

硬質レジンによるシェードガイド色調の再現方策

司 馬 超 宇 野 光 乗 石 神 元 倉 知 正 和

Means for Reproducing Shade Guide Color with Laboratory-cured Prosthetic Composite

SHIBA WATARU, UNO MITSUNORI, ISHIGAMI HAJIME and KURACHI MASAKAZU

本研究は硬質レジン前装鑄造冠の前装部を術者が意図したシェードガイド色調に正確に再現するための方法を検討したものである。試料は、12%金銀パラジウム合金板上に、まず光重合型硬質レジンのOpaqueレジンを築盛、重合後に、BodyレジンとIncisalレジンの積層比を変化させて重合して作製した。各試料は高速分光光度計を用いて測色した。その結果、硬質レジン前装鑄造冠前装部の色調は、BodyレジンとIncisalレジンの積層比を変えることによって、目的とするシェードガイド色調を再現できることが示唆された。

キーワード：シェードガイド色調，硬質レジン

This study examined the method for reproducing shade guide colors intended to match the color of the facing part of a laboratory-cured prosthetic composite on a cast metal surface. Samples were created by first layering an opaque light-cured resin composite on a 12% gold-palladium-silver alloy panel, followed by polymerization, and then changing the lamination ratio of the body resin to incisal resin before subsequent polymerization. The color of each sample was measured using a high-speed spectrophotometer. As a result, it was indicated that changing the lamination ratio of the body resin to incisal resin enabled the color of the facing part of the laboratory-cured prosthetic composite on cast metal surfaces to match the intended shade guide color.

Key words: Shade guide color, Laboratory-cured prosthetic composite

緒 言

技工操作が容易なことから、日常臨床で広範囲に用いられている硬質レジン前装鑄造冠ではあるが、色調再現性に関して十分な満足が得られているとは言い難い。それは術者が指定したシェードガイド色調と完成された前装鑄造冠前装部の硬質レジン色調とが大きな隔たりがある^{1,2)}ことからもうかがわれる。その原因としては、補綴物製作現場への正確な色調伝達の困難性³⁻⁶⁾や硬質レジン前装鑄造冠と天然歯、あるいは視感比色法^{7,8)}による色調選択で用いられるシェードガイドとの構造上の相違^{9,10)}などがあげられるが、技工操作上の問題点として硬質レジン表色上の特性^{11,12)}も大きな要因である。すなわち硬質レジンの表色は、それぞれ色調特性の異なるOpaqueレジン、Bodyレジン、Incisalレジンを組み合わせた多層構造によって行われており、目的とするシェードガイドの色調と適合した

色調を得るには、限定されたしかも唇舌径が個々で異なる空間内で、とくにBodyレジンとIncisalレジンの積層比を微妙に変化させる必要があるが、両レジンの築盛量あるいは積層比とその表面色調との関係について明確にされていない^{11,12)}ことである。そこで、本研究は硬質レジン前装鑄造冠前装部の色調をシェードガイドと良好に適合させるための方策として、Body、Incisalの両レジンの築盛量に対応した最適積層比を明確にすること、さらに築盛量の微妙な差異をOpaqueレジンの築盛量によって調整可能かどうかを検討した。

材料および方法

実験1. レジンの表色

1) 試料

(1) 作製方法

試料は12%金銀パラジウム合金板・金パラエース12

(徳力社, 以下, 合金板) 上に, 光重合型歯冠用硬質レジン・ソリデックス® (松風社, 以下, RSO) を築盛, 重合して作製した。RSO は, カルボン酸系接着モノマー含有のメタルフォトプライマー, 高粘性4-AET (4-Acryloxy-Ethyl-Trimellitic-acid) 含有の Opaque レジン(以下, Opaque), 低粘性の UDMA(2-Trimethyl-hexamethylene-di-Urethane)系 Body レジン(以下, Body) 16色と同 Incisal レジン(以下, Incaisal) 3色に加えてベース, ステインから構成されている。

サンドブラスト処理し, スチーム洗浄した合金板上に, プライマーを塗布後, Opaque を金属色が遮蔽できる最小厚さで築盛, 重合した後, Body, Incisal をそれぞれのメーカー指定の色調構成表(表1)に従った組み合わせで築盛, 重合した。

レジンの重合は, 技工用光重合器ソリデイライト(松風社)を用い, 光照射時間は各レジン層とも180秒とした。なお, 本研究では加齢色の要素であるベース, ステインは用いず, Opaque, Body, Incisal のみを用いた。

(2) 種類

実験目的に従って3種類の試料を作製した。

a. 実験1 1

合金板上にペースト状 Opaque を付属の小筆で1~8回築盛した試料を築盛回数ごと各5枚の合計40枚作製した。

b. 実験1 2

合金板上に Opaque を築盛後, Body と Incisal の築盛量を1.0mmに規定して, 両レジンの積層比を0:10, 1:9, 2:8, 3:7, 4:6, 5:5, 6:4, 7:3, 8:2, 9:1, 10:0(以下, 順に BR0, BR1, BR2, BR3, BR4, BR5, BR6, BR7, BR8, BR9, BR10) に設定した試料を, シェードガイド番号の全16色(A系色 1, 2, 3, 3.5, 4, B系色 1, 2, 3, 4, C系色 1, 2, 3, 4, D系色 2, 3, 4) についてそれぞれ作製した。

表1 使用した光重合型歯科用硬質レジンの色調構成表

色調	A1	A2	A3	A3.5	A4	B1	B2	B3	B4
オペーク	A10	A20	A30	A3.50	A40	B10	B20	B30	B40
ボディ	A1B	A2B	A3B	A3.5B	A4B	B1B	B2B	B3B	B4B
インサイザル	58		59		60	58		59	

色調	C1	C2	C3	C4	D2	D3	D4
オペーク	C10	C20	C30	C40	D20	D30	D40
ボディ	C1B	C2B	C3B	C4B	D2B	D3B	D4B
インサイザル	58	59		60	59	60	59

(松風社・ソリデックス® 仕様書より抜粋)

c. 実験1 3

合金板上に Opaque を築盛後, Body と Incisal の築盛量を0.1mm間隔で0.9~1.5mmの7段階とし, さらに両レジンの積層比を先と同様に11種類に設定した試料を, 代表としてシェードガイド番号A2のみ作製した。

2) シェードガイド

シェードガイドは視感比色法^{7,8)}による色調選択として国内はもとより世界各国の一般臨床で最も広く用いられている¹⁰⁻¹³⁾Lumin-Vacuum (VITA社)(図1)を用いた。

Lumin-Vacuum は16色から構成されており, A系色 (Reddish-Brown) 5種類, B系色 (Reddish-Yellow) 4種類, C系色 (Gray-Shades) 4種類, そしてD系色 (Reddish-Gray) 3種類の順に配列されており, 各系色中の番号は色の濃さを表しており, 番号が大きくなるにつれて彩度が上昇, 明度が低下していく⁹⁻¹²⁾。

3) 測色部位

測色部位は, 試料ではランダム抽出の5カ所とした。シェードガイドでは歯冠部を上下的に3分割した各々の近遠心的中央部(切端部, 中央部, 歯頸部)の3部位(図2)とし, 各部位それぞれ5回測色した。

なお, 試料では測色5カ所, そしてシェードガイド



図1 使用したシェードガイド

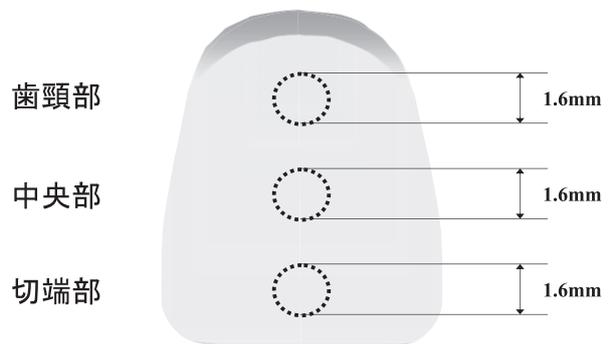


図2 使用したシェードガイドの測色部位

では各部位 5 回測色したそれぞれの平均を代表値とした。

4) 測色装置

試料およびシェードガイドは、分光測色法^{5,7-9,14-22)}である高速分光光度計 CMS-35FS (村上色彩研究所) (図 3) を用いた。

測色用ファイバースコープの先端は、投光部と受光部が一体化されたライトガイド付きセンサーが使用されている。ファイバースコープ自体は、口腔内での使用が可能なペンライトタイプで、円周照射垂直受光のフレキシブルセンサー FS-16 を用いた。照射径は試料開口部で 3.0mm、測定径は 1.6mm で微小面積の測定が可能である。光源はハロゲンランプ 50W で、分光測色時の色調評価用光源は D₆₅ である。測定時間は各 3 秒とした。なお、測色時には硫酸バリウム製標準白色板による校正を行った。

5) 解析

(1) 表色法

高速分光光度計 CMS-35FS による測色 Raw データは、パーソナルコンピューター PC-9821Xa13 (NEC 社) にデータ処理ソフトとしてインストールした色彩管理システム“QC「調色専科」HX or Windows”(日清紡社)を用いて、国際照明委員会によって1976年に制定された CIE L*a*b* 表色系⁷⁾によって表した。

L*a*b* は測色三刺激値 X, Y, Z から次式

$$L^* = 25(100Y/Y_0) - 6; 1 < Y < 100$$

$$a^* = 50Q[(X/X_0)^{1/3} - (Y/Y_0)^{1/3}]$$

$$b^* = 20Q[(Z/Z_0)^{1/3} - (Y/Y_0)^{1/3}]$$

によって算出されたものである。

明度の指数である L* は、物体表面の知覚色の明るさの程度を表すものであり、その値が 0 に近づくほど暗くなり、100 に近づくほど明るくなる。クロマチックネス指数⁷⁾である a*, b* は、それぞれ + ~ - が赤緑方向、黄青方向を表している。



図 3 使用した高速分光光度計

(2) 色差 E*ab の算出

色差は Adams-Nickerson の色差式より導き出された以下の Chromatic value 空間による色差公式^{7,8)}から求めた。

$$E^*ab = [(L^*)^2 + (a^*)^2 + (b^*)^2]^{1/2}$$

$$L^* = L_2^* - L_1^*$$

$$a^* = a_2^* - a_1^*$$

$$b^* = b_2^* - b_1^*$$

E*ab は National Bureau of Standard の 色 差 単 位 (NBS 単位) で、1NBS 単位は、最も良い観測条件において識別できる最小色差 (LPD: least perceptible difference) の約 5 倍に相当する⁷⁾といわれている。

(3) 分析方法

a. 実験 1-1

合金板上に小筆を用いて Opaque を一回築盛、重合後、その厚さをマイクロメーターによって測定するとともに測色した。この操作を 1 ~ 8 回繰り返したが、この築盛回数の増加によって Opaque 築盛量と測色値 (色調成分: L*a*b*) の変動様相から、金属色遮蔽に要する Opaque 築盛量とその規定方法を検討した。

b. 実験 1-2

Body と Incisal の積層比の違いによる色調変動をシェードガイドの番号ごとに色調成分 (L*a*b*) 別に観察後、シェードガイド色調と各試料間で求めた色差 E*ab から、最も近似した色調を示した Body, Incisal 積層比を比較、検討した。

c. 実験 1-3

Body と Incisal を合計した築盛量と積層比の違いによる色調変動を色調成分別に観察後、シェードガイド色調との間で求めた色差 E*ab から、最も近似した色調を示した Body, Incisal 積層比を合計した築盛量ごとに比較、検討した。

実験 2 . Body 築盛量の予測

1) 試料

金属色遮蔽後の Opaque 上に Body を 0 ~ 1.5mm の範囲でランダムな厚さで築盛、重合したものを 200 枚作製した。

2) 測色装置と測色方法

200 枚の各試料はランダム部位の 5 カ所をマイクロメーター Digitrix MARK II (NSK 社) によって厚みを測定するとともに、同部位を高速分光光度計 CMS-35FS (村上色彩研究所) によって測色した。

3) 解析

(1) Body 築盛量と分光反射率曲線との関係

高速分光光度計 CMS-35FS を介して得られた分光反射率曲線 (以下、スペクトルパターン) は、Body

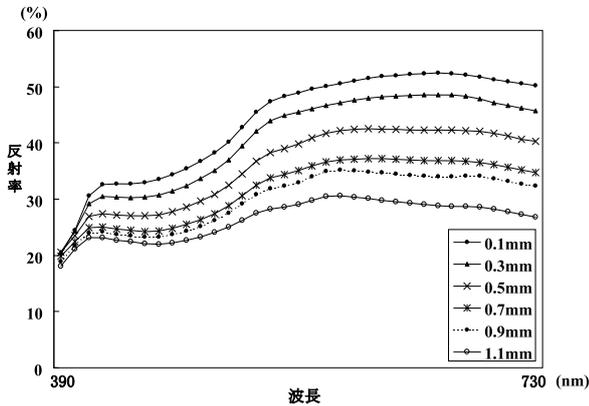


図4 Body 築盛量の違いによる分光反射率曲線

築盛量の変化に伴って変動する。

図4は、予備実験でBody 築盛量を0.1, 0.3, 0.5, 0.7, 0.9, 1.0mmとして作製した試料を測色して得られたスペクトルパターンである。スペクトルパターンの観察から、Body 築盛量が増加すると各吸収波長のスペクトル強度が上昇することが示された。このBody 築盛量とスペクトルパターンとの間に高い相関関係が認められれば、スペクトルパターンからBody 築盛量が予測できる。そこでBody 築盛量が既知の200サンプルと各サンプルのスペクトルパターンとの間での相互依存関係を検討した。

(2) スペクトルパターンの特徴抽出

スペクトルパターンは、可視光線領域(390~730nm)で、波長間隔10nmの35個の分光波長(スペクトル強度)から構成されている。しかしこれらスペクトルパターンを構成する35個のスペクトル強度間には高い相関を有するものも多く、したがってスペクトルパターン認識には35個全てのスペクトル強度を用いる必然性には乏しい。そこで個々のスペクトルパターンの形態特徴が把握し易いと考えた以下の10ポイント 410nm 420nm 460nm 530nm 540nm 580nm 590nm 620nm 650nm 690nmを抽出し、各波長におけるスペクトル強度に代表させた。

(3) 分析方法

既知のBody 厚さの試料(200サンプル)の測色パターンから得られた10次元計測値ベクトルを説明変量とし、Body 厚さを目的変量とした重回帰分析を行い、未知のBody 厚さを予測する重回帰式を求めた。

成 績

1. レジンの表色

1) 金属色遮蔽に要する Opaque 築盛量

(1) Opaque 築盛回数と築盛量の関係

5枚の合金(A~E)上に小筆で Opaque を築盛した

時の築盛回数と Opaque 築盛量との関係を図5に示した。

いずれの試料も築盛回数が増加するに従ってほぼ一定の割合で Opaque 築盛量が増加することがうかがわれる。

直線回帰した結果、回帰方程式 $Y = 0.029X + 0.412$ が得られ、相関係数は0.999を示した。これは Opaque 築盛量はその築盛回数に依存して、一定量(0.029mm)ずつ増加していくことを示したものである。

(2) Opaque 築盛量と色調変化

図6の Opaque の築盛回数の増加による色調成分 L^* a^* b^* の変化を平均値に代表させて示した。

合金板上に Opaque を1回築盛した場合は、 L^* は66.92、 a^* は-0.97、 b^* は5.31を示した。その後、築盛回数に依存して Opaque 厚さの増加に伴って L^* a^* b^* いずれもその値の増加傾向がうかがわれるが、築盛5, 6回あたりからほぼ一定の値で推移している。これは Opaque 築盛5, 6回で金属色が遮蔽できることを示したものである。ちなみに築盛4回と5回での色差 E^*ab は2.63で、築盛5回と6回では0.83、6回と7回では0.59であった。したがって、金属色を遮蔽

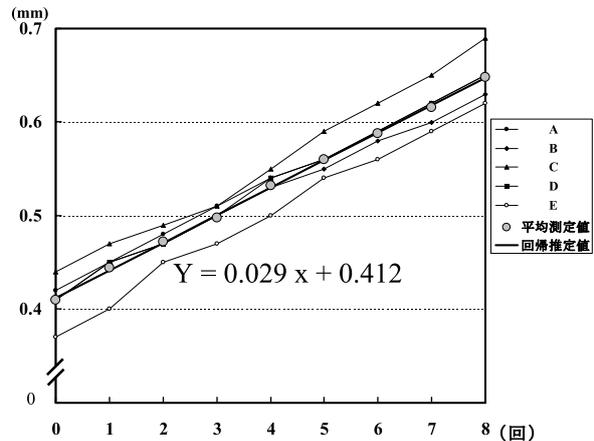


図5 Opaque 塗布回数に依存した築盛量の変化

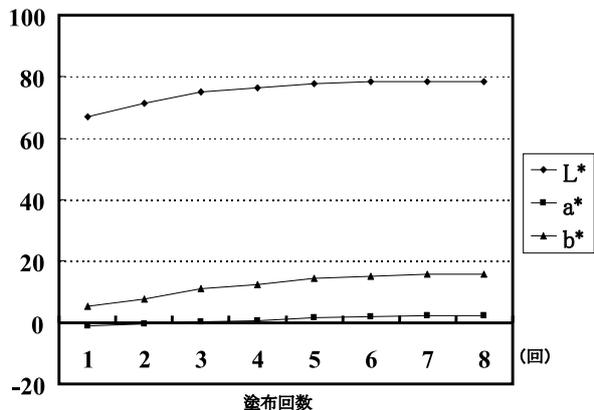


図6 Opaque 塗布回数と色調成分の変化

する Opaque 量は、約0.174mm (0.029×6回)である。

2) Body, Incisal の築盛量1.0mmの色調変化

(1) 積層比の変化と色調変動

Body と Incisal の両レジンの積層比を変化させることによる色調成分 (L*a*b*) の変動様相を図7-1, 図7-2 にシェードガイドの番号別に示した。

Body 築盛量の増加に伴った色調成分の変動は、A系色, B系色, C系色, D系色いずれも程度の差こそあるものの、ほぼ同様の傾向を示し、L*, b*値はおおむね増加傾向を、a*は僅かな低下傾向を示した。その増減傾向は直線的であることもうかがわれた。また、同系色における番号間を比較すると、積層比に関係なく、L*値はシェードガイド番号が大きくなるに従って、a*, b*値はシェードガイド番号が小さくなるに従って低い値を示すことがうかがわれた。

(2) シェードガイド色調と最適の積層比

シェードガイドの各色調に最も近似した色調を表す積層比を比較、検討した。

表2にはシェードガイドと各積層比による試料間で求めた色差 E*ab が最も近似した試料の積層比とその色差を示した。なお、表3にシェードガイド各16色5組の測色値の平均を測色部位別に示した。

A系色で最小の色差を示したのは、A2の中央部の

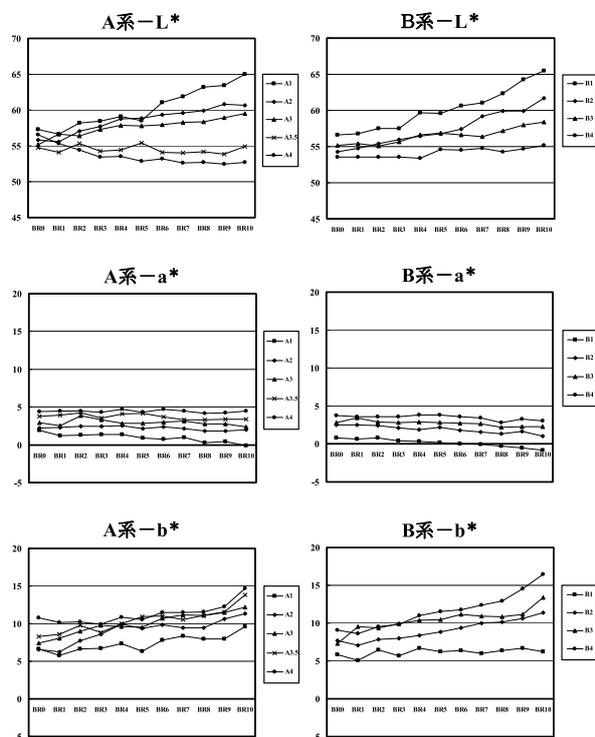


図7-1 積層比の変化に伴う色調成分の変動様相(A系, B系色)

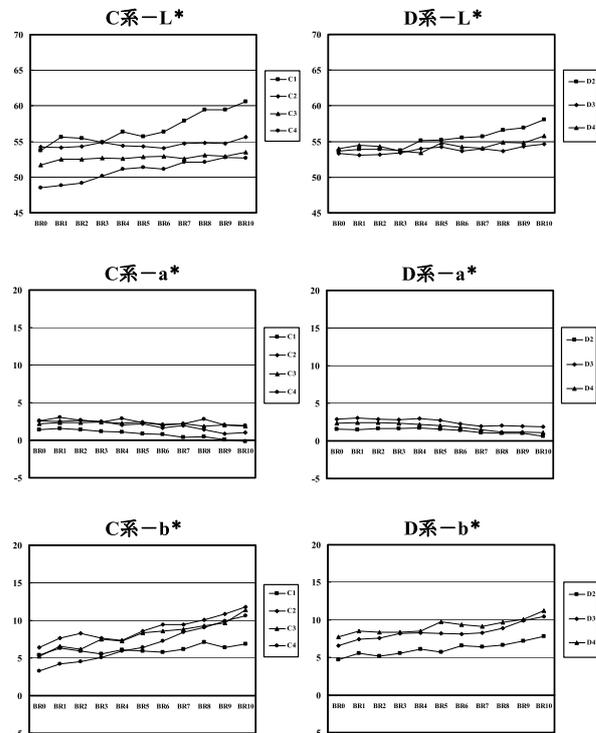


図7-2 積層比の変化に伴う色調成分の変動様相(C系, D系色)

表2 シェードガイドと各測色部位における最適積層比とその色差

A1			A2			A3			A3.5			A4		
I	M	C	I	M	C	I	M	C	I	M	C	I	M	C
BR1	BR1	BR5	BR1	BR0	BR0	BR0	BR0	BR0	BR3	BR7	BR7	BR5	BR5	BR8
4.49	2.72	2.88	3.27	2.47	2.96	4.15	3.07	2.75	4.61	3.38	2.80	4.68	4.53	3.23
B1			B2			B3			B4					
I	M	C	I	M	C	I	M	C	I	M	C			
BR1	BR1	BR1	BR1	BR3	BR1	BR0	BR2	BR7	BR1	BR5	BR8			
4.33	2.55	2.64	4.61	3.69	3.47	3.71	3.55	3.20	4.34	4.53	3.23			
C1			C2			C3			C4					
I	M	C	I	M	C	I	M	C	I	M	C			
BR0	BR0	BR3	BR4	BR4	BR4	BR0	BR4	BR7	BR6	BR6	BR10			
3.27	2.38	2.23	4.19	3.29	2.96	2.50	3.21	2.48	2.07	3.01	2.57			
D2			D3			D4								
I	M	C	I	M	C	I	M	C						
BR0	BR7	BR7	BR0	BR0	BR6	BR4	BR4	BR4						
3.38	2.98	2.37	5.03	3.44	3.08	5.38	4.64	3.94						

I:切端部 M:中央部 C:齶頸部

2.47で BR0 (Body:Incisal が0:10) であった。逆に最大は A4の歯頸部の4.68で BR5であった。

B系色で最小の色差を示したのは、B1の中央部の2.55で BR1であった。最大は B2の歯頸部の4.61で BR1であった。

C系色で最小の色差を示したのは、C4の切端部の2.07で BR6, 最大は C2の切端部の4.19で BR4であった。

D系色で最小の色差を示したのは、D2の中央部の2.98で BR7, 最大は D4の切端部が示した5.38で BR4であった。

表3 シェードガイドの各測色部位における測色値

	L*	a*	b*		L*	a*	b*		
A1	C	58.67	-1.50	4.80	A2	C	57.17	-4.00	6.88
	M	57.37	-1.18	4.71		M	55.73	-0.22	6.85
	I	54.83	-1.27	2.47		I	54.60	-0.47	4.74
A3	C	56.53	-0.19	8.36	A3.5	C	56.53	0.54	10.46
	M	54.91	-0.06	8.03		M	54.91	0.62	9.91
	I	53.61	-0.44	5.57		I	53.61	0.07	7.48
A4	C	52.35	0.96	11.60					
	M	51.63	1.00	10.94					
	I	51.16	0.35	8.72					
B1	C	56.71	-1.50	3.57	B2	C	57.34	-1.28	7.36
	M	55.17	-1.27	3.81		M	55.28	-1.23	6.64
	I	54.32	-1.32	2.11		I	54.78	-1.11	4.18
B3	C	55.13	-0.28	10.72	B4	C	54.44	-0.12	11.92
	M	53.48	-0.14	10.21		M	53.43	0.02	11.35
	I	53.49	-0.53	7.20		I	52.36	-0.53	7.89
C1	C	54.51	-0.98	5.23	C2	C	52.92	-0.55	7.38
	M	53.91	-0.92	5.11		M	52.25	-0.48	7.27
	I	53.33	-1.02	3.26		I	51.76	-0.64	5.46
C3	C	51.79	-0.05	8.09	C4	C	50.43	0.88	10.13
	M	50.29	0.03	7.66		M	49.45	0.88	9.52
	I	50.97	-0.17	6.04		I	50.11	0.49	8.22
D2	C	55.52	-0.78	4.93	D3	C	51.89	-0.02	7.06
	M	55.31	-1.02	4.31		M	51.65	-0.11	6.01
	I	53.26	-0.90	2.42		I	50.72	-0.30	3.64
D4	C	50.88	-0.81	8.14					
	M	49.82	-0.67	7.91					
	I	49.79	-0.76	5.87					

測色部位別に比較すると、最小の色差を示したのは切端部ではC4、中央部ではA1、そして歯頸部ではD2であった。逆に最大の色差はいずれもD4であった。

計測部位間で比較すると、最小値はおおむね歯頸部、中央部、そして最大値は切端部であった。

3) Body, Incisal の築盛量と積層比の変化

(1) 色調の変動様相

図8に、シェードガイドA2に対するBody, Incisalの築盛量および積層比を変化させることによる色調変動を色調成分別に示した。

L*は、いずれの築盛量でもBodyの増加に伴ってL*値が上昇していく傾向がうかがわれる。築盛量間での比較では、いずれの積層比でもおおむね0.9mmが最大値を示し、以下1.3mmまでは築盛量の増加に伴ってL*値が低くなる傾向がうかがわれたが、1.4mmと1.5mmでは1.1mmと1.2mm間に位置した。

a*は、築盛量間で大きな差異は認められず、Bodyの増加に伴ってa*値が僅かに減少する傾向を示した。

b*は、L*値の変動傾向と類似し、いずれの築盛量でもBodyの増加に伴ってb*値が上昇した。そして築盛量0.9mmと1.5mmを除けばいずれの積層比でも、おおむね築盛量が増加するに従ってb*値が減少する傾向がうかがわれた。

(2) 最適積層比

表4にシェードガイドA2と最小の色差を示した積

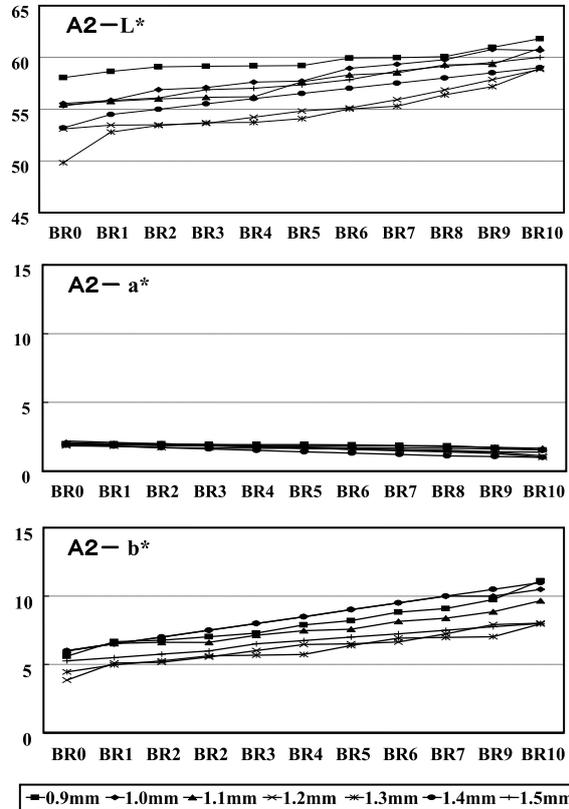


図8 合計築盛量、積層比の変化に伴う色調成分の変動様相 (A2)

表4 合計築盛量と各測色部位における最適積層比と色差

	築盛量 (mm)	積層比						
		0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5
切端部	積層比	BR0	BR1	BR0	BR1	BR1	BR7	BR2
	色差	4.09	3.27	2.72	2.47	1.57	1.47	2.98
中央部	積層比	BR0	BR0	BR1	BR7	BR9	BR9	BR4
	色差	3.17	3.17	2.08	1.90	2.05	2.05	2.32
歯頸部	積層比	BR0	BR0	BR6	BR8	BR8	BR9	BR4
	色差	2.48	2.96	2.42	2.02	1.42	1.60	2.33

層比とその色差 E*ab を築盛量別、計測部位別に示した。

色差が最小であったのは、切端部では築盛量1.4mmで積層比BR7の E*ab 1.47、中央部では築盛量1.3mmで積層比BR7 (E*ab 1.38)、そして歯頸部では築盛量1.3mmで積層比BR8 (E*ab 1.42)であった。

総論的にみても、3計測部位いずれも築盛量1.3mm、1.4mmが小さな色差を示した。また、築盛量1.1mmと1.2mmは築盛量1.3mm、1.4mmよりはやや大きな色差であるが、相対的に小さな色差を示す傾向が伺われた。一方、築盛量0.9mm、1.0mm、1.4mm、1.5mmは相対的に大きな色差を示した。

2. Body 築盛量の予測

1) 重回帰分析

各試料の Body 築盛量を目的変数とし、それに対応した10次元計測値ベクトル各10個のスペクトル強度を説明変数とした重回帰分析を行った。その結果、 $Y = -0.234X_1(410\text{nm}) + 0.678X_2(420\text{nm}) - 0.462X_3(460\text{nm}) - 0.214X_4(530\text{nm}) + 0.275X_5(540\text{nm}) + 0.106X_6(580\text{nm}) - 0.165X_7(590\text{nm}) - 0.693X_8(620\text{nm}) - 0.260X_9(650\text{nm}) + 0.093X_{10}(690\text{nm}) + 1.25$ (定数項)を得た。重相関係数は0.974であった。

2) Body 築盛量の予測係数

得られた重回帰式の係数に各サンプル10個のスペクトル強度を代入して回帰推定値を求めた。図9はサンプルごとの回帰推定値をプロットして作製したものである。

残差(回帰推定値と実測値との差分)は Body 築盛量が0.3~0.5mm が比較的大きく、実測値0.43mm のとき、最大の0.20mm であったが、全体では比較的良好な回帰性を有することが認められた。

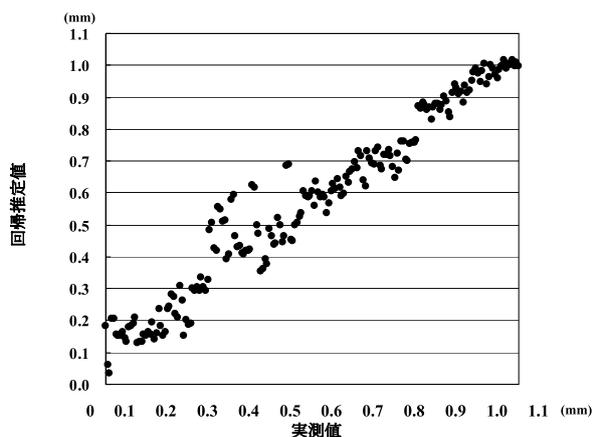


図9 Body 築盛量の回帰推定値の分布図

考 察

1. 実験方法について

1) RSO の材料特性について

前装鑄造冠前装部に用いられる歯科材料のうち、その理工学的特性や色調再現性において硬質レジンと陶材よりも劣るとされている。しかし一方では、硬質レジンが持つ操作性や安価であるといった理由から、臨床での応用頻度は高い^{1, 2, 23-28)}。本実験で用いた RSO は、光の反射率、透過率、吸収係数そして散乱係数が陶材(ノリタケスーパーポーセレン AAA)に近い値²⁶⁾で、金属との接着強度、レジン自体の理工学的性質²⁵⁾(熱膨張係数、圧縮強さ、曲げ強さ、曲げ弾性率、間接引張り強さ、ヌープ硬さ、マイクロピッカース硬さ)

なども比較的優れている。また、光重合タイプは長期にわたって色調が安定し、耐変色性も優れている。

2) シェードガイドについて

歯冠色を決定する方法としては、種々の問題点がある^{1, 2, 9, 12, 16-22, 29, 30)}ものの、一般臨床では、天然歯を既製のシェードガイドと目視による比較を行って、天然歯に最も近い色調のシェードガイド番号を選択するという視感比色法^{7, 8)}がその簡便性から多く用いられている。一方、シェードガイドには多数の種類があり^{9, 10, 29, 30)}、それぞれ色調の分布範囲、分布状態、シェードガイドの配列方法、そして層構造などが相互に微妙に異なっている。

土屋は⁹⁾は既存のシェードガイド(Dentply社: Trubyte New Hue, Vita社: Lumin-Vacuum, 松風社: リアル色調, GC社: Vacuum Fired Porcelain Teeth & Vitro Teeth)を比較した結果、Lumin-Vacuumの歯冠形態や色空間が天然歯と比較的によく似ていること、また、陶材層構成、色調層構成が良く、色調の分布範囲も広いことを述べている。また、中川ら²⁹⁾や丸山ら³⁰⁾は、既存各社のシェードガイド(Vita社: Lumin-Vacuum, Ceramco社: Bioform, Thermalite社: New Hue, Micro Bond社: Bioblend, 松風社: リアル色調)の層構造を調べた結果、Lumin-Vacuumの層構造は、Enamel層、Dentin層、Opaque層の基本的3層と切端部に透明層、歯頸部にcolor層が存在することから最も理想に近いシェードガイドであるとした。

こうした特性を持つことがLumin-Vacuumが現在最も普及している^{9, 13)}シェードガイドである理由と考えられる。したがって本論ではシェードガイドとしてLumin-Vacuumを用いた。

3) 測色装置について

物体色を物理的に測定する方法として三刺激値直読方式^{7, 8)}と分光測色方式¹⁴⁻²²⁾があるが、前者に比較して後者は色調の表示に客観性があり、信頼性が高く、測色精度に優れている^{14-22, 31)}とされている。本研究で用いた測色装置は分光測色方式に属したものである。また本装置の測色用ファイバースコープ(図10)は、投光部と受光部が一体化されたもので、その先端を被測色体に直接接触させて測色する方式を採用している。

一般に接触式測色は⁷⁾照明などの外光の影響を受けず、環境条件による誤差が少ないという利点を持つが、被測色体表面の凹凸はエッジロスエラー^{20, 21)}や、正反射^{15, 32)}によって大きな測色誤差を生じさせること、投光/受光条件が目視評価のそれと異なるために、測色値と目視評価との相関性がよくない^{15, 20, 21)}という欠点を併せ持つ。したがって、本プローブは接触式の利点を持ち、その欠点をプローブ先端にライトガイドを装着

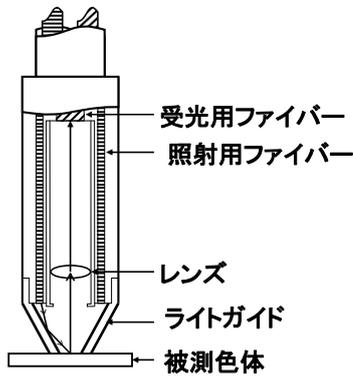


図10 測色用ファイバープローブの断面模式図

させたことで¹⁵⁾解決させたものである。

測色用光源に用いた相関色温度6,504Kの D_{65} は、臨床におけるシェードセレクションを行う差異の環境条件³³⁾を考慮して、昼光で照明される物体色を表示する場合に用いられるものである。

2. 実験結果について

1) 金属色遮蔽に要する Opaque 築盛量について

Opaqueの目的^{34,35)}が金属色の遮蔽とその上に築盛するBody, Incisalと多層構造による表色の下地色でもある以上、フレームの金属色はOpaqueによって確実に遮蔽されなければならない。Opaqueが半透明であることから、金属色を遮蔽するにはその築盛量を大きくすればよい。しかし一方では、歯質保護の観点から、より限定された空間内での色調表現が必要とされる。よってOpaque築盛量は金属色の遮蔽に必要な最小厚さとするのが求められる。

本実験では、約0.18mmという値がその条件を満たすOpaque厚さであることを確認した。金属色遮蔽に要するOpaque築盛量としては、0.18~0.3mmという値³⁴⁻³⁸⁾が報告されている。このOpaque築盛量の差は、レジンの種類による顔料、色調遮断材である金属塩³⁸⁾、酸化チタン^{34,35)}、色調調整材³⁸⁾、フィラー含有量などの量的差異に依存したものであると考えられる。おおむね明るい色調の場合は厚さが求められるが、暗い色調の場合は薄くしても金属色が遮蔽できることが、今野³⁴⁾、新谷ら³⁵⁾、稲葉³⁷⁾の報告から推察できる。

本実験で得られた約0.18mmのOpaque築盛量は、明度が高く、彩度が低い¹²⁾Opaque色A2を用いた結果である。

したがって明度が低く、彩度が高い¹²⁾B4, C4, D4でも少ないOpaque築盛量で金属色の遮蔽が可能であると考えられる。

2) Body, Incisalの積層比と色調成分の変化

光を透過する性質を持つ半透明の物体である

Opaque, Body, Incisalの多層構造によって構築されている硬質レジンの測色値には、表面の反射光だけでなく、内部における散乱、吸収、散逸および背景色であるOpaqueからの反射光が反映されている³⁹⁻⁴²⁾。したがってBody, Incisalの築盛量が異なっても、両レジンの積層比の変化は、色調の変動要因であることが理解できたが、色調成分のうち特に L^*b^* 値で比較的大きな変動が認められたのは、顔料の多いことを要因としてBodyがIncisalよりも光の透過性が低いことを根拠として、Body築盛量の増加が不透明度を増し、彩度を濃くした結果と考えるのが妥当であろう。

一方、 a^* 値はBody築盛量が増加するにしたがって僅かな減少傾向を示すものの、その変動幅は非常に小さく、いずれの積層比でも小さな値であったことは、歯冠色レジンには a^* 成分が多く含まれていない^{2,39)}ことがその要因と考えられる。

3) シェードガイド色調と適合する最適積層比

試料とシェードガイドとの色差 E^*ab は、Body, Incisalの築盛量に関係なく、おおむね切端部(E^*ab 1.47~4.09)が中央部(E^*ab 1.38~3.17)、歯頸部(E^*ab 1.42~2.96)より大きな値であったが、これはシェードガイドの切端部にはOpaque層が存在せず、中央部、歯頸部にはOpaque層が存在する^{9,10,23)}という、両者の層構造の異なりがその要因と考えた。

二つの物体色の三刺激値間で差異が有る場合、その程度は色差で表現できる。本論ではCIEが1976年に推奨した $L^*a^*b^*$ 表色系の E^*ab を色差として求めたが、色差の許容度の判定基準については種々報告されている。平井ら⁴³⁾によれば、工業製品で色差の許容度が厳しい場合は、 $E^*ab=0.3$ を用い、また、訓練を受けた専門家においては $E^*ab=1.2$ はかなり大きくほとんどが許容できないという。しかし一般的にはもう少し大きい⁴⁴⁾ようでも $E^*ab=2.5$ と報告されている。

歯科領域ではシェードガイドとの色差の許容度として、植田⁴⁵⁾は3.3を、堀田⁴⁶⁾は3.9を、Stearns⁴⁷⁾、中川ら⁴⁸⁾は色差4.0をそれぞれ判定基準として不自然でないとしている。これらは先に述べた工業界での値⁴³⁾よりは相当大きいのが、口腔内が湿潤状態で歯の形態や大きさが不定形であること⁴⁸⁾、背景色が一定せずしかも暗いこと^{20,21)}などを考慮すれば妥当な値と考える。

本実験では、合計築盛量が0.9mmの切端部を除けば、いずれも E^*ab 3.3以下であったことから、その有用性が示唆されたものと考えられる。

築盛量別にみたBody, Incisalの最適積層比の比較からは、切端部ではBody築盛量を少なく、中央部そして歯頸部へ移行するにしたがってBody積層量を多くすることが必要であることがうかがわれた。これは

RSO 自体が天然歯における象牙質，エナメル質の厚さの変化に対応したもの²⁶⁾と考えられる。

また，築盛量，すなわち唇舌的厚径が少ない場合と多い場合とでは，前者は Body 比が少なく，後者は Body 比が大きくなる傾向がうかがわれた。これは天然歯におけるデンティンとエナメルの透明感の差，すなわち前者は物体の透明性が低く，後者は透明性が高い⁴²⁾という報告から考えれば，本実験では Haze 値の測定は行っていないが，視覚的に Incisal は透明感が高く，Body は透明感が低いことが認められたことから，透明感が高いが，明度が低い切端部では，その唇舌的光景が薄い場合は，Incisal の築盛量を増加させ，厚径が厚い場合は Body の築盛量を増加させることによって，また，明度が高く，透明感の低い中央部，歯頸部では Body を増加させることによる色調表現が必要であることを示したものと考えた。

なお，シェードガイド色調ごとで得られた最適積層比によって完成させたレジン色調には高い再現性を有することが重要な条件である。

図11に Body と Incisal の築盛量を 1.0mm とし，積層比を Body 7 に対し Incisal 3 とした試料 5 枚 (A~E) のスペクトルパターンを示したが，5 本のスペクトルパターンの形態はほぼ一致し，高い再現性を認めた。

4) Body レジン築盛量の予測について

実験 1, 2 によって目的色であるシェードガイドと最も適合する色調を示す Body, Incisal の積層比が明らかとなったが，実際の技工操作では Opaque 上の Body 築盛量が明確とされなければならない。それを既知の Body 築盛量のスペクトルパターンから得られた 10 次元計測値ベクトルを説明変量とし，Body 築盛量を目的変量とした重回帰分析によって導出した重回帰式を求めたものである。

200 枚の試料の各スペクトル強度を代入して求めた回帰推定値分布表 (図 9) からは，Body 築盛量 0.3~

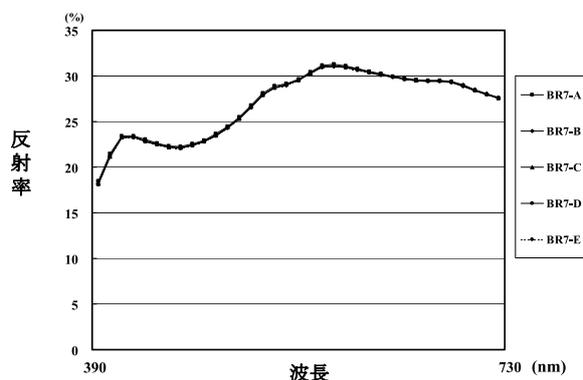


図11 築盛量1.0 mm (積層比: Body 7, Incisal 3) の場合のスペクトルパターンの再現性

0.5mm 付近で回帰推定値と実測値との誤差 (残差) がやや大きいことが認められたが，これは Body 築盛量によって背景色である Opaque 色調の影響に差異が認められることを示したものと推察する。

新谷ら³⁶⁾は，Body 厚さを変化させたことによる背景色との色差を検討し，厚さ 0.6mm まではデンティン色調に背景色の影響が現れると報告し，上斗米⁴⁹⁾は，製品および表色系は異なるものの，Body 厚さが 0.3~0.8mm の間で明度 (Yc)，色度 (x, y) の変化が著明であったこと，また，中浦ら⁵⁰⁾はコンポジットレジンでは，0.2~0.4mm を境として背景色の影響に変化がみられたことを報告した。

これらの報告から考えるに，Body 厚さの増加による色調変化は 0.3~0.5mm 付近で変曲点があることを示唆したものと考えた。

本研究で得られたシェードガイド A2 に最近似の色調を表現するための Body, Incisal の最適積層比 (表 4) から換算してみると，Body 築盛量が 0.3~0.5mm であったのは，築盛量 1.5mm における切端部の BR2 (Body 築盛量が 0.3mm) のみが該当した。

これは目的色がシェードガイド A2 である場合には，築盛量 0.9mm と 1.5mm の切端部を除けば，いずれも“不自然でない” E^*ab 3.3 以下で硬質レジン前装鑄造冠前装部を表色することが可能であることを示したものと考える。

以上から，他のシェードガイド番号についても本研究で行った方法でそれぞれ Body, Incisal の最適積層比を明確にすることによって，硬質レジン前装鑄造冠前装部を目的色であるシェードガイドに，より適合した色調で再現できることを示唆したものと考える。

結 論

硬質レジン前装鑄造冠をシェードガイド色調に良好に適合させるための方策を検討した結果，以下の結論を得た。

1. 金属色遮蔽に要する Opaque 築盛量は約 0.18 mm であった。
2. Body, Incisal の築盛量が同一であれば，その表面色調は両レジンの積層比に依存して変動した。
3. Body, Incisal の築盛量が異なる場合は，築盛量ごとで最近似の色調を有する積層比が異なった。
4. Opaque 上に築盛した Body 築盛量を高い精度で予測する重回帰式が得られた。

以上から，シェードガイドの色調再現のための Body と Incisal レジンの最適積層比が，硬質レジン前装鑄造冠前装部の唇舌径ごとで明確にできることが示唆された。

文 献

- 1) 下江宰司, 永野清司, 田上直美. 硬質レジン前装鑄造冠の色調適合性に関する調査. *QDT*. 1995; 20: 85 94.
- 2) 司馬 超, 和田康彦, 山仲 徹, 倉知正和. 前装鑄造冠の色調適合性について. 補綴誌. 1997; 41・第97回特別号: 206.
- 3) Sorensen J and Torres T. Improved color matching of metal ceramic restorations. Part II. procedures for visual communication. *J Prosthet Dent*. 1987; 58: 669-677.
- 4) 河原木千佳子, 石川成美, 三善ふみ子. 陶材焼付鑄造冠の色調に関する患者及び歯科医師の評価. 岩手医大歯誌. 1990; 15: 9 17.
- 5) 石橋寛二, 白石 明, 沢藤 太. 各種測色装置の特徴と歯科領域への適応性について. *QE*. 1995; 14: 969 974.
- 6) Miller A, Long J and Cole J. Shade selection and laboratory communications. *QDT*. 1995; 20: 1294-1298.
- 7) 日本色彩学会編. 新編 色彩科学ハンドブック. 1版. 東京: 東京大学出版会; 1980: 83 147.
- 8) 河上元郎, 児玉 晃, 富家 直. 色彩の事典. 4版. 東京: 朝倉書店; 1991: 15 48.
- 9) 土屋 潔. 前歯の色彩学的研究. 歯科学報. 1973; 73: 87 120.
- 10) 中川善晴, 丸山剛郎, 下総高次. 陶材補綴におけるシェードガイドセレクション(色調選択)に関する研究 第1報 シェードガイドの構成分析について. 補綴誌. 1997; 41: 1008 1017.
- 11) 浜松毅昌, 新谷明喜, 横塚繁雄. 多層築盛による市販光重合型硬質レジンの色調再現性に関する研究. 補綴誌. 1997; 41: 1008 1017.
- 12) 山本 眞. 機械測色と新ポーセレンによる新しいシェードテーキングシステムとC.C.S.システムの提案 ピンテージハローC.C.S.システムの開発. *QDT*. 1997; 22: 33 55.
- 13) 司馬 超, 倉知正和, 利根真貴, 岡 俊男. 光重合型硬質レジンの表色 積層比の違いによる表色について. 歯科の色彩. 1998; 5: 19 25.
- 14) 一和多寿樹. 歯に関する色彩学的研究 分光放射測定法による検討. 補綴誌. 1986; 30: 652 664.
- 15) 細矢由美子, 古豊史子, 後藤譲治. 乳歯歯冠色に関する研究(Ⅲ). 小児歯誌. 1988; 26: 80 88.
- 16) 細矢由美子, 後藤譲治. コンポジットレジンの色彩に関する研究 第1報 計測機種及び背景色による影響. 小児歯誌. 1989; 27: 364 376.
- 17) 細矢由美子, 後藤譲治. 光重合型コンポジットレジンの経時的変色に関する研究(第2報) 計測機種別測色値の比較. 小児歯誌. 1991; 29: 69 290.
- 18) 片山伊九右衛門. 歯の色調について. 歯科審美. 1993; 6: 65 71.
- 19) 新谷明喜, 千葉栄一, 五味治徳. 天然歯色調の色彩学的特徴 客観的認識法における現状の問題点と正しい色調把握のための実験. *QDT*. 1994; 19: 935 959.
- 20) 石橋寛二, 白石 明. 各種測色装置の特徴と歯科領域への適応性について. *QE*. 1995; 14: 969 973.
- 21) 石橋寛二, 角江信彦. コンピューターカラーマッチングの現状と将来展望. 歯科の色彩. 1997; 4: 4 10.
- 22) 細矢由美子, 保坂 誠, 間 滋夫, 松井恭平. Home bleaching による歯牙漂白効果に関する色彩学的研究 分光光度計によるカラー写真の測色(第1報). 歯科学報. 1997; 97: 83 92.
- 23) 上斗米 博. 前装用硬質レジンの色調に関する研究. 補綴誌. 1989; 33: 193 207.
- 24) 横塚繁雄, 新谷明喜, 五味治徳. 新しく開発されたハイブリッド硬質レジンによるメタルバックグなしの前装冠. *QDT*. 1989; 14: 771 780.
- 25) 吉田圭一, 村松英雄, 田中卓男, 熱田 充. 光重合型オペークレジンの物理的性質に関する研究(第1報) モノマー組成の検討について. 歯材器. 1990; 9: 583 590.
- 26) 坂口賢司, 甘利光治, 永澤 栄. 硬質レジンの色調における分光特性について. 歯科の色彩. 1995; 2: 33 39.
- 27) 豊田丈爾, 今野龍彦, 石橋 実. 各種硬質レジンの基礎的研究. 東北大歯誌. 1997; 122: 62 69.
- 28) 五味治徳, 新谷明喜. 最近の硬質レジン. *DE*. 1997; 122: 29 34.
- 29) 中川善晴, 丸山剛郎, 下総高次. シェードガイドの色の分析. 歯界展望. 1976; 48: 1 9.
- 30) 丸山剛郎, 中川善晴. 人工歯の色調の表現構成. 歯科ジャーナル. 1981; 14: 331 318.
- 31) 石橋寛二, 石川成美, 白石 明. 非接触型微小面積測色用分光光度計の開発. 補綴誌. 1993; 37: 619 626.
- 32) 永澤 栄. 色彩計測は本当に難しいのか. 歯科の色彩. 1998; 5: 68 73.
- 33) 佐藤泰司. 色彩評価用光源の条件. 歯科の色彩. 1995; 2: 11 14.
- 34) 今野俊彦. オペークレジンに関する測色学的研究 特に裏層金属遮蔽効果について. 補綴誌. 1982; 26: 669 686.
- 35) 新谷明喜, 千葉栄一, 五味治徳. 各種光重合型硬質レジン・システムの特徴 その1 市販光重合型硬質レジンの評価. *QDT*. 1993; 18: 853 878.
- 36) 寺田善晴, 姫野孝枝, 平安亮造. 線爆溶射法によるレジン前装冠の色調に関する研究. 補綴誌. 1981; 25: 576 581.
- 37) 古屋尚子, 新谷明喜, 横塚繁雄. 光重合型コンポジットレジンの色調に関する基礎的研究. 歯学. 1992; 80: 827 839.
- 38) 稲葉尚治. 光重合型オペーク材に関する研究 特に色調遮断性と重合性について. 日歯保存誌. 1988; 31: 309 323.

- 39) 羽賀道夫．歯牙の色について（特にその色彩発現に関する基礎的研究）．補綴誌．1958；2：235-240．
- 40) 羽賀道夫，浮谷 実，橋本 脩．歯牙の色について（特に象牙質の色彩学的研究）．補綴誌．1958；2：137-140．
- 41) 池田秀一．築盛量による明度変化を考慮したレジン築盛法 シェードガイドに合わせる方法（1）接着・適合・審美にポイントをおいた歯科用レジンと歯科技工．月刊歯科技工別刷．1993：62-69．
- 42) 笠原佳子，堀田正人，山本宏治，青野正男．光重合型コンポジットレジンの色調 エナメル色とデンティン色を備えたXR-V Herculite について．歯科の色彩．1995；2：19-23．
- 43) 平井敏夫，小松原 仁，八木俊夫．調色工業における色の許容差．昭和53年照明学会全国大会論文集．1986；23：25-32．
- 44) 納谷喜信 産業色彩学．1版 東京：朝倉書店；1986：97-106．
- 45) 植田耕一郎．歯の分光放射測定法による色彩学的研究 上下顎前歯部について．補綴誌．1987；31：352-362．
- 46) 堀田正人，笠原佳子，山本宏治，青野正男，関根一郎．コンピュータ支援によるシェードテーキングシステムの試作と臨床応用．日歯保存誌．1997；40：1347-1353．
- 47) Stearns E. What's new in spectrophotometry: Progress of spectrophotometry in the textile industry to 1951. *Am Dyestuff Report*. 1951; 40: 563-574.
- 48) 中川喜晴．歯冠色分析に関する研究．補綴誌．1975；19：109-130．
- 49) 上斗米 博．前装用硬質レジンの色調に関する研究．補綴誌．1989；33：193-207．
- 50) 中浦清人，片山 剛，畑中知子．コンポジットレジンの厚さによる色調変化について（第2報）．日歯保存誌．1987；30：1600-1609．