原 著 論 文

オールセラミック歯冠補綴装置マージン部の歯ブラシ摩耗の検討

小泉 寛恭

An Investigation of Toothbrush Abrasion at Margin on All-Ceramic Restoration

Hiroyasu Koizumi

Abstract : This study investigated the effect of toothbrush abrasion in all-ceramic restoration at the margin. Specimens were made of human enamel, all-ceramic (IPS Empress, IVOCLAR), and resin cement (Variolink II, VIVADENT). Sectional profile, vertical wear, and surface roughness of the luting cement were measured by a scanning laser microscope. The width of luting cement was determined to be 50, 100, 150, and 200 μm . Then, the wear surface and the margin were observed on scanning electron micrographs.

Sectional profiles showed a saw-toothed line at the worn surface of luting cement. Margins of human enamel and all-ceramic were eliminated by a toothbrush, and slopes like a bevel edge were observed. There was a significant difference (t-test) between wear depth of the luting cement and the thickness of the cement line. Vertical wear of the luting cement was larger, and the cement line was thicker at the end of the toothbrush abrasion test. On the other hand, the surface roughness of luting cement was increased in all specimens.

Key words : toothbrush abrasion, margin, all-ceramic restoration

I. 緒 言

近年、患者からの歯冠補綴装置に対する審美的要求の高まりとともに、審美的修復材料であるオールセラミックスによる歯冠修復処置が、広く臨床応用されるようになってきている^{1~6)}。

オールセラミック材は、引張応力に対して弱く、破折しやすい脆性材料^{7~11)}であるが、その色調回復が良好であることからアンレー、ラミネートベニアおよびクラウンの症例でもマージンを歯肉縁上に設定することができる。そのため、歯周組織に与える影響が少な

く、またブランクコントロールの点からも有利であり、優れた歯冠修復材^{12~14)}である。しかし、歯冠補綴装置を支台歯に接着後、口腔内に露出したセメントライン（以下、セメント層と略す）が歯ブラシ刷掃、咬合および食物咀嚼による摩耗によって損傷されることが多い。そのため、長期的にはこれらは、マージン付近における歯冠補綴装置の辺縁破折や支台歯に二次カリエス等が生じる誘因となり、審美観を阻害する一因ともなる。

レジンセメントの摩耗については、歯ブラシ摩耗での検討^{15~17)}が多いが、これらはセメント試料単体に直接歯ブラシを刷掃させ、損失質量によって摩耗を評価したもので、口腔内に露出したセメント層への考慮がなされておらず、臨床結果とは異なると考えられる。すなわち、臨床でのマージン部は、歯質、レジンセメント、歯冠補綴装置によって構成され、マージン部の摩耗をより詳細に検討するには、口腔内と同様に

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 Igara-shi)

平成12年1月28日受付

被着体として歯質とオールセラミック歯冠補綴装置とを用い、レジンセメントで接着した試験体での評価が必要である。しかし、このような条件で歯冠補綴装置接着後のマージン部のセメント層について経時的变化を検討した報告はない。

そこで本研究では、マージン部の審美性におけるセメント層の経時的变化を明らかにすることを目的として、ヒト永久歯エナメル質にオールセラミック歯冠修復材である IPS Empress をレジンセメントである Variolink II を用いて接着し、接着する際のセメント間隙量の相違による影響について歯ブラシ摩耗試験を行って、その摩耗断面形状、摩耗深さ、表面粗さおよび走査型電子顕微鏡像観察から検討した。

II. 材料と方法

1. 材料

材料は表 1 に示した。

ヒト永久歯エナメル質（以下、エナメル質と略す）は、20 歳代の矯正治療に際して便宜抜歯された上顎第一小臼歯で、充填処置がなく、咬耗および摩耗が極力少なく、肉眼でカリエスやエナメル質表面に亀裂のみられないものを選択し、抜歯後速やかに抜髄処置を行い精製水中に保存した。

オールセラミック材は、IPS Empress (Ivoclar, 以下、エンプレスと略す) のステインニング用 T1 インゴットを選択した。

レジンセメントは、エンプレスの指定の Variolink II (Vivadent, 以下、VL と略す) の base (brown) および catalyst (high viscosity) を選択した。

1) エナメル質試料の調製

エナメル質試料の調製は、次のように行った。ま

ず、歯質を図 1 に示す分割金型（以下、分割金型 A と略す）の片側上面中央部の空洞（ $2.5 \times 7.0 \times 2.5$ mm）に適合するように調整した。加工の順序は以下に示した。

(1) マイクロカッター MC-501 C およびキンバレー式ダイヤモンドブレード（マルトー）を使用して、切り幅 $20 \mu\text{m}$ 、送り速度 1.0 mm/min 、回転数 500 rpm の条件下で、上顎第一小臼歯の隣接面歯冠長の中央部を、歯軸に垂直に 2 回水平断し、さらに得られた円板状の歯質を頬舌的に 2 分割した。

(2) 得られた半円板状の歯質をエアータービンおよびダイヤモンドポイントを用いて分割金型 A の空洞のある片側のみを使用し、空洞に適合するように調整した。その際、被摩耗面がエナメル質となるように歯質を位置づけ調整した。

(3) 調整した歯質を、分割金型 A の空洞のあるほう

図 1 Sectional mold A
分割金型 A

表 1 Materials
使用材料

製品名	製造者	Lot. No	略号
ヒト永久歯エナメル質 (上顎第一小臼歯)			エナメル質
オールセラミック レジンセメント	IPS Empress Variolink II	Ivoclar Vivadent	エンプレス VL
歯ブラシ 歯磨剤	GUM #211 Youth ホワイトアンドホワイト ライオン	バトラー ライオン	

の片側に装着し、マルトーラップ ML-110 平面研磨機（マルトー、以下、平面研磨機と略す）を用い、#800 耐水カーボランダムペーパーで注水下にて厚さ 2.5 mm になるよう研磨を行い、研磨面を接着面とした。なお研磨は、分割金型 A が可及的に摩耗しないように、分割金型 A を金属枠で囲んで行った。

(4) 研磨した歯質を分割金型 A の空洞に適合させ、ネジしめを行い、エナメル質接着面と分割金型 A に間隙がないことを確認し、エナメル質試料とした。

2) エンプレス試料の調製

エンプレス試料の調製は、分割金型 A にインレーワックス（ジーシー）を用いて、軟化圧接法にてワックスパターンを作製し、製造者指示¹⁸⁾に従って埋没してファネス CF-IV（千代田歯科器材）にて加熱した後、圧入電気炉 EP-500（Ivoclar）にて加熱・加圧・圧入した。室温まで放冷後、直径 50 μm のガラスビーズ（松風）を使用して 0.4 MPa の圧力下にてサンドブラスト処理を行って成型体を取り出した。

次に、成型後のエンプレスをエナメル質試料と同様に以下の順序で調整した。

(1) エンプレスを分割金型 A の空洞のある片側のみに使用し、空洞に適合するようダイヤモンドポイントを用いて調整した。

(2) 調整したエンプレスを、分割金型 A の空洞のあるほうの片側に装着し、平面研磨機を用いて、#800 耐水カーボランダムペーパーで注水下にて研磨を行って厚さ 2.5 mm とし研磨面を接着面とした。なお、研磨は分割金型 A が可及的に摩耗しないように、分割金型 A を金属枠で囲んで行った。

(3) 研磨したエンプレスを分割金型 A の空洞に適合させ、ネジしめを行い、エンプレス接着面と分割金型 A に間隙がないことを確認し、エンプレス試料とした。

3) 摩耗試験試料の作製

摩耗試験試料の作製では、以下の順序で行った。

(1) エナメル質試料の接着面に製造者指示に従ってリン酸エッチング、プライマー処理およびボンディング材を塗布し、エンプレス試料の接着面には、シランカップリング処理を行った後にボンディング材を塗布した。

(2) 製造者指示の標準ペースト比で練和した VL のセメント泥をエンプレス試料接着面に塗布後、図 2

図 2 Sectional mold B
分割金型 B

に示した上面中央部に空洞 (5.0×7.0×2.5 mm) が加工された分割金型（以下、分割金型 B と略す）を使用し、その片側の金型に適合させた。

(3) エンプレス試料を適合させた分割金型 B の片側の接着面下方に、セメント層の厚さを 50, 100, 150 および 200 μm のスペーサーをそれぞれ位置させ、セメント間隙量を規定した。

(4) エナメル質試料を分割金型 B のもう一方の空洞に適合させてネジしめを行い、片側に設置したエンプレス試料と一体になるよう圧接した。

(5) 一体化したエナメル質試料およびエンプレス試料の上面をポリエステルマトリクステープ (3 M) および厚さ 0.12~0.17 mm のカバーガラス (Matsunami) で圧接したまま、光照射器 (XL 3000, 3 M) で製造者指示の 3 倍の光照射時間 120 秒にて硬化させた。

(6) 硬化後、接着した試料は、分割金型 B から離型せずに、その上面を平面研磨機および #1500 耐水カーボランダムペーパーにて、分割金型 B の上面と同じ高さとなるように注水下で研磨を行った (図 3)。その際、分割金型 B の上面が可及的に摩耗しないように金型を金属枠で囲んで研磨を行った。

(7) 研磨終了後、接着試料を分割金型 B から取り出し、ガラス練板上に設置した $\phi 10.0 \times 10.0 \text{ mm}$ のガラス管中央部にくるように配置した後、ポリエステル系樹脂の冷間埋入樹脂 No. 105 (丸本ストルアス) に

て包埋を行い、48 時間で硬化させたものを摩耗試験試料とした (図 4)。

すなわち、セメント層の厚さがそれぞれ 50, 100, 150 および 200 μm の摩耗試験試料 (以下, VL 50, VL 100, VL 150 および VL 200 と略す) の 4 種を作製した。エナメル質試料とエンプレス試料の被摩耗面には、ビッカース硬さ試験器を用いて 2 点の圧痕を印記した。各試料は、各条件 6 個ずつとし、37°C の精製水中に 1 週間水中浸漬後、歯ブラシ摩耗試験に供した。

2. 方法

1) 歯ブラシ摩耗試験

歯ブラシ摩耗試験¹⁹⁾ (以下, 摩耗試験と略す) は、歯ブラシ摩耗試験機 (東京技研) を用いて行った。試験機には 6 個の試料固定治具があり、1 つの治具に試料を 4 個ずつ、計 24 個同時に固定できる。各試料は、歯ブラシの刷掃方向がセメント層と平行になるように

図 3 Adhesive specimen after polishing
研磨後の接着試料

図 4 Specimen for toothbrush abrasion test
摩耗試験試料

固定し、歯ブラシ固定台には歯ブラシ (GUM #211 Youth, バトラー) を固定した。

摩耗試験は、各試料 1 個あたりの荷重 2.9 N, ストローク数 60 回/分, ストローク幅 50 mm の条件下で 10×10^4 回まで行い、歯ブラシは 5×10^4 回ごとに新品と交換した。スラリーは、ホワイトアンドホワイトライオン (ライオン) 250 g とグリセリン 250 ml を混合した後、精製水で等倍希釈した溶液を用い、摩耗試験 1×10^4 回ごとに新しい溶液と交換した^{20,21)}。

2) 摩耗断面形状、摩耗深さおよび表面粗さの測定

摩耗断面形状、摩耗深さおよび表面粗さの測定は、走査型レーザー顕微鏡 1 LM 21 W, 1 HD 200 (レーザーテック, 以下, レーザー顕微鏡と略す), 表面形状測定ソフトウェア (レーザーテック) および、パーソナルコンピュータ Power Macintosh 8500/180 (Apple) を用いて測定を行った。

(1) 摩耗断面形状

摩耗断面形状は、摩耗試験前に摩耗試験試料の摩耗面が平坦であることをレーザー顕微鏡を使用して確認した後、摩耗試験後に測定を行った。測定部位は、エナメル質試料とエンプレス試料の被摩耗面に印記された 2 点の圧痕の最深部を結ぶ線を測定基準線とし (以下, 測定線), それぞれのセメント間隙量の摩耗断面形状をレーザー顕微鏡にて測定した。また、マージン部を構成するエナメル質, VL, エンプレスの接着面 (以下, エナメル-VL マージン部およびエンプレス-VL マージン部と略す) の摩耗試験後に形成された斜面の状態を、図 5 に示すように測定線とのなす角度および斜面の長さの測定を行うことによって評価した。

図5 Schematic drawing of measuring area at margin
マージン部の測定部位の模式図

(2) 摩耗深さ

摩耗深さは、 1×10^4 回ごとに各試料の摩耗面をシリコンラバー印象材 (Extrude, Kerr) で印象採得を行い、得られたレプリカについて、レーザー顕微鏡を用いて測定線から最も深い部位を摩耗深さとして求めた。

(3) 表面粗さ

表面粗さは、摩耗試験前後の試料について VL, エナメル質試料, エンプレス試料の測定を行った。測定部位は、測定線上をレーザー顕微鏡を用い 1,040 倍にて同一視野内の 5 点とし、平均値を求めて表面粗さとした。

3) マージン部の SEM 像観察

摩耗試験後の VL 50, VL 100, VL 150 および VL 200 の VL の歯ブラシ摩耗面, エナメル-VL マージン部およびエンプレス-VL マージン部の観察は、レーザー顕微鏡の測定を行った後に、各試料表面にイオンスパッタリング処理を行い、走査型電子顕微鏡 JSM-T 100 (日本電子, 以下 SEM と略す) を用い、加速電圧 15 kV の条件下で観察を行った。

III. 結 果

結果を表 2~4 および図 6~10 に示した。

1. 摩耗断面形状

VL 50, VL 100, VL 150 および VL 200 の摩耗試験終了時における典型的な摩耗断面形状の例を図 6 に示し、最深部を矢印で示した。また、そのマージン部の斜面の角度および長さの測定結果を表 2 に示す。

1) エナメル-VL マージン部

全試料のエナメル-VL マージン部窩縁にベベル様の斜面が認められた (図 6)。各試料に関しては、VL 50, VL 100, VL 150 および VL 200 のエナメル-VL マージン部の斜面の角度は、測定線からそれぞれ 40° , 44° , 45° および 49° であり (表 2), VL 200 で最も角度が大きかった。VL 50, VL 100, VL 150 および VL 200 のエナメル-VL マージン部の斜面の長さは、それぞれ 17, 15, 10 および $10 \mu\text{m}$ であり (表 2), VL 50 で最も長かった。

2) エンプレス-VL マージン部

全試料のエンプレス-VL マージン部窩縁にベベル様の斜面が認められた (図 6)。各試料に関しては、VL 50, VL 100, VL 150 および VL 200 のエンプレス-VL マージン部の斜面の角度は測定線からそれぞれ 35° , 36° , 56° および 63° であり (表 2), VL 200 で最も角度が大きかった。VL 50, VL 100, VL 150 および VL 200 のエンプレス-VL マージン部の斜面の長さはそれぞれ 23, 20, 17 および $10 \mu\text{m}$ であり (表 2), VL 50 で最も長かった。

3) VL

VL の摩耗断面形状は、全試料とも鋸歯状を呈した (図 6)。VL 50 では、両側が凹み、中央が丘となる形状が認められた。摩耗最深部は、エナメル質試料およびエンプレス試料との接着界面付近の 2 カ所に認められた。また、VL 50 とエナメル質試料およびエンプレス試料との接着界面の摩耗は、直線的な形状を示した。VL 100 および VL 150 では、VL に複数の凹凸が認められ、特に VL 200 には周期的な凹凸が観察された。VL 100, VL 150 および VL 200 の摩耗最深部は、エナメル質試料との接着界面から約 $10 \mu\text{m}$ の付近に特異的に認められた。また、VL 100, VL 150 および VL 200 とエナメル質試料およびエンプレス試料との接着界面では、VL 50 と比較してやや緩やかな形状に摩耗したが、摩耗深さはエンプレス試料からエナメル質試料方向へ向かって増加する傾向を示した。

2. 摩耗深さ

VL の摩耗回数の増加に伴う摩耗深さの変化と t-検定結果を表 3 に示し、摩耗深さの増加量の変化を図 7 に示した。

VL 50, VL 100, VL 150 および VL 200 のいずれ

表 2 Angle and length of slope at margin
マージン部の斜面の角度および長さ

	斜面の角度	斜面の長さ
エナメル-VL マージン部		
VL 50	40° (1.9)	17 μm (2.0)
VL 100	44° (2.0)	15 μm (2.3)
VL 150	45° (1.8)	10 μm (1.2)
VL 200	49° (2.0)	10 μm (1.1)
エンプレス-VL マージン部		
VL 50	35° (1.9)	23 μm (1.5)
VL 100	36° (1.8)	20 μm (1.2)
VL 150	56° (2.5)	17 μm (1.0)
VL 200	63° (2.7)	10 μm (1.0)
		Mean (SD)
		n=6

表 3 Changes in degree of wear depth as the number of sliding strokes increased (VL) and result of t-test

VL の摩耗回数の増加に伴う摩耗深さの変化と t-検定結果

摩耗回数 ($\times 10^4$ 回)	VL 50	VL 100	VL 150	VL 200
0	0	0	0	0
1	1.7 (0.1)	1.9 (0.1)	2.0 (0.1)	2.8 (0.2)
2	4.2 (0.5)	6.6 (0.3)	6.0 (0.2)	7.6 (0.4)
3	5.0 (0.4)	7.2 (0.3)	7.5 (0.3)	8.1 (0.5)
4	5.4 (0.6)	7.7 (0.3)	8.2 (0.4)	9.6 (0.6)
5	5.4 (0.5)	8.4 (0.3)	9.0 (0.4)	10.0 (0.5)
6	7.2 (0.5)	8.7 (0.5)	9.5 (0.5)	10.3 (0.4)
7	8.2 (0.5)	10.1 (0.4)	10.3 (0.3)	11.1 (0.5)
8	9.3 (0.5)	11.6 (0.5)	12.0 (0.4)	13.4 (0.5)
9	10.5 (0.5)	12.5 (0.4)	14.0 (0.5)	15.6 (0.6)
10	12.4 (0.4)	13.3 (0.5)	15.0 (0.4)	16.2 (0.5)

—: 有意差なし, *: 5% 危険率で有意差あり, Mean (SD)

それ以外の組合せは 1% 危険率で有意差あり n=6, unit: μm

においても、摩耗回数が増加するに従って摩耗深さも増大し、摩耗試験 2×10^4 回までは急激に摩耗深さが増大し、その後 VL 50 は 5×10^4 回から、VL 100、VL 150 および VL 200 は 7×10^4 回から再び摩耗深さが増大する傾向が認められた (図 7)。摩耗試験終了時の VL 50、VL 100、VL 150 および VL 200 の摩耗深さは、それぞれ 12.4、13.3、15.0 および 16.2 μm となった (表 3)。

1×10^4 回ごとの VL の厚さの相違と摩耗深さについて t-検定を行った結果 (表 3)、 3×10^4 回、 4×10^4

表 4 Surface roughness
表面粗さ

	摩耗試験前	摩耗試験後
エナメル質	0.10 (0.02)	0.12 (0.04)
エンプレス	0.10 (0.02)	0.15 (0.03)
VL 50	0.14 (0.03)	0.53 (0.15)
VL 100	0.17 (0.03)	0.46 (0.17)
VL 150	0.17 (0.03)	0.40 (0.13)
VL 200	0.16 (0.01)	0.42 (0.12)
		Mean (SD)
		n=6, unit: μm

回、 7×10^4 回、 8×10^4 回の VL 100 と VL 150 間を除く VL 50、VL 100、VL 150 および VL 200 間に有意差が認められた。

3. 表面粗さ

表面粗さの測定結果を表 4 に示した。摩耗試験前と比べて VL の粗さは 2.4~3.8 倍となった。また、摩耗試験前では、VL、エナメル質およびエンプレスはほぼ同様の値を示し、摩耗試験後ではいずれも増大し、最大値は VL 50 の 0.53 μm 、最小値はエナメル質の 0.12 μm であった。

4. マージン部の SEM 像

VL 50、VL 100、VL 150 および VL 200 の摩耗試験終了後のマージン部の SEM 像を図 8、VL 200 のエナメル-VL マージン部の SEM 像を図 9、VL 200 の SEM 像を図 10 に示した。VL については、VL 50 および VL 100 の SEM 像 (図 8) では、明瞭な擦過痕は認められず、VL 150 および VL 200 の SEM 像 (図 8) では、明瞭な擦過痕が複数観察された (矢印 a)。

VL 50、VL 100、VL 150 および VL 200 のエナメル-VL マージン部には波状の構造体がみられ (図 8)、粒子径が 3~5 μm の波状の構造体が明瞭に観察された (図 9、白矢印 b)。

一方 VL についてみると、VL 50、VL 100、VL 150 および VL 200 では同様の像が認められ、典型例として VL 200 の SEM 像を図 10 に示した。VL 200 の被摩耗面は、マトリクス部分の摩耗によると思われる小窩 (矢印 c) や、表面に浮き出した不定形で約 1 μm 以下のフィラー (矢印 d) などが観察された (図 10)。

図 6 Samples of sectional profiles VL 50, VL 100, VL 150 and VL 200
VL 50, VL 100, VL 150 および VL 200 の摩耗断面形状

図 7 Changes in degree of wear depth increased as the number of sliding strokes increased (VL)
VL の摩耗回数の増加に伴う摩耗深さの増加量の変化

IV. 考 察

1. 摩耗試験試料について

近年、レジンセメントの改良が進み、象牙質に対しても十分な接着強さをもつとされているが、象牙質の組織学的な特徴から、エナメル質に対する接着強さと同等のそれを得ることは現時点では難しい。そのため、オールセラミック歯冠補綴装置とヒト歯質との接着を得るためには、エナメル質内に形成を留めることが推奨されている^{22,23)}。しかし、オールセラミック材は歯冠補綴装置の縁端の破折を防ぐ観点から、マージン部をバットジョイントに形成しなければならず、辺縁部の適合性ととも露出したセメント層の摩耗・損

失が常に問題とされている^{24,25)}。定兼ら¹⁵⁾、森上ら¹⁶⁾および濱ら¹⁷⁾は、レジンセメントの耐摩耗性に、フィラーの含有量や形状が影響すると報告しているが、いずれも、直方体 (15×4×2.5 mm あるいは 25×10×2 mm) あるいは円柱形試料 (φ 5×3 mm) に歯ブラシ摩耗を行ったときの摩耗量の比較を行っている。したがって、口腔内の歯冠補綴装置マージン部のセメント層における摩耗の挙動や、マージン部の歯ブラシ摩耗による審美性への影響を示しておらず、臨床結果と結びつかなくなる懸念がある。

そこで本実験では、被着体として比較的表面が平坦でエナメル質の厚みが十分にとれるヒト永久歯上顎第一小臼歯の隣接面のエナメル質²⁶⁻²⁸⁾と、オールセラミック材にエンプレス、レジンセメントに VL を使用し、セメント層の厚みの規定に関しては、歯冠補綴装置の適合は可及的に良好でなければならないと考えるが、オールセラミック材の特性により接着前の試適、咬合調整ができないことや、接着前のボンディング剤の塗布厚さや光照射状態により著しく歯冠補綴装置が浮き上がることや、技工操作による製作法や術者の接着技法の優劣でかなりの幅があることが考えられ、実際の臨床報告等^{24,29-31)}をふまえて 50, 100, 150 および 200 μm に設定し、より臨床を考慮したセメント層における摩耗について検討を行った。

図 8 SEM image at margin (VL 50, VL 100, VL 150 and VL 200)
マージン部の SEM 像 (VL 50, VL 100, VL 150 および VL 200)

図 9 SEM image at Enamel-VL margin (VL 200)
エナメル-VL マージン部の SEM 像 (VL 200)

図 10 SEM image of VL 200
VL 200 の SEM 像

2. 摩耗断面形状

1) エナメル-VL マージン部およびエンプレス-VL マージン部について

エナメル-VL マージン部およびエンプレス-VL

マージン部に、全試料で測定線から角度 $35 \sim 63^\circ$ 、幅 $10 \sim 23 \mu\text{m}$ のベベル様の斜面が形成されていた (図 6)。この斜面は、次のように形成されたものと考えられた。予備実験において、エナメル質とエンプレス単

体の摩耗試験終了時の摩耗量は、 $0.1\sim0.2\mu\text{m}$ であり、ほとんど摩耗しなかった。しかし、摩耗試験試料はエナメル質、VLおよびエンプレスの三層構造であることから、単体とは異なる摩耗機序が生じたものと考えられた。すなわち、エナメル質およびエンプレスと接しているVLに、歯ブラシ摩耗によるマージナルブレイクダウン³²⁾が生じ、エナメル質とエンプレス試料の辺縁が露出し、その後さらにVLが摩耗した結果、エナメル質およびエンプレスの縁端に摩耗時の歯ブラシによる力が加わるようになって、脆性な材料である両者に破折が生じて疲労摩耗³³⁾したものと考えられた。

また、エナメル-VL マージン部およびエンプレス-VL マージン部の斜面の幅の長さは、各間隙量の試料で比較するとVL 50が一番長かった。これは、今回使用した歯ブラシ³⁴⁾の毛尖の幅径が $100\mu\text{m}$ 以上であることから、毛尖がセメント層の間隙に入らず、ほかの試料と比較し、よりエナメル質およびエンプレスの縁端に摩耗時の歯ブラシによる力が加わったためと考えられた。

2) VLについて

VL 50, VL 100, VL 150 および VL 200 の摩耗断面形状はすべて鋸歯状を呈したが、それぞれの摩耗状態は異なっていた。

すなわち、VL 50 の摩耗挙動は、前述したように毛尖の幅径が $100\mu\text{m}$ 以上であることから、毛尖はセメントの間隙に入らずに、歯磨剤中の研磨剤である平均粒径 $10\mu\text{m}$ ³⁵⁾のリン酸水素カルシウムと酸化アルミニウムや、VLの表面から抜け落ちた不定形ガラスフィラーがセメント間隙に入り込み、それによる摩耗が起こっていたことが考えられた。VL 100, VL 150 および VL 200 においては、その間隙が毛尖の幅径よりも大きいことから、歯磨剤、歯ブラシ毛尖およびVLのフィラーによる摩耗が同時に起こり、複雑な形状を呈したと考えられた。

最深部を示した場所についてみると、VL 50 では、最深部はVLとエナメル質およびエンプレス試料との接着界面付近に認められた。これは、VL 50 では、接着時にエナメル質およびエンプレス試料接着面にあるボンディング材が流され、VLのフィラーは全体に均等に分散しているため、エナメル質およびエンプレス試料との接着界面付近が同じように摩耗したもので

あると考えられた。

一方、VL 100, VL 150 および VL 200 の最深部は、すべての試料において、VLとエナメル質との接着界面から約 $10\mu\text{m}$ 離れた場所(図6, 矢印)に認められ、接着界面から緩やかに摩耗したと考えられた。これは、VL 50 では、接着時にVLがセメント層間隙から流出するとともに、ボンディング材が流されたが、VL 100, VL 150 および VL 200 においては、エナメル質側に塗布したボンディング材がエナメルエッチング面に留まってVLと混合し、フィラー含有量が少ない耐摩耗性の低い層ができたためであると考えられた。

また、VL 100, VL 150, VL 200 とエナメル質試料およびエンプレス試料との接着界面では、VL 50 と比較してやや緩やかに摩耗したが、エンプレス試料側がより緩やかであり、摩耗深さがエンプレス試料からエナメル質試料方向へ増加する傾向を示したのは、VLとエンプレス試料、エナメル質試料の接着様式の違いによるものと考えられた。すなわち、VLとエンプレス試料との接着は、エンプレス試料表面をシランカップリング処理を行っていることから、VL中のフィラーがホイスカー効果³⁶⁾によって接着しているものであり、それに対して、VLとエナメル質試料の接着はリン酸エッチングされた面にVLが、投錨効果によって接着しているものである³⁷⁾。この両者の接着様式の相違が、摩耗深さのエンプレス試料からエナメル質試料方向へ増加する傾向を示した原因であると考えられた。

3. 摩耗深さ

摩耗深さは、VL 50, VL 100, VL 150 および VL 200 のいずれの試料でも、摩耗回数が増加するに従って増大する傾向を示し(表3)、特に摩耗試験初期では、急激な摩耗深さの増大を示した(図7)。これは、レジンセメント表面に生成される、フィラーの含有率が低いレジンリッチマトリクス³⁸⁾の存在や吸水による表層部のマトリクスの膨潤と、マトリクスとフィラーの結合部の崩壊などが関係するものと考えられた。また、表3に示したように摩耗試験終了時において各試料間に有意な差が認められたことから、エナメル質とエンプレスを被着体としてオールセラミック歯冠補綴装置のマージン部においてセメント層の厚さ

の相違が、セメントの摩耗に影響を及ぼすことが明らかになった。

4. 表面粗さ

表面粗さは、摩耗試験終了後ではエナメル質およびエンプレスではほぼ同様の値を示したが、VL は両者より大きい値であった。この理由としては、VL の SEM 像 (図 10) からみられるように、耐摩耗性の低い Bis-GMA および UDMA といったマトリクスが摩耗され、VL 表面からフィラーが抜け落ちたためであると考えられた。

5. マージン部の SEM 像

VL 50, VL 100, VL 150 および VL 200 のエナメル-VL マージン部の波状の構造物は、図 9 から粒子径が $3\sim 5\mu\text{m}$ であり、エナメル小柱の太さ³⁹⁾とほぼ一致することから、歯ブラシ摩耗によってエナメル-VL マージン部に露出してきた横紋³⁹⁾であると考えられた。

VL 50, VL 100, VL 150 および VL 200 の VL についての摩耗断面曲線は鋸歯状であり、その原因を図 8 の SEM 像から推察すると、以下のように考えられた。まず、マトリクスの摩耗によって比較的大きなフィラーの表面への露出と不定形ガラスフィラーがマトリクスから脱落し、マトリクスの摩耗がさらに進行することによって、大きなフィラーの脱落が生じるなど複雑な摩耗挙動を起こし鋸歯状を呈したものと考えられた。

以上を総括すると、オールセラミック歯冠補綴装置マージン部は歯ブラシ刷掃によって摩耗し、摩耗深さはセメント間隙ごとに特有の傾向を示し、またエナメル質およびエンプレスの窩縁は、間隙が大きくなるに従って、摩耗によって形成された斜面の長さは短く、角度は大きくなることが明らかとなった。

V. 結 論

オールセラミック歯冠補綴装置が口腔内に長期間装着された場合を想定し、歯ブラシ刷掃によるマージン部のセメント層の摩耗について、ヒト永久歯エナメル質とエンプレスとを、セメント層の厚さを 50, 100, 150 および $200\mu\text{m}$ として、Variolink II で接着した

三層構造の試料を作製して検討を行った結果、以下の結論を得た。

1. 摩耗断面形状

1) エナメル-VL マージン部

エナメル質試料には、角度が測定線から $40\sim 49^\circ$ で長さが $10\sim 17\mu\text{m}$ のベベル様の斜面が認められた。また、VL 200 の斜面が最も角度が大きく、VL 50 の斜面が最も長かった。

2) エンプレス-VL マージン部

エンプレス試料には、角度が測定線から $35\sim 63^\circ$ で長さが $10\sim 23\mu\text{m}$ のベベル様の斜面が認められた。また、VL 200 の斜面が最も角度が大きく、VL 50 の斜面が最も長かった。

3) VL

VL の断面形状は、全試料とも鋸歯状を呈し、VL 100 および VL 150 では VL に複数の凹凸が認められ、VL 200 では周期的な凹凸が観察された。また摩耗最深部は、エナメル質試料との接着界面から約 $10\mu\text{m}$ の付近に特異的に認められた。一方、VL 100, VL 150, VL 200 とエナメル質試料およびエンプレス試料との接着界面では、VL 50 と比較してやや緩やかな形状に摩耗したが、摩耗深さはエンプレス試料からエナメル質試料方向へ増加する傾向を示した。

2. 摩耗深さ

VL 50, VL 100, VL 150 および VL 200 のいずれにおいても、摩耗回数が増加するに従って摩耗深さも増大し、摩耗試験 2×10^4 回までは急激に摩耗深さが増大し、その後 VL 50 は 5×10^4 回から、VL 100, VL 150 および VL 200 は 7×10^4 回から再び摩耗深さが増大する傾向が認められた。 1×10^4 回ごとの VL の厚さの相違と摩耗深さに関する t-検定を行った結果、 3×10^4 回、 4×10^4 回、 7×10^4 回、 8×10^4 回の VL 100 と VL 150 間を除く VL 50, VL 100, VL 150 および VL 200 間に有意差が認められた。

3. 表面粗さ

摩耗試験前と比べて、VL の表面粗さは、 $2.4\sim 3.8$ 倍となった。摩耗試験前では、VL, エナメル質およびエンプレスはほぼ同様の値を示し、摩耗試験後では

いずれも増大し、最大値はVL 50 の $0.53 \mu\text{m}$ 、最小値はエナメル質の $0.12 \mu\text{m}$ であった。

4. マージン部のSEM像

マージン部では、エナメル-VL マージン部に、全試料で粒子径が $3\sim 5 \mu\text{m}$ の波状の構造体が明瞭に観察された。

VL では、VL 50 および VL 100 で、明瞭な擦過痕は認められず、VL 150 および VL 200 では、明瞭な擦過痕が複数観察された。

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。

あわせて日頃、ご助言、ご鞭撻を頂きました日本大学補綴学教室クラウンブリッジ学講座医局員各位、大学院生各位ならびに日本大学歯科理工学教室の齊藤仁弘先生、さらに試料製作にご協力頂きました日本大学歯科病院技工室長光靖夫技手、測定にご協力頂きましたレーザーテック株式会社の小堀めぐみ主任に感謝の意を表します。

文 献

- 丸山剛郎. キャスタブル・セラミックス“Dicor”の概要. QE 4 : 533-542, 1985.
- Leinfelder KF, Isenberg BP, Essig ME. A new method for generating ceramic restorations. A CAD-CAM system. J Am Dent Assoc 118 : 703-707, 1989.
- Banks RG. Conservative posterior ceramic restorations. A literature review. J Prosthet Dent 63 : 619-626, 1990.
- 新谷明喜, 千葉栄一, 岡田智雄. 各種ポーセレン・システムの特徴 (1) 市販ポーセレン, キャスタブル・セラミックスを評価する. QDT 17 : 829-854, 1992.
- 六人部慶彦, 日野年澄, 中村隆志ほか. 新しいポーセレンシステム IPS EMPRESS を用いた審美補綴の臨床. QE 11 : 1568-1574, 1992.
- Anusavice KJ. Phillips' science of dental materials. tenth ed 608-618, Philadelphia : Saunders, 1996.
- Probst L. Compressive strength of two modern all-ceramic crowns. Int J Prosthodont 5 : 409-414, 1992.
- Yoshinari M, Derand T. Fracture strength of all-ceramic crowns. Int J Prosthodont 7 : 329-338, 1994.
- Myers ML, Ergle JW, Fairhurst CW et al. Fatigue failure parameters of IPS-Empress porcelain. Int J Prosthodont 7 : 549-553, 1994.
- Seghi RR, Denry IL, Rosenstiel SF. Relative fracture toughness and hardness of new dental ceramics. J Prosthet Dent 74 : 145-150, 1994.
- Klaus L. Untersuchungen zur bruchfestigkeit von IPS-Empress-kronen in abhngigkeit von den zementier-modalitten. Quintessenz Zahntech 20 : 247-256, 1994.
- Wohlwend A, Sharer P. Die Empress technik. Eine neue mglichkeit einzelkronen, Inlays und verblendschalen her-zustellen. Quintessenz Zahntech 16 : 966-978, 1990.
- Heinberg BJ. IPS-Empress mit neuer keramiktechnologie. Quintessenz Zahntech 17 : 475-479, 1991.
- Dong JK, Luthy H, Wohlwend A et al. Heat-pressed ceramics. Technology and strength. Int J Prosthodont 5 : 9-16, 1992.
- 定兼美智子, 西本早織, 長尾俊行ほか. コンポジットレジンインレーに関する研究 第5報 各種接着性レジンセメントの諸性質について. 日歯保存誌 33 : 466-476, 1990.
- 森上 誠, 尾上成樹, Afroza Jasmine MIR ほか. コンポジットレジンインレー修復法の確立に関する研究 第5報 レジンインレー合着用セメントの耐摩耗性およびSEM観察. 日歯保存誌 35 : 1-11, 1992.
- 濱 和洋, 佐野 崇, 蒲生吉平ほか. コンポジットレジンセメントの物理的性質に及ぼすフィラー含有量の影響. 日歯保存誌 35 : 1018-1025, 1992.
- Ivoclar AG. IPS Empress working procedures Liechtenstein, 1991.
- 掛谷昌宏, 石川陽一, 齊藤仁弘ほか. 歯冠用硬質レジンの物性についての検討. 日大歯学 69 : 775-785, 1995.
- 高見澤太郎. 接着性レジンセメントの歯ブラシ摩耗に関する研究—セメント層の厚さによる影響—. 日大歯学 70 : 462-472, 1996.
- 小泉寛恭, 吉田 剛, 棧 淑行ほか. 接着性レジンセメントの歯ブラシ摩耗についての研究—フィラー含有ルーティングセメントにおける歯ブラシ摩耗—. 補綴誌 42 : 945-949, 1998.
- 石川和之, 福島正義, 岩久正明. ラミネートベニア修復物の辺縁封鎖性に関する研究—歯根面に位置する辺縁のセメント層の厚みと漏洩性について—. 接着歯学 12 : 29-40, 1994.
- 佐藤友彦, 古賀和憲. キャスタブル・セラミックス応用の審美的歯科修復 23-27, 東京 : クインテッセンス出版, 1994.
- Meerbeek BV, Inokoshi S, Willem G et al. Marginal adaptation of four tooth-coloured inlay systems in vivo. J Dent 20 : 18-26, 1992.
- O'neal SJ, Miracle RL, Leinfelder KF. Evaluating interfacial gaps for esthetic inlays. J Am Dent Assoc 124 : 48-54, 1993.
- 庄司 力, 根橋信幸, 渋谷 崇ほか. ダイコアシステムの支台歯形成に関する研究—小臼歯のエナメル質の厚さについて—. 日大歯学 67 : 448-456, 1993.
- 上條雍彦. 日本人永久歯の解剖学 2-64, 東京 : アナトーム社, 1962.
- 藤田恒太郎. 歯の解剖学 40-44, 東京 : 金原出版, 1964.
- Sorensen JA, Munksgaard EC. Interfacial gaps of resin cemented ceramic inlays. Eur J Oral Sci 103 : 116-120, 1995.
- Fanuscu MI, Sorensen JA. Pre- and post-cementation fit of ceramic crown systems. J Dent Res 71 : 320, 1992.
- Rose D, Platzer U, Roth KF. Untersuchungen zur Kompositfuge bei computererstellten Keramikinlays. Dtsch Zahnrztl Z 45 : 677-679, 1990.
- Ferracane JL, Mitchem JC, Condon JR et al. Wear and marginal breakdown of composites with various degrees of cure. J Dent Res 76 : 1508-1516, 1997.
- 門川明彦. コンポジットレジンと各種歯科修復用材料間の摩擦摩耗. 歯材器 14 : 431-444, 1995.

- 34) 寺嶋浩義, 尾崎哲則, 唐鎌史行ほか. 最近市販されている歯ブラシ線維の毛先の形態と小窩裂溝部への適合性について. 日大歯学 64 : 942-950, 1990.
- 35) 飯塚喜一, 丹羽源男. 歯磨剤を科学する 35-42, 東京 : 学建書院, 1994.
- 36) Marx R. Moderne keramische Werkstoffe fürästhetische Restaurationen—Verstärkung und Bruchzähigkeit. Dtsch Zahnärztl Z 48 : 229-236, 1993.
- 37) Buonocore MG. A simple method of increasing the adhesion of acrylic filling materials to enamel surface. J Dent Res 34 : 849-853, 1955.
- 38) 新海航一, 神賀英雄, 大久保達人ほか. 歯冠修復材料の歯ブラシ摩耗に関する研究 第一報 試験機の試験条件と摩耗性について. 日歯保存誌 30 : 1235-1244, 1987.
- 39) 相川誉夫, 久米川正好, 栗栖浩二郎ほか. 口腔の発生と組織 29-35, 東京 : 南山堂, 1989.

著者連絡先 : 小泉 寛恭

〒101-8310 東京都千代田区神田駿河台 1-8-13

TEL : 03-3219-8145