金属焼付ポーセレン冠の適合性に関する研究

— 歯頸部辺縁形態ならびに陶材被覆形態について —

宮 内 修 平

Studies on the Adaptation of Porcelain-Fused-to-Metal Crown

— Effect of the Types of Cervical Margin and the Degrees of Porcelain Coverage —

Shuhei Miyauchi

緒 言

歯冠補綴の目的は、歯牙の解剖学的形態、生理学的機能および審美性を正常に回復し、その状態を維持することである。この見地に立つて支台歯と補綴物の関係を考えると、良好な適合性を得ることが不可欠であり、この適合性に大きな影響を及ぼす因子として、支台歯形態および補綴物の形態が挙げられる。

金属焼付ポーセレン冠は、審美的かつ力学的に優れた補綴物として広く臨床に用いられているが、辺縁歯肉の変色、炎症などの病的変化や陶材の破折が予後の重要な問題^{1,2)}としてとり挙げられている。歯肉の変化は、生物学的見地からみると、セメントや焼付用合金の組織が害性により起るものと考えられ、一方理工学的見地からみると、冠辺縁の不適合による影響が考えられる。歯肉変化と歯頸部の適合性との関連性について、丸山ら³⁾は、金属焼付ポーセレン冠の予後観察の結果から、適合状態が不良と思われるものには歯肉炎の亢進が著明であつたと述べている。他方、力学的見地から、適合が良好な冠に比べて不良なものは、咬合力などによる金属の歪みが生じやすく、冠の変形や破損ことに陶材の破折をひき起しやすいと考えられる。以上のように適合性が金属焼付ポーセレン冠の予後に大きな影響を及ぼすことが考えられ、良好な適合を得るための最善の努力が払われなければ

ならない。なお、全部鑄造冠の適合性に関しては、すでに多くの事実が明らかにされている。しかし、金属焼付ポーセレン冠は、陶材焼付けを行う点で全部鑄造冠とは本質的に異なっており、その適合性については未だ十分に解明されていない。

支台歯における歯頸部辺縁形態の種類は、shoulder, bevel, chamfer, knife edge, beveled shoulder などが挙げられ、それら辺縁形態の差異によって適合性が異なることは、全部鑄造冠に関してはいくつかの報告^{4,5)}があり、一応の結論は得られたように思われる。しかし、金属焼付ポーセレン冠に関しては、歯頸部辺縁形態に注目して冠の適合性を論じた報告はほとんどなく、わずかに Shillingburg⁶⁾ が辺縁形態と冠の変形に関して検討しているにすぎない。

一方、金属焼付ポーセレン冠の陶材被覆の形態は、大別して veneer type と full bake type⁷⁾ であるが、従来主に veneer type の方法が用いられてきた。しかし、最近の臨床においては、陶材破折防止やいつそう優れた審美性を得ることを目的として、陶材を舌側歯頸部の位置まで焼成した full bake type の方法^{8,9)} が用いられつつある。これら陶材被覆形態に関する基礎的研究として、破折強度に関する報告^{10,11)} がわずかにみられるが、その形態が適合性に及ぼす影響についての報告は全くみられない。

そこで本研究は、支台歯に対する人工歯冠の良好な適合条件を確立することを目的として、金属焼付ポーセレン冠について、鑄造, degassing, 陶材焼付け, セメント合着にわたる各操作過程における適合度の変化を究明し、歯頸部辺縁形態ならびに陶材被覆形態の差異が冠の適合性に及ぼす影響を検討するとともに、陶材焼成によ

大阪大学歯学部歯科補綴学第1教室（指導：下総高次教授）

1st Department of Prosthetic Dentistry, Osaka University Dental School. (Director: Prof. Takaji Simoosa)

昭和51年1月15日受付

図 1 支台歯の形態および寸法

り発生する応力および唇面歯頸部辺縁形態別の変形抵抗性について検討を加えた。

実験試料ならびに方法

1. 試料の製作

1. 支台歯の製作

金属焼付ポーセレン冠の臨床における適応範囲としては、上顎前歯部が最も多いことから、本実験においては、上顎中切歯支台歯模型を実験対象に選択した。歯頸部辺縁形態は、それぞれ shoulder type, beveled shoulder type, chamfer type の3種類とした。支台歯の寸法は、藤田¹²⁾、上条¹³⁾らの天然歯牙の寸法計測値、および増田¹⁴⁾の歯牙可削径の計測値と Johnston¹⁵⁾らの支台歯形成法を参考にして決定した(図1)。本実験では、支台歯材料として同一規格の支台歯が製作出来、硬度が象牙質と近似しているエポキシ樹脂を使用した。象牙質とエポキシ樹脂の硬度¹⁶⁾と表面あらさは表1に示す。

2. コーピングの製作

i. ワックスパターンの製作

コーピングとして、同一規格の形態を得るため、ワックスパターン採得用の鋳型を製作した。コーピングの形態および寸法は、Straussberg¹⁷⁾や Mumford¹⁸⁾の提唱

表 1 象牙質とエポキシ樹脂の硬度および表面あらさ

	硬 度 (Hv)	表面あらさ
象 牙 質	33 - 36	Hmax 2-3 μ Ha. 0.3-0.5 μ
エポキシ樹脂	22.5-38.3	0

する方法に準じて決定した。コーピングの形態は、歯頸部辺縁において shoulder type, beveled shoulder type, chamfer type の3種類とし、それぞれ veneer type, full bake type の2種類の陶材被覆形態を付与し、計6種類とした(図2)。

ワックスパターン採得用鋳型の製作は、Dunkin¹⁹⁾の鋳型製法を参考にした。まず、上記形態のワックスパターンを形成し、ワックスの流入孔および流出孔を付与した後、支台歯ごと円錐台に植立した。つぎに、シリコーンラバー印象材(Jelcone Injection type)を植立模型に注入し、その陰型を鋳型とした。

ワックスパターン採得は、軟化溶解ワックスをシリンジにて注入することによって行つた。すなわち、G-C社製バイオレットインレーワックス²⁰⁾を満たしたシリンジを63°C~65°Cに保温したウォーターバス中に保ち、ワックスを軟化溶解させたのち、ただちに流入孔より鋳型内に注入を行つた。ワックス硬化後、鋳型から支台歯ごと取り出し、成形を行つた。そして、そのまま室温中

図2 コーピングの陶材被覆形態と歯頭部辺縁形態

(22°C~25°C) に24時間放置した。ワックスは、軟化溶解して用いれば必ず収縮するものであるが、内部応力を解放するためには室温中で24時間放置することが必要であり^{21,22)}、パターンの寸法安定性を得るためには、パターン調整後少なくとも1時間以上、できれば1日ぐらい室温中で静置しておく必要がある²³⁾といわれる。そのため、本実験においては、ワックスパターン調整後、室温中で24時間支台歯上に静置しておいた。

ii. 埋没

ワックスパターンの舌側に直径1.8mmの中空スプルー線を、また唇側切端1/3の所に直径1.0mmのレディキャストワックスのエアーベントを付与し、埋没準備を行った。ワックスパターンに表面活性剤を塗布したのち乾燥し、混液比0.16の Whip-Mix 社製 Ceramigold Investment (Lot. 0375401) を用い、専用液濃度を75%とし、スパチュラにて10秒間練和後、大気中で埋没を行った。なお、埋没は鑄造リングによる埋没材の膨張抑制を防止する目的でリングレス²⁴⁻²⁹⁾方法で行った。以上の操作は、すべて室温中(23°C~25°C)で行った。

iii. 乾燥、焼却

埋没材の表面あらさは、埋没材の放置時間を長くするほど小さくなる傾向がある²⁶⁾ということから、埋没後の放置時間は24時間とした。その後、鑄造用鑄型を電気炉(大栄社製オートファーネス model 1000)内に移し、乾燥、加熱を行った。加熱は室温から700°Cまで2時

間で行い、700°Cで30分間係留した。

iv. 鑄造

金属の溶解は、都市ガスと酸素の混合ガスを用い、ブローパイプで行った。鑄造は、Torit 縦型遠心鑄造機を使用し、バネの巻数は2.5回とした。金属は焼付用合金金KIK(石福金属社製)を使用し、各試料ごとに新しい金属3gを使用した。なお、予備実験で鑄込み時の金属の温度測定を行った結果、1,265±10°Cであった。これはKIKの融点の約10%増しである³⁰⁾。鑄造後、鑄型は室温中で自然放冷した。埋没材を除去し、50%フッ化水素酸水溶液中で15分間超音波洗浄を行ったのち、20分間蒸留水中で超音波洗浄を行った。鑄造体のスプルー、ベント切断後、カーボランダムポイントを使用して陶材焼付面全体を研磨し、フッ化水素酸水溶液中で再び15分間超音波洗浄を行った。

3. 陶材焼付け

鑄造後の試料は、焼成条件に従って degassing から glazing まで行った(図3)。

i. degassing

鑄造後の試料について、degassing 操作を行った。通法に従い、649°C(1,200°F)から1,052°C(1,925°F)まで昇温速度24°C/min(75°F/min)とし、減圧度は-700 mmHgで焼成し、1,052°C(1,925°F)で15分間係留後、ガラスコップ内で徐冷した。

ii. 陶材の築盛、焼成

a. opaque 陶材の築盛、焼成

degassing を行った試料は、陶材の築盛、焼成を行った。陶材は Ceramco B.F. Vacuum Porcelain を使用し、opaque 陶材は、厚さが一様に0.5mmになるように築盛し、十分にコンデンスを行った。焼成は、予備乾燥10分間後、649°C(1,200°F)から938°C(1,720°F)まで昇温速度24°C/min(75°F/min)、減圧度-700 mmHgで焼成し、その後大気中で993°C(1,820°F)まで焼成し、ガラスコップ内で徐冷した。

b. dentin, enamel 陶材の築盛、焼成

通法に従って、dentin, enamel 陶材を1回で築盛、焼成した。築盛に際し、唇面中央部で厚さ1.5mmにし、すべての試料が可及的に均一な寸法となるよう心がけた。焼成は、予備乾燥10分間行つた後、649°C(1,200°F)から927°C(1,700°F)まで昇温速度24°C/min(75°F/min)、減圧度-700 mmHgで焼成し、その後大気中で982°C(1,800°F)まで焼成し、ガラスコップ内で徐冷した。焼成を終えた試料は、各々の支台歯に戻し、歯冠部を万能投影機で投影し、あらかじめ用意して

図 3 焼成スケジュール

おいたマスターモデルの歯冠部投影図と一致するように細部の修正を行った。

c. glazing

形態修正をほどこした試料はすべてについて glazing を行った。焼成は、649°C (1,200°F) から 982°C (1,800°F) まで昇温速度 24°C/min (75°F/min) で大気中で焼成し、ガラスコップ内で徐冷した。

4. セメント合着

セメント合着による浮き上がりおよびセメント層の厚さを知るため、陶材焼付け完成した試料を松風マイクロセメント (Batch No. 89) で合着した。合着条件は、セメント練和比を L/P=0.5 cc/1.47 g の標準稠度とし、練和時間は 60 秒とした。セメント合着に際し、荷重条件は、医員 10 人による予備実験結果から決定した。すなわち、上顎前歯部における冠装着時の指圧を 10 人について測定した結果、平均値は 4.2±0.5 kg であった。そこで、本実験では練和開始より 10 分間 4 kg 荷重を行った。なお、荷重量の判定には、日本光電社製咬合力測定器を用いた。セメント硬化後、余剰のセメントを除去した。

II. 測定方法

試料数は、鑄造後、degassing 後、陶材焼付け後、セメント合着後の各段階で veneer type につき歯頸部辺縁形態の異なる 3 種類の試料を各 6 個ずつ 18 個と、full

表 2 試料数

操作過程		as cast	degassed	porcelain fused	cemented	total
veneer	type					
	shoulder	6	6	6	6	24
	beveled shoulder	6	6	6	6	24
full bake	chamfer	6	6	6	6	24
	shoulder	6	6	6	6	24
	beveled shoulder	6	6	6	6	24
	chamfer	6	6	6	6	24
	total	36	36	36	36	144

bake type につき同様に 18 個とで、計 36 個ずつ合計 144 個である (表 2)。

それらの試料はそれぞれもとの支台歯に挿入し、シアノアクリレートで仮着固定し、エポコート樹脂で包埋した。樹脂硬化後、切断器³¹⁾にて各試料を唇舌的に長軸方向で切断し、エメリー紙で近遠心中央部まで研磨し、最後は切断面をバフで仕上げ研磨した (図 4)。

測定は、切断面における冠と支台歯との間隙を対象とし精度 1/1,000 mm の Nikon 6C 型万能投影機を使用し、倍率 50 倍で行った。

測定部位は図 5 に示す通り、A は唇面歯頸外縁部〔支

台歯唇面外縁から唇面に沿って内方へ 0.3 mm の点], Bは唇面歯頸内側部〔支台歯唇面外縁から 0.7 mm 内方の歯軸に平行な直線が唇面と交わる点], Cは唇面軸壁下部〔唇面中央部Dから唇面に沿って下方へ 2.5 mm の点], Dは唇面中央部, Eは切端部, Fは舌面中央部, Gは舌面歯頸部〔支台歯唇面外縁から舌面に沿って内方へ 0.3 mm の点〕とする。以後, 測定部位は, 主にA, B…Gの記号で表わすことにする。当該測定部位における冠と支台歯間の距離をもつて間隙量とする。

III. 陶材焼成により発生する応力の測定と唇面歯頸部辺縁形態別の変形抵抗性に関する有限要素法による数値計算

1. 陶材焼成により発生する応力の測定

図4 試料の切断面

上段: veneer 下段: full bake
sh.: shoulder be. sh.: beveled shoulder
ch.: chamfer

陶材焼成により応力一ひずみの関係が生じ, 金属体が変形すると考えられる。そこで, 陶材焼成によつて冠に生じる応力を知る目的で, まず基礎的に金属平板に陶材を焼き付けたものについて, 歪ゲージを使用し, 陶材を逐次除去することにより, 陶材内の残留応力を測定, 検討した。

材料は, 本実験使用の金属 KIK と陶材 Ceramco B.F. Vacuum Porcelain を用い, 歪ゲージは直角配置型箔歪ゲージ (共和電業社製, KFC-2-D, 17-11) を使用した。

まず, パラフィンワックスを厚さ 0.35 mm, 長さ 20 mm, 幅 10 mm の大きさにしたものを通法に従つて埋没し, 遠心鋳造した。その後, 本実験で行つた方法に従つて, degassing, 陶材築盛, 焼成した。なお陶材の厚さは, 築盛時, 約 2.0 mm, 焼付後, 約 1.45 mm となった。陶材焼成完了した試料の陶材を焼付けてない側の金属面中央に, 歪ゲージを長さ方向 (x), および幅方向 (y) に1枚ずつ貼付した (図6)。金属表面および歪ゲージには, ユーティリティワックスを薄く被覆し, 絶縁した。歪ゲージ端子は, 歪測定器 (共和無線社製, SM-4J) に接続した。陶材の除去には, 50%フッ化水素酸溶液を使用した。試料を溶液中に浸漬し, 陶材の溶解除去による試料の変形量を, 歪測定器で1分間隔で読みとつた。陶材の溶解量 (表層からの距離) z は, 別に同様の方法で作製した試料を使つて, 1分間隔で測定した結果から推定した。

2. 唇面歯頸部辺縁形態別の変形抵抗性に関する有限要素法による数値計算

本実験で採用した3種の辺縁形態のちがいが, 製作過

A: 唇面歯頸外縁部 E: 切端部
B: 唇面歯頸内側部 F: 舌面中央部
C: 唇面軸壁下部 G: 舌面歯頸部
D: 唇面中央部

図5 計測部位

図 6 応力測定用の平板試料

図 7 有限要素法の分割モデル

程で生じる種々の応力に対する唇側辺縁部の変形抵抗性に及ぼす影響を知ることを目的とし、有限要素法を用いて弾性力学的に数値解析を試みた。

方法として、まず数値計算用要素分割モデルを作成した。このモデルは、本実験で使用了3種類の唇舌的矢状断面の20倍拡大図である。要素分割は、主に冠の唇側辺縁部への応力の影響を考え唇側について行った。その結果、shoulder type は要素 132, 節点 100, beveled shoulder type は要素 134, 節点 101, chamfer type は要素 120, 節点 93 となった(図7)。

入力データとして、それら各々の節点座標、節点番号、要素番号のほかに要素の力学的特性、拘束条件、荷重条件を決めた。すなわち、力学的特性として材料定数は、カタログ値および文献³²⁾より金属のヤング率 $E = 9,100 \text{ kg/mm}^2$ 、ポアソン比 0.33 とした。拘束条件は、切端部の3個の節点を x 方向、 y 方向に固定した。荷重条件は、歯頸部辺縁の節点 1, 2 に x 軸、 y 軸に 45° の角度で 0.1 kg ずつ計 0.2 kg の負荷をかけた(図7)。なお、モデルは厚さ 1.0 mm の平板とし、解析は平面応力問題とした。計算には、京都大学大型計算機センタ

ー FACOM 230-60 型を使用し、二次元的弾性解析プログラムを利用した。

実験結果

I. 各操作過程における間隙量

1. 鋳造後の試料について

鋳造後の試料について、唇舌的切断面における A, B, C, D, E, F, G の各部位の間隙量は、表3および図8に示す通りである。間隙量は、各形態につき、試料6個の平均値および標準偏差で表した。なお、各部位での有意差の検定は、 t 検定によつて5%危険率で判定した(表4)。

部位Aでは、shoulder type の間隙量は、veneer type が 57.2μ , full bake type が 58.7μ を示し、最も間隙量が大である。beveled shoulder type と chamfer type の間隙量は、 $35.8 \sim 40.5 \mu$ を示し、shoulder type との間に有意の差が認められた。部位Bでは、chamfer type の間隙量が小さく、shoulder type との間、および beveled shoulder type との間に有意の差が認めら

表 3 鋳造後の間隙量

陶材被覆形態	歯頸部辺縁形態	A	B	C	D	E	F	G
veneer type	shoulder type	57.2 (6.0)	52.8 (7.3)	25.8 (7.7)	30.7 (6.3)	65.3 (7.5)	31.1 (6.8)	27.3 (6.4)
	beveled shoulder type	40.5 (8.9)	47.7 (10.7)	28.7 (8.0)	29.3 (2.5)	58.2 (5.2)	33.5 (4.3)	26.7 (5.3)
	chamfer type	35.8 (6.2)	38.3 (7.2)	32.0 (9.9)	29.8 (8.6)	57.3 (5.5)	41.5 (5.8)	37.7 (4.9)
full bake type	shoulder type	58.7 (2.6)	61.5 (6.0)	21.5 (6.8)	21.8 (5.0)	38.0 (9.7)	26.3 (7.2)	22.3 (2.8)
	beveled shoulder type	37.3 (3.5)	54.5 (11.0)	24.5 (3.3)	21.0 (3.9)	24.5 (3.3)	27.3 (7.5)	22.5 (6.1)
	chamfer type	38.2 (6.3)	29.5 (4.4)	27.5 (5.3)	21.3 (7.1)	32.7 (3.8)	26.3 (4.9)	14.5 (3.5)

unit : μ , () : s. d.

図 8 鋳造後の間隙量

れた。部位 C, D, E, F, G では、辺縁形態の差異による間隙量の差はほとんど認められなかった。ただし、部位 G においては chamfer type のみやや異なつた。これに対して、陶材被覆形態別にみると、veneer type では、C で 25.8~32.0 μ , D で 29.3~30.7 μ , E で 57.3~65.3 μ , F で 31.1~41.5 μ , G で 26.7~37.7 μ の値を示し、full bake type では、C で 21.5~27.5 μ , D で 21.0~21.8 μ , E で 24.5~38.0 μ , F で 26.3~27.3 μ , G で 14.5~22.5 μ の値が示すように、veneer type に比べ、full bake type がかなり小さい値を示し、部位 E では、その差は平均値で約 30 μ であり、有意の差

が認められた。

2. degassing 後の試料について

degassing 加熱操作後の試料の間隙量は、表 5 と図 9 に示す通りである。

部位 A では、間隙量は shoulder type が veneer type, full bake type とともに最も大であり、56.3 μ および 53.5 μ の値を示し、beveled shoulder type との間、および full bake type の chamfer type との間に有意差が認められた。部位 B の間隙量は、veneer type では、chamfer type, beveled shoulder type, shoulder type の順に 36.2 μ , 38.2 μ , 41.3 μ を示し、ほとんど

表 4 辺縁形態差および陶材被覆形態差の t 検定

		Veneer			Full bake			Veneer-Full bake		
		Sh-Be	Be-Ch	Ch-Sh	Sh-Be	Be-Ch	Ch-Sh	Sh	Be	Ch
as cast	A	3.811*	1.061	6.076*	12.023*	0.306	7.368*	0.562	0.820	0.665
	B	0.964	1.785	3.464*	1.368	5.169*	10.535*	2.255*	1.085	2.554*
	C	0.640	0.635	1.211	0.972	1.177	1.705	1.025	1.189	0.986
	D	0.506	0.136	0.207	0.309	0.091	0.141	2.710*	4.389*	1.867
	E	1.906	0.291	2.107	3.227*	3.991*	1.246	9.454*	13.400*	9.014*
	F	0.731	2.714*	2.850*	0.236	0.273	0	1.187	1.757	4.904*
	G	0.178	3.733*	3.160*	0.073	2.786*	4.263*	1.753	1.273	9.437*
degassed	A	5.449*	2.378*	1.968	2.881*	0.092	3.791*	0.551	0.950	3.704*
	B	0.807	0.345	0.895	3.225*	2.349*	6.156*	2.736*	0.357	1.855
	C	0.997	1.094	0.095	0.557	0.976	1.464	2.402*	2.067*	3.661*
	D	0.789	1.384	0.645	0.287	0.241	0	1.335	0.888	1.551
	E	0.629	4.427*	4.895*	1.856	2.879*	1.692	2.645*	0.629	0.573
	F	0.323	1.181	2.953*	0.674	0.769	0	3.504*	1.983	9.323*
	G	1.006	0.764	1.865	0.472	1.447	1.120	2.514*	2.173	5.632*
porcelain fused	A	2.620*	4.374*	0.710	4.716*	4.123*	1.191	1.401	1.604	1.182
	B	1.886	1.906	3.133*	2.081	5.629*	6.691*	1.245	0.342	3.890*
	C	0.708	0.686	0.070	2.700*	2.330*	4.848*	0.478	2.448*	4.164*
	D	0.879	0.293	0.270	2.558*	1.760	1.219	2.650*	5.721*	2.745*
	E	0.253	1.144	1.217	0.029	3.303*	3.732*	1.677	1.463	1.151
	F	0.080	1.348	4.360*	0.375	0.472	0.047	1.671	1.987	3.445*
	G	0.045	0.800	0.858	1.079	1.070	2.032	1.693	3.085*	2.901*
cemented	A	4.537*	5.096*	1.765	7.303*	3.016*	5.645*	1.790	0.516	1.379
	B	1.614	4.112*	6.531*	5.178*	14.140*	30.467*	2.930*	0.478	6.456*
	C	1.775	1.952	0.303	2.829*	1.030	4.141*	1.034	2.071*	5.224*
	D	0.494	0.403	0.656	3.967*	0.797	3.949*	1.629	7.489*	3.477*
	E	0.299	1.617	0.912	1.545	5.297*	6.435*	1.563	0.354	2.019
	F	0.115	0.642	0.518	1.771	1.442	2.349*	0.840	2.453*	4.727*
	G	0.228	0.258	0.747	1.660	1.213	2.623*	1.892	4.046*	8.831*

*危険率5%で有意差の認められるもの

差は認められない。これに対し、full bake type では、chamfer type, beveled shoulder type, shoulder type の順に 25.7 μ , 36.5 μ , 54.0 μ の値を示し、辺縁形態による間隙量の差が veneer type に比べかなり認められた。なお、部位 C, D, F, G においては、辺縁形態の違いによる間隙量の差はほとんど認められなかったが陶材被覆形態の違いによる間隙量の差がかなり認められた。すなわち、veneer type では、部位 C で 26.2~31.5 μ , D で 23.0~28.2 μ , F で 23.5~31.5 μ , G で 28.2~35.0 μ の値を示した。これに対し、full bake type では、C で 15.0~20.2 μ , D で 19.5~20.7 μ , F で 13.2~14.8 μ , G で 13.8~20.7 μ を示しているように、

full bake type の方が veneer type よりも間隙量が小さく、両 type における差が大きく、C, F, G では両者間に有意差を認めた。部位 E では、beveled shoulder < shoulder < chamfer の順に辺縁形態による間隙量の差が認められ、beveled shoulder type と chamfer type の間には有意の差が認められた。

3. 陶材焼付け後の試料について

opaque 陶材焼付けからはじまり、dentin, enamel 陶材焼付け、glazing まで行い完成した試料について測定した切断面における間隙量は表 6 と図 10 に示す通りである。

部位 A においては、辺縁形態による差、陶材被覆形態

表 5 Degassing 後の間隙量

陶材被覆形態	歯頸部辺縁形態	A	B	C	D	E	F	G
veneer type	shoulder type	56.3 (5.2)	41.3 (6.4)	31.0 (9.1)	25.8 (6.1)	44.5 (7.4)	23.5 (5.7)	28.2 (5.0)
	beveled shoulder type	39.3 (5.6)	38.2 (6.9)	26.2 (7.5)	23.0 (6.2)	41.7 (8.0)	25.3 (12.4)	31.8 (7.1)
	chamfer type	48.7 (7.9)	36.2 (12.4)	31.5 (9.2)	28.2 (6.8)	62.3 (6.5)	31.5 (3.4)	35.0 (7.4)
full bake type	shoulder type	53.5 (11.3)	54.0 (9.4)	20.2 (6.2)	20.7 (7.1)	55.5 (7.0)	13.2 (4.4)	18.2 (7.9)
	beveled shoulder type	34.2 (11.9)	36.5 (9.4)	18.3 (5.6)	19.5 (7.4)	45.3 (11.5)	14.8 (3.8)	20.7 (10.3)
	chamfer type	33.7 (6.0)	25.7 (6.2)	15.0 (6.1)	20.7 (9.7)	65.7 (13.0)	13.2 (3.4)	13.8 (5.5)

unit : μ , () : s.d.

図 9 Degassing 後の間隙量

による差ともに認められた。すなわち、辺縁形態別にみれば、veneer type では、chamfer type 71.3μ , shoulder type 66.7μ , beveled shoulder type 50.3μ の値を示した。これに対し、full bake type では、chamfer type 64.5μ , shoulder type 58.5μ , beveled shoulder type 44.3μ の値が示す通り beveled shoulder type が他の 2 type に比べると間隙量が小さく、それらの間には有意の差が認められた。陶材被覆形態別にみると、veneer type に比べ、full bake type の方がやや小さい値を示した。部位 B においても、full bake type の方が小さい値を示した。なお、部位 C, D, F, G では

辺縁形態よりも陶材被覆形態による差が大きく、veneer type では、部位 C が $27.0\sim 30.5\mu$, D で $34.5\sim 37.7\mu$, F で $31.5\sim 40.3\mu$, G で $30.3\sim 35.0\mu$ の値を示した。これに対して full bake type においては、部位 C で $12.3\sim 29.0\mu$, D で $15.3\sim 26.0\mu$, F で $21.8\sim 23.3\mu$, G で $14.8\sim 25.8\mu$ の値を示し、やはり full bake type における値の方が小さかった。部位 E では、特に形態差は認められなかった。

4. セメント合着後の試料について

i. セメント合着後の間隙量

セメント合着後の間隙量の測定結果は、表 7 と図 11

表 6 陶材焼付後の間隙量

陶材被覆形態	歯頸部辺縁形態	A	B	C	D	E	F	G
veneer type	shoulder type	66.7 (13.2)	72.2 (20.4)	27.0 (8.0)	37.7 (6.0)	75.7 (11.3)	31.5 (11.6)	34.8 (6.1)
	beveled shoulder type	50.3 (7.8)	54.5 (10.6)	30.5 (9.1)	34.5 (6.6)	74.2 (8.1)	32.0 (10.1)	35.0 (8.9)
	chamfer type	71.3 (8.8)	44.7 (6.8)	27.3 (6.9)	36.2 (12.6)	68.3 (9.7)	40.3 (11.2)	30.3 (11.3)
full bake type	shoulder type	58.5 (5.6)	61.0 (8.3)	29.0 (6.4)	26.0 (9.0)	65.0 (10.8)	22.0 (7.7)	25.8 (11.5)
	beveled shoulder type	44.3 (4.8)	52.8 (6.0)	19.7 (5.5)	15.3 (4.9)	65.2 (12.7)	23.3 (3.6)	19.5 (8.5)
	chamfer type	64.5 (11.0)	25.5 (10.0)	12.3 (5.5)	20.7 (5.7)	75.3 (11.3)	21.8 (6.9)	14.8 (6.6)

unit : μ , () : s. d.

図 10 陶材焼付後の間隙量

に示す通りである。

部位Aでは, shoulder type がセメント層は最も厚く, veneer type で 104.3μ , full bake type で 120.5μ の値を示した。一方, beveled shoulder type がセメント層は最も薄く, veneer type で 71.5μ , full bake type で 73.3μ の値を示した。部位Eでは, chamfer type がセメント層は最も薄く, veneer type 96.5μ , full bake type で 86.8μ の値を示した。また, 他の部位, C, D, F, G では veneer type で約 $40\sim 50\mu$, full bake type で約 $20\sim 40\mu$ の値を示した。このことは, 切断面における側壁部では, veneer type に比べ

full bake type の方が, セメント層の厚さは概して小さいことがわかった。

ii. セメント合着による浮き上がり

セメント合着後の試料の切端部におけるセメント層の厚さから, 陶材焼付後の試料の間隙量を差し引いた値をもつて, セメント合着による浮き上がり値とした(表8, 図12)。この浮き上がり量は, veneer type では shoulder type が 31.5μ , beveled shoulder type が 37.0μ , chamfer type が 28.2μ の値を示すように, 辺縁形態による差がほとんど認められなかった。これに対し, full bake type では, shoulder type が 61.5μ ,

表 7 セメント合着後の間隙量

陶材被覆形態	歯頸部辺縁形態	A	B	C	D	E	F	G
veneer type	'shoulder type	104.3 (17.1)	109.7 (12.7)	38.3 (10.1)	46.5 (11.9)	107.2 (26.5)	43.7 (13.1)	41.3 (7.0)
	beveled shoulder type	71.5 (4.6)	96.5 (15.5)	28.2 (9.6)	44.0 (3.5)	111.2 (19.3)	42.8 (13.4)	42.5 (10.8)
	chamfer type	90.7 (8.0)	64.2 (11.4)	40.2 (11.6)	41.8 (12.9)	96.5 (11.1)	47.2 (10.1)	43.7 (3.6)
full bake type	shoulder type	120.5 (14.1)	126.5 (6.0)	32.3 (10.0)	37.0 (7.9)	126.5 (14.6)	37.7 (11.6)	30.3 (12.4)
	beveled shoulder type	73.3 (7.2)	100.2 (10.9)	18.0 (7.3)	19.8 (7.1)	114.5 (12.2)	29.0 (3.2)	20.3 (8.0)
	chamfer type	85.0 (6.2)	31.7 (4.7)	14.7 (2.9)	22.5 (4.3)	86.8 (3.9)	25.7 (4.7)	15.0 (7.1)

unit: μ , () : s.d.

図 11 セメント合着後の間隙量

表 8 セメント合着による浮き上がり量 (切端部)

被覆形態 \ 辺縁形態	shoulder	beveled shoulder	chamfer
veneer	31.5	37.0	28.2
full bake	61.5	49.3	11.5

unit: μ

beveled shoulder type が 49.3μ , chamfer type が 11.5μ の浮き上がり値を示し、辺縁形態による差が

chamfer type と他 2 者との間にみられた。

II. 測定部位別の間隙量

以上の測定結果について、測定部位別に辺縁形態差、陶材被覆形態差を t 検定により検討した結果、唇面歯頸部 A, B では辺縁形態差および陶材被覆形態差が認められた。

ところが側壁部 C, D, F, G および切端部 E では辺縁形態差はほとんどなく、主に陶材被覆形態差が認められた。唇面歯頸部 A, B については辺縁形態別および陶材

被覆形態別に、側壁部 C, D, F, G および切端部 E については陶材被覆形態別に 3 種類の歯頸部辺縁形態の平均値で表わし、測定部位別に各操作過程を通じての変化を検討した (図 13-1, 13-2, 14)。

1. 唇面歯頸部について

i. 部位 A (唇面歯頸外縁部) について

図 12 セメント合着による浮き上がり量 (切端部)

セメント合着後までの間隙量の変化のうち、まず鑄造後において間隙量が大きく認められた。その後、shoulder type, beveled shoulder type は同様の傾向を示し、陶材焼付け後まで大きい変化はない。一方、chamfer type における陶材焼付けによる間隙量の変化は、shoulder type や beveled shoulder type に比べ大きい増大が認められた。最終的なセメント合着による浮き上がりは shoulder type が最も大きく、セメント層の大きさは、shoulder > chamfer > beveled shoulder の順となった (図 13-1)。

ii. 部位 B (唇面歯頸内側部) について

鑄造後の間隙量はかなり大きく、shoulder type, beveled shoulder type は degassing でやや減少し、陶材焼付け後再び増大した。そしてセメント合着で大きく増大が認められた。一方、chamfer type においては間隙量およびその変化が小さかった (図 13-2)。

2. 切端部および側壁部について

i. 部位 E (切端部) について

鑄造後の間隙量は veneer type と full bake type とで大きく異なり、つづいて degassing 後の間隙量は veneer type で減少 full bake type では増大し両者はほぼ同等となり、陶材焼付け後およびセメント合着において、両者の間隙量は同様に増大が認められた (図 14)。

図 13-1 唇面歯頸外縁部 (部位 A) の間隙量の変化

図 13-2 唇面歯頸内側部(部位B)の間隙量の変化

図 14 陶材被覆形態別の切端部(部位E)ならびに側壁部(部位C, D, F, G)の間隙量の変化: 3種類の歯頸部辺縁形態の平均値を表示した。

図 15 陶材中の残留応力

ii. 部位 C, D, F, G (側壁部) について

鑄造後, veneer type では $30 \sim 35 \mu$ を示し, full bake type では $20 \sim 25 \mu$ を示し, D, F, G では有意差を認めた. その後のすべての操作過程を通じて, veneer type に比べ full bake type の方が間隙量が小さく, 有意差が認められた. 最終的なセメント合着後のセメント層は veneer type で $35 \sim 45 \mu$, full bake type で $20 \sim 30 \mu$ であった (図 14).

III. 陶材焼成により発生する応力値および唇面齒頸部辺縁形態別の変形抵抗性

1. 陶材焼成により発生する応力値

歪ゲージから得た値によつて応力値を算出するために, 堤⁴⁴⁾らが鑄造体の残留応力分布の測定に用いた式を使用した. すなわち, 金属と陶材の合計の厚さを h , 陶材の溶解量を z , x, y 方向の歪量を ϵ_x, ϵ_y とし, ポアソン比を ν , 平板内に残留している主応力を σ_x, σ_y とする. 裏面での x, y 方向の歪量 ϵ_x, ϵ_y を表層からの除去量 z の関数として計測することにより,

$$U_x = -\frac{E}{2} \left[(h-z) \frac{d\epsilon_x}{dz} - 4\epsilon_x + 6(h-z) \int_0^z \frac{\epsilon_x}{(h-\xi)^2} d\xi \right] \quad (1)$$

$$U_y = -\frac{E}{2} \left[(h-z) \frac{d\epsilon_y}{dz} - 4\epsilon_y \right]$$

$$+ 6(h-z) \int_0^z \frac{\epsilon_y}{(h-\xi)^2} d\xi \quad (2)$$

$$\sigma_x = \frac{1}{1-\nu^2} (U_x + \nu U_y) \quad (3)$$

$$\sigma_y = \frac{1}{1-\nu^2} (U_y + \nu U_x) \quad (4)$$

の式から σ_x, σ_y を求めることができる. その結果, 陶材内部の残留応力分布は図 15 に示す通りであった. 以上の結果より, 陶材表層部には, 約 2 kg/mm^2 の引張り残留応力が存在するが, 陶材深部へ行くにつれて, 引張りから圧縮応力になり, 金属と陶材の接合部付近の陶材内には, $1 \sim 3 \text{ kg/mm}^2$ の圧縮残留応力が存在していることがわかった.

2. 有限要素法による唇面齒頸部辺縁形態別の変形抵抗性

shoulder type, beveled shoulder type, chamfer type の各形態の唇側辺縁部の節点 1 および 2 の x 方向, y 方向の変位, δ_x, δ_y は表 9 のように求められた. 変位量の絶対値 δ は $(\delta_x^2 + \delta_y^2)^{1/2}$ として計算でき, 齒頸部の 2 節点の平均値を求めた (表 9). それによると, 形態別の変位量は,

	(20倍拡大模型)	(実物大)
shoulder	2.26	0.113
beveled shoulder	2.20	0.110
chamfer	2.29	0.115
		(mm)

表9 辺縁形態差による変位量の差異(20倍拡大モデルについて)

	節点番号	δx	δy	δ	平均値
shoulder	1	2.072	-1.005	2.303	2.256
	2	1.966	-1.005	2.208	
beveled shoulder	1	2.050	-0.957	2.263	2.202
	2	1.894	-0.998	2.141	
chamfer	1	2.097	-0.982	2.315	2.290
	2	2.000	-1.066	2.266	

unit: mm

となり、beveled shoulder<shoulder<chamferの順に大きく、beveled shoulder type に比べると、chamfer type は1.05倍変位量が多い。換言すれば、変形抵抗性は、chamfer type に比べると beveled shoulder type の方が大きいことが明らかとなった。この解析結果は、陶材焼付けによる唇面歯頸外縁部(部位A)に生じる間隙量の増大が、chamfer type において著明であつた結果と類似している。

考 察

支台歯に対し良好に適合するという事は、歯冠補綴物の具備すべき最も重要な条件の一つであり、その良否が補綴物の価値を左右すると言つても過言ではない。

金属焼付ポーセレン冠は、審美的かつ強度的要求に応えたものとして歯科補綴臨床に紹介されるや否や急速に普及し、現在では、前歯部における代表的歯冠補綴物として用いられている。ところがこの補綴物に関して、臨床家の間から金属体の試適時適合が良好であつても、陶材焼付け完成後歯頸部の適合が不良^{6,21,25,33)}になるということや、歯肉の変色や炎症や退縮などの問題点が指摘されている。

ちなみに予後調査結果²⁾によれば、唇面歯頸外縁部の適合状態がスムーズなものは20.5%にすぎず、その他のものは近心、中央、遠心のいずれかの部位でステップを有していた。また、長軸方向の間隙も、探針で感知できないものは27.4%にすぎず、他のものはすべて不均一な間隙を有していることがわかつた。このように、日常の臨床において、良好な適合状態を得ることは、容易ではないように思われる。

歯頸部における冠不適合の原因は、まず基礎的問題として、印象材、模型材、ワックスの変形や面あらし²⁶⁾、鑄造操作中の変形、あるいはセメントによる浮き上がり

のほかに、金属焼付ポーセレン冠に特異的な高温での熱処理、および陶材焼成にともなう応力による冠の変形^{24, 25, 31, 35)}が考えられる。つぎに臨床的問題として、一連の操作過程の中でも、その出発点であり、術者に依存度の大きい支台歯形成が重要な因子と考えられる。すなわち、より良好な適合と冠辺縁部におけるセメント層の縮少を計るためには、支台歯形成についてその形態および形成法を再考する必要がある。なかでも歯頸部辺縁形態は、冠辺縁部の適合と密接に関係するため特に重要であるが、理論的裏付けのないままに、陶材築盛の便宜上、shoulder type の形成法^{7,36,37)}が行なわれてきた。ところが shoulder type では冠の浮き上がりの影響が冠辺縁部に大きく現われやすいため、それに対する改善策として、鑄造修復物における歯頸部辺縁形態と適合性の考え方を取り入れて beveled shoulder type や chamfer type が考えられるようになってきた。これらのうち、beveled shoulder type の形成は、Breck⁸⁾、Shelby³⁴⁾、Silver³³⁾、橋本³⁸⁾らによつて唱えられているが、歯頸部辺縁形態の差異と適合性に関しての検討は未だ十分に試みられていない。

一方、支台歯形態以外の重要な問題として、陶材の被覆形態がある。従来より主に陶材を唇面のみに焼付けた veneer type の方法がとられてきた。ところが、陶材破折の予防および審美的要求から、金属と陶材の接合部をできるだけ舌側歯頸部へ設定する方法も採用されており、veneer type に対して、陶材をほぼ全面に焼付けるため、full bake type と言われている。佐藤¹⁰⁾は前歯部金属焼付ポーセレン冠について、陶材被覆度のちがいが破折強度に及ぼす影響について実験を行つている。この報告によれば、全部被覆型が安定した強度を有していることが明らかとなつている。しかし、陶材被覆形態の差が冠の変形あるいは適合性に及ぼす影響が予測されるにもかかわらず、この点に関する基礎的研究が行われていない。

そこで著者は、鑄造後、degassing 後、陶材焼付け後およびセメント合着後の各操作過程における冠と支台歯間の間隙量を測定することによつて、適合性の変化を把握しようとした。すなわち、現在多く用いられている shoulder type および veneer type に対して辺縁形態では chamfer type, beveled shoulder type を、陶材被覆形態では full bake type の各形態を取り入れ、比較検討した。さらに、陶材焼成により発生する応力を測定するとともに有限要素法による数値計算により、唇面歯頸部辺縁形態別の変形抵抗性を検討した。

I. 試料および方法について

金属焼付ポーセレン冠に関するここ数年間の研究はめざましく、材料、技術の進歩により、焼付強度や寸法精度もかなり向上はして来た。しかし、基礎的研究が徐々に臨床的条件へ接近して来たとはいえ、未だ棒状あるいは円筒形などの単一形態を対象としたもの^{24,25,26,30,35)}が多く、それをもつて日常臨床における金属焼付ポーセレン冠の問題を検討するにはなお不十分である。また、研究課題が分化しすぎたために、基礎実験結果と臨床応用との間に未だ距離感があるように思われる。ことに金属焼付ポーセレン冠の形態は複雑であり、適合性に関しても、各部すべての間隙量とその製作過程における変化の程度が異なることが予想されるため、基礎実験結果からは直ちに臨床における冠の場合の適合状態を推定することはできない。

本研究の主目的は、形態的な面から支台歯に対する冠の適合性を検討することである。従つて本実験では歯頸部辺縁形態、陶材被覆形態ともに、臨床における金属焼付ポーセレン冠の条件を具備した試料を用いた。

冠の適合度を知るには、もとの支台歯に戻して冠外面から辺縁の浮き上がりや間隙量を測定する方法と、もとの支台歯に戻したものを切断し外面および内面の間隙量を測定する方法がある。

前者の方法は、全部鑄造冠の適合度を測定するにあつてよく用いられていた。すなわち、shoulder type の鑄造冠模型を使用して、shoulder 部における冠と支台歯の間隙量を測定して適合度の判定を行つていた^{39,40)}。しかし、この方法では、鑄造冠を支台歯に試適した場合、浮き上がりを生じても、間隙として測定することがむずかしく、特に鑄造冠の歯頸部辺縁が鋸歯状を呈することがあり、他の辺縁形態、たとえば、beveled shoulder type, chamfer type の鑄造冠の適合度を測定することが困難であると思われる。

後者の方法の場合、辺縁部はもちろんのこと、内面の状態が観察可能であり、より立体的な見方ができるということ、すなわち冠の浮き上がりあるいは冠の変形なども間隙量を計測することによつて推察できる利点を有している。しかし、この方法では、同一の試料を経時的に観察することができない短所がある。本実験では、より立体的な見方をするため後者の方法を用いた。臨床形態は複雑であり、厳密には各部すべて間隙量およびその変化の程度も異なることが予想されるため、冠全体の間隙量とその変化を把握することは不可能に近いと思われる。しかし、一断面の状態を観察することによつて、臨床的

問題の解明にあたつての一つの指標とすることは可能であり、特に正中断面は、歯頸部辺縁形態および陶材被覆形態の差異による辺縁部の適合度の比較検討を行うためにも、最も代表的な観察面であると考えられる。

金属焼付ポーセレン冠は、審美性を有することを大きな特徴としている。そのため、冠の唇側辺縁部は歯肉縁下に入れ、かつ冠の辺縁末端まで陶材が焼付いていることが必要である。そこで、陶材の入るスペースを確保しなければならないが、これらを満足する辺縁形態は自ずと限られてくる。つまり、従来から採用されてきた shoulder type のほかに、beveled shoulder type, chamfer type の3形態が主に考えられるため、本実験ではそれら3種類の形態を採用した。

陶材被覆形態に関しては、veneer type は従来より一般に用いられてきた形態であるが、最近、強度的、審美的な要求から full bake type も採用されるようになっていく。陶材が金属に及ぼす影響については、Tuccillo⁴¹⁾の研究報告が示すように、無視出来ないものである。そこで、陶材の影響、すなわち陶材の被覆度の多少が、冠の変形に及ぼす影響を検討するために、veneer type, full bake type の2形態を採用した。

II. 実験結果について

1. 製作過程における間隙量の変化

i. 鑄造後

鑄造後の間隙量の変化について考察すると、最も間隙量の小さい部位は C, D, G で、その値は 15~30 μ であり、この切断面における冠と支台歯は、側壁下部で主に近接し、あるいは接触するものと考えられる。また、部位 C, D, F, G の間隙量と部位 A, B, E のそれとを比較すると、測定方向が歯軸方向に平行に近い部位ほど大きかった。このことは、鑄造後の間隙量の変化は、歯軸方向のずれ、すなわちワックスパターンを基準にして考えると、鑄造体の歯軸方向の浮き上がりを意味するものと考えられる。

鑄造後の浮き上がりの原因としては、鑄造体の収縮、変形および冠内面の面あらしが考えられる。このうち、面あらしに関しては、予備実験で面あらしの測定を行なつた結果、中心線平均あらし (H_a) 4.2~4.5 μ であつた。焼付用金合金の表面あらしに関して、富永²⁰⁾は H_a 約 2.5~3.0 μ であつたと報告している。本予備実験の結果は、富永の値よりやや大きい値を示したが、この程度の表面あらしは、富永も言っているように、適合にはさほど影響しない因子と考えられる。

さて一方、鑄造過程における収縮、変形は冠の浮き上

図 16 鑄造後における間隙量（実測値と計算値との比較）

がりの主な原因と考えられる。実際、本実験で切端部の間隙量を浮き上がり量とし、原形がそのまま浮き上がったことを想定した場合、側壁部 C, D, F, G の計算値は点線部のようになり、実測値と対比させた場合、部位 C, G において実測値が大きく、計算値との差が大である（図 16）。このことから、冠が変形したことが明らかである。この収縮、変形の原因として、主にワックス操作時の変形、埋没材の膨張、金属の収縮および埋没材の強度による鑄造収縮抑制のための変形、金属の厚みの差による応力のちがいによる変形が考えられる。特に、本実験試料は臨床的であるため形態が複雑であり厚みも各部で異なる。そのため、回転させながらワックスパターンの撤去が可能な単純な円筒形試料に比べると、パターン撤去の際、不均一な応力がかかりやすいことが考えられる。また、埋没材の膨張が冠の変形に影響を及ぼすことは言われているが、吉成²⁸⁾らは金属リング方式とリングレス方式との比較を行った結果、金属リング使用の場合、埋没材は開放側へ向い粘性流動を起こすため鑄造体は縦方向に膨張するのに対し、リングレスの場合は埋没材はあらゆる方向に膨張し、変形の少ない鑄造体が得られると言っている。さらにその膨張は加熱膨張時に顕著に現われるため、加熱膨張の大きいセラミゴールド埋没材の場合、最も有効であると報告している。また、野首⁴²⁾は適合良好な鑄造鉤を得るために、リングレス鑄造が有効であることを報告している。以上のことから、本実験においても、埋没材の膨張はほぼ等方性であると考えられる。

鑄造後の間隙量を陶材被覆形態差について考察すると、側壁部では、最初の操作である鑄造後すでに veneer type と full bake type の間に差を生じた（図14, 16）。

これは、veneer type と full bake type の唇舌的な金属の厚みの相違によるものと考えられる。埋没材の膨張は等方性であると考えられるが、金属の厚みのちがいによつて、金属の収縮時の応力、すなわち鑄造応力による変形が生じたためであろう。veneer type のコーピングでは、唇側に比べ厚みの大きい舌側の方が鑄造後の凝固がやや遅れるため、舌側で引張り応力が、唇側で圧縮応力が生じたことが考えられる。厚みの差による鑄造体の変形については、千々岩⁴³⁾が鉤物について確かめている。一方、full bake type は唇舌側とも肉厚がほぼ等しいため、金属の収縮による応力が小さく、不均一な変形もほとんどなかつたものと考えられる。この事に関して、林²⁵⁾は両側とも厚みが 0.5 mm の full bake type の円筒型試料および片側のみ 1.0 mm の厚みを有した veneer type の円筒型試料について、その浮き上がりを測定することによつて、製作過程における冠の膨縮を計算し検討した結果、鑄造過程では2種類の形態の間には、有意の差は認められなかつたと報告している。このように、鑄造体の形態差による適合状態に関しては、高橋³⁰⁾も円筒型の試料を用いて、林と同様の結果を発表している。それらが本実験結果と異なつた理由については、使用した試料の形態および測定方法が考えられる。すなわち、彼らの実験に用いたパターンは、本実験使用の臨床的形態と異なり、その内面が完全な円形である。そのため、鑄造応力による変形が少なかつたことと、たとえわずかな変形があつたとしても、浮き上がりとして有意の差が生じなかつたことが考えられる。

歯頸部辺縁形態のちがいによる鑄造後の間隙量の差異について考察する。部位 A, B における間隙量は、shoulder type が最も大であつた。この点に関して、冠の浮

図 17 浮き上がりが同等な場合、辺縁形態のちがひによる間隙量の差異

き上がりが同等であると仮定すると、唇面齒頸外縁部の間隙量は、幾何学的に

shoulder	$d_s = l \sin \theta_s$
beveled shoulder	$d_b = l \sin \theta_b$
chamfer	$d_c = l \sin \theta_c$

で表わされる。ただし d : 間隙量, l : 浮き上がり量, θ_s : shoulder 傾斜角度, θ_b : beveled shoulder の傾斜角度, θ_c : chamfer 齒頸外縁部の傾斜角度とする。ここで, $\theta_s, \theta_b, \theta_c$ の角度は図に示したごとく $\theta_s = 75^\circ$, $\theta_b = 30^\circ$, $\theta_c = 47^\circ$ であるから $\sin \theta_s \doteq 0.96$, $\sin \theta_b = 0.5$, $\sin \theta_c \doteq 0.73$ となり $d_s > d_b > d_c$ つまり shoulder > chamfer > beveled shoulder の順に間隙量が異なってくる (図 17)。しかも本実験では shoulder type の切端部の間隙量すなわち浮き上がりが最も大であつた。したがつて以上のことから、部位 A, B の間隙量は shoulder type が最も大きくなった理由が説明できる。

ii. degassing 後

金属焼付ポーセレン冠は、臨床上、鑄造後のコーピングを口腔内で試適した時は支台歯との適合が良好と思われても、degassing 後陶材焼付けを経た後では、齒頸部の適合が不良になっていることが指摘^{6,24,25,33,35}され、その原因として degassing から陶材焼付け完成までの過程で、何らかの変化が起こるものと考えられている。

本実験では、degassing 後側壁部 C, D, F, G の間隙量は、鑄造後の間隙量に比べ、同等か 10μ 程度の縮小的変化が認められた。冠の側壁部の幅径を 4 mm としても約 0.25% 以内の変形が生じたことが考えられる。この点に関して、西村³⁵や安藤²⁴らは焼付用合金 KIK について、degassing で 0.1% 程度、林²⁵は約 0.1~

0.2% 程度の変形の生じることを、基礎的実験でも明らかにしている。また、C, D, F, G の間隙量の相対的な変化がやや認められ、鑄造後は D, F 部に比べ間隙量は C, G の方が小さい傾向が認められたが、degassing 後では逆に C, G 部よりも D, F 部の間隙量が小さい傾向を示した。このことは、degassing による変形にともなつて、支台歯に対する冠の適合状態が変化したことが考えられる。

部位 A についてみると、chamfer type のみ約 13μ 増大したが、他の形態ではほとんど変化は認められなかった (図 13-1)。その理由として、chamfer type は shoulder type や beveled shoulder type のように辺縁部にカラーを付与したものに比べ、齒頸部の金属量が少ないこと、および形態的に変形抵抗性が小さいことが考えられ、そのため冠辺縁部が加熱による変形を起こしたと思われる。加熱による変形には、鑄造応力解放に伴う変形、自重による creep たわみによる変形などがあり、西村³⁵、安藤²⁴らはそのうちでも鑄造応力解放による変形が大きいことを述べている。堤ら⁴⁴も、歯科鑄造体の加熱処理による実験で、残留応力の解放と変形の増大を確かめている。

鑄造後から degassing 後での部位 E の間隙量の変化は veneer type では減少したが、full bake type では増加した。この変化の差異の原因は、veneer type と full bake type のコーピングの唇舌側の金属の厚みの差による変形傾向のちがひが原因と思われる。すなわち、veneer type の部位 E の間隙量が減少したのは、唇舌的な金属の厚みの差から、鑄造後、鑄造応力による不均一な歪みのため浮き上がりのあつたものが、応力解放によ

つて歪みが解放され、かえって適合が良くなったためと考えられる。一方、full bake type では、金属の厚みがほぼ均一なため、鋳造後、冠が内方に向かって一様に収縮するものと考えられる。しかし、埋没材によつて十分な収縮はできず、残留応力として残つたものが、degassing による応力解放にともなつて、冠内方に向かって一様に変形し、それによつて切端部で間隙が生じたものと思われる。

iii. 陶材焼付け後

鋳造体は鋳造後の残留応力の大部分が最初の熱処理である degassing 時に解放されるために変形し、さらに陶材焼付け操作によつて新たな応力-ひずみの関係が生じるものと考えられる。その原因には、陶材収縮時、金属との熱膨張係数の差による応力に伴う変形^{11,15)}、あるいは、自重による creep たわみ^{35,46)} などが考えられる。

本実験において、ことに唇面歯頸外縁部Aでは、degassing 後に比べ間隙量の増大傾向が認められた。なかでも、chamfer type で最も大きい変化が認められた。冠の遊離端側である唇面歯頸外縁部が、陶材焼成による応力によつて最も影響を受けやすかつたことが考えられる。また、唇面歯頸内側部Bでも degassing 後に比べ間隙量の増大傾向は認められたが、chamfer type ではほとんど変化がなく、部位Aの変化と対照的であつた。これは chamfer type における部位Bは、Aに比べ冠内側に位置していること、および shoulder type, beveled shoulder type のBに比べ位置、形状が異なるため間隙量の変化が非常に小さかつたものと思われる。唇側部は熱膨張率の異なる陶材と金属との複合体であり、bimetal と同様に温度変化にともなう変形を生じることは十分に考えられる。すなわち、溶融陶材が温度の低下とともに収縮し、金属と結合し、その後固相の状態で収縮し、金属との熱膨張率の差によつて変形を生じる。Tuccillo ら⁴¹⁾ は、一定の厚さの金属板に種々の陶材を焼付けることによる板の変形を観察し、金属と陶材の厚さの比率の変化に応じて変形量が異なることを確かめ、その変形量から陶材と金属間の界面応力を算出している。本実験における3種類の辺縁形態のうち chamfer type が著明な間隙量の変化を示したのは、陶材収縮による応力とひずみの関係に対して冠が変形しやすかつたためと推定される。すなわち、shoulder type, beveled shoulder type に比べ、chamfer type は歯頸部辺縁形態が曲線的であり、かつ辺縁部の金属量が少ないことが原因と考えられる。山田¹⁷⁾は金属焼付ポーセレン冠について、shoulder

type の唇側辺縁部の金属の厚みを 0.1 mm と極端に薄くしたところ、著明な変形を生じたことを報告している。このように、金属量の多少が冠の変形に関与するものと考えられる。一方、beveled shoulder type は、陶材焼付け後の唇面歯頸外縁部の間隙量が最も小さかつた。このことは、形態的に bevel を付与したことが、冠の変形を少なくしたものと思われる。

また、側壁部 C, D, F, G における間隙量は、陶材被覆形態別の差異が認められた。すなわち、veneer type に比較すると、full bake type の方が間隙量が小さかつた。これは、veneer type では陶材が主に唇面のみに限られていることと、唇面は舌面に比べ金属が薄いため、陶材焼成により発生する応力が冠表面全体にかからず、冠の変形が不均一となつたことが考えられる。これに対し、full bake type では、コーピングのほぼ全面に陶材を焼き付けるため、冠全体に応力が均一にかかり、したがつて不均一な変形を生じなかつたことが推察される。

iv. セメント合着について

試適時良好な適合を示す鋳造冠もセメント合着時に浮き上がりを生じることは、石原²²⁾、吉田²¹⁾、Tylman⁴⁸⁾、Jones⁴⁹⁾、Selberg⁵⁰⁾、らによつて報告されている。前歯部の全部被覆冠支台歯形態は、臼歯部に比べ、唇舌的軸面傾斜度が大きい、歯冠長が長い、形態が複雑である、などの点で異なる。そのため浮き上がりに関しても臼歯部の場合と異なることが当然予想される。セメント合着による浮き上がりは、支台歯に対する冠の歯軸方向への平行移動と考えられる。そのため本実験での浮き上がりは測定方向が歯軸方向と一致し、その量が最も顕著に現われる切端部について検討した。veneer type では、浮き上がり量は辺縁形態別の差異はほとんど認められなかつた。これに対し、full bake type では、辺縁形態別の差異がかなり認められた(表8, 図12)。veneer type と full bake type とで差を生じたのは、前項で述べたように、支台歯に対する冠の側壁部の間隙量が full bake type と veneer type とで異なるため、辺縁形態がセメントの浮き上がりに及ぼす影響も異なつたためと思われる。切断面をみると、shoulder type, beveled shoulder type では、歯頸部内面で line angle を呈しているのに比べ、chamfer type は rounded angle を呈している。また、歯頸部における軸面傾斜度も shoulder type, beveled shoulder type に比べて chamfer type では大きく、セメントの流動抵抗が最も少なかつたものと思われる。特に側壁部の間隙量の少ない full

bake type で辺縁形態差が大きく影響したものと考えられる。大藤⁵¹⁾らは、全部鑄造冠の支台歯で shoulder type と knife edge type とを比較し、shoulder type の方が浮き上がりが大であつたと報告し、shoulder type がセメントの流動抵抗が大きいためと検討を加えている。

本実験における唇面歯頸外縁部のセメント層の厚さは、臨床的に重要であるが、最小のものは beveled shoulder type (veneer type) で 71.5μ を示し、最大のものは shoulder type (full bake type) で 120.5μ を示した (図 11)。また、このセメント層の厚さは、veneer type, full bake type とともに shoulder type が最も大きく、chamfer type がこれにつき、beveled shoulder type が最も小さい値を示し、それら3者間には有意差が認められた (表4)。臨床において、歯頸部が正しく適合するということは、補綴物の具備すべき要件であるが、これに関して、どの程度の適合状態を実用的とすべきか、また歯周組織を害せず、セメント溶出と2次う蝕の防止ということが目標であつても、この条件を満たすセメント層の厚さの許容範囲をどの程度にするかは不明である。現在の補綴学の常識では、補綴物の辺縁部は、探針の先がかからぬ程度とすることが目標とされている。臨床にそれが可能となつている。⁵²⁾ しかし、このような状態というのは冠辺縁をパーニッシュすることによつてのみ得られるものであつて、特に、歯肉縁下に辺縁を設定した鑄造体では、セメント合着しただけでは、良好な適合度を得ることは困難である。本実験において、冠と支台歯間に介在するセメント層の厚さは、測定部位によつて著しく異なり、約 $15\sim 130\mu$ にまで及んでいる。この原因として、第一に冠と支台歯歯面との間隙がセメント合着前の試適時にすでに不平均であること、第二に、セメント合着によつて、冠と支台歯との関係に歯軸方向のずれ、すなわち浮き上がりが生じるため、各部で間隙量の変化量が異なることなどが考えられる。特に、側壁部においては、セメント層が薄く、 20μ 前後の厚さのものも認められたが、この値は一般に言われているセメント被膜度 $20\sim 30\mu$ 程度^{53,51)}あるいはそれ以下であることを示している。セメント合着の際、冠を支台歯に挿入し始めるときセメントは何ら抵抗なく流出するが、挿入するにつれて、軸面傾斜度の小さい部位ほど冠内面と支台歯表面とが早く近接し、その部位でセメントの流動抵抗を生じはじめる。唇舌的には、側壁下部の C, G で最も流動抵抗を生じやすかつたことが推察される。

2. 陶材焼成により発生する応力および唇面歯頸部辺

縁形態別の変形抵抗性

i. 陶材焼成により発生する応力

金属焼付ポーセレン冠と全部鑄造冠との大きい相違点は、陶材焼成の有無である。そのため、金属焼付ポーセレン冠の適合性を論じるとき、陶材焼成の問題を考える必要がある。金属と陶材とは異質の材料であつても、両者は高温下でぬれを生じ、常温で強固に結合する。金属と陶材とは熱膨張の程度がわずかに異なるため、結合体内部で応力一ひずみの関係が生じ、その際、金属が変形することが考えられた。応力一ひずみの問題を考える上において、陶材焼成後陶材内に残留する応力を知ることは重要であると思われる。陶材が冷却する間に発生する応力は、陶材および金属がかなり高温にある状態での塑性流動あるいはクリープ変形などによつて大部分緩和されるものと予想されるにもかかわらず、基礎実験の結果、室温まで冷却された後においても、これ程大きな応力が残留していることは注目値する (図 15)。この残留応力は、陶材焼付け後における金属の変形を生じる大きな要因として考慮に入れるべきである。陶材焼成により発生する応力の影響は、冠の遊離端側である唇側辺縁部で受けやすく、従つてその部分に変形を生じやすいことが推測される。

ii. 唇面歯頸部辺縁形態別の変形抵抗性

光弾性実験をはじめとして、歪ゲージ法、応力塗料法、反射光弾性法、モアレ法など応力一ひずみ測定法の歯科への導入が試みられてきた。著者も本研究に歪ゲージを使用した。種々の応力一ひずみ測定法は表面ひずみを測定するものがほとんどであるため、現象を内部で、あるいは全体的に把握するには不便である。できれば、実物そのものについての実験、測定が望ましいことはいうまでもないが、種々の制約のため、従来の研究はそのほとんどが実物を模倣した模型について行われている。模型実験を行う際留意しなければならないことは、実物に等価な模型あるいは実物と相似の模型を設定することである。これは形態など幾何学的条件はもちろんのこと、ヤング率など物理量について考慮する必要がある。模型実験の代表的な方法である光弾性実験法は、内部の応力分布を知ることができるが、複雑な形態の三次元模型を製作する際、ヤング率、ポアソン比などを相似させるのがむずかしい。

有限要素法といわれる数値解析法は、1950年 Turner らにより構造力学の分野に用いられたのが最初といわれており、近年の電子計算機の発達とともに飛躍的に発展した方法である。この方法では、複雑な形態を模式的に

近似することができ、種々の外力による問題を扱うことができる。また、荷重条件、拘束条件を任意に選ぶことができる。このように、有限要素法は、これまでの数値解析法あるいは実験の方法に比べて多くの長所を有しているので、現在、実用的な構造解析法として脚光をあびている。

金属焼付ポーセレン冠の製作過程のうち、陶材焼成により発生する応力については、著者は、基礎的に平板試料について、大きい残留応力の存在を確かめることができた。一方、冠は辺縁部が最も変形しやすい部分であることは十分に考えられる。しかも、冠辺縁部は臨床的に非常に重要であり、その部位の変形の少ないことが要求される。本実験試料そのものについて、応力一ひずみの関係を実際に計測するのは非常に困難である。そのため、実物に相似の20倍拡大図について、有限要素法を用い、歯頸部における応力一ひずみを計算することによって、変形抵抗性を定性的に検討した。

要素数は多いほど精度が良く好ましいものであるが、計算機的能力にも限界があり、制約を受ける。本実験は、辺縁形態別の変形抵抗性を定性的に比較検討するために行つたものであり、そのため、著者の行つた要素分割方法の範囲でさしかえないものと考えられる。計算の結果、chamfer type < shoulder type < beveled shoulder type の順に変形抵抗性が大きいことがわかつた。なお、要素分割モデルに用いたコーピング切断面の拡大図上で、唇側辺縁部における面積を計測した結果、shoulder type は約 462 mm²、beveled shoulder type は約 405 mm²、chamfer type は約 278 mm² であつた。実物の唇側辺縁部の面積は、1/400 倍して、shoulder type は約 1.16 mm²、beveled shoulder type は約 1.01 mm²、chamfer type は約 0.70 mm² である。すなわち、chamfer type は、辺縁部の金属量は最も少なく、その形態が平板に近い単純形態ゆえに、力学的に変形抵抗性が最も小さいことがわかる。一方、beveled shoulder type は辺縁部の金属量は、shoulder type よりも少ないが、shoulder type より大きい変形抵抗性を認めたのは、bevel の付与が辺縁部の補強的効果をあらわしたものと考えられる。

これらのことは、製作過程で生じる応力に対する辺縁形態の種類による変形抵抗性の差異を明らかに示すものである。

以上各項目ごとの考察を行つてきたが、ここで、それらを総合して補綴学的立場から考察を加えることにする。

鑄造後、唇面歯頸外縁部の間隙量が大きく現われた。これは主に鑄造収縮によるものであり、鑄造操作を行う限り避けられない問題である。すなわち、veneer type と full bake type の側壁部の間隙量が異なつたことからみても、鑄造収縮による応力とその影響的因子と考えられる。次の degassing 操作によつて、唇面歯頸部、側壁部ともに間隙量のわずかな減少が認められた。これは鑄造後の残留応力の解放および高温での金属の自重による塑性変形が考えられる。そのため degassing 後は、コーピング内の応力の残留はほとんどないものと思われる。さらに、陶材焼付けによつて再び間隙量の増大が認められた。特に chamfer type の唇面歯頸外縁部で間隙量が大きく増大した。これは、陶材焼成により発生した応力によつて、冠辺縁部の金属の変形を生じたものと思われる。なお、陶材焼成による応力一ひずみの存在は、平板による実験でも確かめ得た。また、chamfer type の間隙量の増大は、有限要素法による変形抵抗性の結果とも類似した傾向を示すものである。陶材焼付けによつて生じる変形は、金属の硬さ、特に高温において陶材を焼付ける際の、硬さの不足が原因の一つと考えられる。本実験に使用した金属 K1K の硬さは、常温で約 Hv 140 であるから、高温時では、非常に軟らかいものと想像される。その対策として、今後、高温における陶材焼付け操作に十分耐えうる金合金の開発が必要である。他方、金合金に比べ硬度の大きい Ni-Cr 系の卑金属合金の臨床応用が期待される。卑金属において、鑄造後の良好な適合が得られるようになれば、比較的薄い金属の使用が可能となるであろうし、そのため歯質の削除量も少なくてすむであろう。つぎに、セメント合着による冠の浮き上がりは非常に重要な問題であり、辺縁部のセメント層の大小は補綴物の価値を左右する。本実験において、セメントの影響は唇面歯頸部、切端部、側壁部における数値からみても明らかである。特に唇側辺縁部では、セメント層の厚さが約 70~120 μ となつた。この値は、全部鑄造冠のセメント層に比べて、決して良好な値ではない。このことから、今後、セメント合着において、有効な浮き上がり防止策を検討することが必要であることがわかつた。また、歯頸部の間隙量を小さくするためにも、臨床的に支台歯のリリーフ等の工夫が必要であろう。

さらに、支台歯の唇側歯頸部辺縁形態ならびに冠の陶材被覆形態について述べる。

shoulder type は従来より、最も多く採用されてきた形態であり、技術的に歯肉縁下の形成は比較的容易であ

り, shoulder 幅あるいは歯肉縁下の深さをコントロールしやすい。また, shoulder 辺縁は明瞭であり, 技工操作の上でトリミングは比較的容易でかつ正確にできる利点を有する。また, shoulder type では, コーピング辺縁の断面の形態は, 実験結果からも力学的に変形抵抗性の比較的大きい形態であることがわかった。しかし, 冠全体の浮き上がりによる間隙量がそのまま唇面歯頸外縁部に生じやすいことや, 軸面との間で line angle を呈するため, セメント合着時のセメントの流動抵抗が大きくなり, 浮き上がりに影響を及ぼすことが考えられる。

beveled shoulder type は, 形態的には, shoulder に bevel を付与したものであるが, 歯肉縁下に bevel を形成しなければならないことから, shoulder type の形成に比較すると, 辺縁が歯肉縁下に深く入りすぎる危険性があり, 正確な形成は技術的にやや困難である。橋本ら³⁸⁾は, 歯肉の損傷の少ない beveled shoulder type の形成法を報告しているが, その中で, 技術的な習熟の必要性を説いている。他方, 形態的には, shoulder type にさらにカラーを付与するため, 製作過程での変形は少なく, 有限要素法による数値計算結果からも, 力学的に変形抵抗性が最も大きいことがわかった。セメント層の縮小対策としても, bevel の付与は有効である。

chamfer type は, shoulder type, beveled shoulder type に比べ, 断面をみるとすべて曲線で構成されており, 全部鑄造冠辺縁の形成に準じて行えばよいが, 歯肉縁下の深さのコントロールは困難であり, 辺縁は鋸歯状を呈しやすく, 歯肉損傷の危険性も大きい。金属焼付ポーセレン冠の唇面歯頸部辺縁形態として chamfer type を用いる時, 陶材の入るスペースを考えた場合, shoulder type や beveled shoulder type に比べると, 辺縁部の金属量が十分に確保できない。そのため, 本研究結果において chamfer type の変形抵抗性が最も小さかった。一方, chamfer type の歯頸部断面が曲線的であることから, セメント合着時のセメントの流動抵抗が小さく, そのため冠の浮き上がりが少なかったものであろう。セメントの流動抵抗を小さくするためには, shoulder type や beveled shoulder type においても, line angle を呈する軸面下部を rounded angle にすることは有効であると思われる。

陶材被覆形態に関して, veneer type に比べると, full bake type は, 製作過程を通じて, 冠と支台歯間の間隙量が特に側壁部では小さく, 寸法変化の点で安定していた。すなわち適合度の面からは, full bake type

が良いことがわかった。また, 臨床的に, 舌面の耐摩耗性, 審美性を考慮しても, veneer type に比べ優れているように思われるが, 唇舌的な厚みの薄い歯牙の場合, あるいは対合歯切端とのクリアランスが十分得られない場合は, 舌面の削除量が不足するため, full bake type が適用できなくなる。これら full bake type が適用できない場合は, veneer type を採用しなければならない。

以上にもとづいて, 金属焼付ポーセレン冠の唇面歯頸外縁部の適合度, 冠内面の適合度, セメント合着による浮き上がり, 唇面歯頸外縁部におけるセメント層などの諸点から臨床的に判断すると, 歯頸部辺縁形態は beveled shoulder type とし, 陶材被覆形態は full bake type を採用することが, 最も良い冠の適合状態を得るための当面の対策法と考えられる。

総括および結論

支台歯に対する人工歯冠の良好な適合条件を確立するための研究の一環として, 金属焼付ポーセレン冠について, 各製作過程における冠の適合状態を解明することを目的として, 歯頸部辺縁形態ならびに陶材被覆形態の差異が冠の適合性に及ぼす影響を検討した。さらに陶材焼成により発生する応力および唇面歯頸部辺縁形態別の変形抵抗性についても合わせて検討し, 次の結果を得た。

1. 各操作過程における変化: 鑄造後, 鑄造収縮により生じると考えられる間隙量が認められ, 唇面歯頸外縁部の間隙量が最も大きかった。degassing 後の間隙量は, 鑄造後に比べやや小さくなった。この変化は, 主に鑄造応力の解放によるものと考えられる。さらに, 陶材焼付け後の間隙量は, degassing 後に比べ明らかな増大を示した。これは, 陶材焼付けにより冠の変形が生じたためと推定される。

2. 歯頸部辺縁形態のちがいによる間隙量の差は, 製作過程を通じて主に唇面歯頸部で認められ, 陶材被覆形態のちがいによる間隙量の差は, 主に側壁部で認められた。

3. 唇面歯頸外縁部の間隙量について, 辺縁形態別に比較すると, shoulder type の間隙量は鑄造後すでに他2者に比べて最も大きく, セメント合着による浮き上がりも最も大きかった。chamfer type の間隙量は, 陶材焼付け後著しく増大し, セメント合着後では, shoulder type について大きいことが認められた。beveled shoulder type の間隙量は, 鑄造後からセメント合着後まで

最も小さかつた。

4. 側壁部の間隙量について、陶材被覆形態別に比較すると、full bake type は、veneer type に比べて間隙量が小さく適合性の良好なことが判明した。この差異は、コーピングの形態差にもとづく冠の変形のちがいとして鑄造後すでに生じておりセメント合着後も同様の傾向として認められた。

5. 陶材焼成により生じる応力の残留が確かめられた。この残留応力は、陶材焼成後における鑄造体の変形を生じる大きな要因と推定される。

6. 陶材焼成後における唇面歯頸外縁部の間隙量の測定結果からみて shoulder type, beveled shoulder type に比べ、chamfer type の方が変形を受けやすいことが推測された。

7. 有限要素法によると、唇面歯頸部辺縁形態別では chamfer type が最も変形しやすく、ついで shoulder type, beveled shoulder type の順となつた。

以上の結果、金属焼付ポーセレン冠の適合性に対して、陶材焼付けによる冠の変形が大きく関与していることが判明した。つぎに、製作過程における冠の変形を少なくして適合度を良好にするためには、歯頸部辺縁形態は、shoulder type および chamfer type よりも、beveled shoulder type にする方が良く、陶材被覆形態は veneer type よりも full bake type にする方が良いことが明らかとなつた。さらに、冠辺縁部におけるセメント層の厚さを小さくし適合度を良好にするためには、現在多く用いられている shoulder type は良くないことが確認された。

稿を終るに臨み、本研究に際して、終始御懇篤なる御指導、御校閲を賜つた大阪大学歯学部補綴学第1教室下総高次教授に深く感謝いたします。また、懇切な御教示と御校閲をいただきました本学理工学教室山賀礼一教授に厚く御礼申し上げます。あわせて、日頃から御助言、御助力いただいた丸山剛郎助教授をはじめ歯科補綴学第1教室および歯科理工学教室の諸先生に謹んで感謝の意を表します。

なお本研究の要旨の一部は第61回日本補綴歯科学会(1974年11月16日)において発表した。

文 献

- 渡辺嘉一：金属焼付陶材の予後，歯界展望，35：1562～1567，昭和45（1970）。
- 丸山剛郎・他：金属焼付ポーセレンの予後に関する臨床的研究，第3報；患者リコールによる診査結果について，補綴誌，16：387～401，昭和48（1973）。
- 丸山剛郎・他：金属焼付ポーセレンの予後に関する臨床的研究，第4報；歯肉変化と適合性との関連性，補綴誌，17：16～20，昭和48（1973）。
- 黒江良治・他：支台歯辺縁部の形態の差異に依る全部鑄造冠の寸法精度，歯学，55：64，昭和42（1967）。
- 橋本 収：鑄造冠の支台歯形態に関する実験的研究—軸面傾斜度ならびに歯頸部辺縁形態について—，補綴誌，16：24～44，昭和47（1972）。
- Shillingburg, H.T., Hobo, S. and Fisher, D.W.: Preparation design and margin distortion in porcelain-fused-to-metal restorations, J. Pros. Dent., 29: 276～284, 1973.
- 多和田泰一，横塚繁雄：ポーセレン・クラウン・ブリッジ，東京，昭和43，医歯薬出版。
- Brecker, S.C.: Porcelain bake to gold—a new medium in prosthodontics, J. Pros. Dent., 6: 801～810, 1956.
- 亀井輝弥：咬合理論について，第19章，補綴物と咬合理論，日本歯技，71：12～31，昭和50（1975）。
- 佐藤 潔：前歯用金属焼付 Porcelain crown の破折強度に関する研究，歯科学報，71：886～909，昭和46（1971）。
- 小山捷三：小臼歯における金属焼付前装 crown の破折強度に関する研究，歯科学報，73：310～332，昭和48（1973）。
- 藤田恒太郎：歯の解剖学，東京，昭和39，金原出版。
- 上条雅彦：日本人永久歯の解剖学，東京，昭和37，地人書館。
- 増田 実，財部正男：歯牙可削後の計測，（第一報）上顎中切歯，歯科学報，52：27～31，昭和27（1952）。
- Johnston, J.F., Mumford, J. and Dykema, R.W.: Modern practice in dental ceramics, Philadelphia and London, W.B. Saunders. Co., 1967.
- 二瓶一郎：人歯牙硬度に関する研究，I，II，阪大歯学誌，4：1～20，177～181，昭和34（1959）。
- Strausberg, G., Katz, G. and Kuwata, M.: Design of gold supporting structures for fused porcelain restorations, J. Pros. Dent., 16: 928～936, 1966.
- Mumford, G.: The porcelain fused to metal restoration, Dent. Clin. North. Am., March, 241～249, 1965.
- Dunkin, R.S.: A simplified method for multiple wax pattern duplication, J. Pros. Dent., 27: 217～220, 1972.
- 織田英正：陶材焼付け金属鑄造冠の寸法精度に関する

- 研究, 歯学, 62: 141~162, 昭和 49 (1974).
- 21) 吉田恵夫: 歯科鑄造法の実用的精度について, 補綴誌, 2: 159~182, 昭和 33 (1958).
 - 22) 石原寿郎, 吉田恵夫: 臨床側からみた歯科精密鑄造の問題点, 理工誌, 1: 18~27, 昭和 35 (1960).
 - 23) 住井俊夫: ワックスパターンの調整方法と精度に関する研究, 理工誌, 12: 54~71, 昭和 46 (1971).
 - 24) 安藤進夫・他: 市販ポーセレン焼付用合金の焼成時における変形, 理工誌, 13: 237~248, 昭和 47 (1972).
 - 25) 林昭一郎: 陶材焼付け貴金属鑄造冠の寸法精度に関する研究, 歯学, 60: 536~557, 昭和 47 (1972).
 - 26) 富永育徳: 陶材焼付け用貴金属鑄造冠の寸法精度に関する研究—寸法精度と表面あらさに及ぼすリングの加熱速度と最終加熱温度の影響—歯学, 62: 255~275, 昭和 49 (1974).
 - 27) 川原春幸: 金属焼付陶材について, 歯界展望, 38: 745~755, 昭和 46 (1971).
 - 28) 吉成正雄・他: リングレス鑄造法による鑄造精度, 歯科学報, 75: 986~993, 昭和 50 (1975).
 - 29) 真坂信夫: ワンピースキャストブリッジの鑄造精度に関する研究, 歯科学報, 70: 725~758, 昭和 45 (1970).
 - 30) 高橋重雄: ポーセレン焼付用合金の鑄造, DE 18: 4~15, 昭和 46 (1971).
 - 31) 角田篤美・他: 歯冠と歯肉の形態に関する統計的観察, 阪大歯学誌, 13: 371~379, 昭和 43 (1968).
 - 32) 池田 博・他: 金属焼付ポーセレンクラウンの有限要素法による力学的研究, 補綴誌, 19 (投稿中).
 - 33) Silver, M., Klein, G. and Howard, M.: An evaluation and comparison of porcelain fused to cast metals, J. Pros. Dent., 10: 1055~1064, 1960.
 - 34) Shelby, D.S.: Practical considerations and designs of porcelain fused to metals, J. Pros. Dent., 12: 542~548, 1962.
 - 35) 西村文夫, 野本直: 陶材焼付用合金の熱処理による寸法変化について, 歯材器誌, 21: 35~39, 昭和 45 (1970).
 - 36) 保母須弥也: オーラルリハビリテーション, 東京, 昭和 43, 医歯薬出版.
 - 37) 保母須弥也: 金属焼付ポーセレン, 東京, 昭和 42, 医歯薬出版.
 - 38) 橋本収・他: Beveled shoulder type の支台歯形成法について, 補綴誌, 17: 6~9, 昭和 48 (1973).
 - 39) Jørgensen, K.D.: The relationship between the retention of cemented veneer crowns and crushing strength of the cements, Acta. Odont. Scand., 25: 355~359, 1967.
 - 40) 吉田恵夫・他: セメント合着による鑄造冠の浮き上がりについて: 第一報, 金属原型使用の場合, 補綴誌, 4: 157~161, 昭和 35 (1960).
 - 41) Tuccillo, J.J. and Nielsen, J.P.: Shear stress measurement at a dental porcelain-gold bond interface, J. Dent. Res., 51: 626~633, 1972.
 - 42) 野首孝祠: 鑄造鉤の製作過程における寸法変化とその適合性について, 補綴誌, 18: 363~381, 昭和 50 (1975).
 - 43) 千々岩健児: 鑄造応力の研究, 第一報, 鋳物, 27: 247~255, 昭和 30 (1955).
 - 44) Tsutsumi, S. et al.: X-ray residual stress measurement of dental castings, J. Osaka Univ. Dent. Sch., 15: (in press).
 - 45) 野口八九重・他: ポーセレン焼付用金属をテストする, DE, 18: 18~27, 昭和 46 (1971).
 - 46) Tuccillo, J.J. and Nielsen, J.P.: Creep and sag properties of a porcelain-gold alloy, J. Dent. Res., 46: 579~583, 1967.
 - 47) 山田剛人: 陶材熔着鑄造冠の適合精度について—製作過程における問題点—, 歯科技工, 3: 11~19, 昭和 50 (1975).
 - 48) Tylman, S.D.: Theory and practice of crown and fixed partial prosthodontics, St. Louis, 1970, The C.V. Mosby Co.
 - 49) Jones, R.R.: A full gold crown, cast and readapted, J.A.D.A., 34: 605~606, 1947.
 - 50) Selberg, A.: A full cast crown technic, J. Pros. Dent., 7: 102~122, 1957.
 - 51) 大藤幸司・他: 各種弾性印象材による鑄造冠の適合性, 歯材器誌, 30: 123~127, 昭和 48 (1973).
 - 52) 保母須弥也, 松本清弘: 鑄造冠のマージンの適合性について, 歯界展望, 43: 731~739, 昭和 49 (1974).
 - 53) 高橋重雄・他: 合着用材料をテストする, DE, 26: 12~23, 昭和 48 (1973).
 - 54) 増原英一・他: 合着材としてのリン酸亜鉛セメントとカルボキシレートセメント, DE, 24: 34~39, 昭和 48 (1973).