口腔衛生会誌　J Dent Hlth 76: 266–273, 2026

原　著

S-PRG フィラー配合バーニッシュによる象牙質酸蝕の抑制効果

加藤　一夫　　熊谷　法子　　嶋﨑　義浩

概要：無機イオン（Al, BO_3, F, Na, SiO_3 および Sr）を徐放する S-PRG フィラー配合試験用バーニッシュによる象牙質の酸蝕に対する抑制効果を評価した．ヒト象牙質スラブ 60 個を 5 群に分け，0, 10, 20, 30 または 40 wt% の S-PRG フィラーを含有する 5 種類のバーニッシュで，各スラブの半面を被覆後，微温水中に 24 時間浸漬した．処理面と未処理の対照面にウィンドウを作製し，0.83 M 酢酸で 30 分間処理した．スラブを両ウィンドウの中央部で切断し，断面の酸蝕厚さを測定した．次に，処理面と対照面の未酸蝕部分から 3 層の象牙質試料（厚さ 15 μm）を研削し，酸で溶解，緩衝後，F をイオン電極で，Al, BO_3, SiO_3, Sr, Ca および P を ICP 原子発光分光法で定量した．結果は，象牙質の P を 13.5 wt% と仮定し，重量当たりの濃度とした．0, 10, 20, 30 および 40 wt% 群の酸蝕深度の差（対照域－処理域）は，それぞれ −1.02, 2.04, 1.90, 2.48 および 1.36 μm で，10 および 30 wt% 群で有意に減少した．第 1 層における 10～40 wt% 群の F と Sr および 40 wt% 群の Al 濃度は，0 wt% 群より有意に増加した．この結果は，試験用バーニッシュの S-PRG フィラーから放出したミネラルが，象牙質に浸透することにより，酸蝕の影響を減少させることを示唆した．

索引用語：S-PRG フィラー，バーニッシュ，象牙質，酸蝕，*in vitro* 研究

口腔衛生会誌 76：266-273, 2026

（受付：令和 8 年 1 月 26 日／受理：令和 8 年 4 月 20 日）

緒　言

歯科疾患実態調査によれば，20 歯以上の自分の歯を有する者は，調査を重ねるごとに増加傾向にあり，令和 6 年の調査結果では，8020 達成者の割合は 61.5% と推計されている[*1]．このように，高齢者が自らの歯を多数保有することは，口腔機能低下症を予防しオーラルフレイルに陥らないためにも重要である．しかし，高齢者における現在歯数の増加は，歯周疾患の発症とそれに伴う歯肉退縮を媒介因子として，歯根面のう蝕や酸蝕における有病者の増加につながることが懸念される．歯の酸蝕は，プラークのない歯面に生じる内因性および外因性の酸またはキレート剤の作用による歯質の化学的な損傷であり，歯を取り巻く環境が歯のミネラルに対して不飽和状態の際に起こる酸による歯の脱灰である[1]．健康を意識した，酢やワイン，柑橘類等の酸性の強い飲食物の習慣的な摂取は，結果として酸蝕リスクを高めることにもつながる[2]．象牙質は，エナメル質と比べ耐酸性が低く，溶解性も高い[3]ため，露出根面の酸蝕予防に対する潜在的な需要は高まっている．

S-PRG フィラーは，水の存在下でフルオロボロアルミノケイ酸ガラスとポリアクリル酸との酸塩基反応によって形成され[4]，アルミニウム，ホウ酸，フッ化物，ケイ酸，ナトリウムおよびストロンチウムという 6 種類のミネラルイオンを放出する[5]．このフィラーは，酸産生の抑制[6]，バイオフィルムの形成抑制[7,8]，酸の中和[9]，抗菌活性[10,11]，エナメル質脱灰防止[12]，バイオフィルムのフッ化物保持能の向上[13,14]などさまざまな生理活性機能を示すことが報告されている．

最近，著者らは，S-PRG フィラー配合歯面研磨剤の濾過液を作用させた口腔バイオフィルムを対象に，う蝕原性細菌である *Streptococcus mutans*（以下，*S. mutans*）と arginine deiminase system（ADS）によりアルカリを生成する *Streptococcus sanguinis*（以下，*S. sanguinis*）について深度特異的な解析を行った．その結果，S-PRG フィラーから放出されたミネラルイオンが浸透した口腔バイオフィルムでは，*S. sanguinis* に対する *S. mutans* の比率が低下し，その増殖が抑制されたことから，S-PRG フィラーには，う蝕リスクを生態学的に低減させる作用も有することが示唆されている[15]．S-PRG フィラーの示す生理活性機能の多くは，フィラーから徐放されたアニオンやカチオンがバイオフィルムや歯質などの組織中に浸透

愛知学院大学歯学部口腔衛生学講座

[*1] 厚生労働省：令和 6 年 歯科疾患実態調査結果の概要，https://www.mhlw.go.jp/toukei/list/dl/62-17b_r06.pdf（2026 年 3 月 9 日アクセス）．

することで発現すると考えられる．

英国では，フッ化物濃度 22,600 ppm のバーニッシュが販売され，子どもや成人を対象にした総合的なう蝕予防管理プログラムの一環として用いられている[*2]．わが国でも，今後，特に高齢者の根面う蝕や酸蝕症の予防および進行抑制を目的に，プロフェッショナルケアの手段としてバーニッシュが利用される可能性がある．本研究では，このイオン徐放性 S-PRG フィラーをバーニッシュに応用した場合の象牙質の酸蝕に対する抑制効果を，歯質に付与される抗酸蝕能とミネラル浸透性から検討した．

材料および方法

1. 試験用バーニッシュと象牙質スラブ

S-PRG フィラーの含有率を 0 wt%, 10 wt%, 20 wt%, 30 wt% および 40 wt% に調整した 5 種類のバーニッシュを用意した．バーニッシュの作製は，S-PRG フィラーの開発メーカー（松風，京都）に依頼した．各バーニッシュの組成を表 1 に示す．

抜歯日と部位のみが記載された状態で，中性ホルマリンに保存してあったう蝕のない第三大臼歯の歯冠部から，象牙質のスラブ（約 4×4 mm）を採取し，予め重合阻害剤 MEHQ を除去したメチルメタクリレート（Sigma Aldrich, St. Louis, MO, USA）で包埋した．このような象牙質スラブの包埋ブロックを 60 個作製し，無作為に 5 群に分割した．耐水ペーパー（p-2000，リファインテック，横浜）とアルミナ液（44-235，リファインテック）で鏡面研磨したスラブ表面の片側 1/2 を，ネイルバニッシュで被覆した後，残りのスラブ表面に 5 種類の試験用バーニッシュを塗布した．

一般に，フッ化物バーニッシュから持続的にフッ化物が放出されるのは塗布後 4～6 時間であり，翌日には，歯ブラシやフロスを使ってバーニッシュを取り除くことができる[16]ことから，口腔内での応用を考慮して，37℃の蒸留水中に 24 時間浸漬した．

2. 抗酸蝕能の評価

歯ブラシを用いて流水下にてスラブ面の試験用バーニッシュを除去した後，ネイルバニッシュをアセトンで除去した．続けて，各スラブの試験用バーニッシュが塗布されていた領域とネイルバニッシュで保護されていた領域の中央部に，再度ネイルバニッシュを用いて exposed window（約 1.5×0.5 mm）を各 1 面作製した．その後，0.83 M 酢酸溶液 1 リットルの入ったビーカーに，すべての包埋ブロックを投入し，マグネットスターラーで緩やかに攪拌しながら 30 分間酸蝕処理を行った．

表 1　試験用バーニッシュの組成

溶　剤（g）	55	55	55	55	55
ロジン（g）	25	25	25	25	25
粘度調整剤（g）	5	5	5	5	5
S-PRG フィラー（g）	20	12.9	7.5	3.4	0
エタノール除去後の S-PRG フィラー濃度（wt%）	40	30	20	10	0

抗酸蝕能の評価は，電子線マイクロアナライザを利用した歯質消耗量の測定法[17]により行った．すなわち，スラブ表面を白金コーティング（20 nm）した後，2 つの window を横断するように包埋ブロックを切断し，window 断面を観察できるように向きを変えて，再度メタクリレートで包埋した．観察面を鏡面研磨し，カーボン蒸着（15–20 nm）後，field emission EPMA（JXA-8530FA, JEOL, 東京）で加速電圧 15.0 kV にて COMPO 像（×40）を撮影した．COMPO 像上の白金の画像解析（Image Pro-Plus J6.2, Media Cybernetics, MO, USA）から，試験用バーニッシュ処理面（0% 群，10% 群，20% 群，30% 群および 40% 群）と未処理面（対照群）における window 断面の酸蝕深度を測定し，両者の差を抗酸蝕能の指標とした．

3. ミネラル浸透性の評価

EPMA による観察後，包埋ブロックからクロロホルムを用いてスラブを回収し，各試験用バーニッシュ塗布面に設定した window から離れた部位にて象牙質ポスト（約 0.5 mm×0.7 mm）を採取し，それぞれ 0% 群，10% 群，20% 群，30% 群および 40% 群とした．対照群には，S-PRG フィラーから放出されるミネラルが，象牙質内を側方に拡大しながら浸透する可能性を考慮し，そうした影響のない 0% 群スラブで，試験用バーニッシュを塗布しなかった部位からスラブを採取し利用した．

Abrasive micro-sampling 法[18]にて，ポストの表層 5 μm を削除後，厚さ 15 μm の 3 層の連続層別試料（表面からの平均深さ；第 1 層 12.5 μm，第 2 層 27.5 μm，第 3 層 42.5 μm）をラッピングフィルム（インペリアルラッピングフィルム 15MIC SC, 3M, 東京）上に回収した．フィルム上の試料は，1 N 過塩素酸 9 μL で溶解後，12 μL

[*2] 株式会社ビーブランド・メディコーデンタル：医薬品インタビューフォーム，
https://bee.co.jp/wp/wp-content/uploads/2019/05/treatment08_interview.pdf（2026 年 3 月 9 日アクセス）．

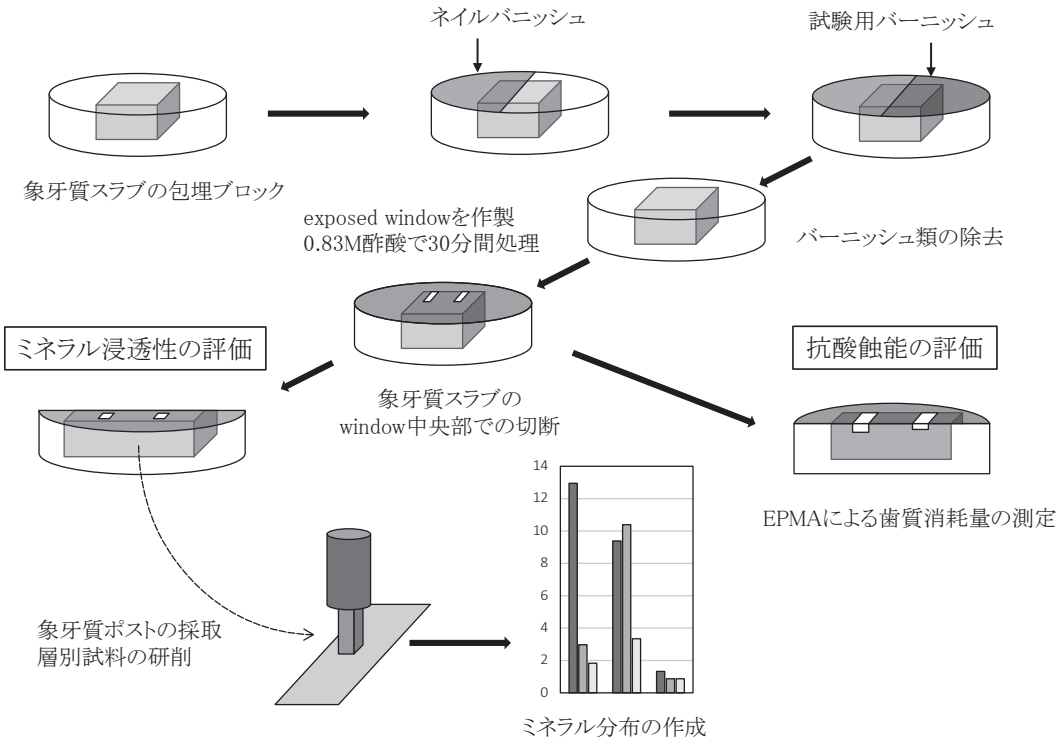


図 1　分析の流れ

の 1M 酢酸緩衝液で 3 回洗浄（全量 45 μL）し，0.5 mL のポリエチレンチューブに吸引回収しサンプル溶液とした．回収した液量は秤量により確認した．

S-PRG フィラーから徐放されるミネラルイオンのうち，フッ化物の濃度は，回収したサンプル溶液の一部（12 μL）を用いて，イオン電極（9409BN および 900100, Thermo scientific, 東京）による salt bridge を利用した微量定量法[19]で定量した．残りのサンプル溶液は，15 mL のコニカルチューブ内で 1 N 過塩素酸 3.5 mL および濃硝酸 35 μL と混合し，クロマトディスク（0.2 μm）にてろ過した後，ICP 発光分光分析装置（ICPS-8000, 島津製作所，京都）にてアルミニウム，ホウ酸，ケイ酸，ストロンチウムおよび象牙質に含まれるカルシウムとリンを定量した．

ICP による測定値は，ブランク値を差し引いた後，測定時に希釈した倍率を利用してオリジナルのサンプル溶液中の濃度（ppm）に換算した．層別試料に含まれる最終的なミネラル濃度は，象牙質のリン濃度を 13.5 wt% と仮定して，換算されたサンプル溶液中のリン濃度と回収液量から象牙質量（μg）を推定し，それに対する濃度（ppm または %）として算出した．

ミネラル濃度の補正に用いるリンの測定値の異常は，結果に大きく影響するため，カルシウム／リン比（CaP 比）を利用して，異常な CaP 比を示した試料分画は，操作の過程で失われた試料とともに，欠損値とした．また，ホウ酸とケイ酸については，ICP による分析で検出されなかったため，解析から除外した．

試料の作製から分析までの流れを図 1 に示した．

4. 統計的検討

統計的検討には，SPSS（IBM, Ver.29）を使用した．象牙質の抗酸蝕能に関しては，Shapiro-Wilk test により正規性が確認されたため，試験用バーニッシュ処理面と未処理面における歯質酸蝕量の差を paired-*t* test により検討した．一方，層別試料中のミネラル濃度に関しては，正規性の否定される試料が多かったことから，象牙質スラブの層別試料間におけるミネラル濃度の比較は Friedman test で検定を行い，有意な場合は Bonferroni 法で調整しペアごとに比較した．また，試験用バーニッシュ間での象牙質ミネラル濃度は Kruskal-Wallis test で検定し，有意な場合は Bonferroni 法で調整しペアごとに比較した．

この研究は愛知学院大学歯学部倫理委員会で出版・公表の承認（No.588）を得た．

結　果

1. 抗酸蝕能

試験用バーニッシュ処理面と非処理面の酸蝕による象牙質の消失深さを図2に示した．試験用バーニッシュによる処理のない対照群との象牙質消失深さの比較では，プラセボである0% 群を除くすべてのバーニッシュ処理群で減少傾向を示し，10% および30% 群では有意な減少が認められた．

2. ミネラル浸透性

象牙質内におけるフッ化物，ストロンチウムおよびアルミニウムの濃度分布を図3に，象牙質内のフッ化物，ストロンチウムおよびアルミニウムの試験用バーニッシュ別濃度を図4に示した．

象牙質内のフッ化物濃度は，S-PRG フィラーに由来するフッ化物の作用した10～40% 群で，第1層から内部に向かって有意に減少する分布を示し，フッ化物は24時間の間に試験用バーニッシュ直下の象牙質に浸透していた（図3A）．バーニッシュ間におけるフッ化物濃度の比較では，対照群および0% 群に対して，10～40% 群は第1層と第2層で有意に高く，S-PRG フィラーの含有量が10% でも良好なフッ化物の取り込みが認められた．また，10% および30% 群では第3層においても有意に濃度が増加していた（図4A）．

ストロンチウム濃度は，フッ化物と同様，10～40% 群で，第1層で著しく濃度が上昇し，内部に向かって有意に減少する分布を示したが，低濃度でも安定して象牙質に取り込まれたフッ化物と異なり，S-PRG フィラーによる濃度依存的な増加傾向がみられた（図3B）．バーニッシュ間の比較では，10～40% 群のすべての層で対照群より有意に濃度が増加したが，0% 群と有意な差を示したのは40% 群の第1層と第2層のみであった．一方，0% 群もすべての層で対照群より濃度の高い傾向にあったが，有意な差は認められなかった（図4B）．

アルミニウムも，20～40% 群の表層で濃度が高く，内部に向かって有意に減少する分布を示したが，その傾向は緩やかで，フッ化物やストロンチウムに比べて濃度もきわめて低く，象牙質への取り込みは微量であった（図3C, 4C）．

考　察

フッ化物は，象牙質の酸蝕を抑制する化学的防御として，フッ化物歯磨剤[20]，フッ化物洗口[21]，フッ化物歯面塗布[22]，フッ化物バーニッシュ[23-25]などさまざまな応用方法でその有効性が報告されている．このうち，フッ化物

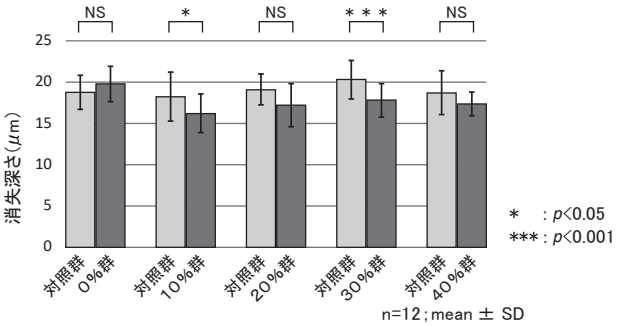


図2　試験用バーニッシュ群と対照群の酸蝕による象牙質の消失深さ

試験用バーニッシュ処理面（0% 群，10% 群，20% 群，30% 群および40% 群）と未処理面（対照群）における酸蝕深さの差は，paired - *t* test を用いて検定した．

配合歯磨剤やフッ化物洗口から口腔内の露出象牙質が獲得する抗酸蝕能は，フッ化物の作用に加え唾液やペリクルの影響が関与するのに対して，フッ化物バーニッシュは，塗布歯面に長く留まり，その間は唾液等との接触を遮ることから，フッ化物の作用がより強く現れると考えられる．フッ化ナトリウムを5% 配合した高濃度フッ化物バーニッシュは，フッ化カルシウムの沈着を伴って，酸蝕および酸蝕に伴う摩耗から象牙質を保護し[25]，酸蝕を受けた象牙質での更なる進行を抑制する[23]．

酸による象牙質の消失への影響や酸蝕象牙質の磨耗の評価は，主に硬組織試料中のミネラル量の評価に使用されるマイクロラジオグラフ，微小硬度計測，光学式や接触式の表面形状測定（profilometry）などさまざまな方法が用いられている[17]．酸蝕象牙質では，エナメル質の酸蝕と異なり脱灰表面に有機質を主体とする層が残遺する．この有機質層は，酸蝕の進行を抑制する[23]とともに，使用する測定方法により酸蝕象牙質の消失量の評価にも影響する．そこで，白金コーティングした酸蝕象牙質の試料断面をEPMA で観察するという手法により，有機質主体の脆弱な表面を視覚化することで，抗酸蝕能の評価を定量的に行った．その結果，試験用バーニッシュが作用した歯質の酸蝕深さは，バーニッシュ未処理の対照群に比べ，プラセボとして設定した0% 群を除くすべての群で抑制傾向を示し，10% および30% 群では有意に減少したことから，S-PRG フィラーを配合したバーニッシュには象牙質に抗酸蝕能を付与する作用のあることが明らかとなった．

今回の研究では，検出可能な酸蝕深度を得る目的から，0.83 M 酢酸溶液に30分間浸漬するという過酷な条件で酸蝕処理を行った．そのため，試験用バーニッシュ

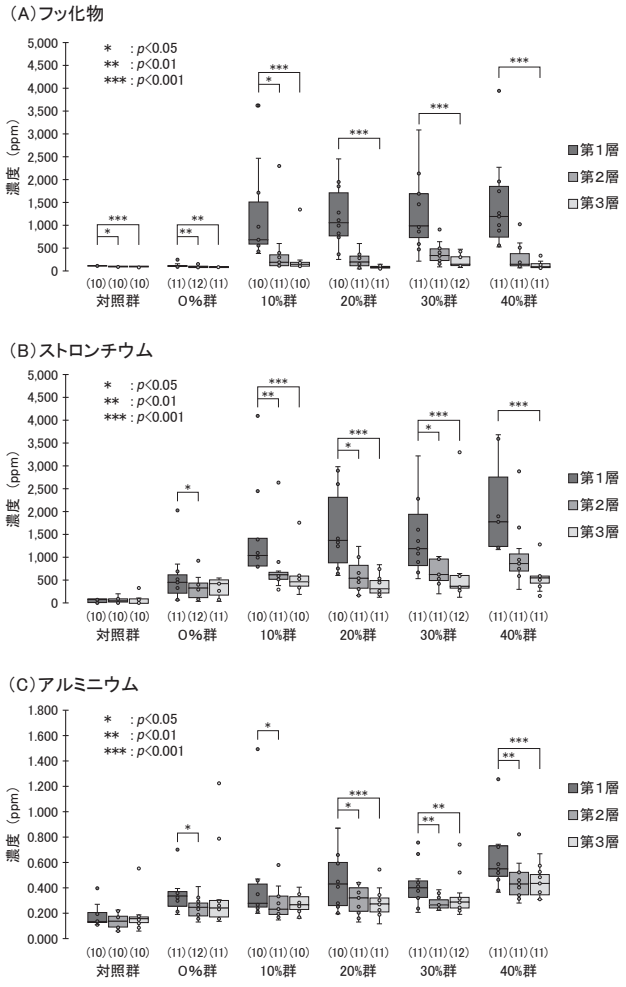


図 3　象牙質内におけるミネラルの濃度分布

試験用バーニッシュ作用面（0% 群，10% 群，20% 群，30% 群および 40% 群）とバーニッシュ未作用面（対照群）から採取した象牙質内のフッ化物，ストロンチウムおよびアルミニウム分布の比較を Freedman test で検定し，有意な場合は Bonferroni 法で調整しペアごとに比較した．第 1～3 層の平均深さは，それぞれ 12.5 μm，27.5 μm および 42.5 μm で，括弧内の数字は試料数を示す．

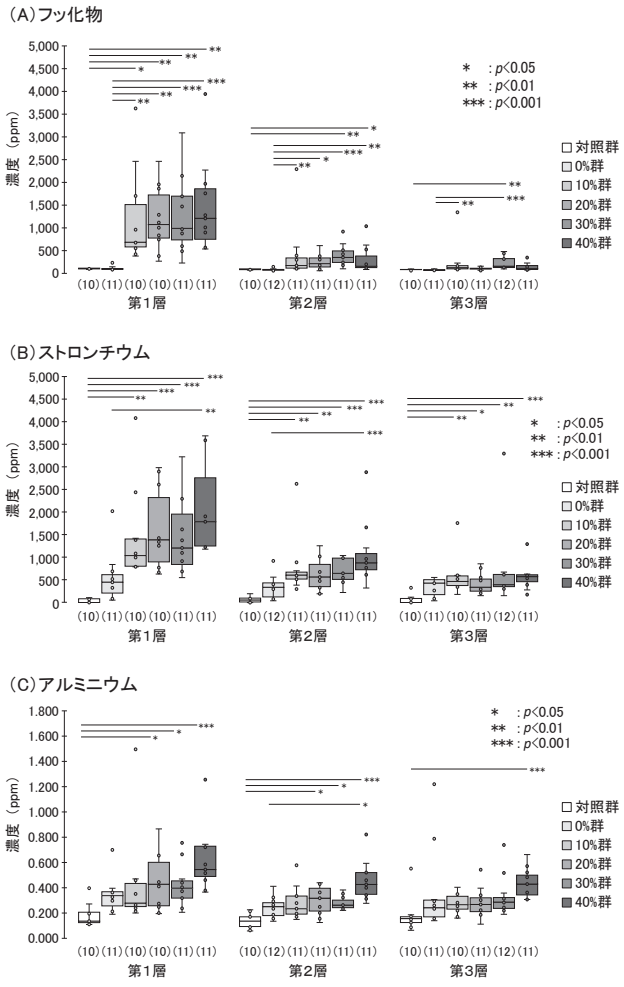


図 4　象牙質層別試料中のミネラル濃度の比較

試験用バーニッシュ作用面（0% 群，10% 群，20% 群，30% 群および 40% 群）とバーニッシュ未作用面（対照群）における象牙質のフッ化物，ストロンチウムおよびアルミニウム濃度の差を，層別深度ごとに Kruskal-Wallis test で検定し，有意な場合は Bonferroni 法で調整しペアごとに比較した．図上部のバーは多重比較により有意差の見られた群間を，括弧内の数字は試料数を示す．

で処理したスラブ表層部にも，深い歯質の消失が認められた．しかし，「(対照群の酸蝕深さ－作用群の酸蝕深さ) ÷対照群の酸蝕深さ」を酸蝕抑制率と定義し，有意な酸蝕抑制のみられた 10% および 30% 群についてその値を求めると，それぞれ 11.2% と 12.2% であった．フッ化物バーニッシュと比較する目的で，象牙質に 2.5% および 5% のフッ化ナトリウムを配合したバーニッシュを 24 時間作用させ，酸蝕による消失深さを profilometry で測定した研究結果[24]から，同様に抑制率を算出したところ，それぞれ 9.4% と 9.8% となった．酸蝕の強度や酸蝕深さの測定方法などさまざまな条件の違いから単純に比較できないが，S-PRG フィラーを 10% 以上配合したバーニッシュは，フッ化ナトリウムを 5% 配合するバーニッシュに匹敵する抗酸蝕能を象牙質に付与する作用を有することが推測される．また，この研究では，2.5% と 5% という濃度差にも関わらず，フッ化物濃度の異なる 2 種類のバーニッシュ間の酸蝕抑制効果に有意な差は認められていない．本研究でも，10% 群と 30% 群の効果に大きな違いがないことから，S-PRG フィラーの配合割合は，結果に大きな影響を与えなかったように

思われる．こうした現象は，バーニッシュの作用時間が長いことと関連しているためかもしれない．

ミネラル浸透性の評価に利用した abrasive microsampling 法は，試料面を研削することにより，一定の深さの試料を層別に採取することができる．層別試料中のミネラル濃度は，象牙質のリン濃度から推定した重量ベースで算出したが，結果の信頼度を高めるために，口腔環境による影響が及ばない健全な歯冠象牙質のスラブを用い，また，CaP 比を利用して異常な測定値の混入を排除した．深度特異的な分析から，S-PRG フィラーを 10% 以上含有するバーニッシュを 24 時間作用させることで，フッ化物やストロンチウムは象牙質内を 35～50 μm，また 20% 以上のバーニッシュでは，微量ながらアルミニウムが 20～35 μm 浸透することが示された．

フッ化物は，歯根面の酸溶解プロセスにおけるミネラルの損失を抑制し，再石灰化を促進する[26]．ストロンチウムは，単体でも象牙質を再石灰化させる[27]が，化学的特性と物理的特性がカルシウムに近いため，ヒドロキシアパタイト結晶格子内のカルシウムと置換して，より安定した構造を作るとともに，フッ化物と共存することによりエナメル質の再石灰化を促進する[28]．象牙質の抗酸蝕能に及ぼすアルミニウムの役割は不明であるが，S-PRG フィラー配合バーニッシュで処理した象牙質は，浸透したフッ化物やストロンチウムが酸曝露による浸食作用を抑制したことで，未処理の場合より，酸蝕の影響を受けにくくなったと考えられる．

今回の ICP を用いた分析では，S-PRG フィラーから徐放されるミネラルのうち，ホウ素とケイ酸は，S-PRG フィラーの含有率に関わらず検出されなかった．また，アルミニウムも，フッ化物とストロンチウムに比べると微量であった．S-PRG フィラーの濾過液を用いて口腔バイオフィルムにミネラルを作用させた研究[13-15]では，バイオフィルム内の濃度は，濾過液における濃度には比例せず，ミネラル間でバイオフィルムに浸透する効率に大きな差のあることが報告されている．その原因として，バイオフィルムアパタイトへのフッ化物との同時沈着[29]，細菌とフッ化物を結合させる cation bridging[30]，ミネラルのイオン半径の違い[31]などさまざまな要因の影響が考えられている．例えば，単原子イオンであるアルミニウムやストロンチウムよりも，大きなイオン半径を有するホウ酸塩分子イオンは，単原子イオンよりも象牙質内への拡散に時間がかかることが予想される．それに加えて，今回はバーニッシュ内の S-PRG フィラーから放出されるミネラルが，直接象牙質に作用したため，フィラーからのミネラル溶出速度なども結果に影響したことが考えられる．したがって，S-PRG フィラーに由来する各ミネラルの象牙質内へ拡散する速度に関しては，今後検討が必要であろう．

ミネラル浸透性の評価でも，プラセボとしての 0% 群に加え，0% 群のバーニッシュ未作用部分から採取したスラブを利用して対照群を設定した．この 2 つの群は同じ象牙質スラブに由来するので，図 3A におけるフッ化物のようにミネラルの濃度分布は類似することが予想されたが，ストロンチウムとアルミニウムでは，有意ではないものの，濃度分布に相違が認められた（図 3B, 3C）．そのため，ロジンなどバーニッシュの基材が，結果に影響した可能性は否定できない．しかし，S-PRG フィラーの含有率を除けば，バーニッシュの成分は同じため，試験用バーニッシュの評価への影響は無視できると考えられる．

この研究の目的は，S-PRG フィラーを配合したバーニッシュが抗酸蝕能を象牙質に付与するかどうかを検証することであった．結論として，S-PRG フィラー含有バーニッシュは，フィラーから徐放されたミネラル，特にフッ化物とストロンチウムが歯質中に浸透することにより，象牙質に対する酸の影響を抑制することが明らかとなった．現在，コンポジットレジン，小窩裂溝填塞剤，歯面研磨剤などさまざまな S-PRG フィラーを配合した歯科用製品が市販されている．S-PRG フィラーを配合したバーニッシュの商品化と普及は，障害者や高齢者などを対象に露出した根面を酸の侵襲から保護する可能性がある．

謝　辞

試験用バーニッシュを作製し，提供していただいた株式会社松風研究開発部に深謝いたします．

本研究について開示すべき利益相反はありません．

文　献

1）Ganss C: Definition of erosion and links to tooth wear. Lussi A: Understanding the chemistry of dental erosion. In: Lussi A, editor. Dental erosion from diagnosis to therapy. Whitford GM, Series editor. Monographs in oral science, Karger, Basel, 20, 2006, pp. 9–16.

2）Zero D, Lussi A: Behavioral Factors. Lussi A: Understanding the chemistry of dental erosion. In: Lussi A, editor. Dental erosion from diagnosis to therapy. Whitford GM Series editor. Monographs in oral science, Karger, Basel, 20. 2006, pp. 100–105.

3）Vanuspong W, Eisenburger M, Addy M: Cervical tooth wear and sensitivity: Erosion, softening and hardening of dentine; Effects of pH, time and ultrasonication. J Clin Periodontol 29:

351–357, 2002.
4) Nakatuka T, Yasuda Y, Kimoto K et al.: Dental fillers. United States Patent No. 6620861, 2003.
5) Ito S, Iijima M, Hashimoto M et al.: Effects of surface pre-reacted glass-ionomer fillers on mineral induction by phosphoprotein. J Dent 39: 72–79, 2011.
6) Kitagawa H, Miki-Oka S, Mayanagi G et al.: Inhibitory effect of resin composite containing S-PRG filler on *Streptococcus mutans* glucose metabolism. J Dent 70: 92–96, 2018.
7) Saku S, Kotake H, Scougall-Vilchis RJ et al.: Antibacterial activity of composite resin with glass-ionomer filler particles. Dent Mater J 29: 193–198, 2010.
8) Suzuki N, Yoneda M, Haruna K et al.: Effects of S-PRG eluate on oral biofilm and oral malodor. Arch Oral Biol 59: 407–413, 2014.
9) Kaga M, Kakuda S, Ida Y et al.: Inhibition of enamel demineralization by buffering effect of S-PRG filler-containing dental sealant. Eur J Oral Sci 122: 78–83, 2014.
10) Miki S, Kitagawa H, Kitagawa R et al.: Antibacterial activity of resin composites containing surface pre-reacted glass-ionomer (S-PRG) filler. Dent Mater 32: 1095–1102, 2016.
11) Nomura R, Morita Y, Matayoshi S et al.: Inhibitory effect of surface pre-reacted glass-ionomer (S-PRG) eluate against adhesion and colonization by *Streptococcus mutans*. Sci Rep 8: 5056, 2018.
12) Amaechi BT, Kasundra H, Joshi D et al.: Effectiveness of S-PRG filler-containing toothpaste in inhibiting demineralization of human tooth surface. Open Dent J 12: 811–819, 2018.
13) Kato K, Tamura K, Shimazaki Y: Oral biofilm uptake of mineral ions released from experimental toothpaste containing surface pre-reacted glass-ionomer (S-PRG) filler. Arch Oral Biol 117: 104777, 2020.
14) 加藤一夫，田村清美，嶋﨑義浩：S-PRG フィラー配合歯磨剤から徐放される無機イオンは口腔バイオフィルムのフッ化物停滞性を促進する．口腔衛生会誌 71：28–35，2021.
15) Kato K, Kutsuna R, Kawamura Y et al.: Bioactive caries-preventing effects of mineral ions released from surface pre-reacted glass-ionomer (S-PRG) filler on oral biofilm. Arch Oral Biol 179: 106392, 2025.
16) 中垣晴男，加藤一夫，石飛國子ほか編著：歯科衛生士のための齲蝕予防処置法，医歯薬出版，東京，第 2 版，2017，94 頁.
17) Kato K, Soga Y, Tamura K et al.: Relative influence of brushing force transmission factors on substance loss of eroded dentine. Dent Oral Craniofac Res 3: 1–5, 2017.
18) Kato K, Nakagaki H, Sakakibara Y et al.: Distribution of fluoride in the enamel of rat incisors examined by an abrasive microsampling technique. Archs Oral Biol 33: 653–656, 1988.
19) Hallsworth AS, Weatherell JA, Deutsch D et al.: Determination of subnanogram amounts of fluoride with the fluoride electrode. Anal Chem 48: 1660–1664, 1976.
20) Magalhães AC, Rios D, Moino AL et al.: Effect of different concentrations of fluoride in dentifrices on dentin erosion subjected or not to abrasion *in situ/ex vivo*. Caries Res 42: 112–116, 2008.
21) Ganss C, Neutard L, von Hinckeldey J et al.: Efficacy of a tin/fluoride rinse: A randomized *in situ* trial on erosion. J Dent Res 89: 1214–1218, 2010.
22) Eguchi T, Satou R, Miake Y et al.: Comparison of resistance of dentin to erosive acid after application of fluoride to teeth. J Hard Tissue Biol 29: 193–202, 2020.
23) Comar LP, Cardoso Cde A, Charone S et al.: TiF_4 and NaF varnishes as anti-erosive agents on enamel and dentin erosion progression *in vitro*. J Appl Oral Sci 23: 14–18, 2015.
24) Danelon M, Pessan JP, Prado KM et al.: Protective effect of fluoride varnish containing trimetaphosphate against dentin erosion and erosion/abrasion: An *in vitro* study. Caries Res 54: 292–296, 2020.
25) Silva IFD, Capalbo LC, Dal-Fabbro R et al.: Dentin erosive wear is reduced by fluoride varnishes containing nanosized sodium trimetaphosphate *in vitro*. Braz Oral Res 38: e056, 2024.
26) Featherstone JD: Fluoride, remineralization and root caries. Am J Dent 7: 271–274, 1994.
27) Saffarpour M, Mohammadi M, Tahriri M et al.: Efficacy of modified bioactive glass for dentin remineralization and obstruction of dentinal tubules. J Dent (Tehran) 14: 212–222, 2017.
28) Thuy TT, Nakagaki H, Kato K et al.: Effect of strontium in combination with fluoride on enamel remineralisation *in vitro*. Archs Oral Biol 53: 1017–1022, 2008.
29) Pearce EI, Sissons CH: The concomitant deposition of strontium and fluoride in dental plaque. J Dent Res 66: 1518–1522, 1987.
30) Rose RK, Shellis RP, Lee AR: The role of cation bridging in microbial fluoride binding. Caries Res 30: 458–464, 1996.
31) Ogawa A, Wada T, Mori Y et al.: Time dependence of multi-ion absorption into human enamel from surface prereacted glass-ionomer (S-PRG) filler eluate. Dent Mater J 38: 707–712, 2019.

著者への連絡先：加藤一夫　〒 464-8650　愛知県名古屋市千種区楠元町 1-100　愛知学院大学歯学部口腔衛生学講座
TEL：052-751-2561（Ex.1352）　FAX：052-751-2566
E-mail：kazkato@dpc.aichi-gakuin.ac.jp

Inhibitory Action of Varnish Containing S-PRG Fillers Against Dentine Loss Due to Acid Exposure

Kazuo KATO, Noriko KUMAGAI and Yoshihiro SHIMAZAKI

Department of Preventive Dentistry and Dental Public Health,
School of Dentistry, Aichi Gakuin University

Abstract: *In vitro* studies were conducted to evaluate inhibitory actions of experimental varnishes containing S-PRG fillers which release several ions (Al, BO_3, F, SiO_3, Sr) against dentine loss due to acid exposure. Five kinds of vanishes were prepared by adding 0, 10, 20, 30, and 40 wt% of S-PRG fillers, respectively. Sixty human dentine slabs, with half of the surfaces treated with the experimental varnishes, were submerged in warm water for 24 hrs. Subsequently, an exposed window was made within the treated area and another window within the designated control area. Slabs, each with two windows, were eroded through immersion in 0.83 M acetic acid for 30 min. The slabs were cross-sectioned in the middle of the windows to measure the extent of dentine loss. Then, three layered samples (15 μm thick) were abraded from the specimen surface using an abrasive micro-sampling technique. The powered samples were dissolved in acid and buffered. Fluoride and four other minerals, as well as calcium and phosphorus ions were quantified using a fluoride selective electrode and ICP-atomic emission spectroscopy, respectively. Mineral concentrations were calculated based on the consideration that the phosphorus concentration of dentine was 13.5 wt%. Differences in tissue loss between treated and control areas were −1.02, 2.04, 1.90, 2.48, and 1.36 μm in the 0, 10, 20, 30, and 40 wt% groups, respectively, indicating significant reductions in the 10 and 30 wt% groups. Levels of fluoride and strontium of the 10 through 40 wt% groups and aluminum only in the 40 wt% group were significantly higher in the first layer than those in the 0 wt% group. These results suggest that varnishes containing S-PRG fillers decrease the influence of acid on dentine loss by allowing minerals released from the fillers to penetrate the underlying dentine.

J Dent Hlth 76: 266-273, 2026

Key words: **Surface pre-reacted glass-ionomer (S-PRG) filler, Varnish, Dentine, Erosion, *in vitro* study**

Reprint requests *to* K. KATO, Department of Preventive Dentistry and Dental Public Health, School of Dentistry, Aichi Gakuin University, 1-100, Kusumoto-cho, Chikusa-ku, Nagoya, Aichi, 464-8650, Japan
TEL: 052-751-2561 (Ex.1352)/FAX: 052-751-2566/E-mail: kazkato@dpc.aichi-gakuin.ac.jp