株式会社ナルコーム受託研究報告書

研究課題
歯科用イオン導入装置・パイオキュアーによる牛歯エナメル質へのフッ素イオン導入効果に関する研究

平成 24 年 8 月 29 日

九州歯科大学健康増進学講座総合科学分野

田中　敏子

【目的】

牛歯をフッ化ナトリウム（NaF）溶液に浸漬し、歯科用イオン導入装置・バイオキュアーP－10 を用いて牛歯に微電流を流してフッ素イオンを導入させる場合（イオン導入法）と、NaF 溶液に浸漬のみを行う場合（浸漬法）とを比較して、牛歯エナメル質へのフッ素イオンの取り込み量および脱灰量に違いがあるか否かを検討する。

【方法】

牛種、年齢、歯種別差による影響を避けるため、黒毛和牛（25～32 ケ月）の左右下顎中切歯を抜歯して試料歯とした。フッ化物処理を行うまでの間、生理食塩水中にて 4℃で保存した。保存中は生理食塩水を２－３日に一度交換した。牛歯に付着している歯垢、結合組織等を除去し、さらにマイクロモーターを用いて歯面研磨を行った。

イオン導入法と浸漬法を比較する場合、同形の２個の浸漬槽に２％NaF 溶液（弗化ナトリウム液「ネオ」: ネオ製薬工業）を同量入れ、歯冠部分を NaF 溶液に浸漬した。歯根部には、歯冠・歯根境界から 3～4mm 離して生理食塩水を含浸させたガーゼを巻いた。同一牛下顎中切歯の１本をイオン導入法で（図 1 右）、残りの１本は浸漬法（図 1 左）にてフッ素イオンを取り込ませた。通電は歯科用イオン導入装置・バイオキュアーP－10（ナルコーム）を用いて、500μA で行った。通電および浸漬時間は 2、3、5、および 10 分とした。その後、牛歯を蒸留水で８回洗浄し、超純水で３回洗浄した。

洗浄した牛歯の歯根部を切除し（図 2 左）、脱灰させるエナメル質部分にテープを巻き、それ以外の部分は歯科用汎用アクリル系レジン（松風）で被覆し、脱灰しないようにした（図２右）。サンプラ PP ボトルに 0.1M lactic acid solution（乳酸溶液）を 25ml 入れ、テープをはがし、さらに洗浄した試料歯を浸漬し、37℃で振とうしながら牛歯エナメル質部分を脱灰させた。乳酸溶液の pH は 5.0 および 3.0 に調整した。

テープ面積（脱灰させたエナメル質の面積）はプラニメータ（marble）で計測し、脱灰によって乳酸溶液中に溶出したフッ素（F）濃度はハンディフッ素イオンメータ（TiN-5101i: TOKO）で、カルシウム（Ca）濃度は原子吸光分光光度計（8200 型, 日立）で測定した。両元素の溶出量は牛歯エナメル質の単位面積当たりの量（μg/cm^2）として算出した。得られたデータは平均値±標準誤差で表した。

【結果】

１）牛歯エナメル質中のＦ濃度およびイオン導入法の効果

フッ化物処理を行わない場合、牛歯エナメル質に含まれているＦ濃度は低いということが予想されたため、牛歯エナメル質中のＦ濃度を測定するためには、十分脱灰する必要があった。従って、乳酸溶液の pH を 3.0 に調整し、5 分および 15 分間脱灰した。この結果、牛歯エナメル質から溶出したＦ量は、0.047±0.002μg/cm^2（5 分脱灰）、0.092±0.005μg/cm^2（15 分脱灰）であり、非常に低値であることが明らかとなった（図 3)。ちなみに、500μA で 10 分間イオン導入法を行い同条件で脱灰した場合､溶出したＦ量は1.63±014μg/cm^2(5分脱灰)、2.89±0.27μg/cm^2（15 分脱灰）であり、十分なＦイオン導入効果が認められた（図 3)。

溶出した Ca 量を図 4 に示す。5 分、15 分ともイオン導入することにより、エナメル質の脱灰が有意に減少した。また、ヒトのエナメル質とヒト以外の哺乳類のエナメル質の構造にほとんど違いは無いということが報告されているため[1)]、ヒトの場合と同様に、牛歯もエナメル質中の Ca 含有量を 37%、エナメル質の比重を 2.95 としてエナメル質表層からの脱灰の深さを算出した（図 5)。pH3.0 で 5 分間脱灰した場合、エナメル質表層から 1720nm(1.72μm)脱灰するが、Ｆイオンを導入することにより脱灰の深さは約 500nm(0.5μm)減少した。また、15 分間脱灰した場合は、3830nm(3.83μm)の深さまで脱灰されたが、イオン導入法を行った場合には 2140nm(2.14μm)にまで減少し、両者間には有意差が認められた。

２）浸漬法とイオン導入法の比較

ヒトエナメル質の臨界 pH は乳歯の場合 5.7~6.2、永久歯では 5.5 前後であるため、それらより若干低い pH5.0 で脱灰した。まず、脱灰時間を 5 分として、エナメル質の極表層に取り込まれるＦイオン量を調べた（図 6)。浸漬および通電時間は 3、5 および 10 分間とした。結果の１）で示したように、牛歯エナメル質自体に含まれているＦ量が非常に少ないため、エナメル質に取り込まれたＦイオン量は乳酸溶液中に溶出してきたＦ量にほぼ等しいと考えられる。従って、3 分間イオン導入した場合は 0.52μg/cm^2、5 分間では 0.65μg/cm^2、10 分間では 0.66μg/cm^2 のＦイオン量が取り込まれることが分かった。溶出した Ca 量を図 7 に、脱灰の深さを図 8 に示す。図 8 に示したように、脱灰時間 5 分では両方法とも脱灰の深さは約 120nm であった。すなはち、エナメル質表層から 120nm に取り込まれるＦ量は、イオン導入法では 5 分間ですでにプラトーに達すると考えられる。浸漬法によるＦ取り込み量は 5 分間で 0.50μg/cm^2、10 分間浸漬してようやく 0.62μg/cm^2 であった。

次に、15 分間脱灰して脱灰量を増加させ、牛歯エナメル質へのＦイオン取り込み量を検討した。図 9 に示すように、2、3、5 および 10 分間イオン導入した場合、浸漬法に比べて牛歯エナメル質に取り込まれるＦイオン量は多く、特に 3、5 および 10 分では有意差が認められた。この有意差が認められた 3、5 および 10 分について、溶出した Ca 量を測定し（図 10）、脱灰の深さを算出した（図 11）。これらの結果から、イオン導入法は、浸漬法に比べて脱灰量が少なくなり、脱灰の深さも浅くなることが明らかとなった。特に、3 分と 5 分では有意差が認められた。

また、浸漬法では、5 分脱灰した場合、脱灰の深さはどの浸漬時間でも 120nm であったのに対し（図 8）、15 分脱灰では、浸漬時間が 3 分では 318nm、 5 分では 322nm 、10 分では 276nm と増加していたにもかかわらず（図 11）、溶出したＦ量は 5 分脱灰でも 15 分脱灰でもほぼ等しかった（図 6、9）。つまり、浸漬法ではフッ素イオンはエナメル質の極表層にのみにしか取り込まれないと考えられる。一方、イオン導入法では、図 6 と図 9 を比較してもわかるように、脱灰の深さが深くなるとともに溶出したＦ量は増加した。すなわち、イオン導入法を行うことで、エナメル質のより深部までＦイオンを導入することができることが判明した。

【結論】

浸漬法に比べて、イオン導入法の方が牛歯エナメル質により多くのＦイオンを含有させることができ、その結果、酸による脱灰量も低くなることが明らかとなった。

1) Frandson, R.D. and Spurgeon, T.L. (1992) (English). *Anatomy and Physiology of Farm Animals* (5th ed.). Philadelphia: Lea & Febiger. ISBN 0-8121-1435-3.



図１．イオン導入法および浸漬法による牛歯へのＦイオン導入実験。浸漬槽に NaF 溶液を同量入れ、歯冠部分を NaF 溶液に浸漬した。左側槽は浸漬のみで、右側槽は牛歯に 500μA の通電を行った。



図２．乳酸溶液で脱灰する試料歯を作製する様子。写真左は牛歯歯根部を切除した状態。写真右は歯根部切除後、脱灰させるエナメル質部分にテープを巻き、それ以外の部分にアクリル系レジンで被覆した状態。

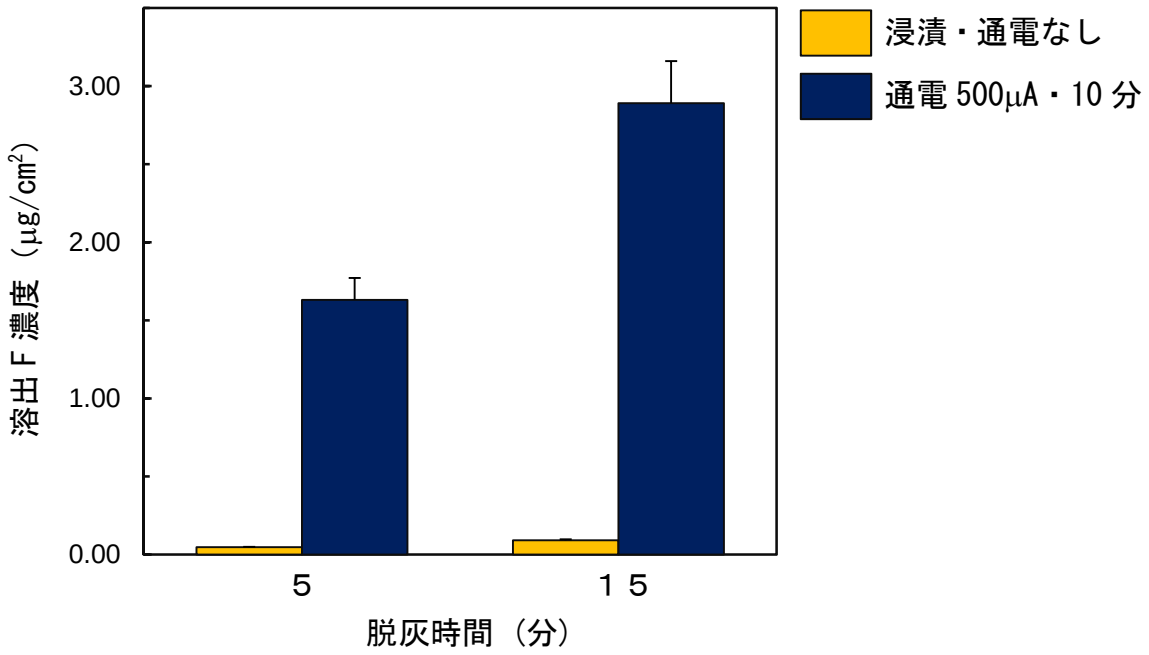


図３．牛歯エナメル質から溶出したＦ濃度。0.1M 乳酸溶液（pH3.0）で脱灰した。

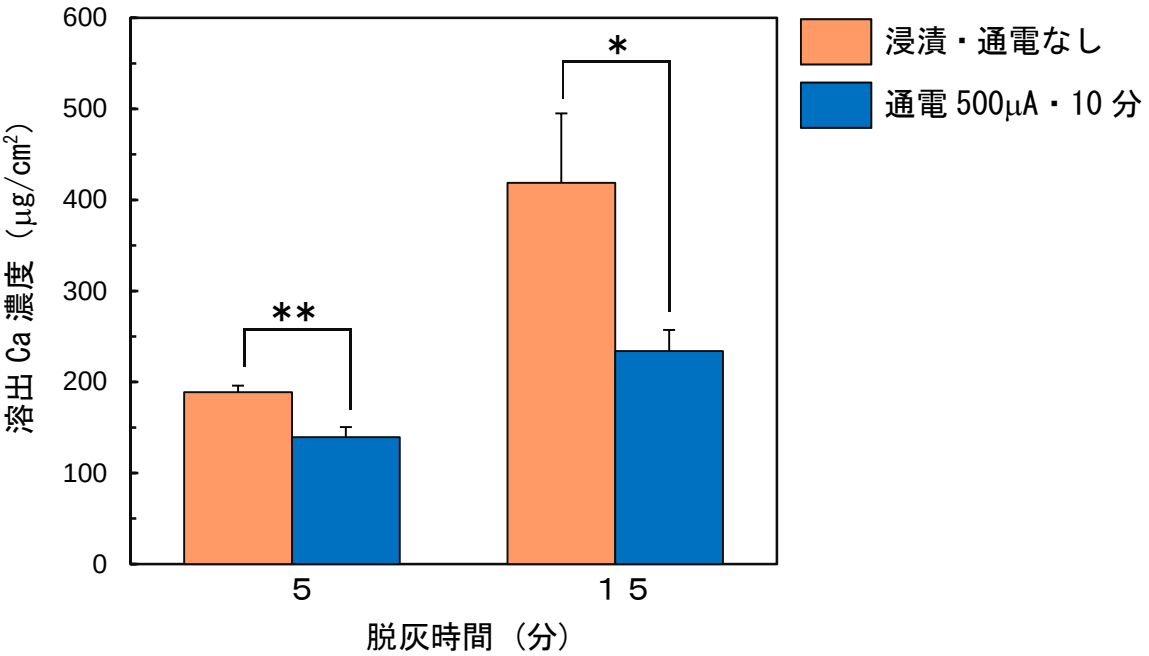


図４．牛歯エナメル質から溶出したＣａ濃度。0.1M 乳酸溶液（pH3.0）で脱灰した。＊：ｐ＜0.05、＊＊：ｐ＜0.01。

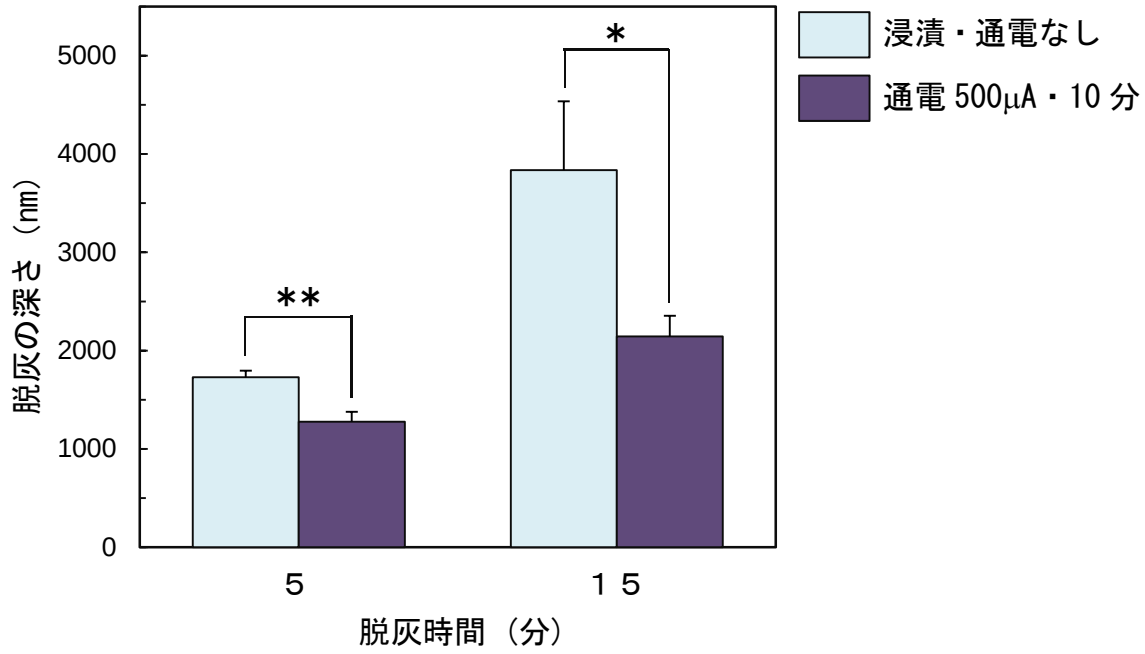


図５．牛歯エナメル質の脱灰の深さ。0.1M 乳酸溶液（pH3.0）で脱灰した。＊：ｐ＜0.05、＊＊：ｐ＜0.01。

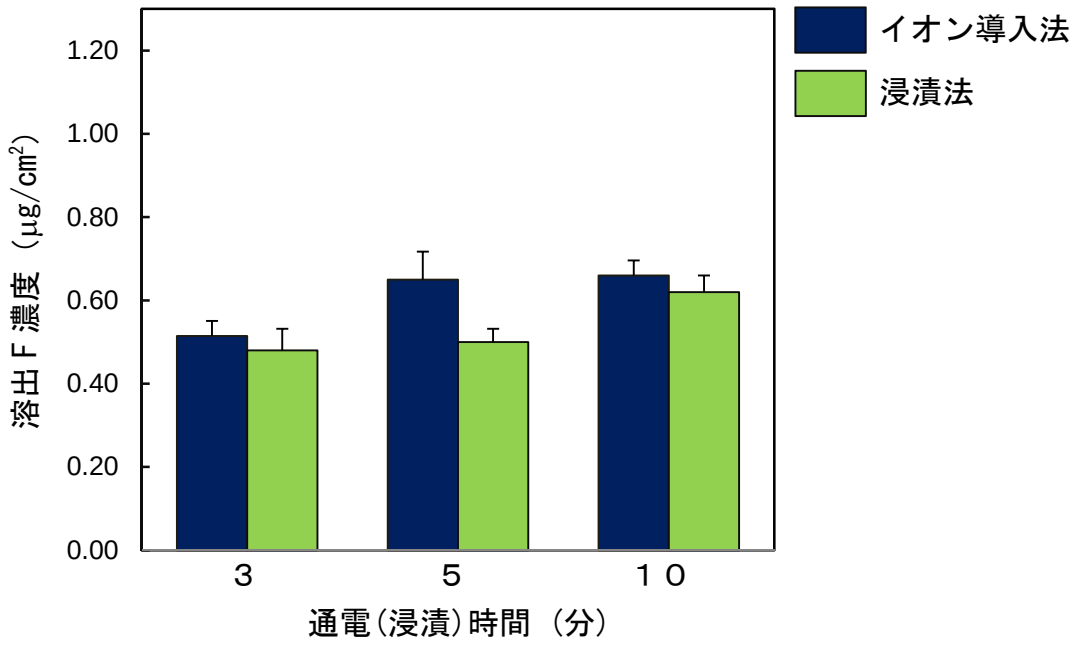


図６．牛歯エナメル質から溶出したＦ濃度。0.1M 乳酸溶液（pH5.0）で、5 分間脱灰した。

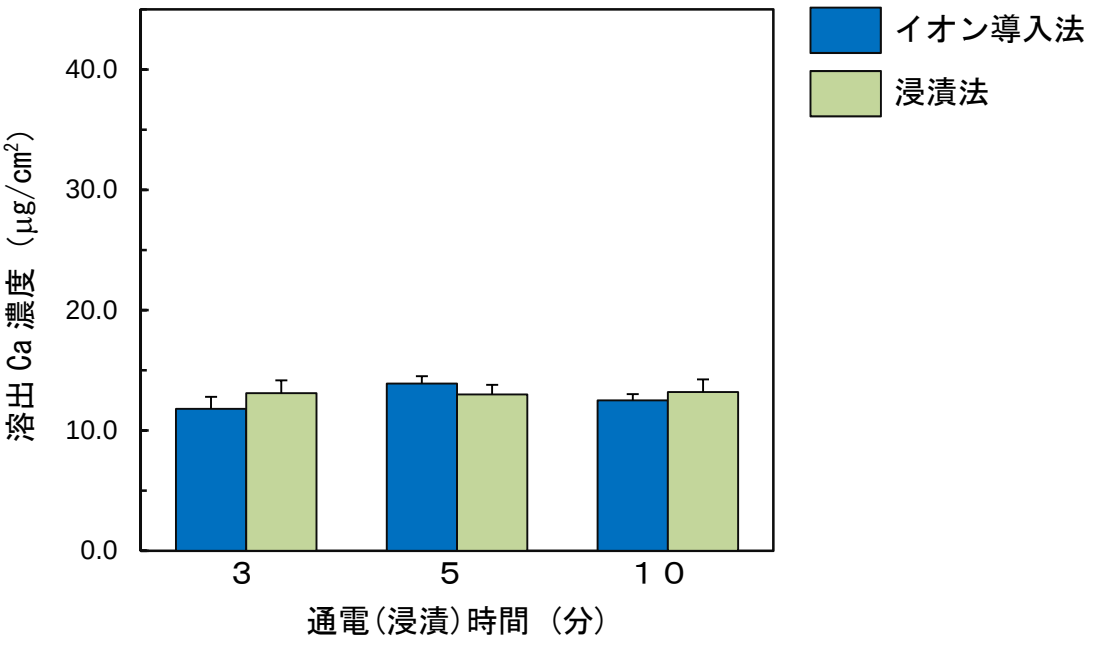


図７．牛歯エナメル質から溶出したＣａ濃度。0.1M 乳酸溶液（pH5.0）で、5 分間脱灰した。

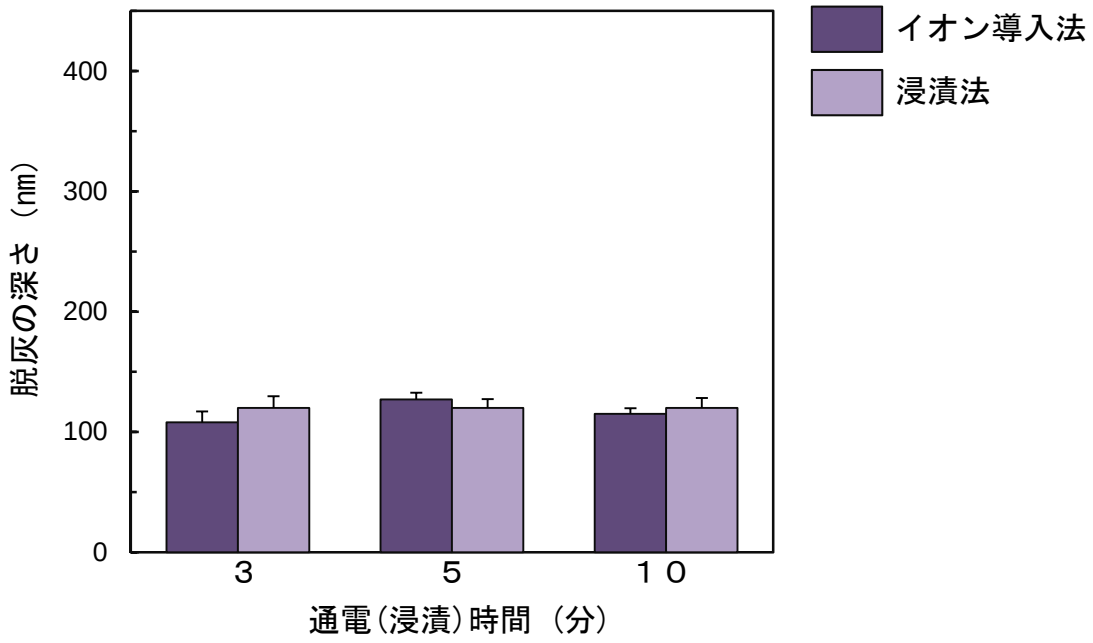


図８．牛歯エナメル質の脱灰の深さ。0.1M 乳酸溶液（pH5.0）で、5 分間脱灰した。

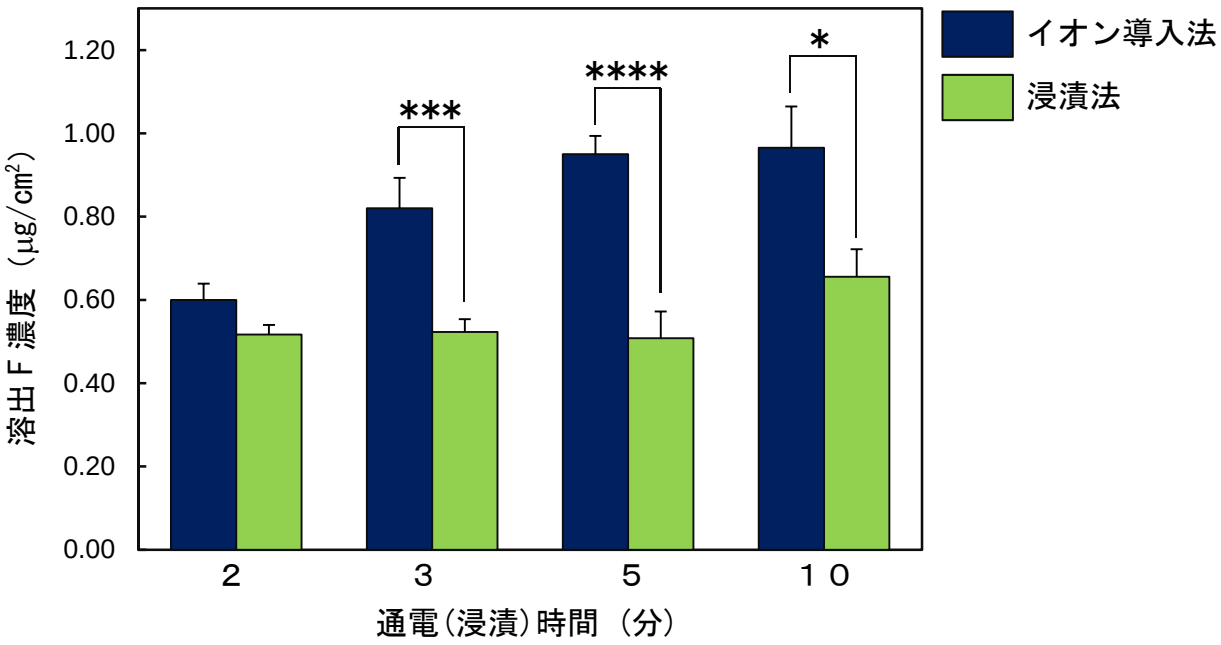


図９．牛歯エナメル質から溶出したＦ濃度。0.1M 乳酸溶液（pH5.0）で、15 分間脱灰した。
＊：ｐ＜0.05、＊＊＊：ｐ＜0.002、＊＊＊＊：ｐ＜0.001。

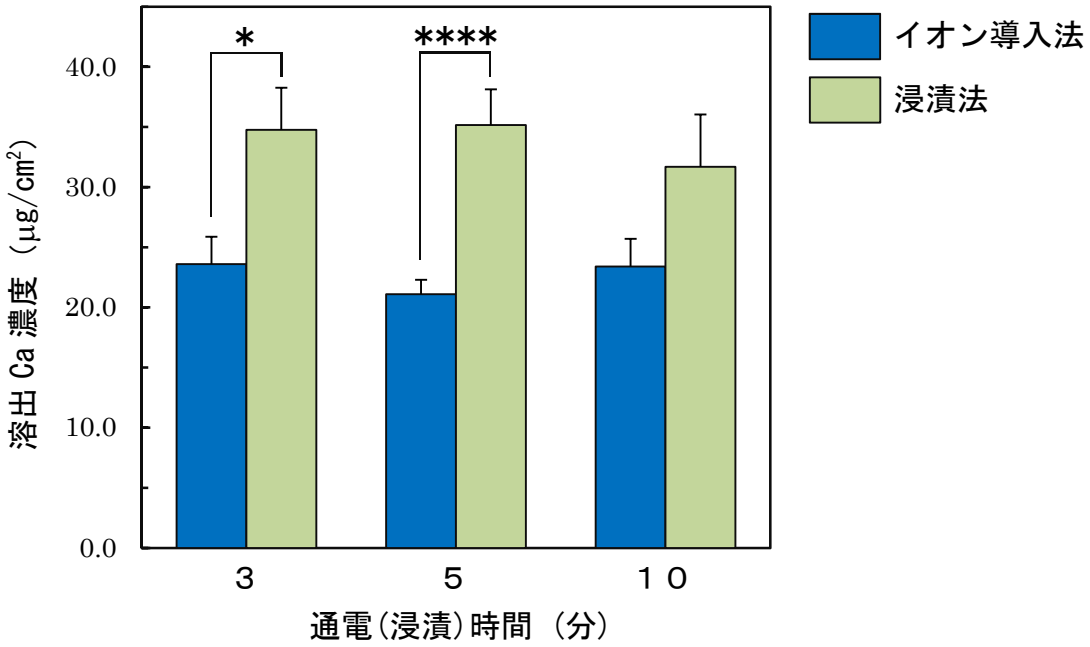


図１０．牛歯エナメル質から溶出したＣａ濃度。0.1M 乳酸溶液（pH5.0）で、15 分間脱灰した。
＊：ｐ＜0.05、＊＊＊＊：ｐ＜0.001。

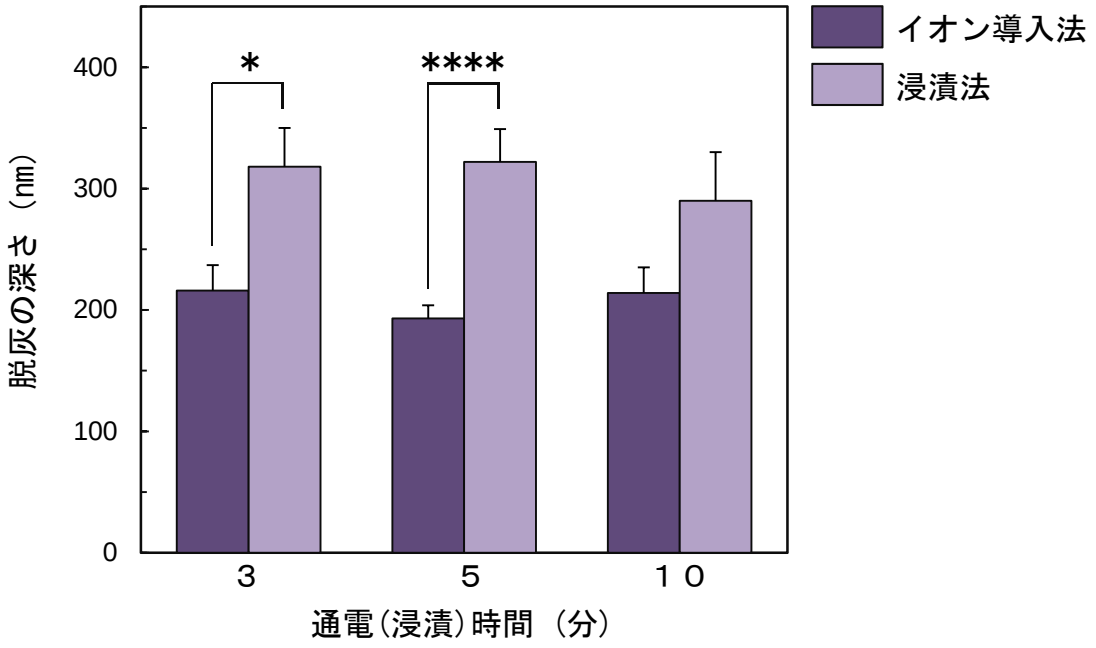


図１１．牛歯エナメル質の脱灰の深さ。0.1M 乳酸溶液(pH5.0)
で、15 分間脱灰した。
＊：ｐ＜0.05、＊＊＊＊：ｐ＜0.001。