

構造色を有するコンポジットレジンの色調，分光反射率
および色調適合性

日本大学大学院歯学研究科歯学専攻

三枝 眞

(指導：宮崎 真至 教授，黒川 弘康 准教授)

概 要

コンポジットレジンとは、半透明性という光学的性質を有しているため、窩洞が深い、あるいは窩壁の明度が低い場合では、修復物自体の明度も低下する。このような症例で色調適合性を得るために、透明性の異なるレジンペーストを用いた積層充填が行われる。一方、異なるレジンペーストを積層することは、臨床操作ステップ数を増やすことにつながり、チェアタイムも延長することから改善が望まれている。そこで、構造色によって、単一ペーストでありながらも多くの症例において色調適合性を発揮することをコンセプトとしたコンポジットレジンが開発された。しかし、構造色を有するコンポジットレジンの光学的性質や色調適合性に関しては不明な点が多く、臨床的観点からも詳細な検討が必要と考えられている。

そこで本論文の著者は、構造色を有するコンポジットレジンの色調および分光反射率について、標準黒色板あるいは標準白色板を背景として用いることによって検討するとともに、人工歯を用いてその色調適合性を評価した。さらに、コンポジットレジンのフィラー像を走査電子顕微鏡 (SEM) を用いて観察した。

構造色を有するコンポジットレジンとしてオムニクロマ (OMC, トクヤマデンタル) を、対照としてエステライトΣクイック (ELQ, トクヤマデンタル) およびフィルテックシェープリームウルトラ (FSU, 3M Oral Care) 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、各製造者指示条件で光照射して重合、硬化させた。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 で、窩縁形態がバットジョイント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、エアブローした後にレジンペーストを充填し、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、窩洞辺縁から溢出したコンポジットレジンを研削するとともに研磨した。高速分光光度計を用いて、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 (ΔE^*ab) を算出した。また、コンポジットレジンの表面性状を観察するために、フィールドエミッション SEM (ERA-8800FE, エリオニクス) を用いて、加速電圧 10 kV の条件で観察した。

供試したコンポジットレジンの測色を行ったところ、L*値はいずれのコンポジットレジンにおいても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、とくに試片厚さ 1.5 mm の条件で顕著であった。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ため、標準白色板上で測色した条件では、光の反射率が増加することでL*値が大きくなったものと考えられた。

次に、a*値を比較すると、ELQ および FSU で、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のに対して、OMC では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、異なる標準板間における Δa^* を比較すると、OMC で 0.7 ~ 1.3, ELQ で 3.5 ~ 4.6 および FSU で 2.2 ~ 2.5 であった。一方、b*値においては、いずれ

のコンポジットレジンにおいても、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、異なる標準板間における Δb^* は、OMC で 7.3~9.1, ELQ で 8.8~22.5 および FSU で 6.1~18.8 であった。すなわち、OMC では背景となる標準板の違いによる影響は、ELQ および FSU と比較して小さかった。これは、色素を含有する ELQ および FSU 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 OMC は加法混色による発色であることに起因しているためと考えられた。

異なる標準板上で測定した分光反射率の結果からは、いずれのコンポジットレジンにおいても、標準黒色板では試片厚さ 3.0 mm 条件と比較して 1.5 mm 条件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 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、OMC の分光反射率は波長 430~700 nm の可視光線を均等に反射したのに対して、ELQ および FSU の分光反射率は 400 nm 付近から徐々に上昇し 580 nm 以降でプラトーに達し、OMC とは異なる傾向を示した。分光反射率曲線のピーク波長はその物体の色相を示すが、OMC は試片の厚さおよび標準板の違いにかかわらず青~赤の色相であったことから、ELQ および FSU と比較して安定した発色能を有していることが示された。

人工歯の色調ならびに窩洞深さの違いが、各コンポジットレジンの色調適合性に及ぼす影響では、ELQ の ΔE^*ab 値は FSU と比較して大きくなる傾向を示し、とくに窩洞が深い条件で顕著であった。一方、OMC においては、ELQ および FSU と比較して小さな ΔE^*ab 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と歯質との色調適合性は、使用するレジンペーストの光に対する透過性と散乱性に関連し

ており、フィラーとマトリックスレジンとの屈折率に加えて、フィラーの粒径、形状およびモノマー組成などの影響を受ける。ELQ および FSU の SEM 像からは、ELQ で平均粒径 200 nm の球状フィラーおよび同一フィラーで構成された有機複合フィラーが観察されたのに対し、FSU では、ナノフィラーとともにナノクラスターフィラーが観察された。このようなフィラーの違いがコンポジットレジンの光に対する散乱性に影響を及ぼしたものと考えられた。一方、OMC においては、フィラーの微細構造による構造色が効果的に発現することで、窩洞の深さの影響を受けることなくより高い色調適合性を示したものと考えられた。

本実験の結果から、OMC の色調および分光反射率は、背景となる標準板の影響を受けるものの、その影響は ELQ および FSU に比較して小さいことが明らかとなった。また、OMC は、構造色を応用することで、人工歯の明度ならびに窩洞深さの影響を受けることなく良好な色調適合性を示したことから、簡便かつ審美的な修復処置に応用することが可能であることが示された。

なお、本論文は原著論文 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. 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とは、半透明性という光学的性質を有しているため、窩洞が深い、あるいは窩壁の明度が低い場合では、修復物自体の明度も低下する^{1,2)}。このような症例で色調適合性を得るために、透明性の異なるレジンペーストを用いた積層充填が行われる^{3,4)}。修復物の明度は、積層されるレジンペーストの厚さとともに、用いられるレジンペーストの光学的性質の影響を受ける⁵⁻⁷⁾。一方、異なるレジンペーストを積層することは、臨床操作ステップ数を増やすことにつながり、チェアタイムも延長することから改善が望まれている⁸⁾。

そこで、レジンペーストに含有されるフィラーの微細構造を応用した発色現象である構造色によって、単一ペーストでありながらも多くの症例において色調適合性を獲得することをコンセプトとしたコンポジットレジンが開発された⁹⁾。しかし、構造色を有するコンポジットレジンの光学的な性質あるいは色調適合性に関しては不明な点が多く、臨床的観点からも詳細な検討が必要と考えられている¹⁰⁾。

そこで本論文の著者は、構造色を有するコンポジットレジンの色調および分光反射率について、標準黒色板および標準白色板を背景として用い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、この窩洞にレジンペーストを充填した際の窩洞周囲との色調適合性を評価するとともに、コンポジットレジンのフィラー像を走査電子顕微鏡（SEM）を用いて観察した。

材料および方法

1. 供試材料および照射器

構造色を有するコンポジットレジンとしてオムニクロマ (OMC, トクヤマデンタル) を、対照としてエステライトΣクイック (ELQ, トクヤマデンタル) およびフィルテックシェープリームウルトラ (FSU, 3M Oral Care) を用いた (Table 1)。

2. 分光反射率の測定

レジンペーストとして、OMC とともに、ELQ の A2 シェードおよび FSU の A2B シェードを用いた。各レジンペーストを内径 8.0 mm で、厚さが 1.5 mm あるいは 3.0 mm のテフロン型に填塞し、透明マトリックスを貼付してスライドガラスを用いて加圧成形し、各製造者指示条件で光照射して重合、硬化させた後に 37°C 精製水中に 24 時間保管した。

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¹¹⁾。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。

測色用に製作した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 CIE L*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 6 個とした。

3. 色調適合性の評価

色調適合性の評価には、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、窩縁形態をバットジョイントとした規格円形窩洞の形成を行った。この窩洞内面に対して、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、エアブローした後、レジンペーストを充填し、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各製造者指示条件で光照射した。なお、人工歯のシェードと充填するレジンペーストのシェードの組み合わせは、A2 シェードおよび A4 シェードの人工歯のいずれに対しても、OMC では単一ペースト、ELQ では A1, A2, A3 および A4 シェードのペースト、FSU では A1B, A2B, A3B および A4B シェードのペーストとした。

これらの試片を、37°C 精製水中に 24 時間保管した後、窩洞辺縁から溢出したコンポジットレジンを、注水下で耐水性シリコンカーバイド (SiC) ペーパーの #2,000 を用いて研削した。次いで、コンポジットレジ研磨用ペースト (PRG コンポグロス, 松風) と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) を用いて研磨した。

高速分光光度計とフレキシブルセンサーを用いて、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測色し、得られた測色値をもとに、計算式 (1) を用いて各測色部位間における色差 (ΔE^*ab) を算出した。

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

なお、各条件における試片数は 3 個とした。

4. SEM 観察

コンポジットレジンの表面性状を観察するために、測色用試片と同様に製作した試片を

SiC ペーパーおよびダイヤモンドペースト (DP-Paste, Struers) を用いて順次研磨し、観察面とした。この観察面を、イオンコーター (Quick Coater Type SC-701, サンヨー電子) で金蒸着し、フィールドエミッション SEM (ERA-8800FE, エリオニクス) を用いて、加速電圧 10 kV の条件で観察した。

5. 統計処理

標準黒色板および標準白色板上で得られた各コンポジットレジンの L^* 、 a^* および b^* それぞれの値について、等分散性を確認した後、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

供試したコンポジットレジンについて、異なる標準板上で測定した L^* 、 a^* および b^* 値の成績を Fig. 1 に示した。 L^* 値および b^* 値は、いずれのコンポジットレジンにおいても、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、この傾向は試片厚さ 3.0 mm と比較して 1.5 mm で顕著であった。一方、 a^* 値は、試片の厚さにかかわらず、ELQ および FSU で、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のに対し、OMC では標準黒色板上で測色した条件で有意に高い値を示した。

供試したコンポジットレジンについて、異なる標準板上で測定した分光反射率の成績を Fig.2 に示した。いずれのコンポジットレジンにおいても、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、OMC の分光反射率は、波長 430~700 nm の光線を均等に反射したのに対して、ELQ および FSU の分光反射率は、400 nm 付近から徐々に上昇し 580 nm 以降でプラトーに達する傾向を示した。

人工歯の色調ならびに窩洞深さの違いが、供試したコンポジットレジンの色調適合性に及ぼす影響の成績を Table 2 に示した。OMC の ΔE^*ab は 1.4~2.4 であり、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、ELQ および FSU の ΔE^*ab は、ELQ で 2.9~18.0 を、FSU で 2.6~13.4 を示し、人工歯のシェードと填塞するレジペーストのシェードの組み合わせにかかわらず OMC と比較して大きな値を示した。

供試したコンポジットレジンの研磨面の SEM 像を Fig. 3 に示した。OMC では粒径が 260 nm の、ELQ では粒径が 200 nm の球状フィラーが観察され、そこに球状の有機複合フィラーが散在している像を示した。一方、FSU においては、粒径 4~11 nm および 20 nm のナノフィラーとともにこれらのフィラーで構成された粒径 0.6~10 μm のクラスターが分散している像が観察された。

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、顔料を含有していないにもかかわらず色として認識される^{12,13)}。OMC はマトリックスレジんに粒径 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し、フィラー含有量を 79 wt%としている¹⁴⁾。この均一なフィラー粒径とフィラー含有量によって作られた三次元構造が、光の散乱を生じさせることで赤から黄に発色し、歯質との色調適合性が得られるように設計されている^{15,16)}。一方、構造色を応用したコンポジットレジンは市販されて間もないこともあり、光学的性質や色調適合性に関する詳細については不明な点が多い。そこで、構造色を有するコンポジットレジンである OMC の色調および分光反射率について検討するとともに、その色調適合性を評価した。

供試したコンポジットレジンの測色を行ったところ、L*値はいずれのコンポジットレジンにおいても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、とくに試片厚さ 1.5 mm 条件で顕著であった。コンポジットレジンでは、内部に入射した光が反射、吸収、拡散あるいは散乱するとともに、背景色の影響を受けて色として認知される¹⁷⁻²⁰⁾。とくに、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^{21,22)}。したがって、標準白色板上で測色した条件では、光の反射率が増加することでL*値が大きくなったものと考えられた。

次に、a*値を比較すると、ELQ および FSU で、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のに対して、OMC では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、異なる標準板間における Δa^* を比較すると、OMC で 0.7 ~ 1.3, ELQ で 3.5 ~ 4.6 および FSU で 2.2 ~ 2.5 であった。一方、b*値においては、いずれのコンポジットレジンにおいても、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、異なる標準板間における Δb^* は、OMC で 7.3 ~ 9.1, ELQ で 8.8 ~ 22.5

およびFSUで6.1～18.8であった。すなわち、OMCでは背景となる標準板の違いによる影響は、ELQおよびFSUと比較して小さかった。これは、色素を含有するELQおよびFSU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OMCは加法混色による発色であることに起因するものであり、このために標準板の違いによる影響が軽微であったと考えられた²³⁾。

異なる標準板上で測定した分光反射率の結果からは、いずれのコンポジットレジンにおいても、標準黒色板では試片厚さ3.0mm条件と比較して1.5mm条件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1.5mm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、OMCの分光反射率は波長430～700nmの光を均等に反射したのに対して、ELQおよびFSUの分光反射率は400nm付近から徐々に上昇し580nm以降でプラトーに達し、OMCとは異なる傾向を示した。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²⁴⁾。したがって、いずれのコンポジットレジンにおいても、標準黒色板では試片厚さ3.0mm条件で、標準白色板では試片厚さ1.5mm条件において明度とともに、彩度が高いことが示された。また、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²⁵⁾。したがって、OMCは試片の厚さおよび標準板の違いにかかわらず青～赤の色相であったことから、ELQおよびFSUと比較して安定した発色能を有していることが示された。

人工歯の色調ならびに窩洞深さの違いが、各コンポジットレジンの色調適合性に及ぼす影響では、ELQの ΔE^*ab 値はFSUと比較して大きくなる傾向を示し、とくに窩洞が深い

条件で顕著であった。コンポジットレジンと歯質との色調適合性は、使用するレジンペーストの光に対する透過性と散乱性に関連しており、フィラーとマトリックスレジンの屈折率に加えて、フィラーの粒径、形状およびモノマー組成などの影響を受ける^{26,27)}。ELQおよびFSUのSEM像からは、ELQで平均粒径200 nmの球状フィラーおよび同一フィラーで構成された有機複合フィラーが観察されたのに対し、FSUではナノフィラーとともにナノクラスターフィラーが観察された。このようなフィラーの違いがコンポジットレジンの光に対する散乱性に影響を及ぼすことで、FSUと比較してELQにおいて窩洞が深い条件で ΔE^*ab が大きい値を示したものと考えられた²⁸⁾。一方、OMCにおいては、ELQおよびFSUと比較して小さな ΔE^*ab 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。したがって、OMCはフィラーの微細構造による構造色が効果的に発現する²⁹⁾ことで、窩洞の深さの影響を受けることなくより高い色調適合性を示したものと考えられた。

以上のように、本実験の結果から、OMCの色調および分光反射率は、背景となる標準板の影響を受けるものの、その影響はELQおよびFSUに比較して小さいことが明らかとなった。また、OMCは、構造色を応用することで、人工歯の明度ならびに窩洞深さの影響を受けることなく良好な色調適合性を示したことから、簡便かつ審美的な修復処置に応用することが可能であることが示された。

結 論

構造色を有したコンポジットレジン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. 供試したコンポジットレジンのいずれにおいても、 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、とくに試片厚さ 1.5 mm 条件で顕著であった。一方、 a^* 値は、試片厚さにかかわらず、ELQ および FSU で、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のに対し、OMC では標準黒色板上で有意に高い値を示した。
2. 供試したコンポジットレジンの分光反射率は、標準黒色板上で試片厚さ 3.0 mm と比較して試片厚さ 1.5 mm で反射率が低くなる傾向を示したのに対し、標準白色板上では、試片厚さ 1.5 mm で反射率が高くなる傾向を示した。また、標準板および試片厚さの違いにかかわらず、OMC 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のに対し、ELQ および FSU の分光反射率は、400 nm 付近から徐々に上昇し 580 nm 以降でプラトーに達する傾向を示した。
3. 供試したコンポジットレジんと人工歯との ΔE^*ab 値は、OMC で 1.4~2.4 であり、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、ELQ で 2.9~18.0、FSU で 2.6~13.4 であり、OMC と比較して大きな値を示した。
4. 供試したコンポジットレジンの SEM 像では、いずれのコンポジットレジンにおいても、異なる粒径の球状フィラーおよび同一フィラーで構成された球状の有機複合フィラーあるいはクラスターフィラーが高密度に充填されている像が観察された。

文 献

- 1) Ikeda T, Murata Y, Sano H. Translucency of opaque-shade resin composites. *Am J Dent* 2004; 17: 127-130.
- 2) 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.
- 3) Paravina RD, Westland S, Kimura M, Powers JM, Imai FH. Color interaction of dental materials: Blending effect of layered composites. *Dent Mater* 2006; 22: 903-908.
- 4) Miotti LL, Santos IS, Nicoloso GF, Pozzobon RT, Susin AH, Durand LB. The use of resin composite layering technique to mask discolored background: A CIELAB/CIEDE2000 analysis. *Oper Dent* 2017; 42: 165-174.
- 5) Kim SJ, Son HH, Cho BH, Lee IB, Um CM. Translucency and masking ability of various opaque-shade composite resins. *J Dent* 2009; 37: 102-107.
- 6) Santos SMM, Silva PD, Faria-E-Silva AL. Color changes caused by reduction on the dentin shade composite thickness. *Braz Dent J* 2018; 29: 469-474.
- 7) Ismail EH. Color interaction between resin composite layers: An overview. *J Esthet Restor Dent* 2021; 33: 1105-1117.
- 8) Iyer RS, Babani VR, Yaman P, Dennison J. Color match using instrumental and visual methods for single, group, and multi-shade composite resins. *J Esthet Restor Dent* 2021; 33: 394-400.
- 9) 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.

- 10) 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.
- 11) 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.
- 12) Dumanli AG, Savin T. Recent advances in the biomimicry of structural colours. *Chem Soc Rev* 2016; 45: 6698-6724.
- 13) 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.
- 14) 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.
- 15) Chen F, Toida Y, Islam R, Alam A, Chowdhury AFMA, Yamauti M, Sano H. Evaluation of shade matching of a novel supra-nano filled esthetic resin composite employing structural color using simplified simulated clinical cavities. *J Esthet Restor Dent* 2021; 33: 874-883.
- 16) Kobayashi S, Nakajima M, Furusawa K, Tichy A, Hosaka K, Tagami J. Color adjustment potential of single-shade resin composite to various-shade human teeth: Effect of structural color phenomenon. *Dent Mater J* 2021; 40: 1033-1040.
- 17) 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.
- 18) 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.
- 19) 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.
- 20) 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.
- 21) Sakai M, Seki T, Takeoka Y. Bioinspired color materials combining structural, dye, and background colors. *Small* 2018; 14: e1800817.
- 22) 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.
- 23) 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.
- 24) Yamamoto S, Hosoya Y, Tsumura N, Ogawa-Ochiai K. Principal component analysis for dental shade color. *Dent Mater* 2012; 28: 736-742.
- 25) 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.
- 26) 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.
- 27) 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.
- 28) Perez MM, Hita-Iglesias C, Ghinea R, Yebra A, Pecho OE, Ionescu AM, Crespo A, Hita E. Optical properties of supra-nano spherical filled resin composites compared to nanofilled, nano-hybrid and micro-hybrid composites. *Dent Mater J* 2016; 35: 353-359.
- 29) de Abreu JLB, Sampaio CS, Jalkh EBB, Hirata R. Analysis of the color matching of universal resin composites in anterior restorations. *J Esthet Restor Dent* 2021; 33: 269-276.

表および図

Table 1 Material used and their main components

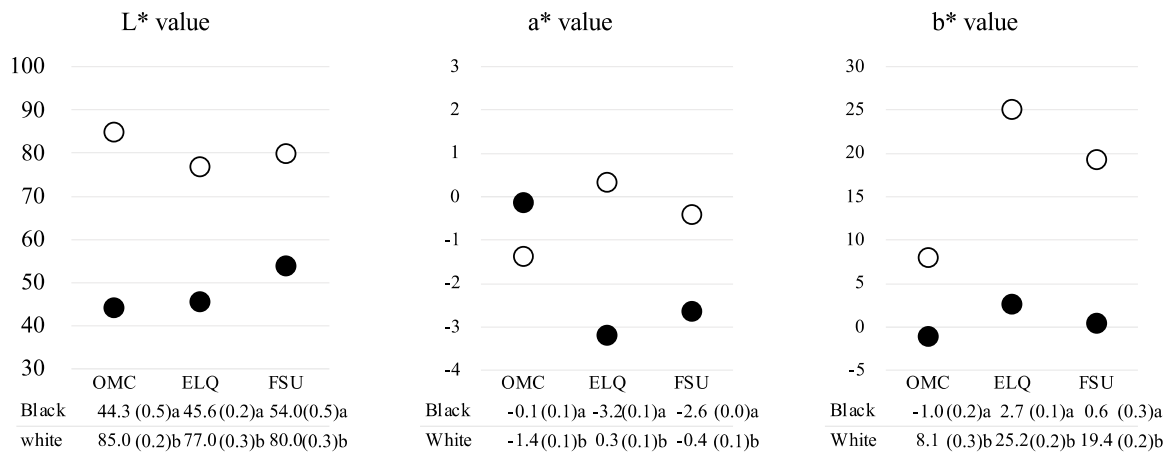
Resin composite	Manufacturer	Code	Main component	Shade
Omnichroma	Tokuyama Dental	OMC	Uniform sized supra-nano spherical filler (260 nm spherical SiO ₂ -ZrO ₂) UDMA, TEGDMA	Universal
Estelite Σ Quick	Tokuyama Dental	ELQ	Supra-nano spherical filler (100–300 nm; average 200 nm spherical SiO ₂ -ZrO ₂) Bis-GMA, TEGDMA	A1 A2 A3 A4
Filtek Supreme Ultra	3M Oral Care	FSU	Zirconia filler (4–11 nm), silica filler (4–20 nm), zirconia/silica clusters (0.6–10 μm), Bis-GMA, Bis-EMA, UDMA, TEGDMA, PEGDMA	A1B A2B A3B A4B

UDMA: urethane dimethacrylate, TEGDMA: triethylene glycol dimethacrylate, Bis-GMA: bisphenol A glycidyl methacrylate, Bis-EMA: ethoxylated bisphenol A glycol dimethacrylate, PEGDMA: polyethylene glycol dimethacrylate.

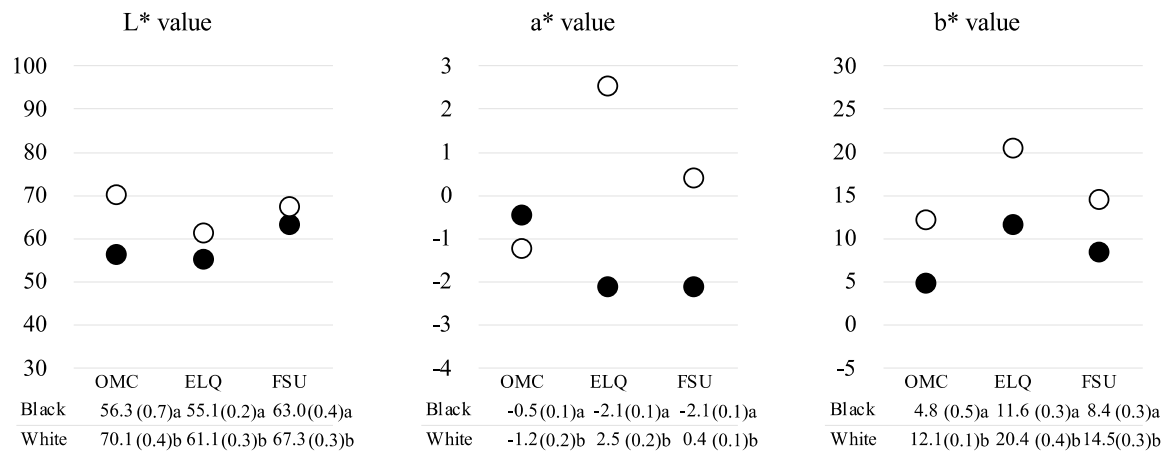
Table 2 Results of color matching ability assessment as indicated by ΔE^*ab rating

Cavity depth	Artificial tooth shade	OMC	ELQ				FSU			
		Universal	A1	A2	A3	A4	A1B	A2B	A3B	A4B
1.5 mm	A2	2.2 (0.6)	2.9 (0.4)	10.2 (0.5)	12.4 (1.4)	15.4 (1.0)	2.6 (0.2)	3.2 (0.2)	6.7 (0.3)	11.5 (0.7)
	A4	1.4 (0.3)	10.8 (0.9)	5.2 (0.5)	4.5 (0.6)	3.1 (0.2)	7.3 (0.7)	6.9 (0.7)	3.8 (0.3)	3.5 (0.1)
3.0 mm	A2	2.4 (0.9)	8.2 (0.7)	11.6 (0.4)	14.3 (0.9)	18.0 (1.8)	3.3 (0.2)	4.8 (0.3)	7.7 (0.5)	13.4 (0.7)
	A4	1.5 (0.2)	11.1 (1.3)	7.9 (0.6)	6.5 (0.7)	3.9 (0.6)	9.2 (0.6)	6.9 (0.6)	6.3 (0.2)	6.0 (0.6)

Specimen thickness: 1.5 mm



Specimen thickness: 3.0 mm



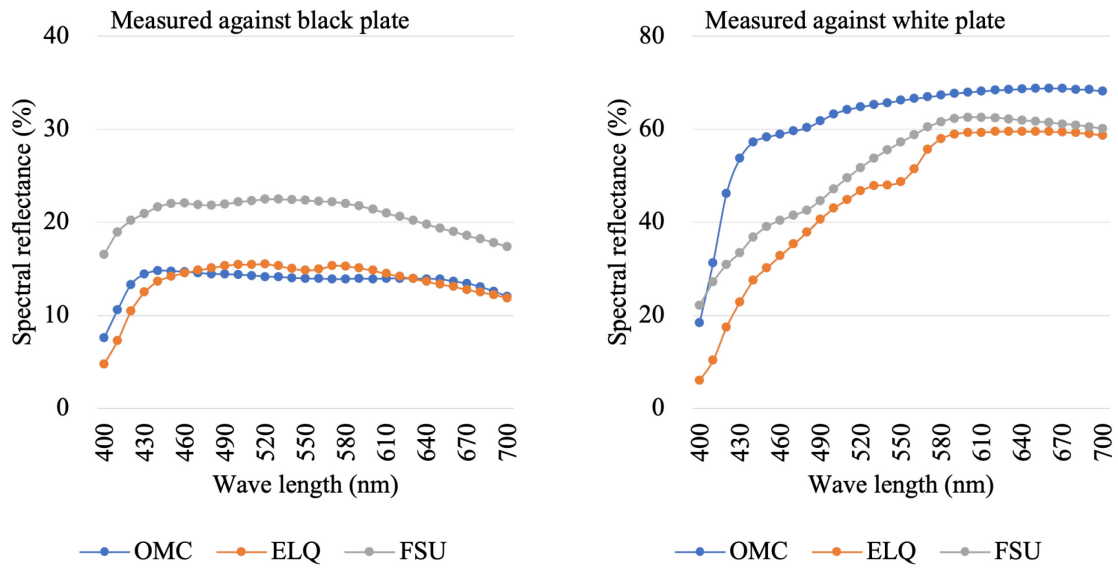
● Measured against black plate ○ Measured against white plate

n = 6, values in parenthesis indicate standard deviations.

Same materials, means with the same lower-case letter are not significantly different. (p > 0.05).

Fig. 1 Influence of background color and specimen thickness on L*, a*, and b* values of resin composites.

Specimen thickness: 1.5 mm



Specimen thickness: 3.0 mm

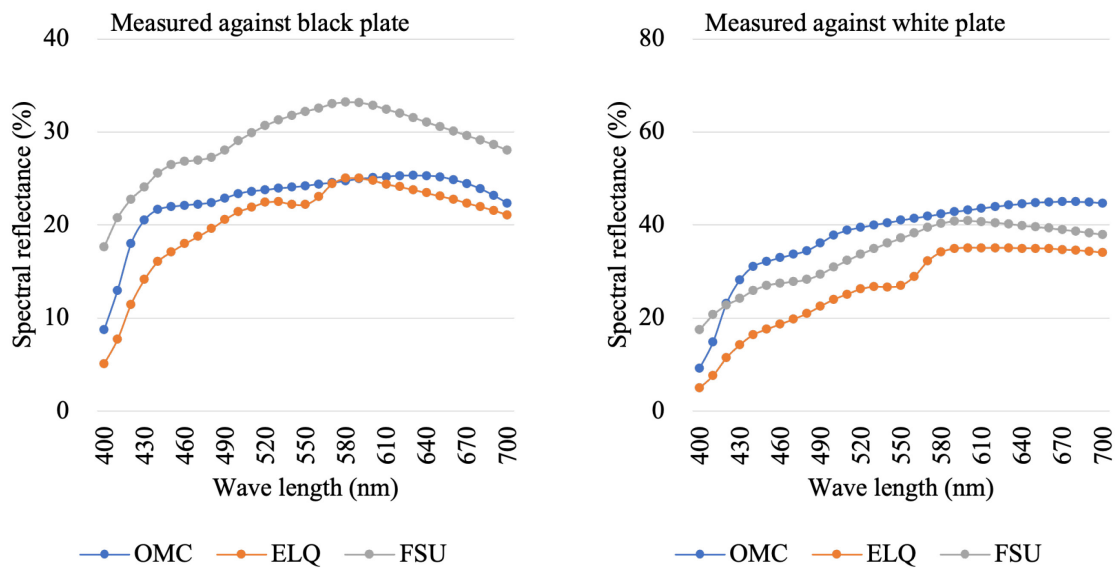
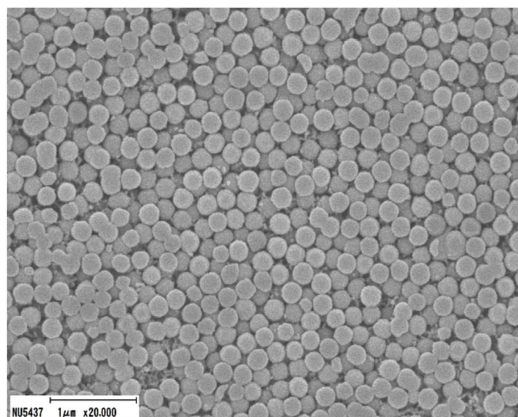
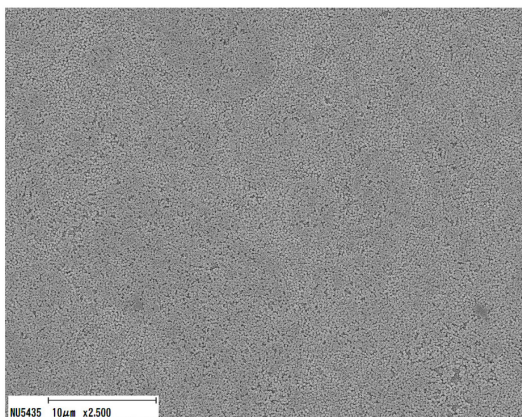
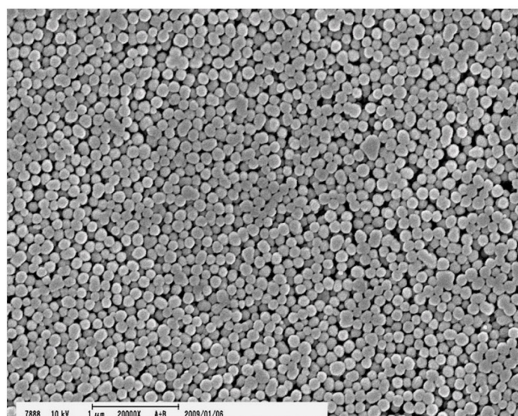
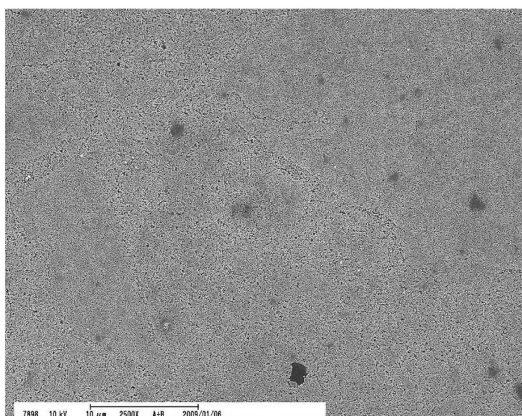


Fig. 2 Influence of background color and specimen thickness on spectral reflectance curves of resin composites.

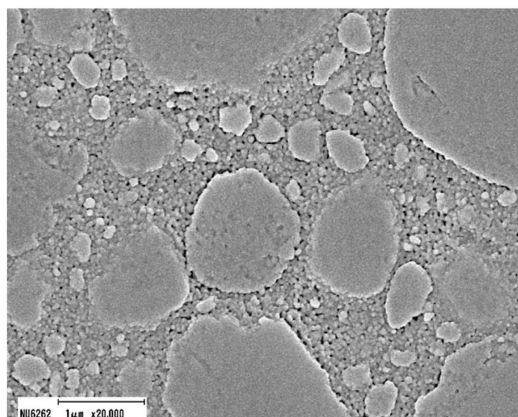
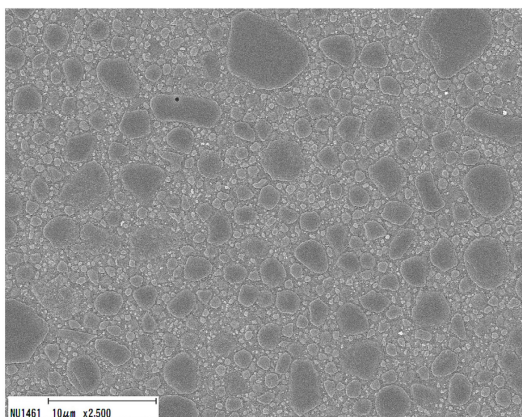
OMC



ELQ



FSU



Original magnification: × 2,500

Original magnification: × 20,000

Fig. 3 SEM images of resin composite surfaces.