

多種イオン徐放性フィラー含有バーニッシュ塗布面直下の 歯根象牙質脱灰抑制能

片岡 あい子^{1,2} 椎谷 亨¹ 富山 潔¹
藤野 富久江² 向井 義晴¹

¹神奈川歯科大学大学院歯学研究科 口腔統合医療学講座 保存修復学分野

²神奈川歯科大学短期大学部歯科衛生学科

抄録

目的：多種イオンの徐放可能な S-PRG (Surface Pre-Reacted Glass-ionomer) フィラー含有バーニッシュ (PRG バーニッシュ) を 3 日間歯根象牙質面に塗布した後、剥離し、塗布面直下の脱灰抑制効果について、Transverse microradiography (TMR) を使用して同程度のフッ化物イオンを徐放する NaF 含有バーニッシュと比較検討した。

材料と方法：PRG バーニッシュならびに NaF の含有量を変化させたシリカフィラーバーニッシュからのフッ化物徐放量を測定したところ、PRG バーニッシュからの徐放量は 1.0% NaF 含有バーニッシュと近似していたため、脱灰抑制実験グループは、コントロール (CONT) 群、1.0%NaF 含有バーニッシュ (1.0FV) 群、PRG バーニッシュ (PV) 群の 3 群 (n=6) とした。ウシ下顎切歯歯根を歯頸部直下およびそれより 5 mm 根尖側の位置で水平断し円筒状象牙質歯片を作製後、ワイヤー式精密切断機にて歯軸方向に 2 分割し、根面を研磨して平坦な象牙質面にしたものを試料とした。象牙質面に対して CONT 群は材料を塗布せず、1.0FV 群と PV 群は材料を塗布した。脱イオン水中に 3 日間浸漬後、綿棒にて材料を剥離・除去した。1×3 mm の被験面以外を耐酸性バーニッシュで被覆し、酢酸ゲル (pH 5.0) 中で 1 週間脱灰した後、薄切片を作製し、TMR 撮影後、分析用ソフト (TMR 2006 および 2012) を用いてミネラルプロファイルの作成、ミネラル喪失量 (IML) および脱灰深度を計測した。3 群間の比較には、One-way ANOVA および Games-Howell の多重比較検定 (有意水準 5%) を用いた。

成績：各群の TMR 像および平均ミネラルプロファイルでは、1.0FV および PV 群は CONT 群と比較して表層のエックス線不透過性が高く、ミネラル密度は 27 vol% であった。また、PV 群の病巣体部のエックス線不透過性ならびにミネラル密度もほかの 2 群に比較して高く維持されており、ミネラル密度は 18 vol% を示した。脱灰深度は 3 群間で有意差は認められなかったが、IML (vol%×μm) は、CONT 群 3,200±184、1.0FV 群 2,817±149、PV 群 2,523±121 であり、CONT 群と PV 群の間に有意差が認められた。PRG バーニッシュはフッ化物イオン以外にも緩衝作用を有するイオンなどを徐放することから、それらのイオンが歯根象牙質に浸透し、材料が剥離・除去した後も塗布面直下象牙質の脱灰抑制効果が発揮されたものと考えられた。

結論：S-PRG フィラー含有バーニッシュは、材料が剥離した後も塗布面直下象牙質の脱灰を抑制する。

キーワード：根面齲蝕、マイクロラジオグラフィ、脱灰抑制、フッ化物、S-PRG フィラー

責任著者連絡先：片岡あい子

〒238-8580 神奈川県横須賀市稲岡町 82 神奈川歯科大学大学院歯学研究科口腔統合医療学講座保存修復学分野

TEL : 046-822-8854, FAX : 046-822-8853, E-mail : kataoka@kdu.ac.jp

受付：2019年1月15日/受理：2019年3月5日

DOI : 10.11471/shikahozon.62.115

緒 言

平成28年歯科疾患実態調査¹⁾によれば、80歳で20本以上の歯を有する者の割合(8020達成者の割合)は51.2%と推計されるが、それらの歯は根面齲蝕の危険性に大きくさらされている²⁻⁵⁾。わが国の60歳を超える高齢者287名についての疫学的調査²⁾によれば、約39%の患者において1つ以上の根面齲蝕がみられ、53.3%において少なくとも1つの根面齲蝕もしくは治療された根面齲蝕が存在する。同時に歯周疾患にも罹患していることが多いことも、歯科的な対応を複雑化させている。特に施設に入居しているような高齢者にとっては、ADL (Activities of Daily Living: 日常生活動作) の低下が口腔ケアの基本であるセルフケアを困難にさせ、根面齲蝕の増加を誘発している⁶⁾。

根面齲蝕のマネジメントを実施するうえで、予防と進行抑制は重要である。初期根面齲蝕に対してはフッ化物配合歯磨剤と0.05% NaF (230 ppm F) 配合洗口剤の併用、もしくは1,100 ppm F以上のフッ化物配合歯磨剤の使用が推奨されている⁷⁾。フッ化物の活用には、洗口による方法、フッ化物含有歯磨剤によるセルフケア、フッ化物歯面塗布などが挙げられるが、一般に萌出しているすべての歯にフッ化物を作用させるのが基本となっている。一方、患者のコンプライアンスの状況によっては、あえて全顎塗布せずにリスクの高い歯(歯面)に限定して塗布することを検討すべきである。このように、高リスク部に的を絞る予防を「target prevention」という⁸⁾。

フッ化物含有バーニッシュは、target preventionとして歯科診療室ならびに地域保健の現場で30年以上にわたって使用されてきた⁹⁾。この材料は高濃度のフッ化物を齲蝕リスクの高い歯面に部分的に長時間停滞させることによって、非侵襲的にフッ素を供給するものであり、欧米で広く使われているのはDuraphatバーニッシュである⁹⁾。わが国では2種類が販売されており、5%のNaF、すなわちフッ化物濃度にして22,600 ppmの高濃度フッ化物を含むペースト状のFバーニッシュ歯科用5% (ビーブランド・メディコーデンタル) およびダイアデント歯科用ゲル5% (昭和薬品化工) の2つである^{7,8)}。しかし、その薬効分類は象牙質知覚過敏鈍麻剤とされており、欧米で普及しているように初期齲蝕の進行抑制や再石灰化とはされていないのが現状である⁷⁾。

また、上記フッ化物含有バーニッシュ以外の、その他局所応用フッ化物製剤として「徐放性フッ化物」がある。すなわち、フッ化物のスローリリースのための方法で、歯科用セメント、コンポジットレジン、およびシーラントのような歯科材料からフッ化物を徐放させるものであ

る。クリンプロXT (3M)、亜鉛ガラス含有ガラスアイオノマーセメント(ジーシー)などのガラスアイオノマーセメント系材料や、PRGバリアコート(松風)などのフッ化物イオンをはじめとした多種イオン徐放性歯面コーティング材料などがそれに相当する。

S-PRG (Surface Pre-Reacted Glass-ionomer) フィラーは、フルオロポロアルミノシリケートガラスを水の存在下でポリアクリル酸と反応させたもので、表層にガラスアイオノマー反応相を形成している。アルミニウムイオン (Al^{3+})、ホウ酸イオン (BO_3^{3-})、フッ化物イオン (F^-)、ナトリウムイオン (Na^+)、ケイ酸イオン (SiO_3^{2-})、ストロンチウムイオン (Sr^{2+}) など多種イオンを徐放する機能を有し、フッ化物イオンを徐放した後、同イオンを取り込みリチャージ能と、再徐放するリリース能をもつことも特徴である^{10,11)}。S-PRG フィラーを含有する歯科材料(コンポジットレジン、シーラント材、コーティング材)の脱灰抑制効果および抗菌作用効果による接触する歯面への齲蝕予防効果は確認されている¹²⁻¹⁸⁾。

今回、上記S-PRG フィラーを含有し、歯質表面に塗布することで薄い被膜を作るようなバーニッシュを試作した。バーニッシュは、元来薬剤の保持時間を長くすることにより効果を期待するものではあるが、歯面に長期的に残存するものではない。そのため、バーニッシュが劣化、脱離した後に、どの程度歯根象牙質の脱灰抑制能がみられるかについて検討することは重要である。

本研究は、S-PRG フィラー含有バーニッシュを歯根象牙質に塗布し、劣化・脱離を想定した材料剥離後の歯根象牙質の脱灰抑制効果について明らかにすることを目的とした。

材料および方法

1. フッ化物イオン徐放量の測定

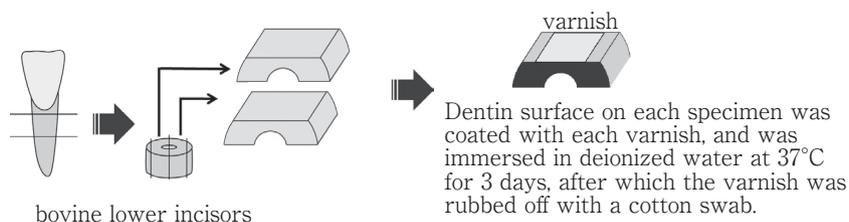
1) 材 料

本実験で使用したバーニッシュをTable 1に示す。S-PRG フィラー40%含有バーニッシュであるPRGバーニッシュ(PV, 松風)、シリカフィラー40%、フッ化ナトリウム0.50%含有のNaFバーニッシュ(0.5FV, 松風)、シリカフィラー40%、フッ化ナトリウム0.75%含有のNaFバーニッシュ(0.75FV, 松風)、シリカフィラー40%、フッ化ナトリウム1.0%含有のNaFバーニッシュ(1.0FV, 松風)の4種を使用した。

2) 各種バーニッシュのプラスチックシートへの塗布
直径6 mmに窓開けした厚さ約70 μ mのマスキングテープ(テプラ)をプラスチックシートに貼付し、4種類のバーニッシュをおのおの塗布した(n=6)。その際、

Table 1 Materials used for measurement of released fluoride

Materials	Main composition	Code	Lot. No.	Manufacturer
PRG varnish	S-PRG filler 40%	PV	011710	Shofu
NaF varnish	Silica filler 40%, NaF 0.50%	0.5FV	011710	
NaF varnish	Silica filler 40%, NaF 0.75%	0.75FV	011710	
NaF varnish	Silica filler 40%, NaF 1.0%	1.0FV	011710	

**Fig. 1** Preparation of dentin specimens and coating procedure of varnishes

塗布する材料の厚みがテープの厚みと同等になるように、カバーガラス（松浪硝子工業）を用いて成形した。その後プラスチックシートごと脱イオン水5 ml中に37°Cで3日間浸漬した。

3) フッ化物イオン濃度測定

2) で得られた各溶液5 mlに対してTISAB III 0.5 mlを加え、超小型スターラーで攪拌しながら、室温下にてイオンメーター（Orion STAR A214, Thermo Fisher Scientific）に接続した複合型フッ素イオン電極（Orion 9609BNWP Ionplus Sure-Flow Fluoride, Thermo Fisher Scientific）を用いてフッ化物イオン濃度を測定した¹⁹⁾。

2. 塗布面直下歯根象牙質脱灰抑制効果の比較

1) 実験試料の作製

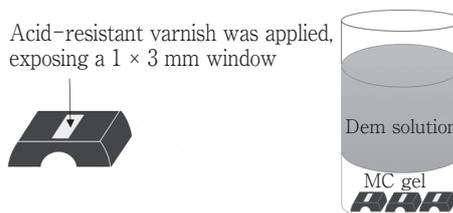
凍結保存したウシ下顎切歯の歯根9本を用意し、歯頸部直下およびそれより5 mm根尖側の位置で低速切断機（Isomet, Buehler, USA）を用いて水平断して円筒状象牙質歯片を切り出した。その後、ダイヤモンドワイヤー式精密切断機（Well3242, Walter Ebner, Germany）にて歯軸方向に2分割し、次いで根面を#2,000耐水研磨紙（Fuji star DCCS, 三共理化学）で研磨して平坦な象牙質面としたものを、脱イオン水中にて5分間超音波洗浄（US-2R US Cleaner, AS ONE）して試料とした²⁰⁾（Fig. 1）。

2) 各種バーニッシュの塗布

使用したバーニッシュをTable 2に示す。S-PRGフィラー40%含有バーニッシュであるPRGバーニッシュ（PV）、PRGバーニッシュと同程度のフッ化物を徐放する比較群として、シリカフィラー40%、フッ化ナトリウム1.0%含有のバーニッシュ（1.0FV）を用いた。バーニッシュ塗布を行わないグループをControl（CONT）とし

Table 2 Materials used for demineralization study

Materials	Main composition	Code
—	—	CONT
NaF varnish	Silica filler 40%, NaF1.0%	1.0FV
PRG varnish	S-PRG filler 40%	PV



1.5 mmol/l CaCl₂, 0.9 mmol/l KH₂PO₄,
50 mmol/l acetic acid, pH 5.0, 37°C, 1 week

Fig. 2 Demineralization (gel system)

た。作製された試料を6つずつ3群に分け、PVおよび1.0FV群では平坦な象牙質面に各種バーニッシュを塗布し、切断面には耐酸性バーニッシュを塗布した。歯根の側面・歯髄側面には塗布しなかった（Fig. 1）。各群2個（計4個）の50 mlポリプロピレン製円筒容器（Falcon, Corning Science, Mexico）の蓋内面に3個ずつ固定し、脱イオン水を6 ml注入した。容器を反転し37°Cで3日間静置後、塗布した各種バーニッシュを綿棒で剥離・除去し、耐酸性バーニッシュで1×3 mmの被験面を作製した。なお、CONT群も同様に1×3 mmの被験面を作製し、3個ずつ容器の蓋内面に固定した（Fig. 2）。

3) 脱灰試験

上記で使用した容器の底部を切断し、8%メチルセルロースゲル（Methocel MC, Sigma, Germany）を9 ml

注入し、37°Cで静置した。24時間経過後に、フィルターペーパー（定性濾紙 No2, 東洋濾紙）をゲル上に敷き、21 ml の脱灰溶液（1.5 mmol/l CaCl₂, 0.9 mmol/l KH₂PO₄, 50 mmol/l 酢酸, pH 5.0）を注入し、37°Cで1週間脱灰した（Fig. 2）。

4) Transverse microradiography (TMR) 撮影および分析

各試料の被験面中央から、ダイヤモンドワイヤー式精密切断機（Well 3242）を用いて、厚さ 300 μm の試片を1試料から3枚ずつ歯軸と垂直方向に切り出した。各試片を13段階のアルミステップウェッジが組み込まれたホルダーに脱イオン水とともにポリエチレンシートで封入し²¹⁾、発生源に Cu, およびフィルターに Ni を使用した顕微エックス線装置（PW3830, Spectris, UK）および High resolution X-ray glass plate（コニカミノルタ）を用いて TMR 撮影（管電圧 35 kV, 管電流 15 mA, 焦点-試片間距離 570 mm, 照射時間 15 分）を行った。通法により現象、定着、水洗、乾燥後、セットアップされた microscope-videocamera-microcomputer システムおよびミネラル量分析ソフト（TMR2006 および 2012, Inspektor Research Systems, Netherlands）を用いて²²⁾、バーニッシュが塗布された直下の脱灰病巣のミネラルプロファイル、ミネラル喪失量（Integrated Mineral Loss: IML; volume% × μm）、および脱灰深度（Lesion depth: Ld; μm）^{23,24)}を測定した。なお、測定は各試料から切り出した3枚の試片ごとに行い、その平均値を1試料の値とし、1群6試料の測定後各群の平均値、標準偏差を算出した。

3. 統計分析

フッ化物イオン徐放量、IML および Ld の比較は One-way ANOVA および Games-Howell の検定にて SPSS（SPSS-PC software version 24, IBM）を用い有意水準 5% で検定した。

結 果

1. 各バーニッシュからのフッ化物徐放量

各バーニッシュからのフッ化物イオン徐放量（ppm F）をイオン電極で測定した平均値を Table 3 に示した。PV は 0.88 ± 0.2, 0.5FV は 0.41 ± 0.1, 0.75FV は 0.85 ± 0.2, 1.0FV は 1.01 ± 0.3 であった。0.5FV はほかの3群に比較して有意に低い値であった（*p* < 0.05）。一方、PV, 0.75FV, 1.0FV 間に有意差は認められなかった。この結果より、塗布面直下の脱灰抑制能を検討する実験の対照群としては 0.75FV, 1.0FV が考えられたが、そのうち、フッ化物徐放量が PV を上回るシリカフィラー 40%、フッ化ナトリウム 1.0% 含有のバーニッシュである

Table 3 Concentration of fluoride released from each material

Code	ppmF
PV	0.88 ± 0.2 ^a
0.5FV	0.41 ± 0.1 ^b
0.75FV	0.85 ± 0.2 ^a
1.0FV	1.01 ± 0.3 ^a

Values with the same superscript letters are not significantly different between the groups (*p* > 0.05).

1.0FV を使用することとした。

2. 代表的 TMR 像ならびにミネラルプロファイル

Fig. 3-a に脱灰試験後の各群の代表的な TMR 像を、Fig. 3-b にそれらのミネラルプロファイルを示す。また、Fig. 4 に平均ミネラルプロファイルを示す。1.0FV および PV 群は CONT 群と比較して表層のエックス線不透過性が高く、ミネラル密度も 27 vol% と高い値であった。また、PV 群の脱灰部のエックス線不透過性はほかの2群に比較して高く維持されており、ミネラル密度は 18 vol% を示した。

3. ミネラル喪失量 (IML) および脱灰深度 (Ld)

各群の平均 IML および Ld とそれぞれの標準偏差を、Table 4 に示す。各群の平均 IML は CONT: 3,200 ± 184, 1.0FV: 2,817 ± 149, PV: 2,523 ± 121 であった。PV は CONT と比較し有意に低い値となった（*p* < 0.05）。一方、1.0FV と CONT の間、1.0FV と PV の間に有意差は認められなかった（*p* > 0.05）。Ld は3群間で有意な差は認められなかった（*p* > 0.05）。

考 察

歯根象牙質はコラーゲン主体の有機質を約 30% 含む²⁵⁾、臨界 pH はエナメル質より高く²⁶⁾、根面齲蝕予防にはより積極的なフッ化物製剤の使用が必要と思われる。フッ化物含有バーニッシュは、徐放されるフッ化物イオンが歯質に取り込まれることにより、その効果を発揮することが明らかになっている²⁷⁻³⁰⁾。今回の研究では、フッ化物イオンやストロンチウムイオンなどの多種イオンを徐放するバーニッシュに着目し、その材料が消失した後の材料直下歯根象牙質の脱灰抑制能について研究を行った。

フッ化物イオン徐放量の測定は、脱灰抑制効果の実験における比較群を決定するために行った実験である。その結果、S-PRG フィラー 40% 含有の PRG バーニッシュのフッ化物イオン徐放量は、NaF 0.50% 含有シリカバーニッシュのそれと比較し有意な差をもって大きい値を示

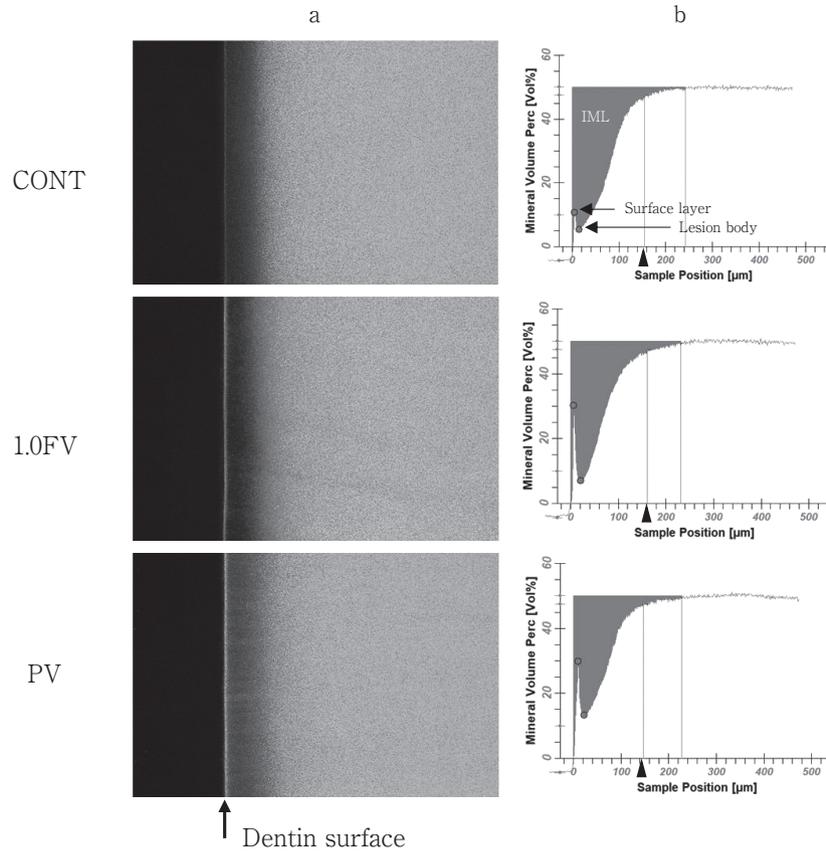


Fig. 3 Representative TMR images (a) and their mineral profiles (b)
 1.0FV and PV showed distinct radiopaque surface layer in comparison with CONT, and the radio opacity of PV were higher than those of other two groups. Arrow head shows the position of lesion depth. The position of lesion depth was defined as a depth of 95% level of sound volume%.

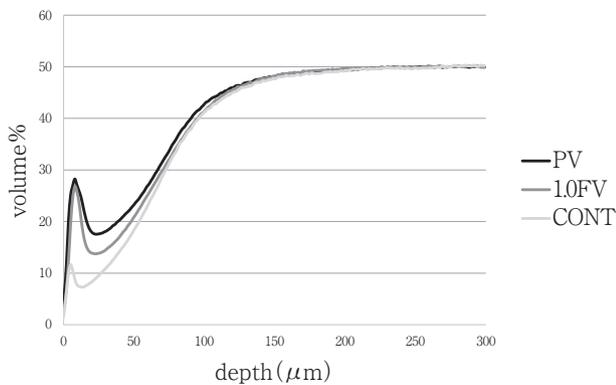


Fig. 4 Averaged mineral profiles

CONT had a marginal surface layer and severe lesion body. The surface mineral volume% of 1.0FV and PV were 27%. That of the lesion body of 1.0FV was almost 14%, and that of PV was 18%.

Table 4 Integrated mineral loss (IML) and Lesion depth (Ld)

Code	IML (volume% × μm)	Ld (μm)
CONT	3,200 ± 184 ^a	140 ± 12 ^a
1.0FV	2,817 ± 149 ^{ab}	139 ± 26 ^a
PV	2,523 ± 121 ^b	138 ± 10 ^a

Values with the same superscript letters are not significantly different between the groups (p>0.05).

した。一方、NaF 0.75%および1.0%含有シリカバーニッシュの徐放量とは有意差はみられず、同程度のフッ化物イオンを徐放していることが明らかになった。ただし、本実験においてフッ化物イオン以外の影響を検討するうえで、比較群のフッ化物イオン徐放量がPRGバーニッシュのそれを上回っていることが望ましいと考えられたため、比較群としてNaF 1.0%含有シリカバーニッシュを使用することとした。

バーニッシュが劣化、脱離することを想定した本実験の「剥離操作」であるが、脱イオン水に浸漬した綿棒において擦り取る方法を用いた。臨床においては患者のブラッシングによる機械的摩擦や溶解による消失が主な要因となることが予想されるが、今回は脱離の状況を一定にするため、このような方法を採用した。以前の研究³¹⁾にてわれわれは、フッ化物を徐放する「歯面コーティング材料」の直下を観察しているが、その際の「剥離操作」には歯科用彫刻刀を用いた。実体顕微鏡下にて慎重に材料を剥離する方法を用いたが、象牙質表層を削合している可能性は否定できなかった。本実験で用いたバーニッシュは綿棒での剥離・除去が可能であったことから、より正確に材料直下の象牙質脱灰抑制能を検討できたと考えられる。

PRG バーニッシュは40% S-PRG フィラーを含有し、フッ化物イオン以外にアルミニウムイオン、ホウ酸イオン、ナトリウムイオン、ケイ酸イオン、ストロンチウムイオンを徐放する。それに対し、比較群である1.0FV群で徐放されるのは、フッ化物イオン、ナトリウムイオンおよびケイ酸イオンであると考えられる。ミネラル喪失量(IML)はCONTとPV間に有意差を認めたと、脱灰深度(Ld)は3群間で有意差は確認できなかった。エナメル質と象牙質では脱灰・再石灰化の進行様相が異なり、エナメル質ではLd、IMLともに変動するが、象牙質ではLdはあまり変化せず、IMLが変動しやすいと報告されている³²⁾。Ldに有意差は認められなかったもののIMLでCONTとPV間に有意差を認めたとこの本研究結果は、PVが1.0FV以上に塗布面直下象牙質の脱灰を持続的に抑制しtarget preventionに寄与する可能性を示している。多種イオン、特にストロンチウムイオンは、ハイドロキシアパタイトと反応しストロンチウムアパタイトを形成する、あるいはフッ化物イオンとの相乗効果を示す^{33,34)}と報告されている。また緩衝作用を担っているともいわれており³⁵⁾、PVの象牙質表面は1.0FVのそれよりpHの低下が抑制されている可能性が考えられた。また、S-PRG フィラーは、多種イオン徐放性であるとともに、フッ化物のリリース・リチャージ能も有している^{36,37)}こと、およびフィラー直径が1 μ mであることから、材料が消失した後も象牙質細管内に入り込んだフィ

ラーがイオンのリリース・リチャージに関与し持続的な脱灰抑制能が発揮される可能性も示唆される。これらの点については、さらなる検討が必要であると考えられた。

結 論

多種イオンの徐放可能なS-PRG フィラー含有バーニッシュ塗布面直下の脱灰抑制効果についてTMRを用いて検討した結果、以下の結論を得た。

1. 表層のエックス線不透過性は、CONT群と比較して高く、ミネラル密度は27 vol%であった。
2. 病巣体部のエックス線不透過性ならびにミネラル密度もほかの2群に比較して高く維持されており、ミネラル密度は18 vol%を示した。
3. ミネラル喪失量は、CONT群に比較して有意に低い値であった。

以上のことからS-PRG フィラー含有バーニッシュは、材料が脱離した後も塗布面直下象牙質の脱灰を抑制できると考えられた。

本論文に関して、開示すべき利益相反状態はない。

文 献

- 1) 厚生労働省. 平成28年歯科疾患実態調査, 歯の状況, 永久歯, 現在歯の状況(8020達成者等). <https://www.mhlw.go.jp/toukei/list/dl/62-28-02.pdf> (2018年12月27日アクセス)
- 2) Imazato S, Ikebe K, Nokubi T, Ebisu S, Walls AW. Prevalence of root caries in a selected population of older adults in Japan. *J Oral Rehabil* 2006; 33: 137-143.
- 3) Du M, Jiang H, Tai B, Zhou Y, Wu B, Bian Z. Root caries patterns and risk factors of middle-aged and elderly people in China. *Community Dent Oral Epidemiol* 2009; 37: 260-266.
- 4) Islas-Granillo H, Borges-Yañez SA, Medina-Solis CE, Casanova-Rosado AJ, Minaya-Sánchez M, Villalobos Rodelo JJ, Maupomé G. Socioeconomic, sociodemographic, and clinical variables associated with root caries in a group of persons age 60 years and older in Mexico. *Geriatr Gerontol Int* 2012; 12: 271-276.
- 5) Chi DL, Berg JH, Kim AS, Scott J. Correlates of root caries experience in middle-aged and older adults in the Northwest Practice-based REsearch Collaborative in Evidence-based DENTistry research network. *J Am Dent Assoc* 2013; 144: 507-516.
- 6) 水口俊介, 細野 淳. 高齢者に特有な口腔, 要介護高齢者における口腔ケアの意義. 全国歯科衛生士教育協議会. 最新歯科衛生士教本 高齢者歯科. 2版. 医歯薬出

- 版：東京；2015. 50-72, 133-148.
- 7) 特定非営利活動法人日本歯科保存学会. う蝕治療ガイドライン. 2版. 永末書店：京都；2015. 25, 27, 114-120.
 - 8) 荒川浩久. フッ化物歯面塗布の方法 部分塗布法, フッ化物バーニッシュ. 乳幼児から高齢者まですべての患者さんへのフッ化物活用ガイド 高濃度フッ化物配合歯磨剤対応版. 1版. インターアクション：東京；2017. 68-93, 118-123.
 - 9) Fejerskov O, Kidd E. 高橋信博, 恵比須繁之. デンタルカリエス—その病態と臨床マネージメント. 2版. 医歯薬出版：東京；2013. 260-299.
 - 10) Ikemura K, Tay FR, Endo T, Pashley DH. A review of chemical-approach and ultramorphological studies on the development of fluoride-releasing dental adhesives comprising new pre-reacted glass ionomer (PRG) fillers. *Dent Mater J* 2008; 27: 315-339.
 - 11) Fujimoto Y, Iwasa M, Murayama R, Miyazaki M, Nagafuji A, Nakatsuka T. Detection of ions released from S-PRG fillers and their modulation effect. *Dent Mater J* 2010; 29: 392-397.
 - 12) Saku S, Kotake H, Scougall-Vilchis RJ, Ohashi S, Hotta M, Horiuchi S, Hamada K, Asaoka K, Tanaka E, Yamamoto K. Antibacterial activity of composite resin with glass-ionomer filler particles. *Dent Mater J* 2010; 29: 193-198.
 - 13) 重谷佳見, 楯 泰昌, 岡本 明, 韓 臨麟, 竹中彰治, 岩久正明, 子田晃一, 興地隆史. フッ化物徐放性コンポジットレジン修復後の辺縁歯質耐酸性に関する研究—人工脱灰後の辺縁形態の走査型共焦点レーザー顕微鏡による観察. *日歯保存誌* 2004；47：529-534.
 - 14) Shiiya T, Mukai Y, ten Cate JM, Teranaka T. The caries-reducing benefit of fluoride-release from dental restorative materials continues after fluoride-release has ended. *Acta Odontol Scand* 2012; 70: 15-20.
 - 15) Murayama R, Furuichi T, Yokokawa M, Takahashi F, Kawamoto R, Takamizawa T, Kurokawa H, Miyazaki M. Ultrasonic investigation of the effect of S-PRG filler-containing coating material on bovine tooth demineralization. *Dent Mater J* 2012; 31: 954-959.
 - 16) Ma S, Imazato S, Chen JH, Mayanagi G, Takahashi N, Ishimoto T, Nakano T. Effects of a coating resin containing S-PRG filler to prevent demineralization of root surfaces. *Dent Mater J* 2012; 31: 909-915.
 - 17) 長谷川晴彦, 飯塚純子, 椎谷 亨, 富山 潔, 倉持江里香, 寺中敏夫, 向井義晴. 人工エナメル質裂溝に填塞したS-PRGフィラー含有シーラント材の脱灰抑制効果. *日歯保存誌* 2013；56：370-376.
 - 18) Kaga M, Kakuda S, Ida Y, Toshima H, Hashimoto M, Endo K, Sano H. Inhibition of enamel demineralization by buffering effect of S-PRG filler containing dental sealant. *Eur J Oral Sci* 2014; 122: 78-83.
 - 19) 長谷川晴彦, 椎谷 亨, 見明康雄, 日高恒輝, 國松雄一, 石澤将人, 二瓶智太郎, 向井義晴. 亜鉛ガラス含有グラシアイオノマーセメントによる歯根象牙質脱灰抑制能. *日歯保存誌* 2018；61：361-367.
 - 20) 藤野富久江, 向井義晴, 上條和子, 富山 潔, 椎谷 亨, 富永貴俊, 寺中敏夫. 茶抽出物による歯質脱灰抑制. *日歯保存誌* 2007；50：302-312.
 - 21) Van Strijp AJP, Buijs MJ, ten Cate JM. Contact microradiography of dentine under wet conditions to prevent lesion shrinkage. *Caries Res* 1995; 29: 107-110.
 - 22) Lagerweij MD, de Josselin de Jong E, ten Cate JM. The video camera compared with the densitometer as a scanning device for microradiography. *Caries Res* 1994; 28: 353-362.
 - 23) Mukai Y, Kamijo K, Fujino F, Hirata Y, Teranaka T, ten Cate JM. Effect of denture based-resin with prereacted glass-ionomer filler on dentin demineralization. *Eur J Oral Sci* 2009; 117: 750-754.
 - 24) Shiiya T, Tomiyama K, Iizuka J, Hasegawa H, Kuramochi E, Fujino F, Ohashi K, Nihei T, Teranaka T, Mukai Y. Effects of resin-based temporary filling materials against dentin demineralization. *Dent Mater J* 2016; 35: 70-75.
 - 25) 荒川浩久. 根面う蝕予防のためのセルフケアによるフッ化物応用. *日歯医師会誌* 2017；69：950-959.
 - 26) Bignozzi I, Crea A, Capri D, Littarru C, Lajolo C, Tatakis DN. Root caries: a periodontal perspective. *J Periodont Res* 2013; doi:10.1111/jre.12094.
 - 27) 可児瑞夫, 可児徳子, 飯野新太郎, 磯崎篤則, 広瀬晃子, 梶田秀行, 加藤裕久. Fluoride Varnish のエナメル質におよぼす影響について—in vitro. *口腔衛生会誌* 1987；37：342-351.
 - 28) Beltran-Aguilar ED, Goldstein JW, Lockwood SA. Fluoride varnishes: A review of their clinical use, cariostatic mechanism, efficacy and safety. *J Am Dent Assoc* 2000; 131: 589-596.
 - 29) Hong L, Watkins CA, Ettinger RL, Wefel JS. Effect of topical fluoride and fluoride varnish on in vitro root surface lesions. *Am J Dent* 2005; 18: 182-187.
 - 30) 大木彩子, 松田康裕, 橋本直樹, 奥山克史, 船戸良基, 川本千春, 小松久憲, 佐野英彦. フッ化物徐放性材料の象牙質表面への塗布による脱灰抑制効果. *日歯保存誌* 2016；59：359-369.
 - 31) 椎谷 亨, 片岡あい子, 藤野富久江, 富山 潔, 飯塚純子, 長谷川晴彦, 向井義晴. フッ化物徐放性コーティング材料適用面下の歯根象牙質脱灰様相. *日歯保存誌* 2017；60 (春季特別号)：75, Abst. No. P-16.
 - 32) Arends J. エナメル質ならびに象牙質脱灰病変の再石灰化機構. *口腔衛生会誌* 1993；43：384-389.
 - 33) Thuy TT, Nakagaki H, Kato K, Hung PA, Inukai J, Tsuboi S, Nakagaki H, Hirose MN, Igarashi S, Robinson C. Effect of strontium in combination with fluoride on enamel remineralisation in vitro. *Arch Oral Biol* 2008; 53: 1017-1022.

- 34) Yassen GH, Lippert F, Eckert G, Eder J, Zandoná AF. The effect of strontium and combinations of strontium and fluoride on the remineralization of artificial caries lesions in vitro. *Quintessence Int* 2012; 43: 624.
- 35) Wang Y, Kaga M, Kajiwaru D, Minamikawa H, Kakuda S, Hashimoto M, Yawaka Y. Ion release and buffering capacity of S-PRG filler-containing pit and fissure sealant in lactic acid. *Nano Biomed* 2011; 3: 275-281.
- 36) Han L, Cv E, Li M, Niwano K, Ab N, Okamoto A, Honda N, Iwaku M. Effect of fluoride mouth rinse on fluoride releasing and recharging from aesthetic dental materials. *Dent Mater J* 2002; 21: 285-295.
- 37) Kamijo K, Mukai Y, Tominaga T, Iwaya I, Fujino F, Hirata Y, Teranaka T. Fluoride release and recharge characteristics of denture base resins containing surface pre-reacted glass-ionomer filler. *Dent Mater J* 2009; 28: 227-233.

Root Dentin Demineralization under Varnish Containing Multi-ion Releasing Filler

KATAOKA Aiko^{1,2}, SHIYA Toru¹, TOMIYAMA Kiyoshi¹,
FUJINO Fukue² and MUKAI Yoshiharu¹

¹Division of Restorative Dentistry, Department of Oral Interdisciplinary Medicine, Graduate School of Dentistry,
Kanagawa Dental University

²Department of Dental Hygiene, Kanagawa Dental University Junior College

Abstract

Purpose: To compare the anti-demineralization effects on dentin of a varnish containing surface reaction-type prereacted glass-ionomer (S-PRG) filler as a multi-ion releasing filler and one containing 1.0% NaF which releases an equivalent amount of fluoride.

Methods: Before the demineralization study, we measured the amounts of fluoride ions released from NaF varnish (1.0FV; 1.0% NaF+40% silica filler, Shofu, Japan) and PRG varnish (PV; 40% S-PRG filler, Shofu, Japan), and confirmed that those concentrations were equivalent. 5-mm-thick root cylinders were prepared from lower bovine incisors and were cut into halves longitudinally using a diamond-coated wire sectioning machine (Well type 3242). Specimens (n=18) were divided into three groups of six: 1) Control (CONT; no coating), 2) NaF varnish (FV), and 3) PRG varnish (PV). An experimental surface on each specimen was prepared and coated according to group. The specimens were then immersed in 6 ml of deionized water at 37°C for 3 days, after which the varnish was rubbed off with a cotton swab. Acid-resistant varnish was applied, exposing a 1×3 mm window, then the specimens were immersed in an 8% methylcellulose gel demineralization system (1.5 mmol/l CaCl₂, 0.9 mmol/l KH₂PO₄, 50 mmol/l acetic acid, pH 5.0) at 37°C for 1 week. Then 300 μm-thick sections were cut from each specimen perpendicular to the experimental surface, and mineral profiles, integrated mineral loss (IML: vol% × μm) and lesion depth (Ld: μm) were obtained by transverse microradiography and dedicated software (TMR 2006 and 2012). Statistical difference of IML and Ld were analyzed with one-way ANOVA and Games-Howell test with $\alpha = 0.05$.

Results: The average mineral profile and surface mineral density of 1.0 FV and PV were 27%. That of the lesion body of PV was 18%. PV showed significantly lower integrated mineral loss (2,523±121) than CONT (3,200±184, ANOVA, Games-Howell's, p<0.05), however, there was no significant difference between CONT and FV (2,817±149). For Ld, there was no significant difference between the groups. S-PRG filler contained in PRG varnish released several ions providing buffering and anti-demineralization activity. Once those ions had penetrated into the root dentin, the anti-demineralization effect remained.

Conclusion: PRG varnish helps to maintain an anti-demineralization effect under the dentin surface even after the varnish containing S-PRG has been removed.

Key words: root caries, microradiography, demineralization, fluoride, S-PRG filler