

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和元年6月26日現在

機関番号：30110

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2017～2018

課題番号：17H07048

研究課題名(和文) バイオアクティブガラスを用いた 矯正用ステンレススチール表面の改質

研究課題名(英文) Surface modification of orthodontic stainless steel with bioactive glass

研究代表者

河口 馨太郎 (KAWAGUCHI, Kyotaro)

北海道医療大学・歯学部・助教

研究者番号：70803641

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,700,000円

研究成果の概要(和文)：15Vの電圧の付与により、ステンレススチール(SS)の表面はBAG層で均一に被覆されて乳白色を呈するようになり、反射率と L^* においてより高い値となることが確認された。また、BAGでコーティングした試料は、コントロール群と比較して高い表面粗さを有するが、より高電圧の条件下で表面が比較的平滑になることが分かった。さらに、三点曲げ試験によってBAGワイヤーはコントロール群よりも6.9-12.0%の弾性係数の低下が確認された。そして、BAGワイヤーと矯正用ブラケット間に生じる摩擦係数は、10Vの電圧で表面改質したワイヤーの方が15Vの電圧で表面改質したワイヤーよりも高くなることが明らかとなった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

バイオアクティブガラスとEPD法を用いたコーティング技術により、歯科矯正用ステンレススチール材料を表面改質できることが明らかになった。表面改質により材料の表面粗さの増大や機械的強度の低下が懸念される一方、材料の審美性は高まり、矯正治療中のブラケット周囲の腐食の予防効果が期待できる可能性が示唆された。

研究成果の概要(英文)：Thin BG coating layers with a milky-white appearance were formed on stainless steel. Quantitative color measurements showed that the EPD process using higher voltage (15 V) produced higher values for the reflectance and L^* . The surfaces of BG coated specimens were significantly rougher than the non-coated specimens. The surfaces of BG coated specimens coated at higher voltage (15 V) showed significantly lower roughness than those coated at lower voltage (10 V). The hardness and elastic modulus of the BG layers were significantly lower than those of the non-coated specimens. For three-point bending test, the elastic modulus decreased 6.9-12.0% by the EPD process compared with non-coated wires. BG-coated wires deposited under 10V showed significantly greater static frictional force than non-coated wire, although BG-coated wires deposited under 15V showed similar static friction force compared to the non-coated wire.

研究分野：矯正歯科学、歯科材料学

キーワード：歯科矯正用材料 バイオアクティブガラス EPD

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

矯正用ブラケットとワイヤーには、機械的性質に優れたステンレス鋼やコバルトクロム合金が多用されているが、卑金属製であることから金属アレルギーの原因となる可能性があり、審美的観点からもその改善が望まれている。また、歯面に脱灰処理を施し直接ブラケットを装着するため、装置周辺におけるプラークの停滞にともなうエナメル質脱灰のリスクを高める危険性が懸念されている。

2. 研究の目的

本研究は、バイオアクティブガラス層(以下 BAG)をエレクトロフォレティックディポジション(以下 EPD)法によってステンレス鋼(以下 SS)の表面に形成し、その機械的特性、色調、耐腐食性、細胞毒性およびエナメル質の脱灰抑制作用と再石灰化促進能を調べることに伴い、高い生体親和性を伴い、優れた審美性およびブラケット周辺における齲蝕予防効果を有する機能性矯正装置を開発することを目的とする。

3. 研究の方法

(1)試料の作製

BAG を溶融法にて作製し、粒径 2.0 μm となるまで粉碎した。得られた BAG 粉末を超音波発生装置を用いて蒸留水中に分散させ、片面を鏡面研磨した SS(SAS316)製の円板(直径 14.0 mm、厚さ 2.0 mm)を高速パイポラ電源装置に接続し、BAG 懸濁液中で EPD 法による表面改質を行った。SS 製のアノードとカソード電極間に直流(DC)および交流(AC)電圧を加え、振幅および交流電圧の波形、周波数等の最適条件を検証した。断面形状が 0.43 mm \times 0.64 mm のレクタングュラータタイプの矯正用ステンレス鋼ワイヤーに、円板試料作製時と同様に表面改質を行った。

(2)BAG 粉末の分析

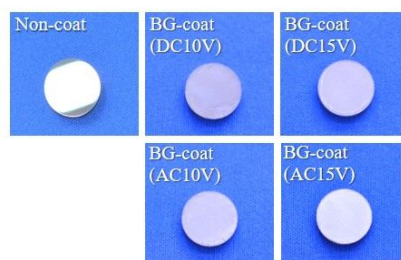
溶融前のバッチと、溶融後粉碎し完成した BAG 粉末に対し、蛍光エックス線分析装置を用いて元素分析を行う。BAG 粉末の結晶構造を明らかにするため、エックス線回折を行った。EPD 法を行う際に懸濁液中に分散している BAG 粒子の荷電状態を明らかにするため、電位差滴定法を行った。粉碎後の BAG 粉末の粒子形態を走査電子顕微鏡を用いて観察した。

(3)表面改質層の分析

各円板試料の表面を走査電子顕微鏡で観察した。同様に、エポキシ樹脂中に包埋し改質面に対して垂直に切断し、その断面を研磨した後に、走査電子顕微鏡で観察した。また、エネルギー分散分析法にて Si、Ca、Na、P、O、Fe、Ni、Cr の分布を調べる。各ワイヤー試料の表面を形状測定レーザー顕微鏡システムで観察するとともに、解析ソフトウェアを用いて算術平均粗さ(Ra)を算出した。改質層の結晶構造を明らかにするため、円板試料の表面をエックス線回折法にて分析した。各円板状試料とワイヤー試料の表面の色調を、歯科用測色器および分光光度計を用いて測定した。各ワイヤー試料の機械的性質を明らかにするため、三点曲げ試験および矯正用ブラケットを用いた引き抜き試験を行った。

4. 研究成果

溶融法を用いて作製した BAG 粉末を蒸留水中に懸濁し、ステンレス鋼(SS)電極に 10 ~ 15 V の直流電圧あるいは 1kHz の正弦波交流電圧を 10 分間付与することによって、アノード電極として用いた SS 表面に緊密な BAG 層が形成されることが明らかとなった。

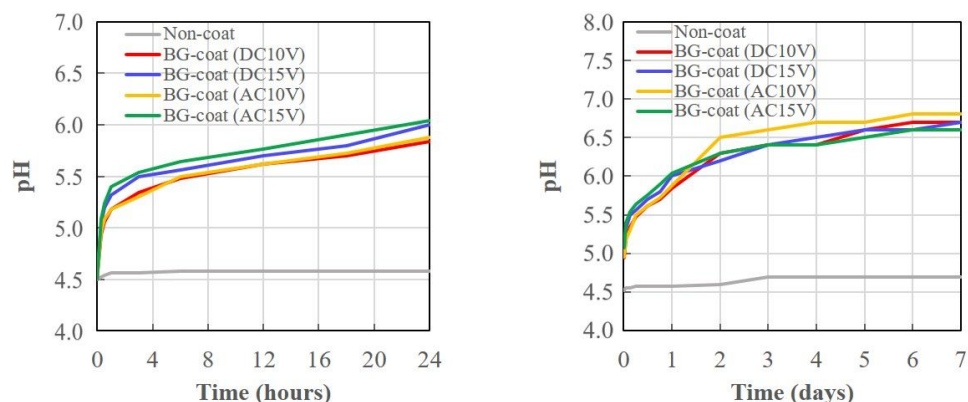


BAG表面改質を行った円板試料

そして、組成分析及び結晶構造の分析の結果、BAG 層は粉末状態の時と同様にアモルファス構造を有していることが分かった。BAG は、その結晶性が高くなると生体活性が低下するという報告がある。よって、アモルファス構造を有していることは、溶液中で溶解しやすい性質を有していることを示しており、BAG のもつ生体活性が維持されていることが期待できることが明らかとなった。

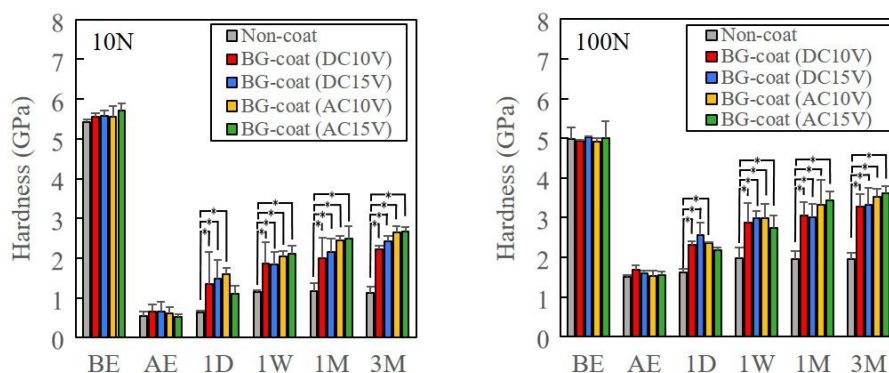
また、BAG 層は乳白色を呈しており、歯科用色調測定器を用いた色調測定の結果、5 V、10 V の電圧下で行った表面改質処理よりも、15 V での電圧下で行った表面改質処理のほうが、SS がより天然歯に近い色調となることが分かった。同様に分光測色器を用いて色調測定を行った

結果、その色調は比較的低い電圧（5V、10V）で表面改質を行った場合よりも比較的高い電圧（15V）で行った場合の方がより高い反射率を示すことが分かった。
 さらに、酸緩衝能試験において試料群と共に浸漬した酢酸溶液のpHが上昇したことから、BAGによる表面改質を行った試料は酸性溶液を中和する作用があることが分かった。



酸緩衝能試験

続いて、エナメル質包埋試料に脱灰操作を行い、各円板状試料と共に人工唾液に全浸漬し、浸漬前後のエナメル質に対して超微小硬度計（ENT-1100a、エリオニクス）を用いてナノインデンテーション試験を行った。その結果、脱灰操作によりすべてのエナメル質包埋試料群の機械的特性が一様に低下し、その後人工唾液への浸漬に伴い回復傾向を示した。このとき、表面改質処理を行った試料と共に浸漬したエナメル質包埋試料群の機械的特性が、コントロール群と比較して強い上昇傾向を示した。以上により、BAG改質層から溶出するイオンは矯正治療中のブラケット周囲のエナメル質の脱灰を抑制するとともに、再石灰化を促進する作用を有することが明らかとなった。



エナメル質再石灰化ナノインデンテーション試験

レーザー顕微鏡を用いてワイヤー試料の表面形態を分析した結果、表面改質したSSワイヤーは未処理のSSワイヤーよりも有意に高い表面粗さを示した。また、比較的高い電圧（15V）で表面改質処理を行った試料は低い電圧（5V、10V）で行ったものよりも有意に低い表面粗さを示した。

各ワイヤー試料の表面にナノインデンテーション試験を行った結果、EPD法によって形成されたBAG層はいずれも、未処理のSS表面よりも低い弾性係数を示した。

ワイヤーと矯正用ブラケット間とに発生する摩擦係数を測定するために引き抜き試験を行った結果、表面改質を行ったワイヤー試料はすべて、未処理のSSワイヤーよりも高い摩擦係数を示した。さらに、各ワイヤー試料に三点曲げ試験を行った結果、表面改質を行ったワイヤー試料はいずれも、未処理のSSワイヤーよりも低い弾性係数を示した。

BAGを用いた表面改質による耐食性の変化を調べるため、電気化学測定法による腐食試験を試みたが、各試料間に明確で一定の差異を認めることができなかった。

以上より、一定以上の電圧でEPD法を行いBAGによる表面改質を行ったSSワイヤーは、審美的に優れた色調を有する一方で、ワイヤーとしての弾性係数の低下や表面の粗造化、それに伴う摩擦係数の増加など好ましくない特性も有することが分かった。

〔雑誌論文〕(計1件)

Kyotaro Kawaguchi ,Masahiro Iijima ,Kazuhiko Endo ,Itaru Mizoguchi .Electrophoretic Deposition as a New Bioactive Glass Coating Process for Orthodontic Stainless Steel . Coatings . 査読有 . 7 巻 . 2017 . 199-211.

〔学会発表〕(計2件)

Kyotaro Kawaguchi , Masahiro Iijima , Kazuhiko Endo , Itaru Mizoguchi . Esthetic, Mechanical and Frictional Properties of Bioactive Glass-coated Orthodontic Wire .The 2018 IADR/PER General Session & Exhibition. 2018.

河口馨太郎,飯嶋雅弘,遠藤一彦,六車武史,川村尚彦,石川里奈,溝口 到 . バイオアクティブガラスと EPD 法を用いた矯正用ワイヤーの審美性表面改質 .第 76 回日本矯正歯科学会学術大会 . 2017 .