

フロアブルコンポジットレジンの着色性

原 健一郎 大 橋 桂 二 瓶 智太郎

神奈川歯科大学大学院歯学研究科クリニカル・バイオマテリアル講座

(主任；二瓶智太郎)

(受付：2014年10月29日)

Color changes of flowable resin composites

Kenichiro HARA, Katsura OHASHI and Tomotaro NIHEI

(Chief: A prof. Tomotaro NIHEI)

Department of Clinical Biomaterials, Graduate School of Dentistry, Kanagawa Dental University

82 Inaoka-cho, Yokosuka, Kanagawa 238-8580 Japan

Abstract

Purpose: The objective of this study was to show that long-term color changes to flowable resin composites vary according to whether or not the material is polished after light-curing.

Materials and methods: Flowable resin composites used were Estelite Flow Quick L-size (Tokuyama Dental), MI Fil (GC), Clearfil Majesty LV (Kuraray Medical) and Tetric N-Flow (Ivoclar Vivadent), and the universal resin composite Clearfil Majesty ES-2 (Kuraray Medical). After light each specimen was separated into two groups. One group was polished to a mirror-surface (polished group) and the other group was not-polished (non-polished group). All specimens were assessed for color differences with a spectrometer after immersion in tea solution or distilled water, or exposure to room temperature air, for 28 days. The surface glossiness of the specimens was determined using a gloss meter. The data were analyzed using one-way ANOVA followed by Tukey's multiple comparison tests.

Results: After immersion in each solution for 28 days, we found that color change in non-polished group in the tea solution was significantly different when compared with the distilled water group or the room air temperature group. In addition, the oxygen-inhibiting surface layer was thick enough resin color strong.

Conclusion: These results suggest that flowable resin composites are subject to decreased color change over the long term when they have undergone a polishing procedure because of the formation of an oxygen-inhibiting surface layer, similar to that observed in universal resin composite.

緒 言

コンポジットレジンとは天然歯と同様な色調が得られ、操作性も簡便であり、接着システムの確立とともに機械的強度も向上し^{1,2)}、臼歯部などの咬合負担にも適応が可能とされており、歯科医療の中で不可欠な材料となっている。

近年、歯質接着性を有するコンポジットレジン修

復においては、歯の侵襲を最小限に抑える Minimal Intervention (MI) の概念が広く浸透しており³⁾、う蝕によって感染した歯質を除去すること以外に不必要な歯質の削除を避けることが原則となり、結果として窩洞はダウンサイズされることになった。小さな窩洞または浅い窩洞や従来のペーストタイプでは充填操作が困難となる複雑な形態の窩洞に対応するために、ダイレクトアプリケーションタイプによって直接窩洞へ

表 1 本研究で使用したコンポジットレジン

Resin composites	Shade	Lot. No.	Manufacture	Filler contents wt / vol (%)	Code
Estelite Flow Quick L size	A3	J1181	Tokuyama Dental	71 / 53	EFQ
MI Fil	A3	1305231	GC	69 / 50	MIF
Clearfil Majesty LV	A3	0202BB	Kuraray Noritake	81 / 71	CML
Tetrik N-Flow	A3	J23953	Ivoclar Vivadent	63 / 50	TRF
Clearfil Majesty ES-2	A3	1J0001	Kuraray Noritake	78 / 40	ES2

表 2 コンポジットレジンの組成

Code	Filler type	Filler	Resin matrix
EFQ	スーブラナノ	0.4 μm と 0.07 μm の球状フィラー シリカジルコニアフィラー, シリカチタニアフィラー	Bis-MPEPP, UDMA TEGDMA
MIF	ナノハイブリッド	0.2 μm のストロンチウムガラスフィラー 30 μm のウレタンフッ化物フィラー	UDMA, TEGDMA
CML	マイクロ ハイブリッド	3 μm 以下のバリウムガラスフィラー 20nm のシリカマイクロフィラー	Bis-GMA, TEGDMA
TRF	ナノハイブリッド	400nm と 700nm プレポリマー, ナノカラーピグメント イットリビウムフロライドフィラー	Bis-GMA, UDMA
ES2	ハイブリッド	0.37~1.5 μm シリカフィラー	Bis-GMA

アプローチが容易なフロアブルコンポジットレジンが各社より市販されている。このフロアブルコンポジットレジンには、流動性もある程度コントロールでき、附形性も良好になり簡便な操作性から使用頻度が高い。しかしながら、ペーストタイプと比べて流動性が高いことから、レジン成分の量、フィラータイプや含有量などに依存するため、咬合負担のかかる臼歯部修復処置への信頼性、さらには長期的な口腔内での審美性の継続などの疑問が生じていると思われる⁴⁾。

コンポジットレジン修復後、着色性の食品や嗜好品や、プラーク由来の色素等が沈着、あるいは吸着することが考えられ、時間の経過とともに着色する傾向がある欠点も以前より指摘されている⁵⁻⁷⁾。

その中でフロアブルコンポジットレジン充填後、肉眼的には審美性が良好なため、研磨操作を行わない

で放置する場合も日常臨床ではある。しかしながら、日常的に摂取される飲食物中の酸やアルコールなどの成分が、各種修復材料に対して物理的あるいは化学的な影響を与えることが報告されている⁸⁻¹⁵⁾。松本ら¹⁶⁾も各種ドリンクのコンポジットレジンに与える影響について検討を行い、ドリンクの種類により着色性や脱離性の違いを報告しており、フィラーの脱離やマトリックスレジンの崩壊などによる表層部の劣化が生じること¹⁷⁻¹⁹⁾、あるいはアルコール性ドリンクがフロアブルコンポジットレジンの機械的性質に負の影響を与えることも報告されている²⁰⁾。

本研究は、フロアブルコンポジットレジンの光重合後の研磨操作の有無による着色性の違いと未重合層の厚さ、ならびに光沢度の差について検討を行った。

実験材料および方法

1. 材料

実験に供した材料は、市販フロアブルコンポジットレジジンとして Estelite Flow Quick L サイズ (EFQ; Tokuyama Dental, A1, Lot.J1181), MI Fil (MIF; GC, A3, Lot.1305231), Clearfil Majesty LV (CML; Kuraray Medical, A1, Lot.0202BB), Tetric N-Flow (TRF; Ivoclar Vivadent, A3, Lot.J23953) の4種を、市販ペーストタイプコンポジットレジジン (ユニヴァーサルコンポジットレジジン) として Clearfil Majesty ES-2 (ES2; Kuraray Medical, A2, Lot.1J0001) の計5種とした (表1, 2)。

2. 方法

1) 着色試験

(1) 試料の作製

試料は直径11 mm, 厚さ5 mm のポリエチレンモールド内にコンポジットレジンを充填し, 上下面をスライドガラスを介して1 kg の荷重を60秒間加えた, 光照射器 (Optilux LCT, Kerr) にて60秒間上下面より光照射して硬化させて作製した。その後, 圧接面から約0.5 mm を削除するように耐水研磨紙にて #4,000 まで全面を研磨し, ラッピングフィルム #15,000 (3M ESPE, Minnesota, USA), そしてダイヤモンド砥粒とバフを用いて鏡面研磨を施し, 蒸留水にて30分間超音波洗浄した。洗浄後, 側面と裏面はネールヴァーニッシュを塗布した。また, 光照射のみの未研磨群も同様に作製し, 以下の実験に供した。

(2) 着色試験

着色溶液は, 茶葉3.5 g に沸騰蒸留水100 ml を加え, 90秒間放置して抽出した後, 濾紙 (Advantec, #5A) を用いて濾過し緑茶抽出液を得た。1試料に対して5 ml の抽出液で浸漬し, 37°C にて毎分60回の振盪状態で保管した。抽出液の交換は1日ごととして28日間保管した。また, 37°C 蒸留水に浸漬した群 (蒸留水保管群) も作製して同期間で交換を行い, さらに室温大気中保管群も同様に作製した。各保管群の試料数は6個とした。

(3) 色差測定

各保管した試料表面を色彩色差計 (CR241, ミノルタ, 測色径1.8 mm) にて $L^*a^*b^*$ 表色系により測色し, 着色試験7, 14, および28日後を測定した。測色に際しては試験片をエアーにて軽く乾燥して1試料につき3箇所を測定し, その平均値を試料の値とした。なお, 色差は基準に ΔE^*ab を算出した [$\Delta E^*ab = (\Delta a^2 + \Delta b^2 + \Delta L^2)^{1/2}$]。色差の有意差は95%以上の人が色差を感じることができるとされる ΔE^*ab の平均

値が1.2以上を以て検定した²¹⁾。

2) 未重合層の測定

(1) 試料の作製

試料は直径20 mm, 厚さ1 mm のポリエチレンモールド内にコンポジットレジンを充填し, 上下面をスライドガラスを介して1 kg の荷重を60秒間加えた後, 光照射器にて60秒間上下面より光照射して硬化させて作製した。

(2) 未重合層の除去と厚さの計測

光照射した直後に試料の重量を秤量 (AE163, Mettler) し, その後表層の未重合層をアセトンにて十分に除き, 再度秤量し, 各コンポジットレジンの密度, 硬化物の容積と表面積から未重合層の厚さを算出した。なお, 各コンポジットレジンは9個とし, 得られた値はそれぞれの平均値および標準偏差を求め, 一元配置分散分析により有意水準5%で統計的に処理し, 有意差が認められた場合にはさらに Tukey's の多重比較検定を行った (IMB[®] SPSS[®] Statistics version 20 使用)。

3) 光沢度の測定

(1) 試料の作製

試料は直径11 mm, 厚さ5 mm のポリエチレンモールド内にコンポジットレジンを充填し, 上下面をスライドガラスを介して1 kg の荷重を60秒間加えた後, 光照射器にて60秒間上下面より光照射して硬化させて作製した。その後, 圧接面から約0.5 mm を削除するように耐水研磨紙にて #4,000 まで全面を研磨し, ラッピングフィルム #15,000, そしてダイヤモンド砥粒とバフを用いて鏡面研磨を施し, 蒸留水にて30分間超音波洗浄した。洗浄後, 側面と裏面はネールヴァーニッシュを塗布した。また, 光照射のみの未研磨群も同様に作製し, 以下の実験に供した。

(2) 光沢度の差の算出

試料表面を光沢計 (GM-268, KONICA MINOLTA, 測色径1.8 mm) にて測定角度60°とし, キャリブレーション後に計測した後, 37°C 蒸留水中および室温大気中に7, 14, および28日後の光沢度を測定した。測定に際しては試験片をエアーにて軽く乾燥して各試料の中央付近を3回測定し, その平均値をもって試料の値とし, 試料作製直後を基準に光沢度の差を算出した。各保管群の試料数は9個とし, 未重合層の厚さと同様に統計的に分析を行った。

結 果

1. 色差

着色試験後の色差の結果を図1から5に示す。EFQ群を除き, 未研磨群はフロアブルコンポジットレジジン,

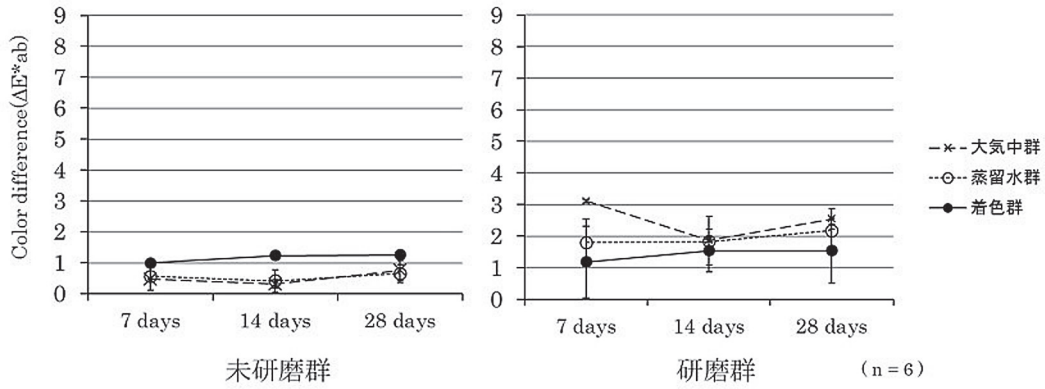


図1 各保管期間におけるEFQの色差 (ΔE*ab)

未研磨群は着色群で他群と比べて若干の色差を生じたが有意な差はなく、研磨群では着色群が他群と比べて色差が低かった。

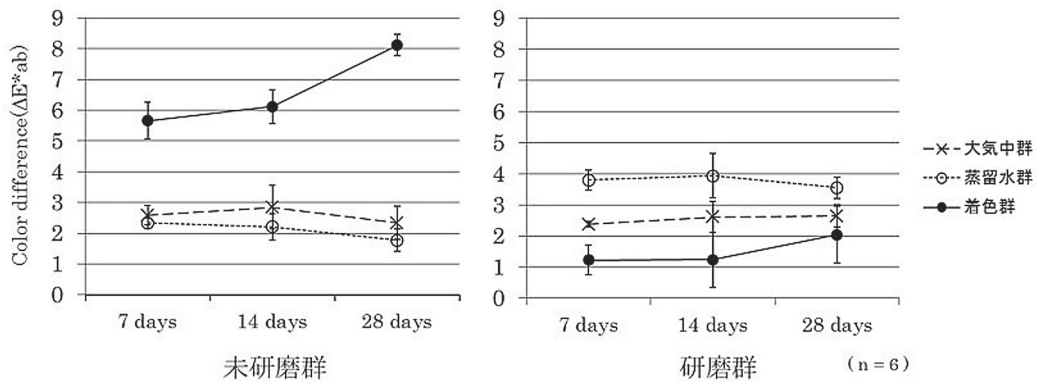


図2 各保管期間におけるMIFの色差 (ΔE*ab)

未研磨群は着色群が保管期間の延長とともに色差が有意に高くなり、研磨群では着色群が他の保管条件よりも低い色差であった。

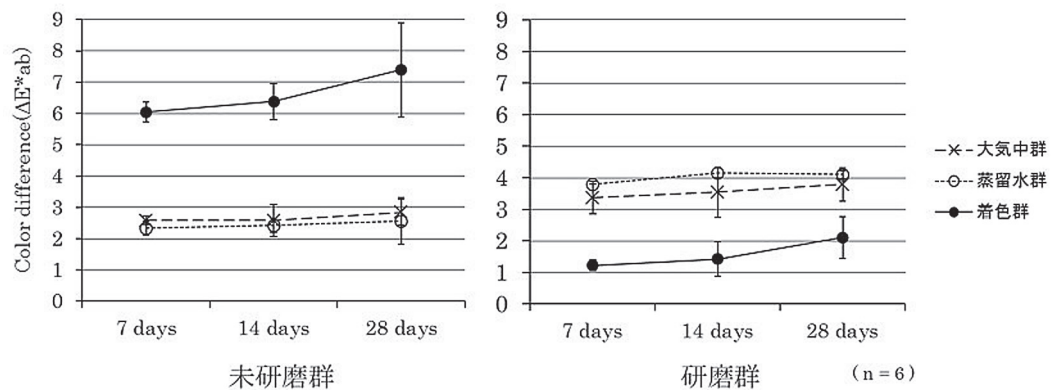


図3 各保管期間におけるCMLの色差 (ΔE*ab)

未研磨群は着色群が保管期間の延長とともに色差が有意に高くなり、研磨群では着色群が他の保管条件よりも低い色差であった。

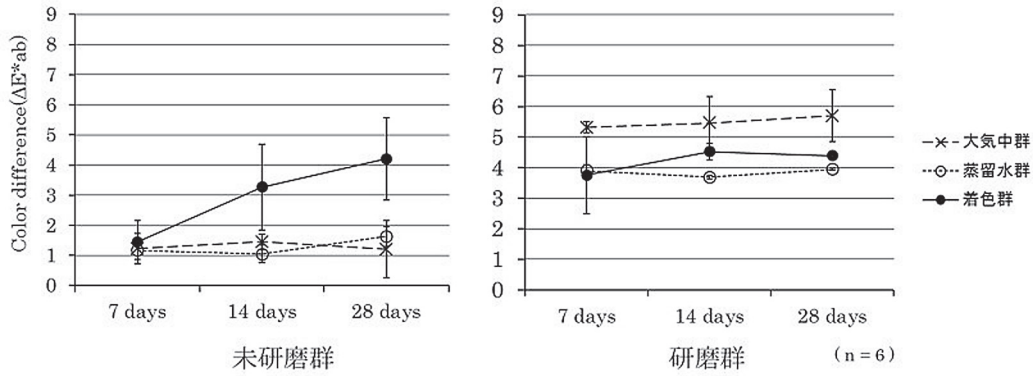


図4 各保管期間におけるTRFの色差 (ΔE*ab)

未研磨群は着色群が保管期間の延長とともに色差が有意に高くなり、研磨群では着色群の色差が高く、他の保管条件と同様の色差となった。

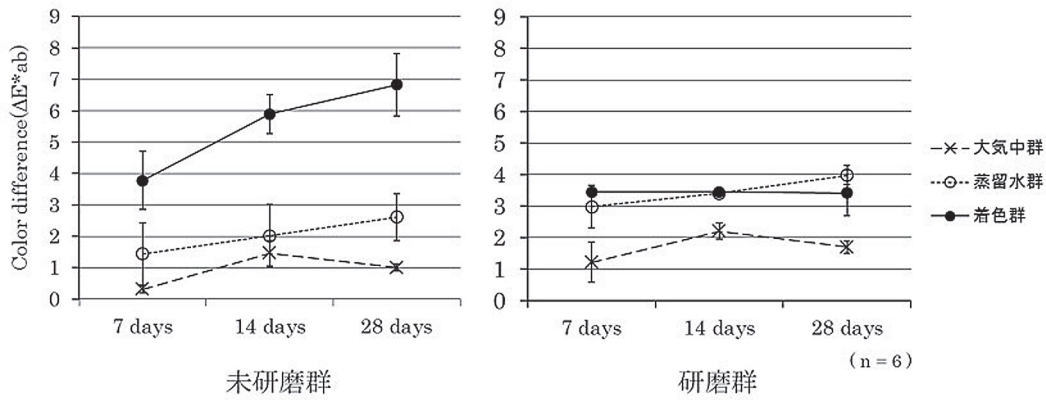
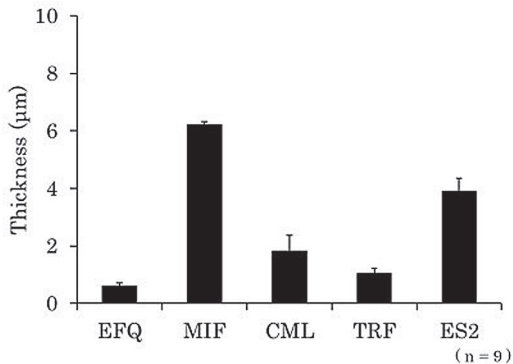


図5 各保管期間におけるES2の色差 (ΔE*ab)

未研磨群は着色群が保管期間の延長とともに色差が有意に高くなり、研磨群では着色群の色差が高く、他の保管条件と同様の色差となった。



(One-way ANOVA, Post-Hoc Tukey's multiple comparison tests)
All group were significantly different from ES2 (p<0.05)

図6 各コンポジットレジンの未重合層の厚さ

未重合層の厚さで最も厚かったのはMIFで6μm、次いでES2、CML、TRF、EFQの順となり、最も薄かったEFQで約0.6μmの未重合層であり、すべてのコンポジットレジン間で有意な差を認めた。

ペーストタイプコンポジットレジンに関わらず、着色群が室温大気中保管群および蒸留水保管群と比較して28日保管後でΔE*ab値が4以上となり有意な色差を示した。研磨群の着色群は未研磨群と比べて、また室温大気中保管群および蒸留水保管群と比べて継続的に有意な色差の変化は認められなかった。また、EFQ群は他のコンポジットレジンと比べて、未研磨群および研磨群ともに色差の有意な差は認められなかった。

2. 未重合層の厚さ

各コンポジットレジンの未重合層の厚さの結果を図6に示す。各コンポジットレジン間すべてで有意な差が認められ、MIF群の未重合層は約6μmと他のコンポジットレジンと比べて有意に厚かった (p<0.05)。また、ES2群も約4μmと厚く、CML群は約2μm、TRF群は約1μmであり、EFQ群は約0.6μmと他のコンポジットレジンと比較して最も薄い未重合層であ

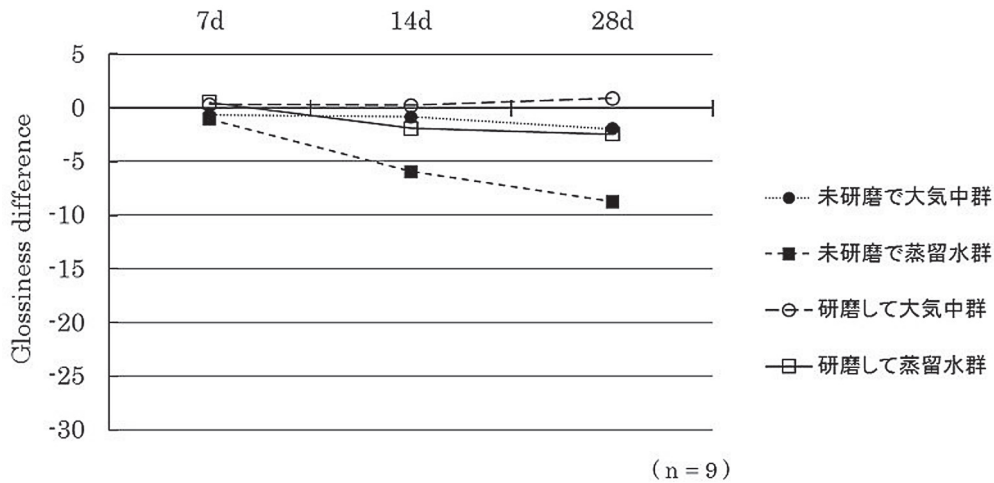


図7 各保管期間におけるEFQ表面の光沢度の差

未研磨群は蒸留水群が保管期間の延長とともに光沢度の有意な差が生じ、研磨群では継時的な差は認められなかった。

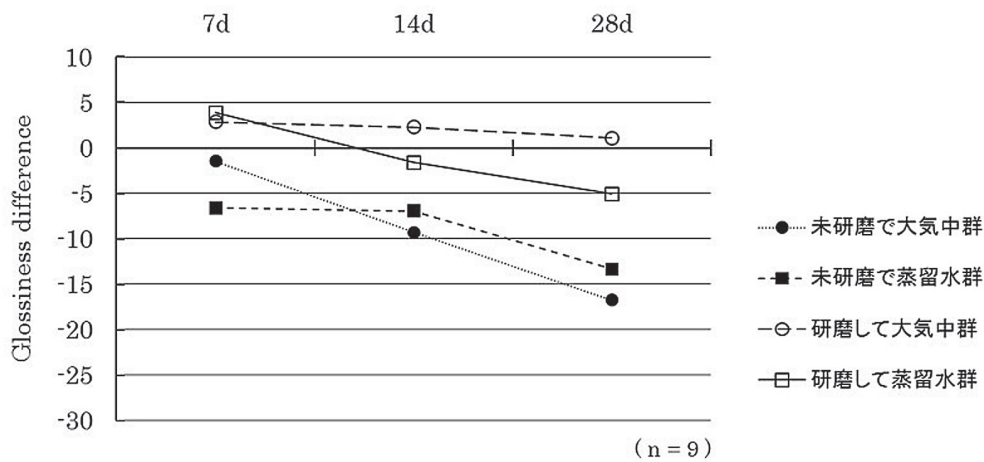


図8 各保管期間におけるMIF表面の光沢度の差

未研磨群では大気中群および蒸留水群、研磨群では蒸留水群で保管期間の延長とともに差が大きくなる傾向であった。

り、有意に低い値であった ($p < 0.05$)。

3. 光沢度の差

着色試験後の光沢度の差を図7から11に示す。各コンポジットレジン中の光沢度の差の傾向は同様であり、研磨した室温大気中保管群の光沢度の低下は有意な差は認められず ($p > 0.05$)、未研磨の蒸留水保管群が経時的に有意な光沢度の差を示した ($p < 0.05$)。特に、MIFとES2の未研磨群の室温大気中および蒸留水保管群が28日後において他のコンポジットレジンと比較して有意な光沢度の差であった ($p < 0.05$)。

考 察

近年、金属の高騰や金属アレルギーの懸念や回避²²⁾、より天然歯に近い色調での修復ならびに補綴処置としてセラミックスやコンポジットレジンが頻用されてきおり、物性の改良により臨床においても信頼性が高くなってきている^{23,24)}。その中でコンポジットレジンでは操作性の良さから直接修復処置に最も使用され、流動性の良好なフロアブルコンポジットレジンが主流となる傾向である²⁵⁾。しかしながら、ペースタイプと比較して機械的強度に疑問もあり、臼歯部など

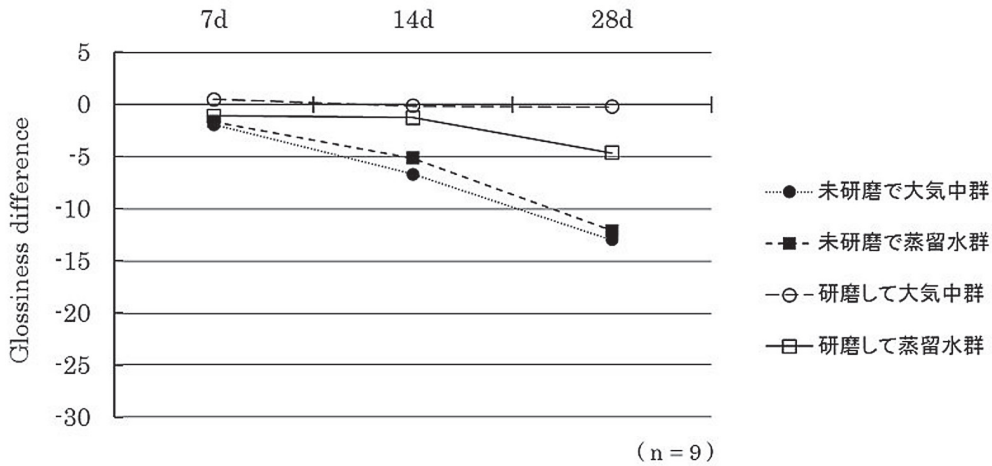


図9 各保管期間におけるCML表面の光沢度の差

未研磨群では大気中群および蒸留水群，研磨群では蒸留水群で保管期間の延長とともに差が大きくなる傾向であった。

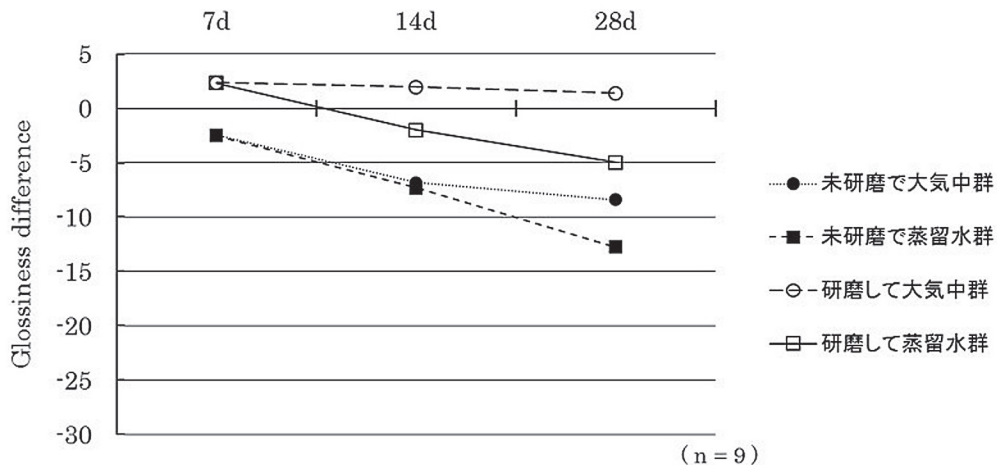


図10 各保管期間におけるTRF表面の光沢度の差

未研磨群では大気中群および蒸留水群，研磨群では蒸留水群で保管期間の延長とともに差が大きくなる傾向であった。

の咬合力が負荷する部位への使用には懸念がまだ残る²⁶⁾。また、修復後に時間の経過とともに着色性の食品や嗜好品、プラーク由来の色素等が修復物表面へ沈着、あるいは吸着することから着色する傾向があるという欠点も指摘されている^{27,28)}。さらに、照射後も充填物表面には光沢があり、研磨操作を行わないで修復処置が終了する場合もあり、審美的材料として色調の変化が生じる可能性があると考えられる。

そこで本研究では、フロアブルコンポジットレジンの光重合後の研磨操作の有無に着目して、着色性と未重合層の厚さ、ならびに光沢度の差を検討することを目的とした。

コンポジットレジンの色調については、光重合形式の場合、照射時間に依存する可能性が考えられる。フロアブルコンポジットレジンの重合時の照射時間と色調の変化の関係については、20秒間であると60秒間と比べて水中2週間後で色調の変化が大きくなると報告²⁹⁾されていることから、本研究では、すべての試料の作製時の照射時間を60秒間とした。

また、本研究における着色試験では色素基準試料として色素液浸漬前の各試料と、比較として蒸留水保管の試料を用いた。これはコンポジットレジンの色調が修復後経過的に変化する性質を有しているため³⁰⁾、着色による正確な色差を得るためには同一材料の蒸留水

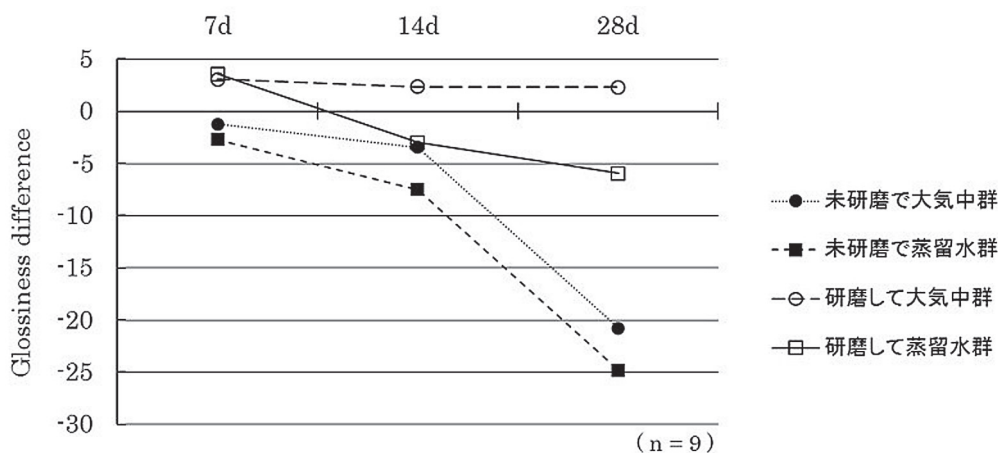


図 11 各保管期間における ES2 表面の光沢度の差
未研磨群では大気中群および蒸留水群，研磨群では蒸留水群で保管期間の延長とともに差が大きくなる傾向であった。特に ES2 は 28 日保管で最も大きな光沢度の差が生じた。

保管試料を基準とすることが妥当であると考えられる。また同期間での水分の影響を考慮するために，室温大気中保管の試料も作製した。

その結果，28 日間の着色試験後，未研磨群はフロアブルコンポジットレジン，ペーストタイプコンポジットレジンに関わらず，大気中保管群と蒸留水保管群と比べて継時的に明らかな着色を生じた。特に MIF の未研磨の着色群が大気中保管群および蒸留水保管群と比較して有意な色差を示した。研磨した着色群は未研磨群と比べて，また室温大気中保管群および蒸留水保管群と比べて大きな色差の変化は認められず，TRF と ES2 群を除き，低い色差を維持していた。これは，未研磨群の試料表面には未重合層が存在することにより，緑茶抽出液の色素が吸収したため，研磨群と比較して著しく色差が生じたと考えられる。

各フロアブルコンポジットレジンのフィラー含有量は製品により約 40 から 80 wt% と幅は広く，フィラー形態や検出される構成元素も異なる³¹⁾。レジンの流動性は単にフィラーの含有量のみが影響を与えるのではなく，フィラーの形態や含有するモノマーの配合量により決まるため，各メーカーは独自の製品に特徴を与えるために工夫するところである^{32,33)}。その中で供したフロアブルコンポジットレジンで EFQ は他のコンポジットレジンと比べて，未研磨群および研磨群ともに着色性が低かったこと，また未重合層も薄いことから表層部の劣化が生じ難い傾向であると考えられる。さらに 0.4 μm と 0.07 μm の 2 種類の径の球状フィラーを 71 wt% 配合されていることにより，表面滑沢性が得られ，色調変化を小さくしていると考えられる。EFQ のマトリックスレジンとして，他のコンポ

ジットレジンと違いラジカル増幅型光重合開始剤を採用したテクノロジー³⁴⁾で短時間において重合硬化が終了することからも色調の変化も低くなったと考えられた。韓らは³⁵⁾，酸性もしくはアルコール性ドリンクに浸漬した後も，表層部粗造化を指標として，既存の製品について比較検討した結果，EFQ の表面安定性は他のコンポジットレジンよりも向上し，酸性あるいはアルカリ環境下では，フィラーの少ないマトリックスレジン成分の多い材料に対しても不利な条件であると示唆している。

MIF にはランタンフッ化物フィラーとストロンチウムガラスフィラーが配合されており，フッ化物含有，かつ大きいフィラー粒子の間隙をナノフィラー粒子が埋めることでフィラー含有率が向上したナノハイブリッドタイプで，マトリックスレジンの露出が少ない構造となっていると報告されている^{36,37)}。

また，CML は 20 nm のシラン処理されたコロイダルシリカと 3 μm 以下のバリウムガラスフィラーが配合されたマイクロハイブリッドタイプ，TRF は 400 nm と 700 nm のサイズの異なるイットリウム・フルオロフィラーを配合したナノハイブリッドタイプである。

フロアブルコンポジットレジンの表層部劣化の程度は，フィラーの種類にも関係があり，フッ化物がフィラーに配合されている場合はフッ化物の徐放が，バリウムガラスはアルカリ環境下で表層部に劣化が生じると報告¹⁷⁾されている。また，これらフィラーは水分の影響を強く受けること，酸やアルカリに対する抵抗も弱いことから比較的容易にマトリックスレジンから脱離し，表面劣化の一因となり，未研磨群の MIF と

ES2は未重合層が厚かったこともあり、色差が著しく高かったと推察される。

コンポジットレジンにおいて、マトリックスレジン中のフィラーの分布様式も表層部劣化に影響を与えると考えられる。フロアブルコンポジットレジンのマトリックスレジンには流動性の高いモノマーや希釈モノマーが用いられているため、フィラーが自重により容器の中に不均一に分布する結果、充填物表面でマトリックスレジンの露出が多くなる可能性があり、フィラー含有率の低い材料に表面劣化を生じやすいと推察できる。また、シラン処理されたフィラー添加のコンポジットレジン材料は、材質の向上が確認されており³⁸⁻⁴⁰、製造段階においてマトリックスレジンにおけるフィラーの分布が均一度の高いコンポジットレジン材料に仕上げられ、品質が向上したと報告されているが、微細化されたフィラーを均一にマトリックスレジン中に混和することも容易でなく、これもフロアブルコンポジットレジンの表面にマトリックスレジン露出の多い要因の一つと考えられる。

ペースタイプコンポジットレジンは重合時に空気中の酸素の影響で再表層に未反応なマトリックスレジンである未重合層が存在する。同様にフロアブルコンポジットレジンにも重合後には未重合層が存在し、製品によりその層の厚さが異なることを本研究より明らかとなった。この未重合層の厚さは、各フロアブルコンポジットレジンの組成、特にベースモノマーの含有量に依存すると考えられるが、通常はフィラーの含有量を重量率(wt%)から差し引いたものがマトリックスレジンとなり、未重合層の厚みと関係があると思われる。しかしながら、本研究より未重合層の厚さは、重量率よりも容積率(vol%)に影響される傾向であることが示唆された。本研究で供した試料は、ガラス面を上下に挟み、大気に触れない状態で各コンポジットレジンを重合硬化させて作製し、表層に未重合層が存在したが、臨床においては光照射する方向には大気が存在し、さらに未重合層が厚くなると考えられる。したがって、先に述べたように、未重合層が厚いフロアブルコンポジットレジンは着色が強くなり、色差も大きくなる傾向であった。

本研究では、重合硬化後の研磨操作の有無に着目して、着色試験後の色差と未重合層の厚さについて検討したが、さらに臨床的な観点から肉眼的に見た時を考慮して光沢度を測定した。光沢度については、継時的な変化を実数値で表記するのが通常であるが、本研究では、色調については色差として測定しているため、光沢度についても継時的な差として検討を行った。その結果、各コンポジットレジンの光沢度の差の傾向は

色差と同様であり、研磨した室温大気中保管群の光沢度の変動は最も低く、未研磨の蒸留水保管群が経時的に光沢度の差の低下が著明であった。これは光照射後に肉眼でも光沢があり、未重合層が存在することが認められるため、水中保管により未重合層に水分の吸収あるいは未重合層が溶出したことから光沢度が低下したと考えられた。

特に、MIFとES2の未研磨群の室温大気中および蒸留水保管群が28日後において他のコンポジットレジンと比較して著明な光沢度の差が生じた。この2種のコンポジットレジンのマトリックスレジンの含有量は、他のコンポジットレジンを比べて容積率(vol%)が若干低いため、未研磨である表層に存在する未重合層に蒸留水保管した群では吸水、そして室温大気中保管した群では大気中の酸素との反応が生じて光沢度の差が著しく低下したと考えられる。

また、通常大きな粒子のフィラーが含まれるレジンの機械的強度は向上するものの、フィラーが脱離するとレジン最表層は粗面となる⁴¹。ES2は0.37から1.5 μm フィラーを配合されたハイブリッドタイプであり、フィラー粒径が他のフロアブルコンポジットレジンと比べて比較的大きく、光沢度に依存したと考えられる。修復物あるいは補綴物の表面粗さの値が高いと光沢度が低下し^{42,43}、反対に表面粗さが低くなると光沢度が高くなると報告されている⁴⁴。

コンポジットレジンの着色因子は表面粗さ以外に、重合度、気泡率、ベースレジンの種類、ならびに着色環境などの種々な物理化学的性状が影響していると思われる。一概に言うことはできないが、今回の研究から、コンポジットレジンの組成により着色の違いが明確となった。さらに未重合層を取り残すと着色する傾向が非常に高く、光沢も低下することから吸水によるコンポジットレジン自体の劣化が考えられ、審美性以外にも機械的強度にも関係する可能性があるため、研磨操作は必要であることが示された。

審美性修復に対する社会的需要は、現在もなお強まる傾向にある。このような要求が修復用コンポジットレジンの急速な発展を促し、より長期に亘る摩耗抵抗性、および高い色調安定性、加えて操作性がより簡便な製品の開発に多くの努力が払われている。したがって、修復物表面の着色を極力抑えられるコンポジットレジンを検索することは、審美修復の成否を担うこととして本研究は意義深いものと考えられる。

結 論

フロアブルコンポジットレジンとペースタイプコンポジットレジンに対する研磨の有無による着色試験

からの色差と未重合層の厚さ、および光沢度の差を検討し、以下の結果を得た。

1. 着色試験により、フロアブルコンポジットレジンペーストタイプと同様に未研磨群では研磨群と比較して有意に色差が高かった。
2. フロアブルコンポジットレジンの着色性はフィラーの重量率よりも容積率に依存する傾向であった。
3. 各フロアブルコンポジットレジンの未重合層の厚さは様々であった。
4. フロアブルコンポジットレジンペーストタイプと同様に未研磨群は保管期間の延長とともに光沢度に著しい差が生じた。
5. フロアブルコンポジットレジンのEFQは、他のフロアブルコンポジットレジンとペーストタイプコンポジットレジンと異なり、未研磨群も着色試験後の色差に有意な差は認められなかった。

以上より、フロアブルコンポジットレジンペーストタイプと同様に照射後に表層に未重合層が存在し、研磨操作により着色が抑えられることが示され、臨床においても長期間の色調の安定性を得るためには研磨操作は必要であることが示された。

謝 辞

本研究の一部は、文部科学省平成25年度科学研究費補助金基盤研究(C) 課題番号25462973の援助を受けたことを付記し、謝意を表します。なお、本研究で使用した材料および方法については利益相反がないことを付記する。

文 献

1. Lee IB, Son HH, Um CM: Rheologic properties of flowable, conventional hybrid, and condensable composite resins. *Dent Mater* **19**: 298-307, 2003.
2. Baroudi K, Saleh AM, Silikas N, Watts DC. Shrinkage behavior of flowable resin-composites related to conversion and filler-fraction. *J Dent* **26**: 651-655, 2007.
3. 杉崎順平. 「Minimal Intervention—侵襲の少ないう蝕治療を目指して—保存修復学におけるミニマル・インターベンション」を聴いて. *日本歯科評論* **65**: 137-140, 2005.
4. 緒方美和子, Patricia NR Pereira, 原田直子, 中島正俊, 田上順次. フロアブルレジンがくさび状欠損窩洞への接着強さに及ぼす影響. *接着歯学* **21**: 55-61, 2003.
5. Asmussen E. An accelerated test for color stability of restorative resins. *Acta Odontol Scand* **39**: 329-332, 1981.
6. Raptis CN, Powers JM, Fan PL, Yu R. Staining of composite resins by cigarette smoke. *J Oral Rehabil* **9**: 367-371, 1982.
7. Kalachandra S, Wilson TW. Water sorption and mechanical properties of light cured property composite tooth restorative materials. *Biomater* **13**: 105-109, 1992.
8. Crisp S, Lewis BG, Wilson AD. Characterization of glassionomer cements. 6. A study of erosion and water absorption in both neutral and acidic media. *J Dent* **8**: 68-74, 1980.
9. Ferracane JL, Moser JB, Greener EH. Rheology of composite restoratives. *J Dent Res* **60**: 1678-1685, 1981.
10. Assmussen E. Softening of BISGMA-based polymers by ethanol and by organic acids of plaque. *Scand J Dent Res* **92**: 257-261, 1984.
11. Lee SY, Greener EH, Mueller HJ, Chiu CH. Effect of food and oral simulating fluids on dentine bond and composite strength. *J Dent* **22**: 352-359, 1994.
12. Geurtsen W. Substances released from dental resin composites and glass ionomer cements. *Eur J Oral Sci* **106**: 687-695, 1998.
13. Neamat AB, Han L, Okamoto A, Iwaku M. Effect of alcoholic and low pH soft drinks on fluoride release from compomer. *J Esthet Dent* **12**: 97-104, 2000.
14. Wongkhantee S, Patanapiradej V, Maneenut C, Tantbirojn D. Effect of acidic food and drinks on surface hardness of enamel, dentin, and toothcolored filling materials. *J Dent* **34**: 214-220, 2006.
15. Kitchens M, Owens BM. Effect of carbonated beverages, coffee, sports and high energy drinks, and bottled water on the in vitro erosion characteristics of dental enamel. *J Clin Pediatr Dent* **31**: 153-159, 2007.
16. 松本好史, 寺中敏夫, 岩本次男. フルオロカーボン鎖を持つシランカップリング剤によるコンポジットレジンの着色抑制効果. *日歯保存誌* **39**: 196-208, 1996.
17. Neamat AB, Han L, Okamoto A, Iwaku M. Change in the mechanical properties and surface texture of compomer immersion in various media. *J Prosthet Dent* **84**: 444-452, 2000.
18. Neamat AB, Han L, Okamoto A, Iwaku M. Color stability of compomer after immersion in various media. *J Esthet Dent* **12**: 258-263, 2000.
19. Han L, Okamoto A, Fukushima M, Okiji T. Evaluation of flowable resin composite surfaces eroded by acidic and alcoholic drinks. *Dent Mater J* **27**: 455-465, 2008.
20. 石崎裕子, 韓 臨麟, 岡本 明, 興地隆史. 各種ドリンクがフロアブルレジンの曲げ強さに与える影響. *日歯保存誌* **51**(春季特別号), **76**: 16, 2008.
21. 日本色彩研究所の調査による. (財)日本色彩研究所編. カラーマッチングの基礎と応用. 第1版, 日刊工

- 業新聞社, 東京, 183-255, 1991.
22. 吉川涼一. 口腔内金属が全身におよぼす影響について 歯科金属アレルギー治療の現状. 兵庫歯科学院雑誌 **37**: 24-30, 2014.
 23. van Dijken JW, Pallesen U. Clinical performance of a hybrid resin composite with and without an intermediate layer of flowable resin composite: a 7-year evaluation. *Dent Mater* **27**: 150-156, 2011.
 24. Rocha Gomes Torres C, Rego HM, Perote LC, Santos LF, Kamozaiki MB, Gutierrez NC, Di Nicolo R, Borges AB. A split-mouth randomized clinical trial of conventional and heavy flowable composites in class II restorations. *J Dent* **42**: 793-799, 2014.
 25. 森上 誠, 行定健治, 田島賢一, 杉崎順平, 宇野 滋, 山田敏元. フロアブルレジンの使用頻度に関する研究. 接着歯学 **29**: 55-59, 2011.
 26. Okamura H, Miyasaka T, Hagiwara T. Development of dental composite resin utilizing low-shrinking and low-viscous monomers. *Dent Mater J* **25**: 437-444, 2006.
 27. Khokhar ZA, Razzoog ME, Taman P. Color stability of restorative resins. *Quintessence Int* **22**: 733-737, 1991.
 28. Kheraif AL, Abdullah AA. Effect of different beverages on the color stability and degree of conversion of nano and microhybrid composites. *Dental Mater J* **32**: 326-331, 2013.
 29. Harorli OT, Barutcgil C, Bayindir YZ, Bayindir F. Effect of water storage and additional polymerization on the color parameters of flowable resin composites. *J Contemp Dent Pract* **14**: 1109-1114, 2013.
 30. 間 奈津子, 浅井知宏, 手銭親良, 末原正崇, 森永一喜, 村松 敬, 古澤成博. 研磨後のコンポジットレジンの表面粗さがその後の着色に及ぼす影響. 日歯保存誌 **56**: 617-622, 2013.
 31. 近藤正也, 森上 誠, 杉崎順平, 荻谷憲明, 山田敏元. 各種フロアブルレジンの硬化物のSEM観察. 接着歯学 **21**: 1-6, 2003.
 32. 高見沢俊樹, 宇山 聡, 色川敦士, 川本 諒, 辻本暁正, 土屋博昭, 大藤竜樹, 宮崎真至. フロアブルに関する研究-特に無機フィラー含有量, 重合収縮率および粘弾性特性について-. 接着歯学 **25**: 162-169, 2007.
 33. 星加知宏, 西谷佳浩, 高橋 圭, 田中久美子, 中田 貴, 山路公造, 吉山昌宏. フロアブルコンポジットレジンのフロー性に関する研究. 接着歯学 **27**: 118-124, 2009.
 34. 宇野 滋, 森上 誠, 杉崎順平, 山田敏元. フロアブルコンポジットレジンの“エステルライトフロークイック”の重合挙動. 接着歯学 **24**: 130-135, 2006.
 35. 韓 臨麟, 福島正義, 興地隆史. 新規フロアブルレジンの表面性状観察-各種ドリンク浸漬後の変化-. 日歯保存誌 **52**: 184-189, 2009.
 36. 田島賢一, 杉崎順平, 森上 誠, 宇野 滋, 山田敏元. 新規高強度フロアブルレジンのMIフィルの基礎的性能と臨床応用. 接着歯学 **29**: 1-7, 2011.
 37. 熊谷知弘. ジーシーの審美修復材料に関して. 接着歯学 **29**: 35-38, 2011.
 38. Soderholm KJ, Shang SW. Molecular orientation of silane at the surface of colloidal silica. *J Dent Res* **72**: 1050-1054, 1993.
 39. Condon JR, Ferracane JL. In vitro wear of composite with varied cure, filler level, and filler treatment. *J Dent Res* **76**: 1405-1411, 1997.
 40. Lim BS, Ferracane JL, Condon JR, Adey JD. Effect of filler fraction and filler surface treatment on wear of microfilled composites. *Dent Mater* **18**: 1-11, 2002.
 41. Albers HF. Tooth-colored restoratives principles and technique. Ninth Edition. BC Decker Inc: London, 111-125, 2002.
 42. 松原五郎, 片山 直. コンポジットレジンの各種ディスクによる研磨表面の性状について. 日歯保存誌 **38**: 479-491, 1995.
 43. 南部敏之, 谷 嘉明. 複合レジンの修復材の表面光沢に関する研究. 歯材器 **35**: 421-430, 1978.
 44. 丸山慶四郎, 石川明子. コンポジットレジンの仕上げ研磨表面の評価. 日歯保存誌 **54**: 48-60, 2011.