行えない部位も存在し, 必ずしも左右側の条件を同一にすることが難しかったため, ブラケットの脱落率は前報¹²⁾と同様に来院回数にて除した。

さらに, ディボンディング後の歯面の観察も前報¹²⁾同様, ブラケット撤去直後, 超音波スクーリング後, 最終研磨後の3段階とした。Krellらによるとプライヤーによるブラケットの撤去とバーによる歯面の研磨に超音波振動を併用することでディボンディング後の歯面の損傷は軽減される²¹⁾としており, 本研究においても超音波スクーラーの残留接着剤除去効果を判定したいため, ラウンドバーによる最終研磨の前に行った。

II. 研究結果について

1. ブラケット脱落率について

材質の異なる接着剤による矯正用ブラケット脱落の

表7 DBS患者を用いたRMGICと従来型レジンによるブラケット脱落率の比較 (*in vivo*)

著者	発表年	総被験者	総被験歯	2種の接着剤を 1口腔に用いたか?	脱落の観察 期間(月)	ブラケット脱落率(%)	
						RMGIC	レジン系接着剤
Cacciafestaら ²²⁾	1998	48	864	はい	4~16	7.9(FO)	18.2
Fowler ²³⁾	1998	100	3421	いいえ	12	6.1(LC)	5.4
Gaworskiら ²⁴⁾	1999	16	298	はい	12~14	24.8(LC)	7.4
Hegartyら ²⁰⁾	2002	61	1074	はい	12	10.3(LC)	4.1

ブラケット脱落率におけるアンダーラインは両者の統計学的有意差を示す

比較を、本研究のようにDBSによる動的治療の終了時まで検討した報告は少ないが^{16,18)}、一定期間調査したものは多い^{17,19,20,22~25)}。RMGICとレジン系接着剤の矯正用ブラケット脱落率を比較した近年の報告を表7に示したが、これらの報告はいずれも一定期間内でのブラケット脱落率であり、本研究では前報¹²⁾同様に被験者はすべてブラケット撤去まで至った患者である。したがって患者により観察期間が異なるため、本研究のブラケット脱落率は患者の来院回数で除してあることにより、表7に比べると低い値を示している。表7の報告に加え、Shammaaら¹⁹⁾は平均1.2年のDBS期間中のブラケット残存率について、LCは他の2つのレジン系接着剤よりも小さい傾向はあるものの統計学的な有意差はないと報告している。したがってそれぞれの報告におけるブラケット脱落率は4.1~24.8%までさまざまであり、RMGICとレジンの比較についても1編では化学重合型のRMGIC(B社;以下FOとする)がレジンに比べて有意に低く²²⁾、他の2編ではLCがレジンよりも有意に高く^{20,24)}、別の2編では両者に有意差なし^{19,23)}とさまざまな結果を示している。

本研究結果で最も注目すべき点は、LCのブラケット脱落率がSBに比べて有意に低い点であり(表2)、重合のタイプは異なるもののCacciafestaらの報告²²⁾を支持している。

SBとFOを用いたわれわれの前報¹²⁾におけるブラケット脱落率はSBで2.1%、FOで2.4%で両者に有意差はなく、Shammaaら¹⁹⁾やFowler²³⁾の報告と一致していた。なお、同じ研究者が行った同一方法でのSBのブラケット脱落率において、前報¹²⁾では2.1%であり、今回は1.6%となった。これは、被験者の選定基準が前報¹²⁾と異なりすべてマルチブラケット装置による動的治療を終了したものとしたため、部分ブラケット装置による治療終了者が含まれていた前報の被験者よりも平均治療期間が長くなったためと考えられる。ブラケットの脱落は一般には治療の初期で多く、治療期間が長くなると脱落率が低下する傾向があるためである²⁵⁾。このようにブラケットの脱落率は同一研究者が同一方法で行っても、被験者の年齢や性別、不正咬合の種類や咬合状態、DBSによる治療期間やブラケット

脱落の観察期間等の違いによって異なることが示唆されたため、本研究では前報に準じ、同一術者によるDBS治療で、ブラケットの種類はMEとCEによる各1種類のみを用い、一口腔にSBとLCを左右均等に用いて比較を行った。

表1より本研究の被験者18名の平均DBS期間は1年10か月でその間の来院回数は約20回であった。したがって、本研究のブラケット脱落率を、表7に示した他の報告における脱落率に換算すると、SBを用いた158歯の平均が31.8%となり、表7に示したどの報告よりも大きな値となった。また、LCを用いた158歯の平均脱落率は16.2%となり、Gaworskiら²⁴⁾の24.8%に次いで大きな値であった。このように本研究において大きな脱落率が示された最大の原因は、脱落率の計算方法にあると思われる。本研究では前報¹²⁾と同様に、累積脱落歯数を総接着歯数で除しているため、例えば同一歯のブラケットが3回脱落すれば累積脱落歯数、すなわち脱落回数は3となるが、他の研究では「脱落回数」ではなく「脱落歯数」で脱落率を算出しているものが多く(脱落率=脱落歯数/総被験歯数)、その場合上記の例における脱落率は本研究方法の1/3になる。さらに、本研究では治療途中でブラケットの位置を付け替えた被験者は研究対象から除外されたため、過蓋咬合患者ではできるだけボンディング当初から好ましいブラケットポジションに接着を行いたいという気持ち働き、結果として咬合により下顎歯の脱落が多くなってしまったと考察している。この傾向は表3より特にSBにおいて顕著であったが、その原因は不明である。今後は脱落率の算定方法や途中でのブラケットの意図的付け替えに対して、本研究方法を再考する余地があると考えている。

本研究結果とわれわれの前報¹²⁾との比較より、RMGICは化学重合型と光重合型で脱落率が大きく異なっており、LCはFOよりも脱落の少ない接着剤と考えられた。ただし、この比較も厳密に言えば両RMGICを本研究と同様の方法で用いた新たな研究を行うことが望まれる。また、表3に示したようにLCはSBと異なり、ブラケット材料や上下顎という接着の部位にあまり影響されず脱落の少ない接着剤であるこ

とが示唆された。ヒト抜去歯を用いた水本らの報告⁷⁾では、2種のRMGICであるLCやFOのMEやCEに対する接着強さは、8~13 MPaであり、15~16 MPaのSBには劣るものの臨床上十分な接着強度を有することが示された。この *in vitro* による結果⁷⁾と本研究ならびにその前報¹²⁾による *in vivo* の結果を合わせて考察すると、まずLCとFOの比較においては、MEとCEのいずれにおいても、LCの剪断接着強さがFOのそれを有意差はないもののわずかに上回っており、脱落率との正の相関性がうかがわれた。次にSBとLCの比較においては、両接着剤とも水本ら⁷⁾の剪断接着強さではMEとCEというブラケット材料の違いによる差はなかった。

この結果を表3と照らし合わせると、CEとMEの脱落率があまり変わらないLCでは、水本らの結果⁷⁾を支持しており、MEの脱落がCEよりも多いSBにおいては、水本らの報告⁷⁾と異なっていた。以上のように、抜去歯を用いた接着強度と臨床的なブラケットの脱落には必ずしも高い相関関係があるとは限らないことが前報¹²⁾と同様に確認された。今後はブラケットの接着性についてもより臨床的な検査方法の検討が望まれる。また、表3においてSB使用側では下顎のブラケット脱落がどの部位でも多くなっており、前歯にMEを用いた際に最高となった。これは過蓋咬合者でブラケット装着後にブラケットの削合を予定するような症例では、削合の容易さからMEの装着を患者に依頼する場合もあり、このような症例での対合歯の干渉によると思われるブラケットの脱落が何例か認められたことが一因であると考えている。さらに過蓋咬合の抜歯症例での抜歯空隙閉鎖段階で咬合が深くなり、ブラケットの脱落を招くことが他の要因として考えられる。ただし、本研究では左右の咬合状態が著しく異なるものは含まれておらず、同一患者の反対側に用いたLCにおいてそれほど多くのブラケット脱落がみられない原因が不明である。

Cacciafestaらは、ウシ切歯による *in vitro* での接着試験²⁶⁾とDBS治療²²⁾にそれぞれLCとFOを用いている。その結果LCとMEまたはCEとの接着強さは、ウシ抜去歯を用いて7.3~25.4 MPaと臨床上十分な強度を示した。さらにFOとレジン系接着剤とを同一患者のDBS治療に用いた際のMEの脱落率は、FOでの上顎前歯、上顎小白歯、下顎前歯、下顎小白歯でそれぞれ、11.0, 4.9, 4.9, 10.6%であり、レジンにおける同一部位の脱落率、13.4, 18.2, 20.9, 21.1%と比較してすべての部位で低い値を示している。本研究のデータをこれと比較するとLCにおける同部位での脱落率はそれぞれ0.82, 1.20, 0.59, 0.59%となり、SBでは1.57, 1.08, 2.44, 2.21%となり、上顎小白歯を除くといずれの報告もRMGICの脱落がレジンよ

りも少ない点で一致している。特に下顎の両接着剤の脱落率に大きな差が生じた点は両研究の共通点として極めて興味深い。この原因の究明には更なる追試が必要と考えている。

2. デイボンディング時の歯の疼痛について

疼痛の測定方法は、客観的方法²⁷⁾と主観的方法に大別され、アンケート方式で患者自身に記入してもらうVAS法^{12,14,28,29)}は後者の代表的な方法である。本研究ではデイボンディングそのものが被験歯にとっての侵襲刺激であることから、被験歯への度重なる疼痛を加えるような客観的方法がとりにくく、前報同様VAS法を採用した。この方法では個々の患者あるいは被験歯の疼痛レベルの絶対評価は難しいが、デイボンディングという刺激を上下左右という部位別に相対評価しやすいという特徴がある。

結果は表4に示したように、デイボンディング時のVAS値はSBとLC間、前歯と小白歯間、前歯におけるMEとCE間、上顎歯と下顎歯間のいずれの比較においても統計学的有意差は認められなかった。これらのなかではCEを用いた108歯の平均VAS値が3.71と最も高く、表5によるとその原因は下顎前歯(27歯)にSBとCEを用いた場合のVAS値が約5.0と極めて高いことが考えられた。Obataら³⁰⁾はSBにより接着したCEのデイボンディングにCO₂レーザーの短時間照射を行い、疼痛が軽減したり歯面への接着剤残留が減少したと報告しており、特に下顎前歯にCEを用いて、デイボンディングする際の強い疼痛に有効であると述べている。本研究結果によると、前報¹²⁾のFOを用いた際ほど顕著ではないがLCを用いることで下顎前歯(CE)のVAS値が3.71にまで減少していた。今後はデイボンディング時の疼痛軽減に対し、接着剤の選択とともに新たな撤去方法も検討したいと考えている。

デイボンディング時のVAS値について、化学重合型RMGIセメントとSBを用いた前報¹²⁾ではそれぞれ2.4と3.7という平均値を示し、両者に有意差が認められたが、本研究の光重合型RMGIセメントとSBを用いた結果は大きく異なる傾向を示した。これは光重合型のLCを接着剤に用いたことで化学重合型に比べ臨床的な接着強度が大きくなるため、脱落率が抑えられた分デイボンディング時の疼痛に関してはSBとの差が小さくなってしまったと推察している。

一般にブラケットの脱落率が低くなれば、歯質との接着性が増し、デイボンディング時の疼痛(VAS値)は増すものと考えられる。この点、われわれの前報¹²⁾ではFOの脱落率がSBよりもやや高く、その分VAS値はSBよりも有意に低いものとなっていた。本研究ではLCの脱落率がSBよりも有意に低いにもかかわらず、両者のデイボンディング時のVAS値は有意差

はないものの LC で低い傾向を示していた。この結果をそのまま解釈すると LC は治療中は脱落しにくく、ディボンディング時には少ない痛みで撤去できる理想的な矯正用接着剤となるが、本接着剤にそのような特殊な工夫が与えられているという報告は見当たらない。今後は後述する歯面への残留状態と合せてより緻密な評価方法を考えたい。

3. ディボンディング時の歯面の状態について

水本ら⁷⁾は *in vitro* におけるヒト抜去小白歯にブラケットを接着し、剪断接着強さの測定後に歯面の観察を行っている。その報告によると、SB と ME では平均の残留指数が 3.46 であり、SB と CE では 2.67 となり、同じ SB でも接着体であるブラケットの種類が CE か ME かによって異なる残留指数を生じるという結果を示している。しかし、本研究結果を見る限り、T1~T3 のすべてのステップにおいて CE と ME における接着剤残留状態にはほとんど差がなかった(表 6)。事実、前歯におけるディボンディング直後の本研究結果では SB と CE、SB と ME での残留指数がそれぞれ 4.35 と 4.18 でほぼ同値となり、*in vitro* の結果より大きい指数となった。また、*in vitro* での LC と CE、LC と ME の残留指数はそれぞれ 2.50、1.50 であるのに対し、今回の前歯における LC と CE、LC と ME ではそれぞれ 4.25、4.07 であった。以上のように、ヒト抜去歯において SB では ME よりも CE において残留が少ない傾向が示された反面、LC では ME よりも CE において接着剤の残留が多かった。今回のディボンディング直後の歯面評価においては、水本らの報告⁷⁾よりも接着剤の残留が多い傾向が認められたが、ブラケット材料や部位による変動はほとんどなかった。両研究結果の差の主因は、抜去歯 (*in vitro*) と口腔内の健全歯 (*in vivo*) という研究条件の違いであると考えられた。

ディボンディング後の歯面を評価する報告の多くは、抜去歯を用いた *in vitro* での SEM 像による観察が主であり^{31~34)}、生体を用いた報告はレプリカを用いた観察^{12,15,31)}がわずかに行われているのみである。レプリカを用いた観察にも SEM 像を利用することが多く^{12,15)}、われわれの前報¹²⁾でもディボンディング後の歯面は肉眼、デジタル顕微鏡、SEM の 3 段階で観察した。しかし、歯面に残留した接着剤の量の判定には、ディボンディング直後は肉眼で十分可能であり、超音波スケラーにより残留接着剤が少なくなった歯面と最終研磨後の全歯面でも実体顕微鏡によりレプリカを観察する方法が有効であると考えられたため、SEM による観察を行わなかった。今回 SB においては全観察歯面 158 歯のうち 28 歯において、最終研磨後も歯面にわずかな接着剤の残留が認められた。このことは、SB を用いたわれわれの前報¹²⁾でも 157 歯中 54 歯に

おいて最終研磨後の残留が認められ、頻度はやや少ないものの RMGI セメントでも化学重合型で 157 歯中 8 歯、光重合型で 158 歯中 12 歯で残留していた。これはわれわれのディボンディングそのものに改善の必要性を示す結果であると考えている。今後は超音波スケラーのチップの改良や上述の CO₂ レーザーの応用等により歯面損傷の少ないディボンディング法の開発を考えたい。

本研究の要旨は、第 22 回昭和歯学会総会(2002 年 6 月、東京)において発表した。

本研究の一部は、平成 12, 13 年ならびに 14, 15 年度文部科学省科学研究費(基盤研究 C, 課題番号 12672013, 14571967)の補助を受けた。

文 献

- 1) 日比野靖, 橋本弘一: 新しい合着用ガラスイオノマーセメントの諸性質, 歯材器 14: 554-559, 1995.
- 2) Uno, S., Finger, W. J. and Fritz, U.: Long-term mechanical characteristics of resin-modified glass ionomer restorative materials, Dent Mater 12: 64-69, 1996.
- 3) 藤島昭宏, 青山真理子, 宮崎 隆, 他: レジン添加型ガラスイオノマーセメントの機械的性質, 歯材器 16: 359-367, 1997.
- 4) Wilson, A. D. and McLean, J. W.: Glass ionomer cement, Chicago, 1988, Quintessence Publishing, 131-141.
- 5) Trimpeneers, L. M., Verbeeck, R. M. and Dermaut, L. R.: Long-term fluoride release of some orthodontic bonding resins: a laboratory study, Dent Mater 14: 142-149, 1998.
- 6) Komori, A. and Ishikawa, H.: Evaluation of a resin-reinforced glass ionomer cement for use as an orthodontic bonding agent, Angle Orthod 67: 189-196, 1997.
- 7) 水本貴子, 藤島昭宏, 斎藤 茂, 他: レジン添加型ガラスイオノマーセメントを用いた歯科矯正用接着システムに関する研究—第一報: 表面処理による歯質の変化と接着性について—, 東京矯歯誌 10: 16-24, 2000.
- 8) 池田訓子, 藤島昭宏, 斎藤 茂, 他: レジン添加型ガラスイオノマーセメントを用いた歯科矯正用接着システムに関する研究—第二報: セメント材料の諸物性—, 昭歯誌 20: 327-334, 2000.
- 9) 新海 博, 小森 成, 石川晴夫: レジン強化型ガラスイオノマーセメントのダイレクトボンディングへの応用—ブラケットベース形態の剪断接着

- 強さに及ぼす影響について一, 日矯歯誌 59 : 263-271, 2000.
- 10) 水谷晃彦, 堀田訓子, 石川博之, 他 : 矯正用化学重合型ガラスイオノマーセメントのエナメル質への接着性に及ぼす汚染および酸処理の影響, 接着歯学 19 : 133-139, 2001.
 - 11) Ishikawa, H., Komori, A., Kojima, I. and Ando, F. : Orthodontic bracket bonding with a plasma-arc light and resin-reinforced glass ionomer cement, Am J Orthod Dentofac Orthop 120 : 58-63, 2001.
 - 12) 斎藤 茂, 大山晃代, 水本貴子, 他 : 化学重合レジン添加型ガラスイオノマーセメントの歯科矯正用ボンディング材としての臨床的評価—DBS患者におけるブラケットの脱落率, デイボンディング時の疼痛と歯面の性状について一, 日矯歯誌 60 : 7-17, 2001.
 - 13) Galindo, H. R. A., Sadowsky, P. L., Vlachos, C., et al. : An in vivo comparison between a visible light-cured bonding system and a chemically cured bonding system, Am J Orthod Dentofac Orthop 113 : 271-275, 1998.
 - 14) Ngan, P., Kess, B. and Wilson, S. : Perception of discomfort by patients undergoing orthodontic treatment, Am J Orthod Dentofac Orthop 96 : 47-53, 1989.
 - 15) Kraut, J., Radin, S., Trowbridge, H. I., et al. : Clinical evaluations on thermal versus mechanical debonding of ceramic brackets, J Clin Dent 2 : 92-96, 1991.
 - 16) O'Brien, K. D., Read, M. J. F., Sandison, R. J. and Roberts, C. T. : A visible light-activated direct-bonding material : An in vivo comparative study, Am J Orthod Dentofac Orthop 95 : 348-351, 1989.
 - 17) Fricker, J. P. : A 12-month clinical evaluation of a light-activated glass polyalkenoate (ionomer) cement for the direct bonding of orthodontic brackets, Am J Orthod Dentofac Orthop 105 : 502-505, 1994.
 - 18) Norevall, L. I., Marcusson, A. and Persson, M. : A clinical evaluation of a glass ionomer cement as an orthodontic bonding adhesive compared with an acrylic, Eur J Orthod 18 : 373-384, 1996.
 - 19) Shammaa, I., Ngan, P., Kim, H., et al. : Comparison of bracket debonding force between two conventional resin adhesives and a resin-reinforced glass ionomer cement : An *in vitro* and *in vivo* study, Angle Orthod 69 : 463-469, 1999.
 - 20) Hegarty, D. J. and Macfarlane, T. V. : *In vivo* bracket retention comparison of a resin-modified glass ionomer cement and a resin-based bracket adhesive system after a year, Am J Orthod Dentofac Orthop 121 : 496-501, 2002.
 - 21) Krell, K. V., Courey, J. M. and Bishara, S. E. : Orthodontic bracket removal using conventional and ultrasonic debonding techniques, enamel loss, and time requirements, Am J Orthod Dentofac Orthop 103 : 258-266, 1993.
 - 22) Cacciafesta, V., Bosch, C. and Melsem, B. : Clinical comparison between a resin-reinforced self-cured glass ionomer cement and a composite resin for direct bonding of orthodontic brackets. Part 1 : wetting with water, Clin Orthod Res 1 : 29-36, 1998.
 - 23) Fowler, P. V. : A twelve-month clinical trial comparing the bracket failure rates of light-cured resin-modified glass-ionomer adhesive and acid-etch chemical-cured composite, Aust J Orthod 15 : 186-190, 1998.
 - 24) Gaworski, M., Weinstein, M., Borislow, A. J. and Braitman, L. E. : Decalcification and bond failure : A comparison of a glass ionomer and a composite resin bonding system in vivo, Am J Orthod Dentofac Orthop 116 : 518-521, 1999.
 - 25) Kinch, A. P., Taylor, H., Warltier, R., et al. : A clinical trial comparing the failure rates of directly bonded brackets using etch times of 15 or 60 seconds, Am J Orthod Dentofac Orthop 94 : 476-483, 1988.
 - 26) Cacciafesta, V., Jost-Brinkmann, P.-G., Sußenberger, U. and Miethke, R.-R. : Effects of saliva and water contamination on the enamel shear bond strength of a light-cured glass ionomer cement, Am J Orthod Dentofac Orthop 113 : 402-407, 1998.
 - 27) 岩崎浩一, 山崎健一, 柴崎好伸 : 矯正学的歯の移動による荷重痛覚閾値と歯髄および辺縁歯周組織の電気的痛覚閾値の変動について, 日矯歯誌 55 : 8-16, 1996.
 - 28) Price, D. D., McGrath, P. A., Rafli, A. and Buckingham, B. : The validation of visual analogue scales as ratio scale measures for chronic and experimental pain, Pain 17 : 45-56, 1983.
 - 29) 斎藤 茂, 三河やす代, 白井美恵子, 他 : 感圧型

