



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	漂白後エナメル質に対するメタリン酸ナトリウムの着色抑制効果と吸着性の評価
Author(s)	牧野, 紗織
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(歯学)
Dissertation Number	甲第12158号
Issue Date	2016-03-24
DOI	https://doi.org/10.14943/doctoral.k12158
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/62178
Type	doctoral thesis
File Information	Saori_Makino.pdf



博士論文

漂白後エナメル質に対するメタリン酸ナトリウムの 着色抑制効果と吸着性の評価

平成28年3月申請

北海道大学
大学院歯学研究科口腔医学専攻

牧野 紗織

【抄録】

目的:近年、歯石の沈着防止やステイン除去の成分としてメタリン酸ナトリウムが注目されている。メタリン酸ナトリウムは安全性も担保されており、食品添加物、医薬品、医薬部外品の他、歯磨剤にも添加されている。メタリン酸ナトリウムは、ハイドロキシアパタイト (HAp) と結合してステインを除去すると考えられるが、詳細は明らかではない。

35 % H_2O_2 のオフィスブリーチング剤では、24 時間は色の濃い飲食物を控えることが推奨されている。本研究では、メタリン酸ナトリウムのステイン除去効果に着目し、漂白後の着色抑制効果を分光測色計で、吸着を XRD, FTIR で評価した。

材料と方法:松風の Hi-Lite[®]を用いて、健全ヒト抜去上顎切歯の唇側に漂白を行った後、分光測色計で CIE $L^*a^*b^*$ 表色系により測色した。その後、1) 処理を行っていない群 (Con), 2) メルサージュ[®]で研磨した群 (Mer), 3) フローデンフォーム A[®]を塗布した群 (Flu), 4) 1 %メタリン酸ナトリウム溶液に 35 分浸漬した群 (SMP) に分け、各処理後に Con, Mer, Flu は唾液に 120 分、SMP は 85 分浸漬して 37 °C で保管した。その後、37 °C のコーヒーに 24, 48, 72 時間保管し、コーヒー浸漬前後の ΔE^* , ΔL^* , Δa^* , Δb^* を求めて、着色抑制効果を評価した。求めた値の比較は Tukey test と Games-Howell test を用いて行った。

メタリン酸ナトリウム水溶液に浸漬したエナメル質表面の SEM 観察およびメタリン酸ナトリウム水溶液中で攪拌して作製した HAp の XRD および FTIR 分析を行った。

結果:24, 48, 72 時間後の ΔE^* では群間で有意差はなかった。一方、24 時間後の ΔL^* では SMP 群が他群に対して有意に明度の低下が少なかったが、48, 72 時間では差がなか

った。メタリン酸ナトリウム群の SEM ではエナメル質が膜状の構造物に覆われており、XRD 分析では、未反応の HAp と同じ回折ピークが観察された。FTIR 分析では、未反応の HAp と同じスペクトルの他に、メタリン酸ナトリウムに帰属される吸収ピークが確認された。

結論：メタリン酸ナトリウムはエナメル質表層に吸着されるが、化学的な反応はないと考えられる。着色抑制効果に関しては、24 時間まではコーヒーによる明度の低下を抑制したが、その効果は 48、72 時間は持続しなかった。

キーワード：メタリン酸ナトリウム，オフィスブリーチング，着色

【緒言】

近年、患者の歯に対する審美性への関心が高まっている。歯を白くする手法として、歯を切削することなく変色歯や着色歯の色調改善を行うことができるホワイトニングは広く認知されている^{1, 2)}。生活歯のホワイトニングの手法は、エナメル質の表面から行う方法が用いられている。漂白法としては、歯科医院で行うオフィスブリーチングおよび歯科医師の処方と指導のもとで患者自身が家庭で行うホームブリーチングに大別される^{3, 4)}。オフィスブリーチングは審美歯科において注目されている漂白法であり、通院回数が必要だが、患者の満足度は高い。一方、ホームブリーチングは、診療時間が短く、通院回数は少ないが、患者にとって自分で処置する煩わしさがあり、指示通りに行わないと効果が低下する⁵⁾。

現在、オフィスブリーチングに使用される漂白剤は様々な製品が開発されている^{6, 7)}。Hi-Lite[®]は、日本では厚生労働省で認可されている数少ない漂白剤であり、信頼性も高い。Hi-Lite[®]の漂白作用機序としては、成分の過酸化水素がエナメル質の内部に浸透せず、表層の浅い部分の有機成分と水分含有量を変化させることで、表面の色調と屈折率を変化させ、内部の色調を目立たなくさせるマスキング効果であるといわれている⁸⁻¹⁰⁾。さらに、エナメル質表層は、ペリクルが除去され、エナメル小柱の周囲の有機成分が分解されて粗糙になることが報告されている¹¹⁻¹³⁾。漂白処置から24時間以内は、色調変化が大きくなる可能性を考慮して、コーヒーや赤ワインなどの着色飲食物の摂取を控えることが推奨されている¹⁴⁾。

ステイン除去を目的として歯磨剤やガムに含有されている^{15, 16)}メタリン酸ナトリウムは、分子式 $(\text{NaPO}_3)_n$ で表される。このメタリン酸ナトリウムは、緩衝作用、洗浄作用、保水性などがあり^{17, 18)}、厚生労働省の食品添加物指定添加物リストにも掲載されており¹⁹⁾、安全性も担保されている。また、食品添加物や、医薬部外品にも利用され、医科の分野では、抗生物質の血中濃度を維持するために製剤に処方されることもある^{17, 18)}。歯科の分野においては、ステイン除去効果の他に、歯石の沈着防止や歯肉炎予防効果²⁰⁾、口臭抑制効果²¹⁾、骨形成促進効果も報告されている²²⁾。

メタリン酸ナトリウムはハイドロキシアパタイト(HAp)に対する親和性が高く、歯に結合する力がステインより強いので、歯面のステインを押しつけて歯の表面に結合する性質があるといわれているが詳細は明らかではない。メタリン酸ナトリウムを漂白後のエナメル質に応用した場合、漂白直後でも着色飲食物による色調変化を抑制することが期待される。この際にメタリン酸ナトリウムがエナメル質表面の HAp と化学的に反応して安定な被膜を形成しているならば、色調変化の抑制効果は長期的に持続することが期待できる。しかしながら、メタリン酸ナトリウムがどのようにエナメル質表面に存在しているかは、知られていない。

本研究では、メタリン酸ナトリウムのホワイトニング後の着色抑制効果およびエナメル質表面との化学的な反応および吸着の有無を、分光測色計、X 線回折およびフーリエ変換赤外分光光度計(FTIR)分析を用いて検討した。

【材料と方法】

本研究は北海道大学大学院歯学研究科臨床疫学研究倫理審査委員会における審査承認（承認番号 第 2013-7 号）に基づいて行われた。

1. コーヒー浸漬前後の色変化

試料作製方法を Fig. 1 に示す。

本実験では 0.5 %クロラミン T 水溶液（4 °C）中に保存された、個人を特定できない 24 本の健全ヒト抜去上顎切歯を用いた。唇側面を Hi-Lite[®]（松風）を用いてメーカーの指示に従って漂白し、分光測色計（CM - 2600d, コニカミノルタ）で測色した。測定条件は、正反射光を含む SCI 方式で、2° 視野、測定径は ϕ 3 mm とし、CIE L*a*b*表色系を用いた。

その後、漂白した歯質に対する処理の違いにより、4 つのグループに分けた。1) コントロール群（Con）：処理を行わない群、2) メルサーージュ群（Mer）：OSADA PORTABLE Unit にてメルサーージュ カップ[®]およびメルサーージュ ファイン[®]（松風）を用いて低速で 10 秒研磨し、水洗した群、3) フローデン群（Flu）：バトラー フローデンフォーム A[®]（SUN STAR）を 3 分間綿球にて塗布し、水洗した群、4) メタリン酸ナトリウム群（SMP）：メタリン酸ナトリウム（太洋化学工業）を用いて、溶媒をヒト唾液にした 1 %メタリン酸ナトリウム溶液に 37 °C で 35 分間浸漬した群とした（各群 n=6）。ヒト唾液は、研究協力者 4 名（20 歳代～50 歳代の健康な男女、北海道大学大学院歯学研究科口腔健康科学講座歯科保存学教室員）から、1 名あたり 30ml 程度採取した。唾液採取 30 分前から採取終了までは歯磨きおよび飲食禁止とした。採取した唾液は、唾液の個体差による影響を排除するため

に、混合して溶媒として使用した。各処理後に、Con, Mer, Flu はヒト唾液に 120 分、SMP は 85 分浸漬し、37 °C の恒温槽で保管した。SMP は処理の際にヒト唾液に 35 分浸漬しており、ヒト唾液への浸漬時間が全体で 120 分になるように調整した。その後、すべての群を 1.4 % に調整した 37 °C のインスタントコーヒー (AGF MAXIM) に浸漬し、24, 48, 72 時間保管後に、分光測色計にて測色を行った。コーヒー浸漬前後の $L^*a^*b^*$ および色差 ΔE^* , ΔL^* , Δa^* , Δb^* を次に示す計算式により求めた。

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

$$\Delta L^* = L_t^* - L_0^*, \quad \Delta a^* = a_t^* - a_0^*, \quad \Delta b^* = b_t^* - b_0^*,$$

(L_t^* , a_t^* , b_t^* は各測色時の, L_0^* , a_0^* , b_0^* は漂白直後におけるパラメーター)

求めた値に対し、Levene test による等分散性の検定を行い、等分散では Tukey test、不等分散の場合は Games-Howell test による多重検定を有意水準 5 % で行った。

2. エナメル質表面および断面の SEM 観察

試料作製方法を Fig. 2 に示す。1 と同様の条件の歯を用い、レギュラーダイヤモンドポイント (Diamond Point FG, #106RD, 松風) を用いて、歯軸の方向に近遠心的に半切した後、歯冠の中央部を使用するために、切縁側と歯頸側を削除し、7 mm × 4 mm × 3 mm の直方体になるように削合した。中央部にスリットを形成した後、唇側面以外にネイルバーニッシュを塗布した。その後、唇側面を K エッチャント GEL® (クラレノリタケデンタル) にてエッチングした後、脱イオン水または 1 % メタリン酸ナトリウム水溶液に 35 分間浸漬した (各群 1 歯ずつ)。唾液の構成成分による SEM 像への影響を排除するために、溶媒は脱イオン水とした。得られた試料を室温にて 24 時間乾燥させた後、スリットにあ

わけて切断し、Pt-Pd 蒸着 (E-1040, 日立製作所) を行っ、表面および切断面を SEM (S-4000, 日立製作所) にて観察した。

3. XRD, FTIR 分析

脱イオン水を用い 1 %メタリン酸ナトリウム水溶液を作製した。作製した 1 %メタリン酸ナトリウム水溶液 10 ml に粉末の HAp(ペンタックス) 2.0 g を加え 1 時間攪拌後、エタノールで 3 回洗浄、ろ過、遠心分離し、室温で乾燥させた。得られた試料を X 線回折装置 (XRD : RINT2500, Rigaku) ならびに FTIR (IRAffinity-1S, Shimadzu) 透過法にて分析した。

【結果】

1. コーヒー浸漬前後の色変化

Fig. 3 にコーヒー浸漬前および浸漬 24 時間後の歯の写真を示す。Con に比べて SMP では着色が抑制されていることが観察された。Fig. 4 にコーヒー浸漬前後の色変化 (ΔE^* , ΔL^* , Δa^* , Δb^*) を示す。24, 48, 72 時間後の ΔE^* では、各群間に有意差は認められなかった。24 時間後の ΔL^* では、Con は -1.78 ± 0.88 , Mer は -1.73 ± 1.41 , Flu は -1.78 ± 1.11 , SMP は 0.42 ± 1.39 であり、SMP が Con, Mer, Flu に比較して有意に小さかった。しかし、48 時間後の ΔL^* では、各群間に有意差は認められなかった。72 時間後の ΔL^* では、Con は -2.38 ± 2.22 , Mer は -3.45 ± 1.37 , Flu は -2.93 ± 0.64 , SMP は -1.01 ± 1.29 であり、SMP と Mer の間に有意差が認められた。24 時間後の Δa^* では、各群間に有意差は認められなかった。48 時間後の Δa^* では、Con は -0.16 ± 0.35 , Mer は 0.11 ± 0.69 , Flu は

0.38±0.41, SMP は 0.27±0.16 であり, SMP と Flu の間に有意差が認められた. 72 時間後の Δa^* では, 各群間に有意差は認められなかった. 24 時間後の Δb^* では, 各群間に有意差は認められなかった. 48 時間後の Δb^* では, Con は -0.19±2.29, Mer は -0.22±3.24, Flu は -0.02±0.49, SMP は 1.87±0.68 であり, SMP と Flu の間に有意差が認められた. 72 時間後の Δb^* では, 各群間に有意差は認められなかった.

2. エナメル質表面および断面の SEM 観察

Fig. 5 に, エッチングした後, 脱イオン水または 1 %メタリン酸ナトリウム水溶液に 35 分間浸漬した試料の SEM 像を示す. エッチング処理した後, 脱イオン水に浸漬した試料のエナメル質表面の SEM 像では, エナメル小柱の Key hole structure が観察され, エッチングによる脱灰が認められた. 断面においても, 表層から 1-2 μm 程度が脱灰しているのが観察された.

エッチング処理した後, 1 %メタリン酸ナトリウム水溶液に浸漬した試料の SEM 像では, 処理面は, エナメル小柱が観察されず, 表面が膜状の構造物で覆われているのが観察された. 膜状の構造物は断面では 2-4 μm 程度の厚みで認められた.

3. XRD, FTIR 分析

Fig. 6 に 1 %メタリン酸ナトリウム水溶液中に 1 時間攪拌させて作製した HAp の XRD パターンを示す. 未反応の HAp と同じ回折ピークが観察された.

Fig. 7 に 1 %メタリン酸ナトリウム水溶液中に 1 時間攪拌させて作製した HAp の FTIR スペクトルを示す. 1 %メタリン酸ナトリウム水溶液中に 1 時間攪拌させて作製した HAp

は、未反応の HAp と同じようなスペクトルを示すが、1, 279. 5, 860. 3, 717. 5 cm^{-1} 付近にメタリン酸ナトリウムに帰属される吸収ピークが確認された.

【考察】

近年、国民の審美に対する意識の高まりに伴い、歯の変色、着色は問題になっており、審美性の向上、回復を主訴に来院する患者も多くなった. 変色歯や着色歯の審美性回復のための処置としては、ラミネートベニア修復、コンポジットレジン修復などが挙げられるが、歯質の切削を望まない患者には受け入れられない場合が多い. そのため、歯質の削除を行うことなく希望の白さに回復する方法として、さまざまな漂白法が注目され、臨床に広く普及している²³⁻²⁵⁾. 生活歯の漂白法であるオフィスブリーチングは、35 %過酸化水素などの高濃度の漂白剤をエナメル質表面に塗布して、光や触媒などの作用により急速に分解させて漂白効果を得る方法である. 患者自身が行うホームホワイトニングと異なり、即効性が特徴である. オフィスブリーチング剤で代表的な Hi-Lite[®]は、エナメル質表層や直下の微細構造を変化させることで屈折率が変化し、光の散乱を増やして色調を目立たなくさせるマスキング効果があるといわれている⁸⁻¹⁰⁾. しかしその結果、エナメル質表層は、粗糙になることが報告されており¹¹⁻¹³⁾、色調変化が大きくなる可能性を考慮して、漂白処置から 24 時間以内は、コーヒーや赤ワインなどの着色飲食物の摂取を控えることが推奨されている¹⁴⁾.

コーヒーは色が暗く、pH が低く酸性であり、エナメル質の表面から浸透しやすいため、歯の着色の原因になることが報告されている²⁶⁻³²⁾. その一方で、近年、メタリン酸

ナトリウムを配合したガムでステイン除去効果がみられたという報告がされている¹⁶⁾。

メタリン酸ナトリウムは、水道水にも添加され、厚生労働省の食品添加物指定添加物リストにも入っており、安全性が保障されている¹⁹⁾。歯磨剤などにも配合しやすいため、比較的簡単に入手でき、年齢に関わらず、誰でも日常的に使用することができる。メタリン酸ナトリウムは、HAp 中の Ca イオンに対する親和性が高く、歯面のステインを押しつけて歯の表面に結合する性質があるといわれているが、詳細は明らかではない。メタリン酸ナトリウムを漂白後のエナメル質に応用した場合、24 時間以内の着色飲食物の制限をしなくても色調変化を抑制することが期待される。以上の理由より、本実験では、着色飲食物にコーヒーを選択し、Hi-Lite[®]によるオフィスブリーチング後の歯面に対するメタリン酸ナトリウムの着色抑制効果を評価するとともに、HAp に対する反応性について検討した。

CIE L*a*b*表色系はCIE（国際照明委員会）が1976年に推奨した色空間で、光を電氣的に測定して得られるスペクトル三刺激値XYZ(CIEの表色系三原色)を、均等色相平面に変換するために導かれたものである³³⁾。日本の工業分野での色彩管理における色差の測定に最も広く用いられているのがCIE L*a*b*表色系で、工業分野で実用されるのは、色差管理の際に色空間中のどの点の色についても人の感覚と比較的共通した色差値が示されることによるものである。よって、本実験では、着色抑制効果を実用性の高いCIE L*a*b*表色系を用いて評価することにした。

1. コーヒー浸漬前後の色変化

メタリン酸ナトリウムによる着色抑制効果の評価は、ガムや歯磨剤への添加を前提としているので、溶媒はヒト唾液とした。本実験のコーヒー浸漬前後の色差測定より、24時間後の SMP 群の ΔL^* は他の群と比較して有意に小さかった。 L^* は明度を示し、 L^* が大きいほど明度が高く明るく見え、小さいほど暗く見える。 よって ΔL^* の値が小さいということは、コーヒー浸漬後も明るさが保たれたということであり、このことから、メタリン酸ナトリウムにより着色が抑制されたといえることができる。 Δa^* は全体的に変化が少なかった。 SMP 群では Δb^* は時間が経過するにつれて大きくなる傾向がみられた。 a^* と b^* は色相と彩度を表す。 a^* 値は大きくなるほど赤色を増し、小さくなるほど緑色が増す。 b^* 値は大きくなるほど黄色を増し、小さくなるほど青色が増す。 よって、SMP 群では時間が経過するにつれて黄色味が増したといえる。 b^* 増大の理由は明らかではなく、今後検討していく必要がある。 ΔE^* について、24 時間では、SMP 群では 2 より小さいが、Con, Mer, Flu では 2 以上であった。 一方、48 時間、72 時間では、すべての群で 2 以上となった。 ΔE^* の値と人間の視覚の閾値を関連づけた Gross らの基準では、 ΔE^* が 2 以下であると異なる色として認識されない、とされている³⁴⁾。 よって、メタリン酸ナトリウムは 24 時間ではコーヒー浸漬に対する着色抑制効果が期待できるが、48、72 時間後では効果は低下する傾向があると思われる。 漂白後にメルサージュやフローデンなどのフッ化物を応用することは、再石灰化や機械的な研磨による歯面の平滑化を期待してメーカーでも指示されており、Mer 群と Flu 群を設定したが、短期間では十分な効果がみられなかった。

2. エナメル質表面および断面の SEM 観察

SEM 観察では、唾液を溶媒とすると、唾液由来の成分により、メタリン酸ナトリウムそのものの観察が困難となる可能性があったため、水溶液とした。SEM 観察より、1%メタリン酸ナトリウム水溶液に 35 分浸漬後の処理面のエナメル質表層に脱灰された像とは明らかに違った、膜状の構造物に覆われている像が観察された。切断面ではこの膜状構造物の厚みは $2-4\mu\text{m}$ 程度で観察された。膜状構造物については 2 つの仮説が可能である。ひとつは、エナメル質の HAp とメタリン酸ナトリウムが化学的に反応し、反応生成物として存在しているという仮説、もうひとつは、メタリン酸ナトリウムは HAp と化学的な反応をせず、エナメル質表面にメタリン酸ナトリウムそのものとして吸着している、というものである。これらの仮説を検証するために XRD および FTIR による分析を行った。

3. XRD, FTIR 分析

1 %メタリン酸ナトリウム水溶液中に 1 時間攪拌させて作製した HAp の XRD パターンで未反応の HAp と同じ回折ピークのみが観察されたことから、メタリン酸ナトリウムと HAp の反応による新たな結晶の析出は起きていないことが示唆された。

また、1 %メタリン酸ナトリウム水溶液中に 1 時間攪拌させて作製した HAp の FTIR スペクトルは、未反応の HAp と同じようなスペクトルを示すが、 $1,279.5$, 860.3 , 717.5cm^{-1} 付近にメタリン酸ナトリウムに帰属される吸収ピークが確認された。 $1,279.5\text{cm}^{-1}$ は P=O に、 860.3 および 717.5cm^{-1} は P-O-P に帰属される³⁵⁾。このことから、1 %メタリン酸ナトリウム水溶液中に 1 時間攪拌させた HAp 表面には、メタリン酸ナトリウムが吸着しているものと推測される。以上、XRD および FTIR の結果から、メタリン酸ナトリウムは HAp と化学的に反応するのではなく、吸着していると推測される。1 %メタリン酸ナトリウム

水溶液は pH が中性付近 (6.45) であり, HAp を溶かすこともないと考えられ, 脱灰や析出といった化学反応は起きにくいのであろう.

SEM によりエナメル質表面に観察された膜状構造物は, メタリン酸ナトリウムがエナメル質と化学反応をおこして生成したものではなく, メタリン酸ナトリウム自体が粗雑な表面に侵入して, HAp と吸着したものと推測される. 被膜は経時的に容易に失われるものと考えられ, これは本実験で着色抑制効果が 24 時間までは他の群と比較し, 有意に高かったことと関連すると考えられる. したがって, メタリン酸ナトリウムをホワイトニング後に使用する場合, 使用してから 24 時間後に繰り返し用いることで, さらなる着色抑制効果を持続することが期待できるかもしれない. しかしながら, 口腔内でメタリン酸ナトリウムがどのように失われていくか, また, 繰り返し応用したときの効果については本研究のデータからは明らかではなく, 今後の検討課題と考えられる. さらに, この現象は接着性修復物の変色防止に有効かどうかということや, メタリン酸ナトリウム応用後のエナメル質に対する修復物の接着性も検討する必要があると思われる.

【結論】

メタリン酸ナトリウムの着色抑制効果は, 24 時間では認められたが, 42, 72 時間では消退した. また, メタリン酸ナトリウムは, 膜状の構造物としてエナメル質表層に吸着しているが, 歯面に対して化学的に反応している証拠は得られなかった.

本研究の遂行において開示すべき一切の利益相反はない.

【文献】

- 1) Côrtes G, Pini NP, Lima DA, Liporoni PC, Munin E, Ambrosano GM, Aguiar FH, Lovadino JR. Influence of coffee and red wine on tooth color during and after bleaching. *Acta Odontol Scand* 2013; 71: 1475-1480.
- 2) 大前正範, 星加知宏, 末松 亮, 西村綾乃, 美甘 真, 穴吹優佳, 神谷絵里子, 岸本麻実, 林 真千子, 神農泰生, 吉山昌宏. ホワイトニング前後における歯質への着色量の変化に関する研究. *日歯保存誌* 2007; 50: 675-680.
- 3) 山口龍司, 新海航一, 加藤善郎, 下河辺 巧, 川上 進, 金子 潤, 久光 久, 東光 照夫, 松葉浩志, 新谷英章, 妹尾博文, 占部英徳. 松風ハイライトを用いた変色歯漂白法の臨床成績. *日歯保存誌* 1997; 40: 204-233.
- 4) 近藤隆一, McLaughlin G, Freedman GA. カラーアトラス 歯の漂白法. 第1版. 医歯薬出版: 東京; 1998. 22-37.
- 5) 金子 潤. 「オフィスホワイトニングとホームホワイトニング, どちらが効果的ですか?」と訊かれたら……. *デンタルハイジーン* 2009; 29: 1069.
- 6) Lima DA, Silva AL, Aguiar FH, Liporoni PC, Munin E, Ambrosano GM, Lovadino JR. In vitro assessment of the effectiveness of whitening dentifrices for the removal of extrinsic tooth stains. *Braz Oral Res* 2008; 22: 106-111.
- 7) Lima DA, Aguiar FH, Liporoni PC, Munin E, Ambrosano GM, Lovadino JR. Influence of chemical or physical catalysts on high concentration bleaching agents. *Eur J Esthet Dent* 2011; 6: 454-466.

- 8) 宮崎真至. 歯の漂白に関する現状と Evidence, その文献的考察(1)(2). 歯科評論 2002; 62: 107-118, 125-134.
- 9) 加藤純二, 五十嵐章浩, 中澤妙衣子, 明石 豪, 守矢佳世子, 部谷 学. 漂白の基礎メカニズム. 歯界展望 2007; 110: 734-743.
- 10) 川本光司, 辻本恭介, 飯田浩雅, 木村 大, 山崎宗与, 池見宅司. 過酸化水素水に光あるいはレーザー照射した際に発生するヒドロキシラジカルの発生量. 歯科の色彩 2002; 8: 31-35.
- 11) Rodrigues JA, Marchi GM, Ambrosano GM, Heymann HO, Pimenta LA. Microhardness evaluation of in situ vital bleaching on human dental enamel using a novel study design. Dent Mater 2005; 21: 1059-1067.
- 12) Efeoglu N, Wood D, Efeoglu C. Microcomputerised tomography evaluation of 10% carbamide peroxide applied to enamel. J Dent 2005; 33: 561-567.
- 13) Kwon SR, Wertz PW. Review of the Mechanism of Tooth Whitening. J Esthet Restor Dent 2015; 27: 240-257.
- 14) 東光照夫, 久光 久. 歯の漂白 総論. DE 2002; 143: 1-4.
- 15) Baig A, Kozak K, Cox ER, Zoladz J, Mahony L, White D. Laboratory studies on the chemical whitening effects of a sodium hexametaphosphate dentifrice. J Clin Dent 2002; 13: 19-24.
- 16) Porciani PF, Perra C, Grandini S. Effect on dental stain occurrence by chewing gum containing sodium tripolyphosphate—a double-blind six-week trial. J Clin Dent 2010; 21: 4-7.

- 17) 柴田雄次, 木村健二郎, 大橋 茂. 無機化学全書 4-6 リン(P). 1 版. 丸善: 東京; 1965. 180.
- 18) 田山育太郎, 池野亮当, 小林悦郎, 堀 省一郎. リン酸塩の化学と利用. 1 版. 化学工業社: 東京; 1969. 155-159.
- 19) 厚生労働省. 厚生省行政情報-食品添加物リスト-指定添加物リスト (規則別表第 1).
- <http://www.ffcr.or.jp/zaidan/MHWinfo.nsf/a11c0985ea3cb14b492567ec002041df/407593771b8750e94925690d0004c83e?OpenDocument> (2015 年 11 月 18 日 アクセス)
- 20) 荒井法行, 奥津誠一郎, 佐藤秀一, 東風 巧, 高野研一, 村井正大, 山本瑞哉, 三宅 幹雄, 金子憲司. ポリリン酸ナトリウム, トラネキサム酸, フッ化ナトリウム配合歯磨剤の歯石予防および歯肉炎予防効果に関する研究. 日歯周誌 1991; 33: 678-685.
- 21) 中城基雄. ポリリン酸ナトリウム配合ジェルを用いた, キレーション作用による新しい舌苔清掃法と, 長期口臭抑制効果について. 日本口臭学会会誌 2015; 6: 35.
- 22) 土井一矢, 柴肇一, 赤川安正. ポリリン酸の歯科領域への応用. 歯界展望 2014; 123: 754-758.
- 23) Papathanasiou A, Bardwell D, Kugel G. A clinical study evaluating a new chairside and take-home whitening system. Compend Contin Educ Dent 2001; 22: 289-294, 296, 298, 300.
- 24) Gerlach RW, Zhou X. Vital bleaching with whitening strips: summary of clinical research on effectiveness and tolerability. J Contemp Dent Pract 2001; 2: 1-16.

- 25) Haywood VB. History, safety, and effectiveness of current bleaching techniques and applications of the nightguard vital bleaching technique. *Quintessence Int* 1992; 23: 471-488.
- 26) Teo TB, Takahashi MK, Gonzaga CC, Lopes MGK. Postbleaching color change evaluation of bovine teeth immersed in high-pigmentation potential solutions. *Sul- Bras Odontol* 2010; 7: 401-405.
- 27) Addy M, Prayitno S, Taylor L, Cadogan S. An in vitro study of the role of dietary factors in the aetiology of tooth staining associated with the use of chlorhexidine. *J Periodontal Res* 1979; 14: 403-410.
- 28) Azer SS, Hague AL, Johnston WM. Effect of pH on tooth discoloration from food colorant in vitro. *J Dent* 2010; 38: 106-109.
- 29) Matis BA, Wang G, Matis JI, Cook NB, Eckert GJ. White diet: is it necessary during tooth whitening? *Opar Dent* 2015; 40: 235-240.
- 30) Rezende M, Loguercio AD, Reis A, Kossatz S. Clinical effects of exposure to coffee during at-home vital bleaching. *Opar Dent* 2013; 38: E229-E236.
- 31) Berger SB, Coelho AS, Oliveira VA, Cavalli V, Giannini M. Enamel susceptibility to red wine staining after 35% hydrogen peroxide bleaching. *J Appl Oral Sci* 2008; 16: 201-204.
- 32) Liporoni PC, Souto CM, Pazinato RB, Cesar IC, de Rego MA, Mathias P, Cavalli V. Enamel Susceptibility Coffee and Red Wine Staining at Different Intervals Elapsed from Bleaching: A Photoreflectance Spectrophotometry Analysis. *Photomed Laser Surg* 2010; 28: S105-S109.

- 33) Commission Internationale de l'Eclairage (1978) Recommendations on Uniform Color Spaces, Color Difference Equations, Psychometric Color Terms, Supplement 2 to CIE Publication 15 (E2-31.1) 1971 (TC-1.3) 1978 Paris, France: Bureau Central de la CIE.
- 34) Gross MD, Moser JB. A colorimetric study of coffee and tea staining of four composite resins. J Oral Rehabil 1977; 4: 311-322.
- 35) LU YP, ZHANG MQ, FENG QM, LONG T, OU LM, ZHANG GF. Effect of sodium hexametaphosphate on separation of serpentine from pyrite. Trans Nonferrous Met Soc China 2011; 21: 208-213.

Fig. 1

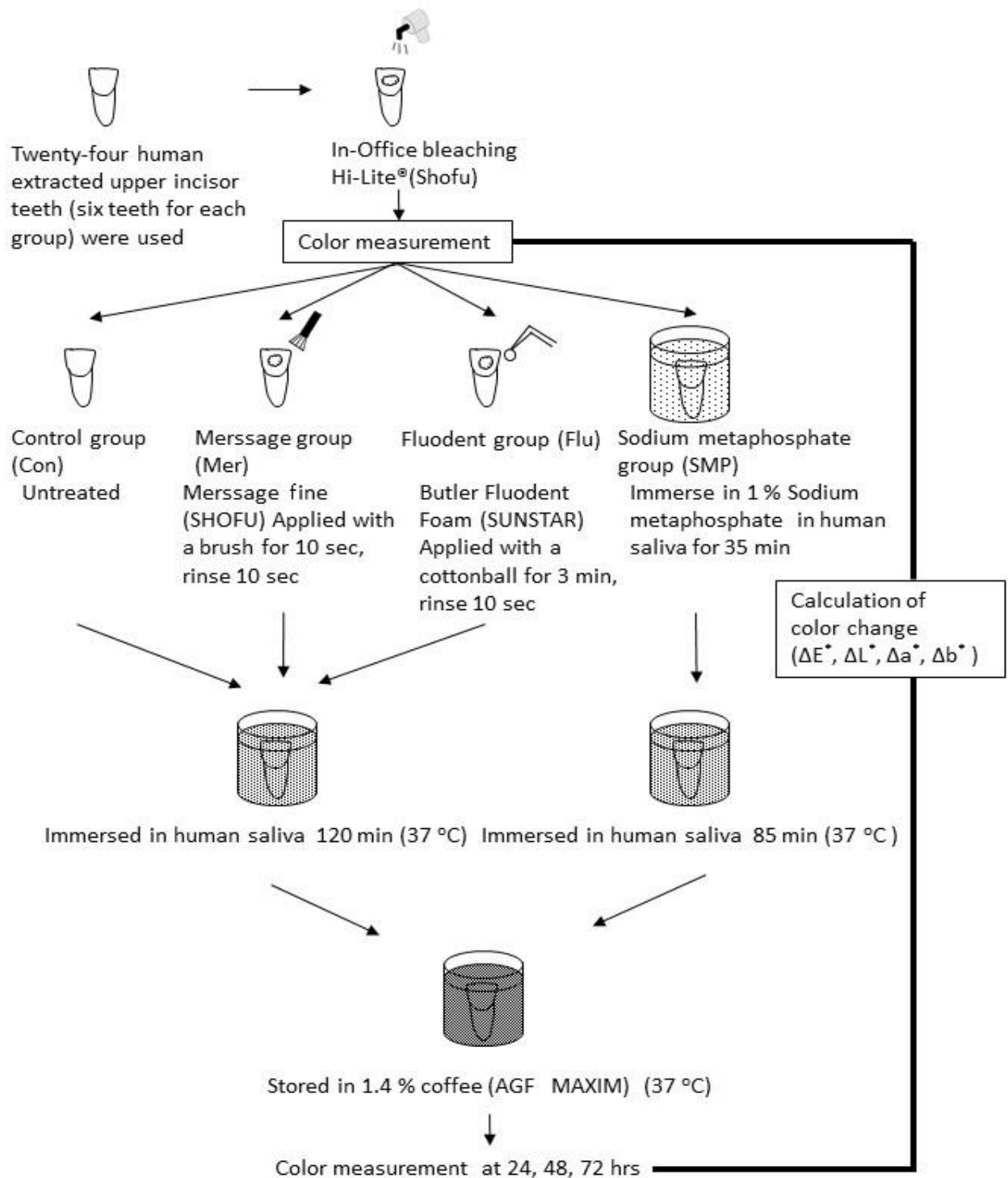


Fig. 2

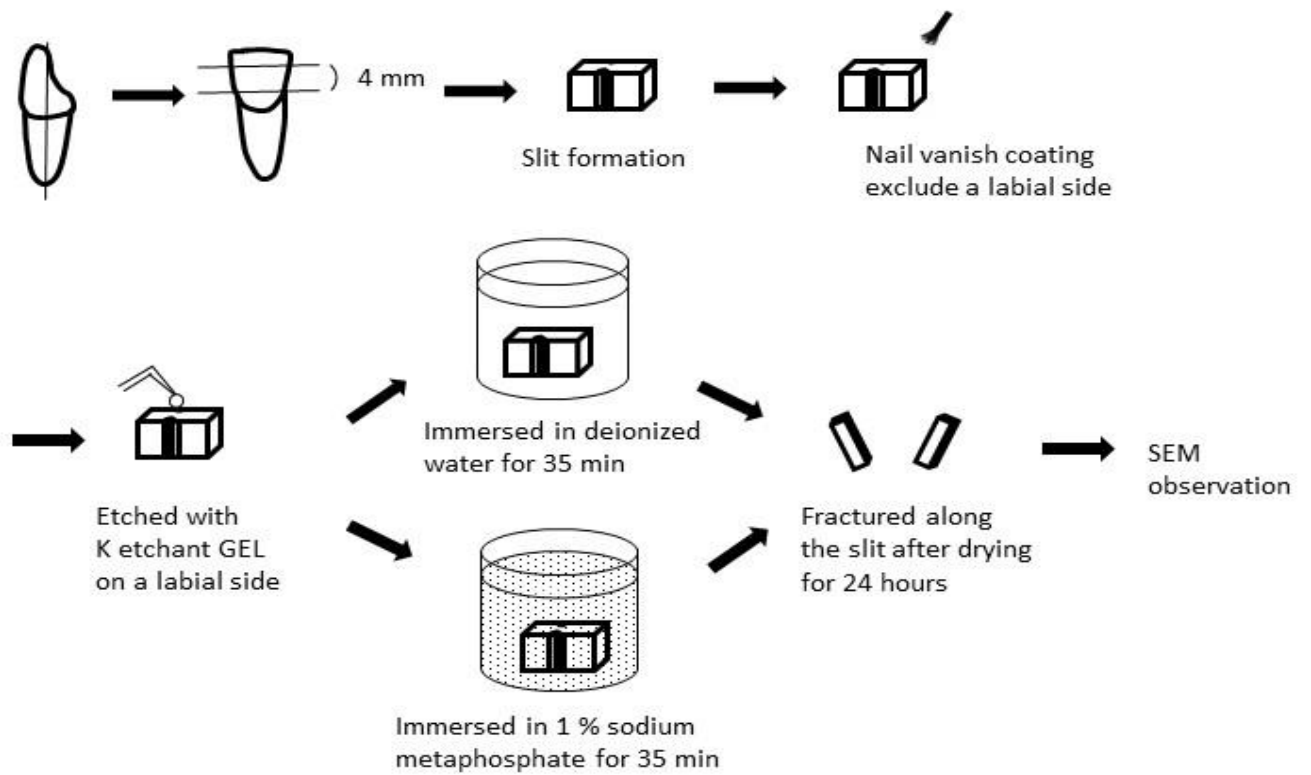


Fig. 3

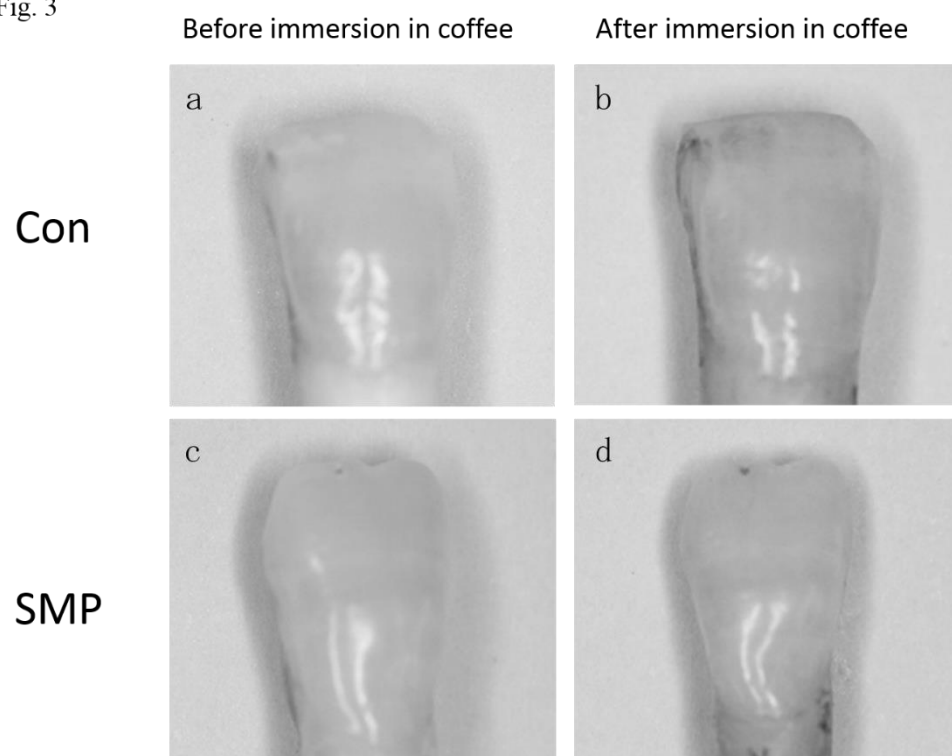


Fig. 4

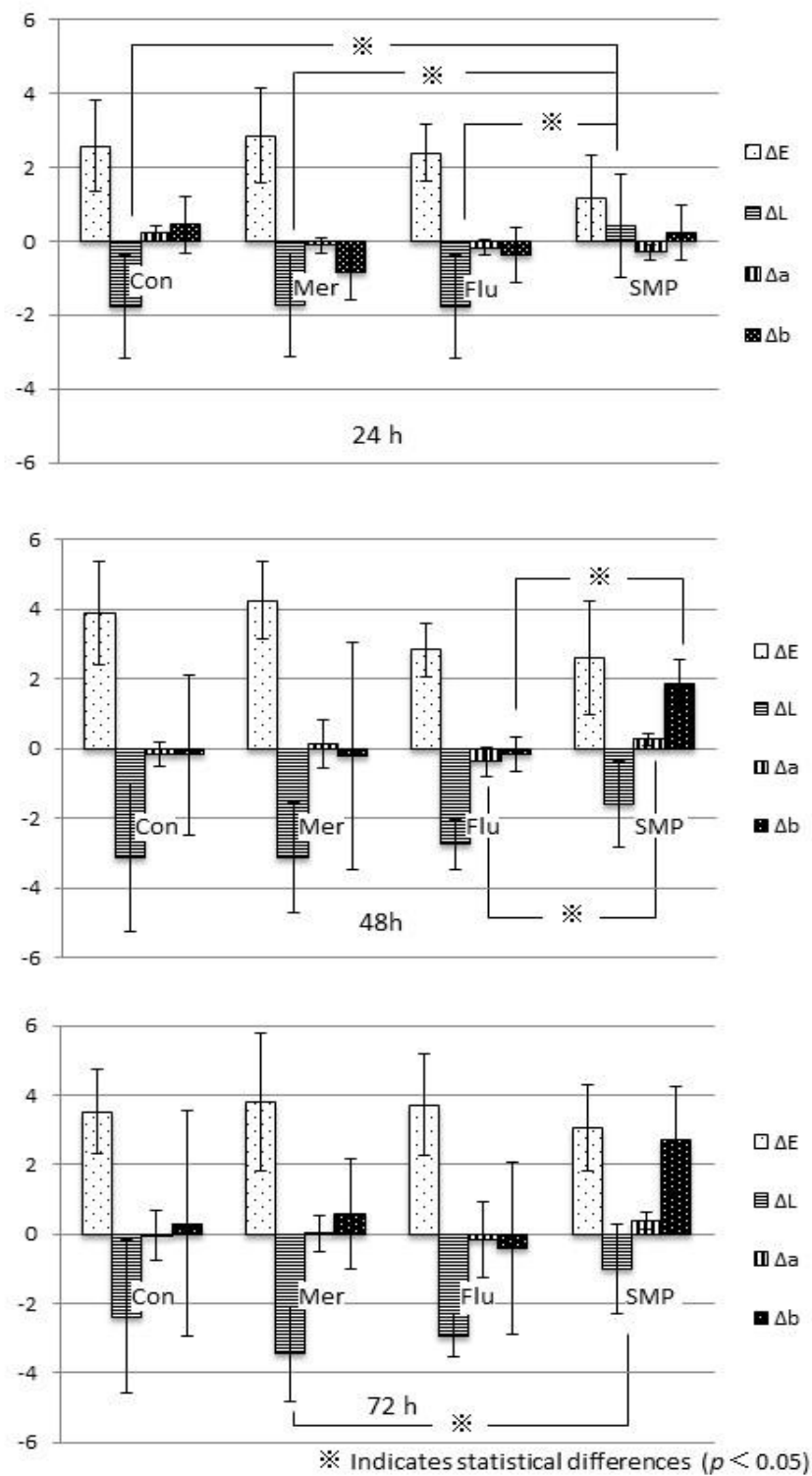


Fig. 5

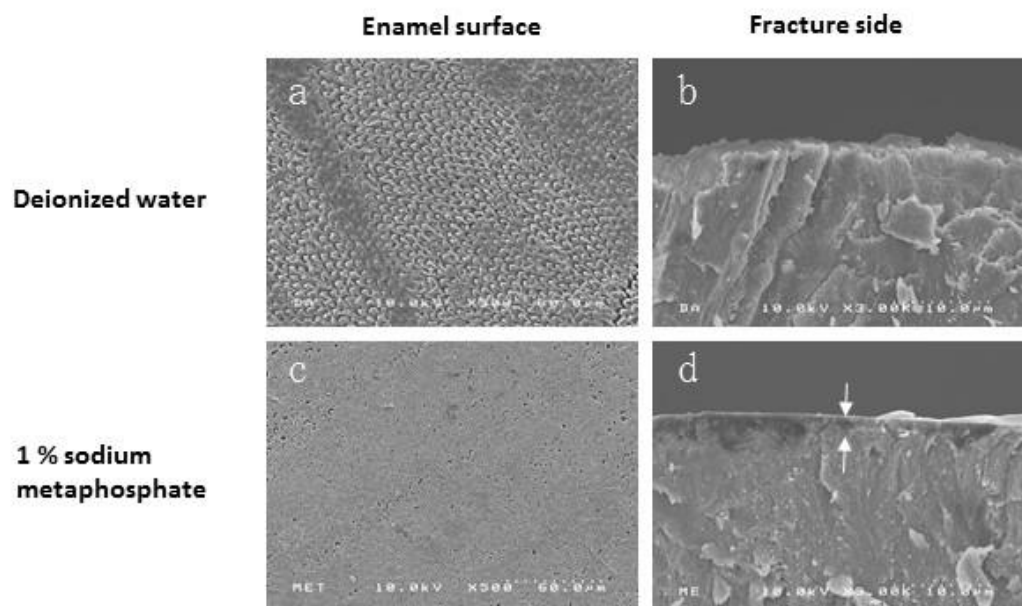


Fig. 6

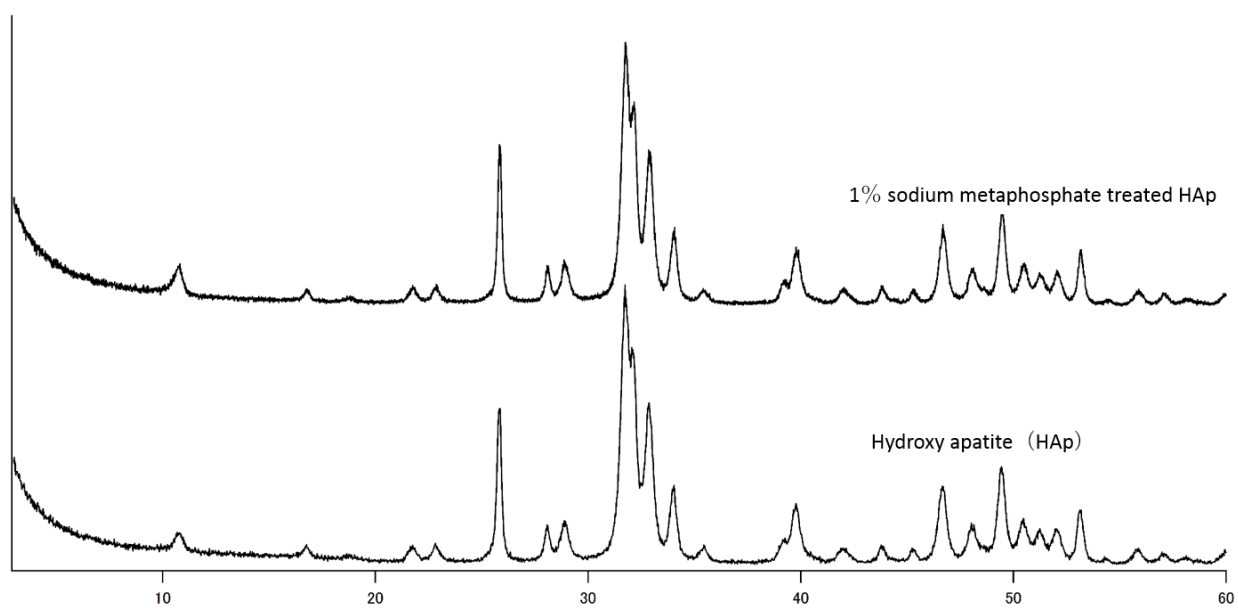
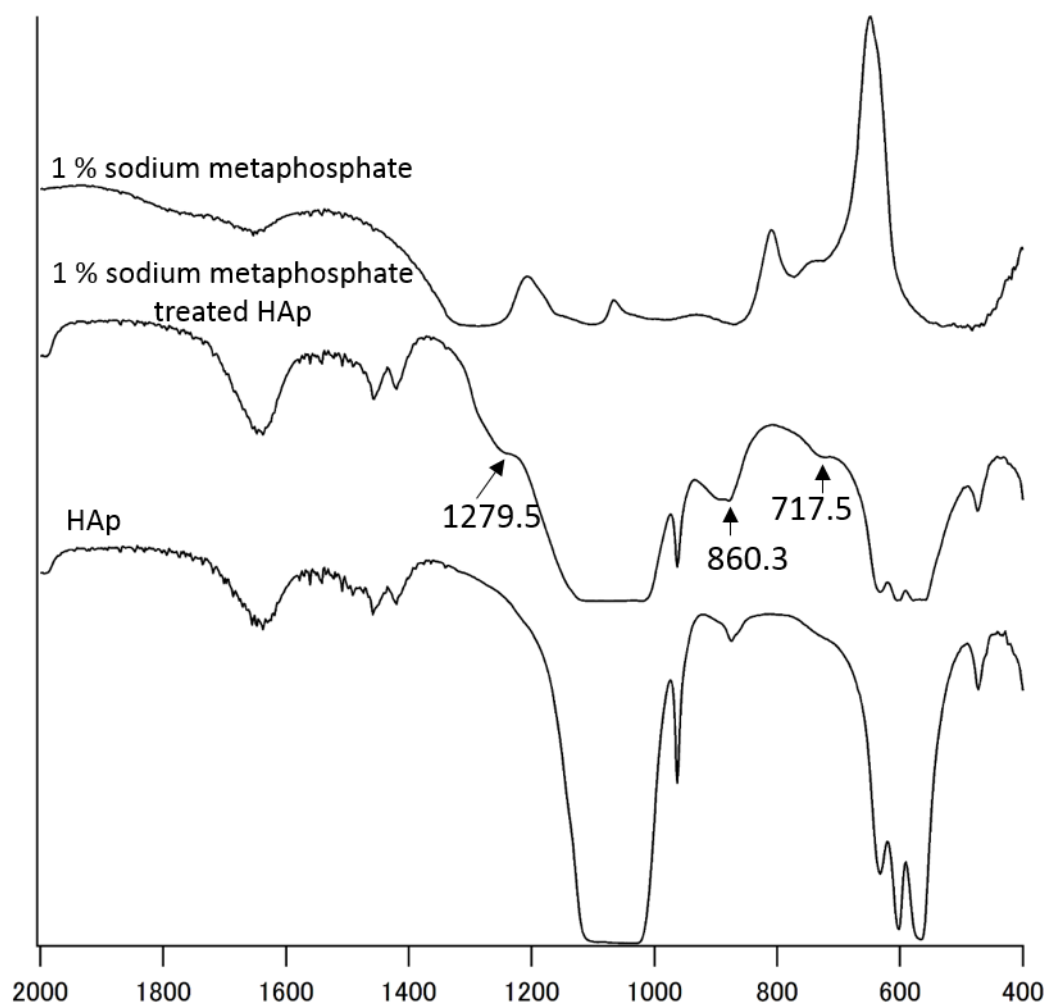


Fig. 7



Evaluation of Staining Inhibition and Adsorption of Sodium Metaphosphate to Beached Enamel

MAKINO Saori^{*} KAWAMOTO Chiharu^{*} IKEDA Takatsumi^{*} YOSHIHARA Kumiko^{**} YOSHIDA

Yasuhiro^{***} and SANO Hidehiko^{*}

^{*}Department of Restorative Dentistry, Division of Oral Health Science, Hokkaido University

Graduate School of Dental Medicine

^{**}Center for Innovative Clinical Medicine, Okayama University Hospital

^{***}Department of Biomaterials and bioengineering, Division of Oral Health Science, Hokkaido

University Graduate School of Dental Medicine

Corresponding author: Dr. MAKINO, Department of Restorative Dentistry, Division of Oral Health

Science, Hokkaido University Graduate School of Dental Medicine, Kita 13, Nishi 7, Kita-ku,

Sapporo 060-8586, Japan

TEL: +81-(0)11-706-4261, FAX: +81-(0)11-706-4878,

e-mail : saorim@den.hokudai.ac.jp

【Abstract】

Purpose: Sodium metaphosphate has been added to dentifrices and chewing-gums for inhibiting the staining of teeth. As sodium metaphosphate may easily bind to hydroxyapatite, it may block or inhibit stain adsorption to hydroxyapatite. In-office bleaching has been widely used. In the treatment, it is recommended to avoid dark-color foods and drinks for 24 hours after bleaching to prevent discoloration of tooth-surface. If sodium metaphosphate was applied to the enamel after bleaching, it might be expected to inhibit staining caused by dark-color foods and drinks. In addition, if sodium metaphosphate forms a stable membrane by chemical reaction with enamel hydroxyapatite, the effect of the staining inhibition might be expected to continue for a long time. Therefore, the present study evaluated the inhibition effect after bleaching and investigated the adsorption of sodium metaphosphate on enamel after in-office bleaching using spectrophotometer, and XRD and FTIR analysis.

Methods: Twenty-four extracted human upper incisors were treated with Hi-Lite, and then tooth-surface color was determined by a spectrophotometer. The teeth were then divided into four groups: 1) Untreated: Control group (Con), 2) Polished with Merssage (Mer), 3) Applied with Butler Fluodent Foam A (Flu). 4) Immersed in human saliva containing 1 % sodium metaphosphate for 35 min (SMP). Con, Mer, Flu were then immersed in human saliva at 37 °C for 120 min, and SMP was immersed for 85 min. After that, all groups were stored in 1.4 % coffee at 37 °C. Color measurement was performed at 24, 48 and 72 h. The color change between before and after immersion in coffee was expressed by ΔE^* , ΔL^* , Δa^* and Δb^* . Additionally, SEM observation of the

enamel surface and XRD and FTIR analyses of hydroxyapatite after immersion in 1 % sodium metaphosphate were performed.

Results: Regarding ΔL^* at 24 h, ΔL^* of SMP was smaller than those of the other groups, which confirmed the staining inhibition effect of SMP. According to SEM, sodium metaphosphate was observed as a thin film on enamel, however, there was no evidence of chemical reaction between hydroxyapatite and sodium metaphosphate by XRD and FTIR analyses.

Conclusion: Sodium metaphosphate provided a staining inhibition effect for bleached teeth during storage in coffee for 24 h. However, no evidence of chemical reaction between sodium metaphosphate and bleached enamel was found under the conditions of the present study.

Key words : sodium metaphosphate, in-office bleaching, stain

Figure Legends

Fig. 1

Color change between before- and after-immersion in coffee

Fig. 2

Specimen preparation for SEM of enamel with and without SMP immersion

Fig. 3

Color change of the teeth(labial view)

a , c : before coffee immersion

b , d: after coffee immersion for 24h

Fig. 4

Color change after immersion in coffee

Fig. 5

SEM of enamel with and without SMP immersion

All the specimens were immersed in water or 1% sodium metaphosphate (SMP) after etching by K.

etchant[®] (Kuraray Noritake Dental).

a : Enamel surface after immersion in deionized water

b : Fracture enamel surface after immersion in deionized water

c : Enamel surface after immersion in SMP for 35 min

d : Fracture enamel surface after immersion in SMP for 35 min

The arrows indicate “film-like structure”.

Fig. 6

XRD spectrum (beat for 1 hour) of HAp (with and without immersion in 1 % sodium metaphosphate

Fig. 7

FTIR spectrum (beat for 1 hour) of HAp (with and without immersion in 1 % sodium metaphosphate) and sodium metaphosphate itself