

フィラー含有率の違いが試作フロアブルレジンの
構造発色および色調適合性に及ぼす影響

日本大学大学院歯学研究科歯学専攻

新井 友依子

(指導：宮崎 真至 教授，黒川 弘康 准教授)

概 要

構造色を有するレジンペーストに含有されるフィラーを用いた発色がフロアブルレジンに応用できれば、フロー性による優れた臨床操作性の向上とともに優れた色調適合性を有する修復処置が可能となるものと考えられる。一方、ペーストの流れを重要視するフロアブルレジンにおいては、適切な操作性を得るためにレジンペーストへのフィラー含有率の調整が必要となる。しかし、フィラー含有率の変化が構造発色および色調適合性に及ぼす影響については不明な点が多い。

そこで本論文の著者は、構造発色可能な粒径を有するフィラーを用いて、フィラー含有率が試作フロアブルレジンの分光反射率および色調に及ぼす影響について、標準黒色板および標準白色板を背景として測定することによって検討した。さらに、明度の異なる人工歯に異なる深さの窩洞を形成し、この窩洞に試作フロアブルレジンを填塞した際の窩洞周囲との色調適合性を評価した。

粒径 260 nm の球状フィラーを 79 wt%含有することで構造発色する、ユニバーサルタイプのコンポジットレジンであるオムニクロマ (OC, トクヤマデンタル) とともに、このフィラーの含有率をそれぞれ 70 wt% (E70) , 60 wt% (E60) , 50 wt% (E50) , 40 wt% (E40) および 30 wt% (E30) としたフロアブルレジンを試作して実験に供試した。対照として、色素を含有したフロアブルレジンであるグレースフィルローフロー (GL, ジーシー) を用いた。

分光反射率の測定では、各レジンペーストを内径 8.0 mm, 厚さ 1.5 mm あるいは 3.0 mm のテフロン型に填塞した後、光照射した。これらの試片を、37°C精製水中に 24 時間保管し

た後、高速分光光度計（CMS-35F S/C, 村上色彩）を用いて、異なる標準板上で分光反射率を測定するとともに CIE L*a*b*を用いて表示した。

色調適合性の評価のために、人工歯（ゼンオパール、シェード A2 および A4, ジーシー）の唇側面中央付近に、直径 4.0 mm, 深さ 1.5 mm あるいは 3.0 mm の規格円形窩洞を形成した。窩洞の内面および窩縁部に、ボンドマーライトレス（トクヤマデンタル）を塗布してエアブローした後に、OC, E70, E60 および GL をそれぞれ充填して光照射した。これらの試片を、37°C精製水中に 24 時間保管した後に研磨し、サーマルサイクルを 10,000 回負荷した。試片のレジン充填部および窩洞周囲における人工歯の切縁側および歯頸側を色差計（クリスタルアイ CE100-DC, オリンパス）を用いて測色し、得られた測色値をもとに各測色部位間における色差である ΔE^*ab および ΔE_{00} を算出した。なお、これらの測定は研磨直後およびサーマルサイクル 10,000 回負荷後とした。

分光反射率の結果から、標準板および試片厚さの違いにかかわらず、試作フロアブルレジンの分光反射率は OC と比較して低下した。分光反射率曲線の全体の高さは明度の、高低差は彩度の指標となることから、試作フロアブルレジンでは OC と比較して明度とともに彩度が低下したことが示された。各レジンペーストの分光反射率曲線のピーク波長を比較すると、OC および試作フロアブルレジンでは、波長 430~700 nm の光を均等に反射していた。試作フロアブルレジンでは、OC と同様に青~赤の色相であったことから、フィラー含有率の低下によって明度および彩度が影響を受けるものの構造発色することが示された。一方、GL の分光反射率曲線は、標準黒色板上で 550 nm 付近をピークとした山型を示したのに対して、標準白色板上では 400 nm 付近から徐々に上昇し 600 nm 以降でプラトーに達す

る傾向を示した。すなわち、色素を含有する GL では、標準白色板上で測色した条件で背景からの光の反射率が増加することで、色素による発色が顕著になったものと考えられた。

L*値の結果からは、OC と試作フロアブルレジンを比較すると、いずれの試片厚さにおいても、標準黒色板上での L*値はフィラー含有率の低下にともなって低下した。コンポジットレジンは半透明性という光学的性質を有しているところから、背景の明度の影響を受けやすい。したがって、試作フロアブルレジンは、フィラー含有率の低下にともなってレジンペーストの重合後の光線透過性が変化することで標準黒色板上での L*値が影響を受けたものと考えられた。

次に、a*値および b*値を比較すると、a*値は OC および試作フロアブルレジンで標準白色板と比較して標準黒色板上で測色した条件で有意に高い値を示したのに対して、GL では標準白色板上で測色した条件で有意に高い値を示した。一方、b*値は、いずれのレジンペーストにおいても標準黒色板と比較して標準白色板上で測色した条件で有意に高い値を示した。このように、OC および試作フロアブルレジンと GL で a*値が異なる傾向を示した理由としては、色素を含有する GL は減法混色による発色であるのに対して、構造色を有する OC および試作フロアブルレジンは加法混色による発色であるためと考えられた。

人工歯の色調ならびに窩洞深さの違いが各レジンペーストの色調適合性に及ぼす影響では、E70 および E60 の ΔE^*_{ab} および ΔE_{00} は、いずれの条件においても OC と比較して大きな値を示したが、その程度は E70 で少なかった。したがって、試作フロアブルレジンでは、フィラー含有率の低下にともなって重合後の透明性が変化し、フィラー粒子間距離の変化によって構造発色が影響を受けることで、色調適合性が低下したものと考えられた。

サーマルサイクル負荷が各レジネペーストの色調適合性に及ぼす影響では、OC、E70 およびGLの ΔE^*ab および ΔE_{00} はサーマルサイクルの負荷によって大きくなる傾向を示したのに対して、E60の ΔE^*ab 値および ΔE_{00} はサーマルサイクルの負荷によって小さくなる傾向を示した。E60は、OCおよびE70と比較してレジネペースト内でのマトリックスレジネの割合が多いことから、吸水によるマトリックスレジネとフィラー間の屈折率の変化が生じた可能性がある。

本実験の結果から、粒径260 nmの球状フィラーを含有した試作フロアブルレジネは、構造色を発現することが示された。一方、試作フロアブルレジネの分光反射率、色調および色調適合性は、フィラー含有率の低下にともなって背景となる標準板ならびに人工歯の明度および窩洞深さの影響を受けやすくなることから、フロアブルレジネが構造色を効果的に発現するためには、70 wt%以上のフィラー含有率が必要であることが示された。

なお、本論文は原著論文 Arai Y, Kurokawa H, Takamizawa T, Tsujimoto A, Saegusa M, Yokoyama M, Miyazaki M. Evaluation of structural coloration of experimental flowable resin composites. *J Esthet Restor Dent* 2021; 33: 284-293.を基幹論文とし、これに新たなデータを加えることによって総括したものである。

緒 言

コンポジットレジンを用いたレイヤリングテクニックは、天然歯が有している審美性を再現するために有効な術式とされている¹⁾。この術式に対応するために、各製造者は透明性ととも彩度、色相および明度が異なるペーストで構成されたコンポジットレジン修復システムを開発している。しかし、数種類のレジンペーストを組み合わせることで色調適合性を得るためには、使用するレジンペーストの光学的性質を十分に把握するとともに、ある程度の臨床経験が必要とされている^{2,3)}。そのため、臨床的観点からは、可及的に簡便な操作で色調適合性が得られるコンポジットレジンが望まれるところである。

そこで、構造色を有するレジンペーストに含有されるフィラーを用いた発色⁴⁾がフロアブルレジンに応用できれば、フロー性による臨床操作性の向上とともに優れた色調適合性を有する修復処置が可能となるものと考えられる。一方、ペーストの流れを重要視するフロアブルレジンにおいては、適切な操作性を得るためにレジンペーストへのフィラー含有率の調整が重要となる^{5,6)}。しかし、フィラー含有率の変化が構造発色および色調適合性に及ぼす影響については不明な点が多いのが現状である。

そこで本論文の著者は、構造発色可能な粒径を有するフィラーを用いて、フィラー含有率が試作フロアブルレジン分光反射率および色調に及ぼす影響について、標準黒色板および標準白色板を背景として測定することによって検討した。さらに、明度の異なる人工歯に異なる深さの窩洞を形成し、この窩洞に試作フロアブルレジンを填塞した際の窩洞周囲との色調適合性を評価した。

材料および方法

1. 供試材料

粒径 260 nm の球状フィラーを 79 wt%含有することで構造発色する、ユニバーサルタイプのコンポジットレジジンであるオムニクロマ (OC, トクヤマデンタル) とともに⁷⁾, このフィラーの含有率をそれぞれ 70 wt% (E70) , 60 wt% (E60) , 50 wt% (E50) , 40 wt% (E40) および 30 wt% (E30) としたフロアブルレジンを試作して実験に供試した。対照として, 色素を含有したフロアブルレジジンであるグレースフィルローフロー (GL, ジーシー) を用いた (Table 1)。

2. 測色および分光反射率の測定

各レジジンペーストを内径 8.0 mm, 厚さが 1.5 mm あるいは 3.0 mm のテフロン型に充填し, 透明マトリックスとスライドガラスを用いて加圧成形して 20 秒間光照射した。これらの試片を, 37°C精製水中に 24 時間保管した後, 光照射面を, 注水下で耐水性シリコンカーバイドペーパーの#2,000 を用いて研削した。次いで, コンポジットレジジン研磨用ペースト (PRG コンポグロス, 松風) を用いて研磨用バフディスク (スーパースナップバフディスク, 松風) で研磨し, これらを測色用試片とした。

測色および分光反射率の測定には, 高速分光光度計 (CMS-35F S/C, 村上色彩) と, これに接続したフレキシブルセンサー (FS-3, 村上色彩) を用いた⁸⁾。また, 測定に際して, 試片の背景として標準黒色板 (Y = 0.01, X = 0.01, Z = 0.01) および標準白色板 (Y = 90.56, X = 92.14, Z = 110.90) を用いた。

測色用試片を各標準板上に静置し, 試片の中央付近を 3 回ずつ測色してその平均値を求

め、これを CIEL*a*b*を用いて表示した。また、波長 380～740 nm の範囲の分光反射率曲線を求めた。なお、各条件における試片数は 12 個とした。

3. 色調適合性の評価

色調適合性の評価に用いる人工歯として、硬質レジン歯（ゼンオパール、シェード A2 および A4, ジーシー）の上顎左側中切歯を用いた。

人工歯の唇側面中央付近に、直径 4.0 mm で深さが 1.5 mm あるいは 3.0 mm の規格円形窩洞を、窩縁形態をバットジョイントとして形成した。この窩洞内面に、サンドブラスト（アルミナ粒子：平均粒径 50 μm ）を 5 秒間、0.2 MPa の噴射圧で行った。窩洞の内面および窩縁部にボンドマーライトレス（トクヤマデンタル）を塗布してエアブローした後に、OC, E70, E60 および GL をそれぞれ填塞し、透明マトリックスとスライドガラスを用いて加圧成形して 20 秒間光照射した。これらの試片を 37°C 精製水中に 24 時間保管した後、測色および分光反射率の測定に供した試片と同様の条件で研磨し、サーマルサイクル試験装置（B type, トーマス科学）を用いて 5°C～55°C を 1 サイクルとして、各温度における係留時間を 60 秒間に設定したサーマルサイクルを 10,000 回負荷した。なお、各条件における試片数は 12 個とした。

試片のレジン充填部および窩洞周囲における人工歯の切縁側および歯頸側を色差計（クリスタルアイ CE100-DC, オリンパス）を用いて測色した。得られた測色値をもとに、次に示す計算式 (1) および (2) を用いて、各測色部位間における色差である ΔE^*ab および ΔE_{00} を算出した⁹⁾。

なお、これらの測定は、研磨直後およびサーマルサイクル 10,000 回負荷後とした。

$$\Delta E^*_{ab} = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2} \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \quad (1)$$

$$\Delta E_{00} = \left[\left(\frac{\Delta L'}{K_L S_L} \right)^2 + \left(\frac{\Delta C'}{K_C S_C} \right)^2 + \left(\frac{\Delta H'}{K_H S_H} \right)^2 + RT \left(\frac{\Delta C'}{K_C S_C} \right) \left(\frac{\Delta H'}{K_H S_H} \right) \right]^{1/2} \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \quad (2)$$

4. 統計処理

標準黒色板および標準白色板上で得られた各レジンペーストの L^* 、 a^* および b^* のそれぞれの値について、等分散性を確認した。その後、分散分析および Tukey-Kramer post hoc test を用いて有意水準 5%の条件で統計学的検定を行った。

成 績

供試したレジンペーストについて、異なる標準板上で測定した分光反射率を Fig. 1 に示す。いずれのレジンペーストにおいても、標準黒色板で試片厚さ 3.0 mm と比較して 1.5 mm で反射率が低くなる傾向を示したのに対して、標準白色板では試片厚さ 1.5 mm で反射率が高くなる傾向を示した。また、標準板あるいは試片厚さの違いにかかわらず、OC および 試作フロアブルレジンの分光反射率は波長 430~700 nm の光線を均等に反射していたものの、試作フロアブルレジンの分光反射率は OC と比較して低下した。一方、GL の分光反射率曲線は、標準黒色板上で 550 nm 付近をピークとした山形を示したのに対して、標準白色板上で 400 nm 付近から徐々に上昇し 600 nm 以降でプラトーに達する傾向を示した。

供試したレジンペーストについて、異なる標準板上で測定した L^* 、 a^* および b^* 値を Fig. 2 に示す。 L^* 値および b^* 値は、いずれのレジンペーストにおいても、試片の厚さにかかわらず標準黒色板上で測色した条件と比較して標準白色板上で測色した条件で有意に高い値

を示した。また、OC と試作フロアブルレジンの L*値から、試片の厚さにかかわらず標準黒色板上での L*値はフィラー含有率の低下にともなって低下した。

a*値は、OC および試作フロアブルレジンで、試片の厚さにかかわらず標準白色板と比較して標準黒色板上で測色した条件で有意に高い値を示した。また、試作フロアブルレジンの異なる標準板間における a*値の差は、フィラー含有量の減少にともなって大きくなる傾向を示し、とくに試片厚さが 1.5 mm の条件で著明であった。一方、GL では、試片の厚さにかかわらず標準白色板上で測色した条件で有意に高い値を示した。

人工歯の色調ならびに窩洞深さの違いが、OC、E70、E60 および GL の色調適合性に及ぼす影響における研磨直後の成績を Table 2 および Table 3 に示す。OC の ΔE^*ab は 1.4～2.4、 ΔE_{00} は 1.3～1.9 であり、いずれの色差値においても A2 シェードの人工歯と比較して A4 シェードの人工歯に填塞した条件で小さな値を示したものの、窩洞深さの違いによる影響は少なかった。一方、E70、E60 および GL の ΔE^*ab および ΔE_{00} は OC と比較して大きな値を示した。

サーマルサイクルの負荷が、OC、E70、E60 および GL の色調適合性に及ぼす影響の成績を Table 4 および Table 5 に示した。OC、E70 および GL の ΔE^*ab および ΔE_{00} は、サーマルサイクルの負荷によって大きくなる傾向を示したのに対して、E60 の ΔE^*ab 値および ΔE_{00} はサーマルサイクルの負荷によって小さくなる傾向を示し、他のレジンペーストと異なる傾向が認められた。

考 察

構造色とは、光の波長あるいはその波長以下の微細な構造に基づく光の分光、干渉あるいは散乱によって生じる発色現象であり、色素を含有することなく色として認識される¹⁰⁾。¹¹⁾ OC は、マトリックスレジンに粒径 260 nm の球状フィラーを分散させるとともに、同一フィラーで構成された球状有機複合フィラーを配合することで、フィラー含有率を 79 wt%としている⁷⁾。この均一なフィラー粒径とフィラー含有率によって作られたフォトニック結晶様三次元構造が、光の散乱を生じさせることで構造発色するように設計されている^{12,13)}。一方、フロアブルレジンは、ペーストの操作性として流れることを特徴としているため、フィラー含有率はユニバーサルタイプのコンポジットレジンと比較して少なくする必要があり^{14,15)}。したがって、OC と同一のフィラーをフロアブルレジンに応用したとしても、その光学的性質や色調適合性は OC とは異なる可能性が考えられる。そこで、粒径 260 nm の球状フィラーの含有率を数段階に変化させたフロアブルレジンを試作し、これらの色調および分光反射率について検討するとともに、人工歯を用いて色調適合性を評価した。

その結果、分光反射率はいずれのレジンペーストにおいても、標準黒色板では試片厚さ 3.0 mm の条件と比較して 1.5 mm の条件で低くなる傾向を示した。これに対して、標準白色板では試片厚さ 1.5 mm の条件で反射率が高くなる傾向を示した。また、標準板および試片厚さの違いにかかわらず、試作フロアブルレジンの分光反射率は OC と比較して低下した。分光反射率曲線は、物体に入射した光の吸収と反射の割合を波長毎に表したものであり、曲線の全体の高さは明度の、高低差は彩度の指標となる¹⁶⁾。したがって、試作フロ

アブルレジンは、OCと比較して明度とともに彩度が低下したことが示された。ここで、各レジンペーストの分光反射率曲線のピーク波長を比較すると、OCおよび試作フロアブルレジンでは、波長430~700 nmの光を均等に反射していた。分光反射率曲線のピーク波長は、その物体の色相を示すとされている¹⁷⁾。試作フロアブルレジンは、OCと同様に青~赤の色相であったことから、フィラー含有率の低下によって明度および彩度が影響を受けたものの、構造発色することが示された。一方、GLの分光反射率曲線は、標準黒色板上で550 nm付近をピークとした山型を示したのに対して、標準白色板上では400 nm付近から徐々に上昇し600 nm以降でプラトーに達する傾向を示した。色素を含有するコンポジットレジンでは、内部に入射した光がフィラー、マトリックスレジン、色素および背景色の影響を受けて反射、吸収、拡散あるいは散乱することで色として認知される^{18,19)}。したがって、色素を含有するGLでは、標準白色板上で測色した条件で背景からの光の反射率が増加したために、色素による発色が顕著になったものと考えられた。

L*値の結果からは、いずれのレジンペーストにおいても、試片の厚さにかかわらず標準黒色板と比較して、標準白色板上で測色した条件で有意に高い値を示した。また、OCと試作フロアブルレジンのL*値を比較すると、いずれの試片厚さにおいても標準黒色板上でのL*値はフィラー含有率の低下にともなって低下した。コンポジットレジンは半透明性という光学的性質を有しているところから、背景の明度の影響を受けやすい²⁰⁾。したがって、試作フロアブルレジンは、フィラー含有率の低下にともなってレジンペーストの重合後の光透過性が変化することで標準黒色板上でのL*値が影響を受けたものと考えられた。

次に、a*値およびb*値を比較すると、a*値はOCおよび試作フロアブルレジンで標準白

色板と比較して標準黒色板上で測色した条件で有意に高い値を示したのに対して、GL では標準白色板上で測色した条件で有意に高い値を示した。一方、b*値は、いずれのレジンペーストにおいても標準黒色板と比較して標準白色板上で測色した条件で有意に高い値を示した。このように、OC および試作フロアブルレジンと GL で a*値が異なる傾向を示した理由としては、色素を含有する GL は減法混色による発色であるのに対して、構造色を含有する OC および試作フロアブルレジンは加法混色による発色であるためと考えられた²¹⁾。すなわち、標準黒色板上で測色した場合、レジンペースト内に入射した光が吸収減衰することで OC および試作フロアブルレジンで構造色としての赤の発色が著明となったのに対して、GL では色素による発色が抑制されたためと考えられた²²⁾。

人工歯の色調ならびに窩洞深さの違いが各レジンペーストの色調適合性に及ぼす影響では、OC の ΔE^*ab および ΔE_{00} は人工歯のシェードと窩洞深さの組み合わせにかかわらず他のレジンペーストと比較して小さな値を示し、窩洞が深い条件においても色調適合性が損なわれなかった。コンポジットレジンの半透明性という光学的性質は、窩洞が深い、あるいは窩壁の明度が低い場合において、修復物自体の明度を低下させる^{23,24)}。このような症例で色調適合性を獲得するためには、レジンペーストのフィラーとマトリックスレジンの屈折率を大きくすることが光線透過性を抑制させる方法のひとつとされている^{25,26)}。OC は、マトリックスレジンの重合後の屈折率と球状フィラーの屈折率の最適化を図ることで、レジンペースト内での光線透過性がエナメル質に近似するよう設計されている⁷⁾。一方、E70 および E60 の ΔE^*ab および ΔE_{00} は、いずれの条件においても OC と比較して大きな値を示したが、その程度は E70 で小さかった。したがって、試作フロアブルレジンでは、

フィラー含有率の低下にともなって重合後の透明性が変化し、フィラー粒子間距離の変化によって構造発色が影響を受けることで色調適合性が低下したものと考えられた。

サーマルサイクル負荷が、各レジンペーストの色調適合性に及ぼす影響では、OC、E70 および GL の ΔE^*ab および ΔE_{00} は、サーマルサイクルの負荷によって大きくなる傾向を示したのに対し、E60 の ΔE^*ab 値および ΔE_{00} は、サーマルサイクルの負荷によって小さくなる傾向を示した。E60 は、OC および E70 と比較してレジンペースト内でのマトリックスレジンの割合が多いことから、吸水によるマトリックスレジンとフィラー間の屈折率の変化が生じた可能性がある²⁷⁾。さらに、温熱刺激の負荷によってレジンペーストの二重結合の転化率が上昇することで²⁷⁾、光透過性に変化が生じ、 ΔE^*ab 値および ΔE_{00} が小さくなったものと考えられた。

以上のように、本実験の結果から、粒径 260 nm の球状フィラーを含有した試作フロアブルレジンは構造色を発現することが示された。一方、試作フロアブルレジンの分光反射率、色調および色調適合性は、フィラー含有率の低下にともなって背景となる標準板ならびに人工歯の明度および窩洞深さの影響を受けやすくなることから、フロアブルレジンが構造色を効果的に発現するためには、70 wt%以上のフィラー含有率が必要であることが示された。

結 論

構造発色可能なサイズの球状フィラーの含有率を数段階に変化させたフロアブルレジンを試作し、これらの色調および分光反射率を検討するとともに、規格窩洞を形成した人工歯にレジンペーストを填塞した際の色調適合性を評価した結果、以下の結論を得た。

1. OC および試作フロアブルレジンの分光反射率は、波長 430～700 nm の範囲の光を均等に反射した。
2. 供試したレジンペーストの L*値および b*値は、標準黒色板と比較して標準白色板で有意に高い値を示した。また、試作フロアブルレジンの異なる標準板間における L*値の差は、フィラー含有率の低下にともなって大きくなる傾向を示した。
3. 供試したレジンペーストの a*値は、OC および試作フロアブルレジんで、標準白色板と比較して標準黒色板で有意に高い値を示した。また、試作フロアブルレジンの異なる標準板間における a*値の差は、フィラー含有率の低下にともなって大きくなる傾向を示した。
4. 供試したコンポジットレジンと人工歯との ΔE^*ab および ΔE_{00} は、OC で人工歯のシェードおよび窩洞深さにかかわらず良好な色調適合性を示した。一方、E70、E60 および GL の ΔE^*ab および ΔE_{00} は、OC と比較して大きな値を示した。
5. OC、E70 および GL の ΔE^*ab および ΔE_{00} は、サーマルサイクルの負荷によって大きくなる傾向を示したのに対し、E60 の ΔE^*ab 値および ΔE_{00} は、サーマルサイクルの負荷によって小さくなる傾向を示した。

文 献

- 1) Dietschi D, Fahl N Jr. Shading concepts and layering techniques to master direct anterior composite restorations: an update. *Br Dent J* 2016; 16: 765-771.
- 2) Villarroel M, Fahl N, De Sousa AM, De Oliveira OB Jr. Direct esthetic restorations based on translucency and opacity of composite resins. *J Esthet Restor Dent* 2011; 23: 73-87.
- 3) Ismail EH. Color interaction between resin composite layers: An overview. *J Esthet Restor Dent* 2021; 33: 1105-1117.
- 4) Yamaguchi S, Karaer O, Lee C, Sakai T, Imazato S. Color matching ability of resin composites incorporating supra-nano spherical filler producing structural color. *Dent Mater* 2021; 37: e269-e275.
- 5) Jager S, Balthazard R, Dahoun A, Mortier E. Filler content, surface microhardness, and rheological properties of various flowable resin composites. *Oper Dent* 2016; 41: 655-665.
- 6) Imai A, Takamizawa T, Sugimura R, Tsujimoto A, Ishii R, Kawazu M, Saito T, Miyazaki M. Interrelation among the handling, mechanical, and wear properties of the newly developed flowable resin composites. *J Mech Behav Biomed Mater* 2019; 89: 72-80.
- 7) Sanchez NP, Powers JM, Paravina RD. Instrumental and visual evaluation of the color adjustment potential of resin composites. *J Esthet Restor Dent* 2019; 31: 465-470.
- 8) Hosoya Y, Shiraishi T, Odatsu T, Nagafuji J, Kotaku M, Miyazaki M, Powers JM. Effects of polishing on surface roughness, gloss, and color of resin composites. *J Oral Sci* 2011; 53: 283-291.

- 9) Luo MR, Cui G, Rigg B. The Development of the CIE 2000 colour-difference formula: CIEDE2000. *Color Res Apply* 2001; 26: 340-350.
- 10) Dumanli AG, Savin T. Recent advances in the biomimicry of structural colours. *Chem Soc Rev* 2016; 45: 6698-6724.
- 11) Gao W, Rigout M, Owens H. Self-assembly of silica colloidal crystal thin films with tuneable structural colours over a wide visible spectrum. *Appl Surf Sci* 2016; 380: 12-15.
- 12) Saegusa M, Kurokawa H, Takahashi N, Takamizawa T, Ishii R, Shiratsuchi K, Miyazaki M. Evaluation of color-matching ability of a structural colored resin composite. *Oper Dent* 2021; 46: 306-315.
- 13) Lucena C, Ruiz-López J, Pulgar R, Della Bona A, Pérez MM. Optical behavior of one-shaded resin-based composites. *Dent Mater* 2021; 37: 840-848.
- 14) Ilie N, Hickel R. Resin composite restorative materials. *Aust Dent J* 2011; 56: 59-66.
- 15) Yadav R, Kumar M. Dental restorative composite materials: A review. *J Oral Biosci* 2019; 61: 78-83.
- 16) Yamamoto S, Hosoya Y, Tsumura N, Ogawa-Ochiai K. Principal component analysis for dental shade color. *Dent Mater* 2012; 28: 736-742.
- 17) 安藤 進, 大城麻紀, 大田舞子, 宮崎真至, 三富純一, 三富朝子, 今井 元. 光重合型レジンの屈折率が色に及ぼす影響. *日歯保存誌* 2008; 51: 292-298.
- 18) Oivanen M, Keulemans F, Garoushi S, Vallittu PK, Lassila L. The effect of refractive index of fillers and polymer matrix on translucency and color matching of dental resin composite.

- Biomater Investig Dent 2021; 8: 48-53.
- 19) Ismail EH, Paravina RD. Color adjustment potential of resin composite: Optical illusion or physical reality, a composite overview. *J Esthet Restor Dent* 2022; 34: 42-54.
 - 20) Dos Santos RB, Collares K, Nova Brandeburski SB, Pecho OE, Bona AD. Experimental methodologies to evaluate the masking ability of dental materials: A systematic review. *J Esthet Restor Dent* 2021; 33: 1118-1131.
 - 21) Simonot L, Hébert M. Between additive and subtractive color mixings: intermediate mixing models. *J Opt Soc Am A Opt Image Sci Vis* 2014; 31: 58-66.
 - 22) Sakai M, Seki T, Takeoka Y. Bioinspired color materials combining structural, dye, and background colors. *Small* 2018; 14: e1800817.
 - 23) Ikeda T, Murata Y, Sano H. Translucency of opaque-shade resin composites. *Am J Dent* 2004; 17: 127-130.
 - 24) Tsubone M, Nakajima M, Hosaka K, Foxton MR, Tagami J. Color shifting at the border of resin composite restorations in human tooth cavity. *Dent Mater* 2012; 28: 811-817.
 - 25) Ota M, Ando S, Endo H, Ogura Y, Miyazaki M, Hosoya Y. Influence of refractive index on optical parameters of experimental resin composites. *Acta Odontol Scand* 2012; 70: 362-367.
 - 26) Kolb C, Gumpert K, Wolter H, Sextl G. Highly translucent dental resin composites through refractive index adaption using zirconium dioxide nanoparticles and organic functionalization. *Dent Mater* 2020; 36: 1332-1342.
 - 27) Almasabi W, Tichy A, Abdou A, Hosaka K, Nakajima M, Tagami J. Effect of water storage and

thermocycling on light transmission properties, translucency and refractive index of nanofilled flowable composites. Dent Mater J 2021; 29;40: 599-605.

表および図

Table 1 Flowable resin composites used and their main components

Material	Manufacturer	Code	Filler contents	Shade	Main component*
Omnichroma	Tokuyama Dental	OC	79 wt%	Universal	Uniformly sized supra-nano spherical filler (260 nm spherical SiO ₂ -ZrO ₂), composite filler (include 260 nm spherical SiO ₂ -ZrO ₂), UDMA, TEGDMA
Experimental flowable resin composites	Tokuyama Dental	E70	70 wt%	Universal	Uniformly sized supra-nano spherical filler (260 nm spherical SiO ₂ -ZrO ₂), composite filler (include 260 nm spherical SiO ₂ -ZrO ₂), UDMA, TEGDMA
		E60	60 wt%		
		E50	50 wt%		
		E40	40 wt%		
		E30	30 wt%		
Gracefil LoFlo	GC	GL	69 wt%	A2	Full-coverage silane coating barium glass filler (average particle size of 250 nm), silica filler, dimethacrylate monomers, pigments

UDMA: diurethane dimethacrylate; TEGDMA: triethylene glycol dimethacrylate.

* OC and GL data provided by material safety data sheet .

* Experimental flowable resin composites data provided by manufacturer.

Table 2 Influence of cavity depth and artificial tooth color on the color matching ability of the resin composites assessed as ΔE^*ab rating (measured immediately after polishing)

Cavity depth	Artificial tooth shade	OC	E70	E60	GL
1.5 mm	A2	2.2 (0.3)	4.0 (0.5)	4.7 (0.4)	4.9 (0.0)
	A4	1.4 (0.1)	1.7 (0.2)	2.8 (0.3)	2.4 (0.3)
3.0 mm	A2	2.4 (0.2)	5.6 (0.5)	5.7 (0.7)	5.4 (0.6)
	A4	1.5 (0.2)	2.8 (0.1)	3.2 (0.8)	2.8 (0.5)

n = 12, values in parenthesis indicate standard deviations.

Table 3 Influence of cavity depth and artificial tooth color on the color matching ability of the resin composites assessed as ΔE_{00} rating (measured immediately after polishing)

Cavity depth	Artificial tooth shade	OC	E70	E60	GL
1.5 mm	A2	1.8 (0.3)	3.2 (0.3)	3.7 (0.2)	3.9 (0.1)
	A4	1.5 (0.3)	1.7 (0.2)	2.4 (0.4)	2.3 (0.6)
3.0 mm	A2	1.9 (0.5)	4.4 (0.7)	4.6 (0.8)	4.2 (0.6)
	A4	1.3 (0.2)	2.6 (0.1)	2.8 (1.0)	2.9 (0.7)

n = 12, values in parenthesis indicate standard deviations.

Table 4 Influence of cavity depth and artificial tooth color on the color matching ability of the resin composites assessed as ΔE^*ab rating (measured after 10,000 thermal cycling)

Cavity depth	Artificial tooth shade	OC	E70	E60	GL
1.5 mm	A2	2.8 (0.1)	4.4 (0.8)	4.4 (1.1)	5.4 (0.7)
	A4	1.8 (0.1)	1.8 (0.2)	2.7 (0.0)	2.5 (0.7)
3.0 mm	A2	4.2 (0.1)	6.5 (0.5)	4.6 (0.4)	5.4 (0.6)
	A4	1.5 (0.4)	3.1 (0.1)	3.3 (0.4)	2.7 (0.4)

n = 12, values in parenthesis indicate standard deviations.

Table 5 Influence of cavity depth and artificial tooth color on the color matching ability of the resin composites assessed as ΔE_{00} rating (measured after 10,000 thermal cycling)

Cavity depth	Artificial tooth shade	OC	E70	E60	GL
1.5 mm	A2	2.0 (0.9)	3.6 (0.6)	3.5 (0.2)	4.2 (0.4)
	A4	1.7 (0.0)	1.8 (0.1)	2.2 (0.1)	2.3 (0.5)
3.0 mm	A2	3.2 (0.2)	5.0 (0.3)	3.6 (0.2)	4.5 (0.7)
	A4	1.5 (0.2)	2.7 (0.2)	2.8 (0.5)	2.6 (0.2)

n = 12, values in parenthesis indicate standard deviations.

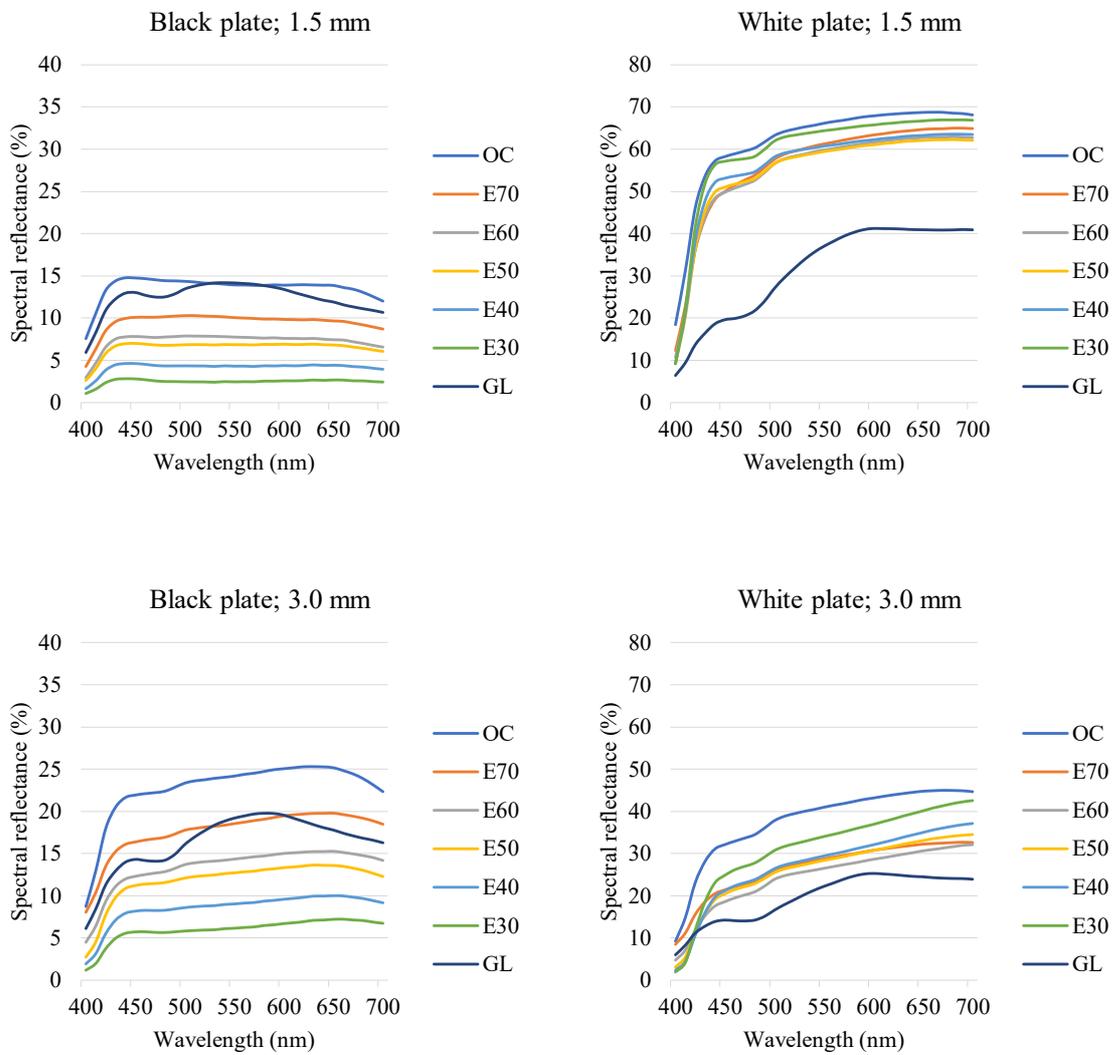
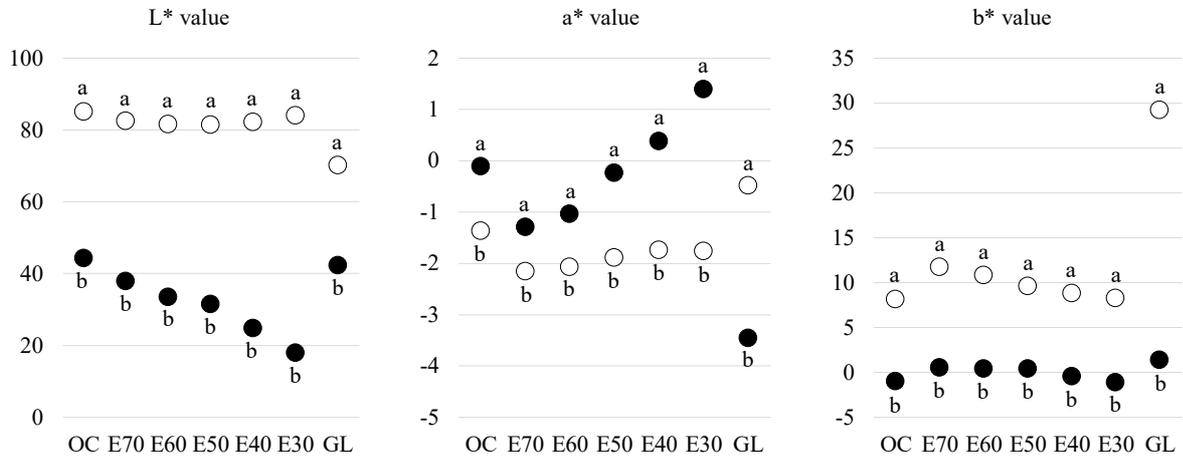
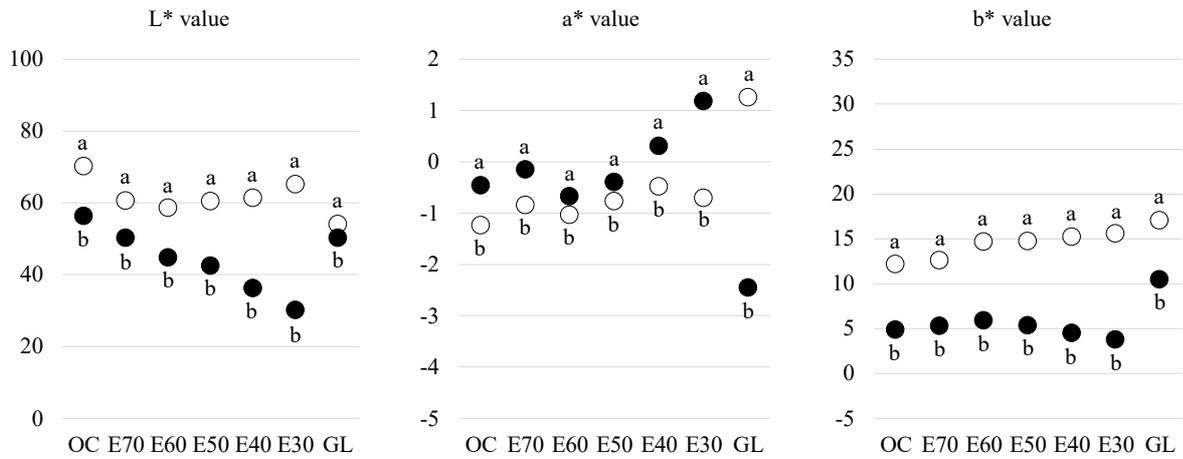


Fig. 1 Influence of background color and specimen thickness on the spectral reflectance curves of the resin composites.

Specimen thickness: 1.5 mm



Specimen thickness: 3.0 mm



● Measured against black plate ○ Measured against white plate

Fig. 2 Influence of background color and specimen thickness on the L*a*b* values of the resin composites.
 n = 12. Same materials, means with the same lower-case letter are not significantly different. (p > 0.05).