原 著 論 文

オールセラミッククラウンの適合に関する研究

—ステイニング法の製作工程における適合状態—

中本 宏

Marginal Fit of All-Ceramic Crown

—Marginal Fit at Each Fabrication Step for Staining Technique—

Hiroshi Nakamoto

Abstract : This study was conducted to investigate how the ideal marginal fit of wax crown changes through the injecting, staining, glazing, and cementing procedures during fabrication of the IPS Empress crown by the staining technique for the upper first premolar tooth of the Dental Study Model (500 A, NISSIN DENTAL PRODUCTS, Japan). The vertical and horizontal gaps were measured by a scanning laser microscope system at identical measuring points in each fabrication step. The thickness of the cement film in the marginal area was also measured using sectioned specimens, both faciolingually and mesiodistally.

The conclusions were as follows :

1. The state of marginal fit at the As-Press stage was Open-Extra. The Open (vertical gap) was in the range of 27.5~30.5 μm , and the Extra (horizontal gap) was 30.1~39.1 μm .
2. The rate of change of the vertical gap due to the shrinkage of ceramics at the first firing (Stain 1) was significantly greater than that at each subsequent firing step. This change accounted for 60~70% of the total. No significant difference was observed for the horizontal gap between steps.
3. The rate of change of the gaps at each subsequent firing step (Stain 2, Glaze 1 and 2) was small, and there was no significant difference between firing steps.
4. The state of the marginal fit of finished crowns was still Open-Extra. The Open (vertical gap) was in the range of 38.2~45.3 μm , and the Extra (horizontal gap) was 20.3~30.8 μm .
5. The cement film thickness at the shoulder was similar to the amount of vertical gap at the final firing step (Glaze 2), in the range of 28.7~33.1 μm .

Key words : all-ceramic crown, IPS Empress, marginal fit, cement film thickness

I. 緒 言

IPS Empress (IVOCCLAR, 以下, エンプレスと略す) は, ステイン陶材を用いて, 色付け焼成を行うステイニング法と, カットバックを行い陶材を築盛・焼成するレイヤ

リング法とがあり, それぞれ専用の陶材を使用するよう指示され, 前者ではインレー, アンレー, ラミネート・ベニアおよび臼歯部クラウンなどが, 後者では特に審美性の重視される前歯部クラウンが製作される¹⁻³⁾. このシステムでは, メーカーサイドですでに焼結を終了している陶材インゴットをロストワックスした鑄型に, 加熱・軟化・圧入して修復物を製作する¹⁻³⁾. そのため, 光透過性があり天然歯に類似した審美回復が可能で, 焼成時の熱安定性に優れており¹⁾, 圧入後の陶材内部にはリュウサイトが均一に分布されること⁴⁾, また, 専用の接着性レジセメントで

日本大学歯学部歯科補綴学教室クラウンブリッジ学講座 (主任 : 五十嵐孝義教授)
Department of Crown and Bridge Prosthodontics, Nihon University School of Dentistry (Chief : Prof. Takayoshi Igarashi)
平成9年1月13日受付

支台歯に接着することにより歯質と一体化し⁵⁾、高い強度が得られる⁷⁾などの特徴がある。

このシステムでクラウンを製作するには、陶材圧入後に基本色を整えるためにステイニング2回、および表面性状を滑沢に仕上げるためにグレージング2回、最低でも計4回の加熱が必要であり、その時セラミックは収縮し、また、この収縮は埋没材の膨張より大きいと指摘⁶⁾する報告がある。しかし、この技工操作上で必ず行わなければならない焼成ステップにより、クラウンの適合状態がどのように変化するかについての詳細な報告^{6,7)}は少ない。

そこで本研究では、ステイニング法によるエンプレス・クラウンの各製作ステップごとの支台歯に対する適合状態を、垂直的ギャップおよび水平的ギャップの変化として走査型レーザー顕微鏡で測定し、さらに、支台歯に接着性レジンセメントで接着したクラウンのマージン部におけるセメント層の厚さを測定し、オールセラミッククラウンの適合状態を検討した。

II. 材料および方法

1. 材料

本研究で使用した材料を表1に示す。

2. 支台歯、支台歯模型および歯型の製作

顎歯模型の上顎左側第一小臼歯に IPS Empress Working Procedures⁸⁾ (以下、マニュアルと略す) に従って咬合面に 1.5 mm のクリアランス、歯肉縁下 0.5 mm に頬舌

側部で幅 1.0 mm、近遠心部で幅 0.8 mm のショルダー、片側 3° の軸面テーパを有する支台歯形成を行った。

フィニッシュライン直下の歯根部方向約 10 mm を、ハードワックスで歯軸と平行になるように修正し、その下部に試料取り付け装置に挿入するための $\phi 6 \times 10$ mm のアルミ製円柱を取り付けた。さらに、計測のための 8 個の基準点を設置した。すなわち、頬舌径の最大幅径の頬側部を B、舌側部を L とし、B を出発点とし、時計廻りに 45 度ずつ基準点を設定した。線分 BL の中点で直交する線上の支台歯の近心端を M、遠心端を D とし、さらに、それらの中間点を M・B、B・D、D・L および L・M とした。これらの基準点に対向するフィニッシュライン下部約 1 mm の部位に $\phi 100 \mu\text{m}$ のリテンション ピーズ II SSS (ジーシー) を 8 カ所計測点として、シアノアクリレート (アロンアルファ、東亜合成) で接着させ、これを支台歯とした (図 1)。この支台歯を $20 \times 20 \times 30$ mm のアルミ製トレーを用いて、シリコンラバー印象材 (Extrude, KERR) で印象採得し、アルセラム・エポキシ歯型材 (三金工業) を注入し、6 個の支台歯模型を製作した (図 2)。さらに、それぞれの支台歯模型を超速硬性常温重合レジン (ユニファスト II, ジーシー) で製作した個歯トレーを用い、シリコンラバー印象材 (Extrude, KERR) で印象採得し、超硬質石膏 (NEW FUJIROCK, ジーシー) をメーカー指示に従い練和、注入し、それぞれの歯型を製作した。

表 1 Material of this study
使用材料

材 料	製品名	製造番号	製造会社
支台歯	500 A 上顎左側第一小臼歯 (エポキシ製)		NISSIN
計測点材料	リテンション ピーズ II SSS	260231	ジーシー
個歯トレー	ユニファスト II	250851	ジーシー
印象材	Extrude (Wash)	55206	KERR
支台歯模型	アルセラム・エポキシ歯型材		三金工業
歯型材	NEW FUJIROCK (WHITE)	070961	ジーシー
ダイスペーサー	ラバーセップ	809511	George Taub
ワックス	Kronenwachs	566256	BEGO
スプルー	VINYL LINE WAX R 3.0		林歯科商店
埋没材	IPS Empress ステイニング専用埋没材 (100 g)	800705	IVOCLAR
	IPS Empress 専用埋没液 (15 cc)	660240	IVOCLAR
	蒸留水 (6 cc)	BE-21	小堺製薬
クラウン	IPS Empress ステイニング用セラミック材料 0-1	616180	IVOCLAR
	V ステイン	803156	IVOCLAR
	グレージングペースト	807898	IVOCLAR
	ステイン・グレース液 I	606073	IVOCLAR
	ステイン・グレース液 II	342361	IVOCLAR
クラウン固定材	Model Cement	SB 24	DENTSPLY
接着性レジンセメント	Variolink Catalyst : High Viskocity	701459	VIVADENT
	Base : White	617048	VIVADENT
包埋材	アクリル・ワン # 1320	960822	マルトー

3. オールセラミッククラウンの製作

エンプレス・クラウン製作の各操作はすべてマニュアル⁸⁾に従った。

1) ワックスパターンの製作

歯型の軸面部、咬合面部にダイスペーサーとしてラバーセップ (George Taub) を約 $30\ \mu\text{m}$ の厚さに塗布した。支台歯形成前の形態に仕上げたワックスクラウンから、パテタイプの印象材 (エクザファイン・パテタイプ, ジーシー) を用いてワックスアップ用割型を製作し, ワックス (Kronenwachs, BEGO) を約 60°C に溶融して注入し,

すべてのワックスパターンが同一形態となるようにワックスパターンを形成した。歯型上にはめたままのワックスパターンを室温中に 24 時間放置し, 埋没直前に 8 倍の実体顕微鏡 (井上アタッチメント, 以下, 顕微鏡と略す) 下にてマージン部の軟化, 圧接などの調整を行った⁹⁾。

2) 埋没, 加熱・軟化・圧入

ワックスパターンの頬側咬頭外斜面部に $\phi 3 \times 6\ \text{mm}$ のワックススプルー (VINYLLINE WAX, 林歯科商店) を焼付け, 円錐台であるマッフルベース (IVOCLAR) に 2 個ずつ植立した。ペーパーリング (IVOCLAR) を用い, 埋没材には専用のリン酸塩系埋没材を用い, メーカーのクラウン製作時の指示通りの希釈率である粉末 100 g に対し, 専用液 15 cc を蒸留水 6 cc で希釈した溶液 (濃度 70%) にて 60 秒間真空練和した後, 埋没した。

2 時間後にペーパーリングを外し, 埋没ブロックを調整後, リングファーンズ (コンピューターファーンズ CF-4, 千代田歯科器材) に本実験用に選定した 0-1 陶材インゴットと酸化アルミナ製のプランジャーおよび埋没ブロックとを, 図 3 のスケジュール⁸⁾に従い 850°C までプレヒートを行った。引き続き圧入電気炉 EP 500 (IVOCLAR) を用い, 図 3 に示すスケジュール⁸⁾に従い, 加熱・軟化・圧入を行った。

3) クラウンの掘り出しおよび調整

陶材圧入後, 埋没ブロックを室温まで放冷し, ディスク (CUT-OFF WHEELS LARGE-THIN, dentorium) を用い埋没ブロックを切り出し, 陶材圧入側から咬合面部に向けて, $\phi 50\ \mu\text{m}$ のガラスビーズ (松風) を用い, クラウンの咬合面が露出するまでは約 $0.4\ \text{MPa}$ で, その後

図 1 Abutment tooth
支台歯

図 2 Size of abutment tooth model and measuring points
支台歯模型の寸法および計測点

図 3 Schedule of heating, softening and pressing
加熱・軟化・圧入の昇温スケジュール

マージン部およびクラウン内面部の掘り出しは約 0.2 MPa の圧力でサンドブラस्टィングを行い、その後精製水中で超音波洗浄した。そして、セパレートディスク（松風）でスプルーを切断し、余剰部分を技工用エアータービンでダイヤモンドポイント（# F 102 R, 松風）を用いて注水下で調整した。

クラウンを歯型に適合させる前に、歯型上のダイスペーサーを除去し、顕微鏡下にてダイヤモンドポイント（# LF 1 および # LF 2, ATD ジャパン）を用いて調整し、クラウンの可及的な歯型への適合を図った。

4) ステイニングおよびグレージング

ステイニングは V ステイン（A 2）およびステイン・グレーズ液 I を用い、顕微鏡下で計測域を除いた部分に薄く塗布し、60°C/min で 400°C から 850°C まで昇温させ、2 分間係留して焼成し、この操作を 2 回行った。

グレージングは、グレージングペーストおよびステイン・グレーズ液 II を用い、顕微鏡下でステイニング同様計測域を除いた部分に塗布し、60°C/min で 400°C から 870°C まで昇温させ、2 分間係留して焼成し、この操作も 2 回行った。ステイニングおよびグレージングの焼成はセラミマット FA-4（ジーシー）を使用した。

5) クラウンの接着

クラウンは、エンプレス専用の接着性レジンセメントである Variolink（VIVADENT, 以下、セメントと略す）を用い、使用マニュアルに従って支台歯模型に接着した¹⁰⁾。すなわち、クラウンの接着面の処理としてその内面をあらかじめ Etching Gel で清掃し、Monobond-S にてシランカップリング処理を行い、ボンディング材である Heliobond を薄く塗布後遮光保管した。一方、支台歯模型の歯面は Heliobond の塗布のみとし、塗布後にエア

ブローし、同様に遮光保管した。

セメントは、Catalyst（high viscosity）と Base（White）を使用した。これらを等量練和し、セメント泥をクラウン内面に適量満たし、手圧（約 5 N）にて徐々に支台歯模型に適合させ、歯頸部より流出する余剰セメントは小筆で拭き取り、余剰セメントが出てこないことを確認した後、頬舌側、近遠心側、咬合面側の 5 方向からそれぞれ 60 秒間ずつ光照射器（NEW LIGHT VL-II, ジーシー）で光照射を行った。セメント硬化後に顕微鏡下で余剰セメントを探针で除去し、余剰セメントが付着していないことを確認した。

4. 計測方法

1) 垂直的および水平的ギャップの計測

支台歯模型上において、クラウンマージン部の適合状態の垂直的および水平的ギャップの計測には、走査型レーザー顕微鏡^{11,12)}（1 LM 21 W, レーザーテック, 以下、レーザー顕微鏡と略す）を使用した。計測は各製作ステップごとに、クラウンを支台歯模型に手圧（約 5 N）で加圧し、計測点を除いた外側部数カ所をスティッキーワックス（Model Cement, DENTSPLY）を用いて仮固定し、これを試料取付け装置¹³⁾に固定し（図 4）、そして、レーザー顕微鏡^{11,12)}のステージに設置して行った。試料取付け装置は、常に歯軸に対し垂直にレーザー光が当たるようになっており、つまみを回転させることにより、同一部位を同じ状態で非接触下で観察、計測することができる。計測および適合状態の分類は中本らが報告した方法¹³⁾に従った。すなわち、計測点を通り、フィニッシュラインに直交する線上のフィニッシュラインを中心とした約 600 μm 長のプロファイル曲線上において、2 本ずつの水平および垂

直のカーソルをギャップに合わせることで、適合状態の垂直的ギャップおよび水平的ギャップを同時に計測する。この垂直的ギャップはクラウンの浮上りの状態を示すもので、Open, ClosedまたはOverlapped (以下、それぞれOp, ClおよびOvと略す)と表示し、水平的ギャップはフィニッシュラインに対する内外的位置関係を示すもので、Extra, LinedまたはIntra (以下、それぞれEx, LiおよびInと略す)のいずれかとして表示した。また、垂直的にも水平的にもギャップを認めず、フィニッシュラインとマージンが理想的に適合しているものをIdeal (以下、Idと略す)と表示した(図5)。計測は前述した45度ずつ時計回りに回転した8つの計測点(B, B・D, D,

D・L, L, L・M, MおよびM・B)において、以下の各製作ステップごとに行った。

(1): 掘り出し、クラウンの調整終了時(As-Pressと略す)

(2): 1回目ステイン焼成終了時(Stain 1と略す)

(3): 2回目ステイン焼成終了時(Stain 2と略す)

(4): 1回目グレーズ焼成終了時(Glaze 1と略す)

(5): 2回目グレーズ焼成終了時(Glaze 2と略す)

計測は計測点を中心にフィニッシュライン上の200 μm の領域の任意の5カ所とし、その平均値をそれぞれの測定値とした。6個の試料の測定値は平均値と標準偏差を算出し、平均値間の有意差検定の危険率5%でt-検定で行った。

2) セメント層の計測

6個のクラウンをメーカー指示の接着システムで支台歯模型に接着した後、エポキシ包埋し(アクリル・ワン#1320, マルトー)、近・遠心、頬・舌側の中央で4分割に切断した。その切断面を#1000耐水ペーパーで研磨した後、近・遠心的切断ではその頬側部の試料を、また、頬・舌的切断ではその近心部の試料を計測対象として、セメント層の厚さを計測した。B, L, MおよびDのそれぞれにおいてフィニッシュラインより100 μm 内方の点をS1、ショルダーの最深部をS2(図6)とし、1つの試料につき8点を計測した。計測には読み取り精度、水平方向1/1,000 mm, 垂直方向5/1,000 mmの測定顕微鏡(STM-122, オリジナル)を用いた。計測は5回行い、その平均値を1試料の測定値とし、6個の試料の測定値よりその平均値と標準偏差を算出した。平均値間の有意差検定は危険

図4 A mouting stand for specimen

試料取付け装置

A: クラウン, B: 支台歯, C: 回転軸, D: つまみ

図5 Possible fits on shoulder margin

ショルダー形態に起こりうるマージンの適合状態

中本ら¹³⁾より引用

率 5% で t-検定で行った。

III. 成 績

1. 垂直的および水平的ギャップ

As-Press から Glaze 2 までの各製作ステップごとの加熱処理 (Stain 1 と Stain 2 および Glaze 1 と Glaze 2) の

図 6 Measuring points of cement film thickness at the shoulder
ショルダー部セメント層の厚さの計測点

各焼成ステップにおける各計測点の垂直的ギャップおよび水平的ギャップの平均値および t-検定結果をそれぞれ表 2 および表 3 に示した。適合状態はいずれの製作工程でも Op-Ex の適合状態であった。

垂直的ギャップは、As-Press のすべての計測点で、マージンは Op の状態であり、その平均値は 28.5 μm (25.7~30.5 μm の範囲) であった。その後の各焼成ステップでもこの適合状態は変わらず、その値は微増加傾向を示した (表 2)。すなわち、Stain 1 での各部位の垂直的ギャップの平均値は 36.6 μm (33.2~39.9 μm の範囲) であり、Stain 2 の平均値は 39.2 μm (36.3~42.2 μm の範囲)、Glaze 1 の平均値は 40.8 μm (37.3~44.0 μm の範囲) および Glaze 2 の平均値は 41.4 μm (38.2~45.3 μm の範囲) であった。垂直的ギャップの総増加量はいずれの部位でも 12~15 μm であった。各計測部位において As-Press と Stain 1 との間に有意差が認められた (表 2)。

水平的ギャップは、As-Press のすべての計測点でマージンは Ex の状態であり、その平均値は 33.8 μm (30.1~39.1 μm の範囲) であった。その後の各焼成ステップで

表 2 Vertical gaps at each fabrication step (Open)
各製作ステップごとの垂直的ギャップ (Open)

製作 ステップ	計測部位							
	B	B・D	D	D・L	L	L・M	M	M・B
AS-Press	30.5 (4.8)	26.1 (4.1)	29.6 (4.8)	29.5 (4.7)	29.7 (4.7)	27.6 (3.9)	29.1 (4.5)	25.7 (3.6)
Stain 1	39.9 (6.1)	34.8 (7.0)	37.3 (4.9)	37.8 (4.9)	36.8 (5.5)	36.2 (5.0)	37.0 (7.0)	33.2 (6.5)
Stain 2	42.2 (6.9)	37.4 (7.4)	39.5 (4.5)	40.0 (4.6)	39.6 (5.0)	39.2 (4.1)	39.6 (4.2)	36.3 (7.2)
Glaze 1	44.0 (6.0)	39.9 (8.5)	40.7 (7.3)	41.2 (5.7)	41.5 (6.1)	40.6 (4.3)	41.1 (5.2)	37.3 (5.5)
Glaze 2	45.3 (6.1)	40.1 (5.2)	41.6 (6.4)	41.2 (6.1)	41.8 (3.6)	41.0 (3.2)	41.6 (4.8)	38.2 (7.2)

注) 略号は、図 2 参照

単位: μm, *: p<0.05, (): SD, n=6

表 3 Horizontal gaps at each fabrication step (Extra)
各製作ステップごとの水平的ギャップ (Extra)

製作 ステップ	計測部位							
	B	B・D	D	D・L	L	L・M	M	M・B
AS-Press	39.1 (7.6)	32.0 (5.9)	34.3 (9.0)	30.8 (6.5)	38.1 (6.8)	33.1 (7.4)	32.9 (7.4)	30.1 (6.9)
Stain 1	33.5 (7.2)	26.3 (7.3)	28.5 (5.8)	24.6 (7.1)	32.2 (8.4)	26.8 (8.0)	27.7 (9.2)	23.8 (8.1)
Stain 2	32.3 (7.5)	24.8 (9.9)	26.6 (6.3)	22.8 (9.6)	29.8 (11.1)	24.8 (8.0)	25.4 (6.9)	21.5 (10.3)
Glaze 1	31.1 (6.3)	24.0 (9.7)	25.1 (7.2)	22.1 (7.7)	28.9 (9.4)	23.7 (10.1)	24.2 (11.3)	20.5 (12.3)
Glaze 2	30.8 (7.1)	23.7 (8.9)	24.8 (5.3)	21.8 (7.7)	28.5 (9.1)	23.6 (7.7)	23.9 (9.1)	20.3 (8.3)

注) 略号は、図 2 参照

単位: μm, (): SD, n=6

表 4 Cement film thickness at the shoulder margin
ショルダー部セメント層の厚さ

計測部位	B	D	L	M
S1	33.1 (11.0)	28.7 (10.2)	31.7 (9.6)	31.5 (10.5)
S2	36.9 (11.0)	33.1 (9.1)	36.2 (9.6)	37.5 (10.7)

注)略号は、図 2,6 参照 単位: μm , (): SD, n=6

もこの状態は変わらず、その値は微減少傾向を示した(表 3)。すなわち、Stain 1 での各部位の水平的ギャップの平均値は $27.9 \mu\text{m}$ ($23.8 \sim 33.5 \mu\text{m}$ の範囲)であり、Stain 2 の平均値は $26.0 \mu\text{m}$ ($21.5 \sim 32.3 \mu\text{m}$ の範囲)、Glaze 1 の平均値は $25.0 \mu\text{m}$ ($20.5 \sim 31.1 \mu\text{m}$ の範囲)および Glaze 2 の平均値は $24.7 \mu\text{m}$ ($20.3 \sim 30.8 \mu\text{m}$ の範囲)であった。水平的ギャップの総減少量はいずれの部位でも $8 \sim 10 \mu\text{m}$ であったが、As-Press との間には有意差は認められなかった。

2. セメント層の厚さ

接着後の支台歯模型の切断試料における、ショルダー部のセメント層の平均値および標準偏差を表 4 に示す。

マージンより $100 \mu\text{m}$ 内方である S1 は 4 つの計測部位で $28.7 \sim 33.1 \mu\text{m}$ の範囲で、ショルダー最深部の S2 では $33.1 \sim 37.5 \mu\text{m}$ の範囲であった。いずれの部位においても S1 と S2 との間には有意差はみられなかった。

IV. 考 察

これまでの適合状態に関する報告は、その垂直的ギャップを計測したものがほとんどであった¹⁴⁻¹⁹⁾。しかし、同じ垂直的ギャップであっても、そのマージン部が同時に水平的にはフィニッシュラインよりも外側にあるのか、内側にあるのか、あるいはフィニッシュラインの延長上にあるのかが問題となるので、水平的ギャップとを合わせて計測し、評価すべきである。そこで本研究は、ステイニング法によりエンプレス・クラウンを製作する際の支台歯に対する適合状態の垂直的ギャップと水平的ギャップを各製作ステップごとにレーザー顕微鏡^{11,12)}(レーザーテック)を用いて測定したものである。

従来、適合状態の水平的ギャップを計測するには、切断試料あるいはレプリカによりギャップ量を計測するほかはなかったが、中本らはレーザー顕微鏡^{11,12)}(レーザーテック)を用いることによって、適合状態の垂直的および水平的ギャップ量を同時に、試料を破壊することなく、非接触下で同一計測部位を、製作ステップごとに計測することが可能なことを報告した¹³⁾。さらに、今回計測されたデータのうち、クラウンのマージン部の適合状態の分類は、中本ら¹³⁾の報告に従って表示した(図 5)。すなわち、本研究

ではフルショルダー形成した支台歯なので、実際に起こりうるクラウンのマージン部の適合状態は、図 5 に示す 8 通りとなり、垂直および水平での適合状況を極めて明解に表現することができた。

1. 各製作ステップごとの適合状態

歯型上で Id に仕上げたワックスクラウンに比較して、エンプレス・クラウンを埋没材より掘り出し、調整の終了した As-Press の状態では、クラウンのマージン部は垂直的および水平的ギャップが生じ、いずれの部位でもその適合状態は Op-Ex の状態であった。

As-Press における各計測部位の垂直的ギャップは Op でその平均は $28.5 \mu\text{m}$ 、水平的ギャップは Ex で平均は $33.8 \mu\text{m}$ であった。

外側性のクラウンのため埋没する専用のリン酸塩系埋没材の粉液比はメーカーの指示通り、粉末 100 g : 練和液 21 ml (専用液 15 ml 、蒸留水 6 ml で希釈)で練和したが、クラウンは若干大きい状態となった。これは埋没材の膨張²⁰⁾による結果と考えられる。As-Press の段階でクラウンを若干大きくするのは、その後の焼成ステップによるセラミックの収縮⁶⁾を補償するためのものと考えられる。

As-Press より第 1 回目の焼成ステップである Stain 1 が終了すると、各計測部位において垂直的なギャップは Op でその平均は $36.6 \mu\text{m}$ 、水平的ギャップは Ex で平均 $27.9 \mu\text{m}$ であり、垂直的ギャップはいずれの部位でも増加しており、As-Press と Stain 1 との間には有意差が認められた。また、水平的ギャップはいずれの部位でも減少していたが、As-Press と Stain 1 との間には有意差が認められなかった。

クラウンを製作するには、陶材のインゴットを $1,075^\circ\text{C}$ まで加熱・軟化・圧入し、成型するが、Wohlwend ら¹¹⁾は製造時に陶材インゴットとして焼成してしまっているの、圧入後の熱安定性に優れ、 $60^\circ\text{C}/\text{min}$ で 400°C から 850°C まで昇温する Stain 1、Stain 2 およびその後の $60^\circ\text{C}/\text{min}$ で 400°C から 870°C までの Glaze 1、Glaze 2 の昇温ステップでは陶材の収縮は生じないと提唱している。

しかし、最終の焼成スケジュールが終了する Glaze 2 までの総変化量に対する As-Press から Stain 1 までの変化率についてみると、垂直的には約 $60 \sim 70\%$ 、水平的にも $60 \sim 70\%$ の大きな変化が生じていた。その原因の 1 つとして、第 1 回目の焼成によるクラウンの収縮が考えられる。

以後の Stain 2、Glaze 1 および Glaze 2 における適合状態の垂直的ギャップはわずかに増加する傾向を示した。総変化量に対する Stain 1 から Stain 2 の変化率は約 20% 、Stain 2 から Glaze 1 の変化率は約 12% 、Glaze 1 から Glaze 2 の変化率は約 4% と、As-Press から Stain 1 の変化率より非常に小さく、いずれの部位でも有意差が認めら

れなかったが、第2回目以後の焼成ステップでも微小に収縮が生じているものと考えられる。

水平的ギャップの適合状態の変化もわずかに減少傾向を示し、その変化量は垂直的ギャップより小さく、比較的大きな適合状態の変化は、As-Press と Stain 1 との間に認められたが、有意差は水平的ギャップには認められなかった。総変化量に対する Stain 1 から Stain 2 の変化率は約 21%、Stain 2 から Glaze 1 の変化率は約 12%、Glaze 1 から Glaze 2 の変化率は約 3% と、As-Press から Stain 1 の変化率より非常に小さく、いずれの部位でも As-Press との間には有意差は認められなかった。

すでに焼結されている陶材インゴットを加熱・軟化・圧入して製作された As-Press でのクラウンが、最初の加熱で大きく収縮し、その後のステインおよびグレージング時にわずかに収縮していく理由は定かではない。しかし、蒸留水で混和した陶材粉末には多数の気泡が含有され、築盛時に十分にコンデンゼーションしても脱泡されず、その後真空中で焼成し製作されたインゴットにおいても、多数の気泡が含有されていることが切断、研磨試料で観察された。そしてこの陶材インゴットを加熱・軟化・圧入した後のクラウンを切断、研磨試料として観察すると、内部には微小な多数の気泡が存在しており、この陶材中の気泡が第1回目の昇温での大きな収縮の原因と考えられる。すなわち、McLean²¹⁾は陶材のこのような収縮は、表面張力によって生じると述べている。つまり、初めの多孔性セラミック内に存在する解放された表面（気泡表面など）の表面張力は、表面エネルギーを小さくしようとして、絶えず全体を収縮するように作用すること、また、残存した気泡は炉内温度が高くなって表面張力の作用を受けると球形になる。常圧下の気泡はもう一度炉内に挿入すると、気泡は高密度の表面層に対して強力な圧縮作用を及ぼし、その表面層が低圧の内部気泡を全方向から圧縮し、かなり密度の高い陶材になると説明しており、As-Press から Stain 1 への昇温で生じた比較的大きな収縮はこれらによると推察する。そして、その後の焼成で徐々にその値が小さくなったことも、これらの理由によるものと推察する。

焼成ステップの終了したクラウンの適合状態は各計測部位において、適合状態はいずれも Op-Ex の組合せであった。垂直的ギャップは Op で平均 $41.4\mu\text{m}$ と、As-Press の状態より $12\sim 15\mu\text{m}$ の範囲で増加し、水平的ギャップは Ex で平均 $24.7\mu\text{m}$ と、As-Press の状態より $8\sim 10\mu\text{m}$ の範囲で減少し、いずれも収縮によるものと考えられる。

2. マージン部のセメントの被膜厚さ

切断試料において、フィニッシュラインより $100\mu\text{m}$ 内方のショルダー部 S1 のセメント層の厚さは B, D, L, M の各計測部位でいずれもレーザー顕微鏡で計測した

図7 Cement film thickness at the shoulder
ショルダー部セメント層の厚さ
C: クラウン, T: 支台歯

Glaze 2 の垂直的ギャップ量の値とほぼ同じであった。

Glaze 2 の垂直的ギャップ量と S1 のセメント層の厚さの違いは、S1 はフィニッシュラインより $100\mu\text{m}$ 内方の計測点であるのに対し、レーザー顕微鏡による計測では 250 倍に拡大された画像上において、実際にはわずかに丸みを有している支台歯のフィニッシュライン、およびクラウンマージンに計測用のカーソルを合わせる際に、その丸さのほぼ中央点を計測点としたことから生じたものと考えられる。

切断試料において、クラウン内面は gingivo-axial line angle 部のショルダー側が特に支台歯と接近あるいは接触していた（図7）。この現象は、ダイスペーサーがこの部分まで塗布されていなかったこと、クラウンが As-Press 後の焼成により収縮したことが理由であり、また、垂直的ギャップ量が暫時増加したこともこの理由からと考えられる。

本研究におけるエンプレス・クラウンの適合性を評価するために、過去 10 年間に報告された各種クラウンの適合性に関する報告と比較してみると、Schärer¹⁵⁾は上顎中切歯と下顎第一大臼歯におけるセレストア・クラウン、ダイコア・クラウン、セブラテック・クラウンのセメント合着後の切断試料でのセメント層の厚さについて、上顎中切歯の唇側でセレストアは $2.2\mu\text{m}$ 、ダイコアは $7.8\mu\text{m}$ およびセブラテックは $22.0\mu\text{m}$ 、舌側でも同じ順序で 1.3 , 79.0 および $28.2\mu\text{m}$ 、近心側で 15.2 , 47.3 および $22.7\mu\text{m}$ 、遠心側で 25.0 , 50.8 , および $32.2\mu\text{m}$ であると報告している。また、下顎第一大臼歯では同様の順序で頬側で 6.2 , 79.3 および $41.5\mu\text{m}$ 、舌側で 10.3 , 52.3 および $19.9\mu\text{m}$ 、近心側で 51.3 , 52.3 および $33.2\mu\text{m}$ 、遠心側で 44.5 , 51.3 および $32.7\mu\text{m}$ と報告している。

Hung¹⁷⁾は、フルショルダーで形成した小臼歯支台歯に陶材焼付鑄造冠、ダイコアおよびセレストアの 3 種のクラウンの適合性について報告している。セメント合着後

で、陶材焼付鑄造冠では、唇舌側の平均で $80\mu\text{m}$ 、近遠心側で $70\mu\text{m}$ 、ダイコアでは同じ順序で $110\mu\text{m}$ および $100\mu\text{m}$ 、セレストアでは $70\mu\text{m}$ および $120\mu\text{m}$ と報告している。

Participants of CSP No. 147/242¹⁸⁾は、ショルダールで形成した上顎中切歯支台歯において、唇側部をポーセレンマージンで仕上げた陶材焼付鑄造冠、ダイコア、セレストアの3種をセメント合着し、セメント層の厚さについて報告している。陶材焼付鑄造冠では唇側で $70.9\mu\text{m}$ 、舌側で $27.5\mu\text{m}$ 、近心側で $72.3\mu\text{m}$ 、遠心側で $54.8\mu\text{m}$ 、ダイコアでは同じ順序で 69.4 、 75.0 、 50.9 および $58.7\mu\text{m}$ 、セレストアでは同様に 72.3 、 69.1 、 71.9 および $87.1\mu\text{m}$ と報告している。これらのことから、本実験で上顎第一小臼歯のエンプレス・クラウンの適合状態の値をそのまま他のデータと比較することはできないが、エンプレス・システムはかなり優れたマージン部の適合性が得られる修復装置の製作法であるといえる。

本実験の成果を総合すると、Glaze 2 が終了した段階およびクラウンを支台歯に接着した後に得られたエンプレス・クラウンのフィニッシュライン部におけるマージンの適合状態は、いずれも良好であることが確認された。

V. 結 論

ステイニング法により製作したオールセラミッククラウンの各製作ステップごとの支台歯に対するマージン部適合状態の垂直的ギャップ量と水平的ギャップ量の変化を走査型レーザー顕微鏡を用いて計測を行った。すなわち、陶材圧入後のクラウン (As-Press) からステイニング (Stain 1, Stain 2) およびグレージング (Glaze 1, Glaze 2) まで、各加熱操作ごとに計測を行い、さらに、接着性レジンセメントを用いて支台歯模型に接着したクラウンのセメント層の厚さを計測・検討した結果、以下の結論を得た。

1. As-Press 時のクラウンの適合状態は Open-Extra であり、垂直的ギャップは $25.7\sim 30.5\mu\text{m}$ の範囲で、水平的ギャップは $30.1\sim 39.1\mu\text{m}$ の範囲であった。

2. 第1回目の焼成: Stain 1 におけるクラウンの収縮による垂直的ギャップ量の変化は、その後3回のそれぞれの焼成時の変化に比べ有意に大きく、総変化量の $60\sim 70\%$ を占めていた。また、水平的ギャップ量においては有意差は認められなかった。

3. Stain 1 から Glaze 2 までの焼成時の収縮によるギャップ量の変化はいずれも小さく、各製作工程間には有意差は認められなかった。

4. 焼成ステップの終了したクラウンの適合状態は、Open-Extra で垂直的ギャップは $38.2\sim 45.3\mu\text{m}$ の範囲で、水平的ギャップは $20.3\sim 30.8\mu\text{m}$ の範囲であった。

5. 接着性レジンセメントを用いて、支台歯模型に接着

したクラウンのショルダール部セメント層の厚さは、 $28.7\sim 33.1\mu\text{m}$ の範囲であり、Glaze 2 での垂直的ギャップとほぼ同じであった。

稿を終えるにあたり、本研究に際して終始ご懇篤なるご指導と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、ご専攻のお立場からご指導を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、本研究にあたり直接ご指導を頂きました日本大学歯学部佐藤友彦助教授、日本大学歯学部歯科病院技工室長光靖夫技手に感謝の意を表すとともに、ご協力頂いたレーザーテック社および同社の小堀めぐみ様に心より感謝申し上げます。また、終始多大なるご協力を頂きました補綴学教室クラウンブリッジ学講座医局員各位、大学院生各位に対し感謝の意を表します。

文 献

- 1) Wohlwend A, Schärer P. Die Empress Technik: Ein neues Verfahren zur Herstellung von voll-keramischen Kronen, Inlays und Facetten. Quintessenz Zahntech 16: 966-978, 1990.
- 2) Beham G. IPS Empress: A new ceramic technology. Ivoclar-Vivadent report 6: 3-15, 1990.
- 3) Dorsch P, Höland W, Frank M. Material science of Empress Glass-Ceramics. Ivoclar-Vivadent Report 10: 1-20, 1994.
- 4) Nakamoto H, Sato T, Igarashi T et al. Microstructure of etched "IPS Empress" heat-pressed ceramics observed by SEM. J Nihon Univ Sch Dent 38: 31-36, 1996.
- 5) 山下 敦, 今井 誠. ポーセレンとの接着, 歯科技工別冊 オールセラミックス・レストレーション 83-90, 東京: 医歯薬出版, 1991.
- 6) 邊 斗禾, 六戸部慶彦, 高 永和ほか: IPS Empress クラウンの寸法変化と適合性に関する研究. 補綴誌 39: 631-635, 1995.
- 7) Sorensen JA, Fanuscu MI, Choi C et al. Status of clinical trial on empress crowns. J Dent Res 74: 159, 1995.
- 8) IPS Empress Working Procedures. Liechtenstein: IVOCLAR, 1991.
- 9) 住井俊夫. 変形の少ないワックスパターンのとり方 81-91, 東京: 医歯薬出版, 1976.
- 10) IPS Empress Cem Kit Instructions for Use. Liechtenstein: IVOCLAR, 1993.
- 11) 大出孝博. レーザー走査型顕微鏡の開発. 日経サイエンス: 42-53, 1990.
- 12) 大出孝博. レーザー顕微鏡の原理とその実際の構造. 材料科学 31: 53-61, 1994.
- 13) 中本 宏, 五十嵐孝義, 西山 實ほか. 歯冠修復物辺縁の適合性について一適合状態の分類, 命名および評価法一. 補綴誌 40: 1084-1089, 1996.
- 14) Sato T, Wohlwend A, Schärer P. "Shrink-free" ceramic crown system: Factors influencing the core margin fit. Quintessence Dent Technol 10: 81-87, 1986.
- 15) Schärer P, Sato T, Wohlwend A. A comparison of the

- marginal fit of three cast ceramic crown systems. *J Prosthet Dent* 59 : 534-542, 1988.
- 16) 宮内修平, 高 永和, 日野年澄ほか. マイカ・クリスタル系ガラス・セラミックス Crown に関する研究—適合性について—. *補綴誌* 34 : 66-74, 1990.
- 17) Hung SH, Erick JD, Chappel RP, Marginal fit of Porcelain-fused-to-metal and two types of ceramic crown. *J Prosthet Dent* 63 : 26-31, 1990.
- 18) Participants of CSP No. 147/242, Morris HF. Department of Veterans Affairs Cooperative Studies Project No. 242. Quantitative and qualitative evaluation of the marginal fit of cast ceramic, porcelain-shoulder, and cast metal full crown margins. *J Prosthet Dent* 67 : 198-204, 1992.
- 19) Sim C, Iddetson RJ. Comparison of fit of porcelain veneers fabricated using different techniques. *Int J Prosthodont* 6 : 36-42, 1993.
- 20) 杉澤 肇, 五十嵐孝義, 西山 實ほか. IPS Empress の適合性に関する基礎的研究—注入用鋳型埋没材の硬化および熱膨張—. *補綴誌* 40・95 回特別号 : 83, 1995.
- 21) McLean JW. (保母須弥也, 野口八九重). *The Science and Art of Dental Ceramics The Nature of Dental Ceramics and their Clinical Use* (マクリーンの歯科陶材学 歯科用陶材の性質と臨床への応用 26, 28-47, 東京: クインテッセンス出版, 1980), 1979.