

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 10 日現在

機関番号：32622

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2015

課題番号：25861808

研究課題名(和文) ナノインデンテーションを応用したエナメル小柱の物理的特性の解明

研究課題名(英文) Stress-strain response under spherical nanoindentation of tooth enamel

研究代表者

荻野 玲奈(田中玲奈)(OGINO, REINA)

昭和大学・歯学部・助教

研究者番号：80585779

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：エナメル質の大部分はエナメル小柱で構成されるため、エナメル質の物性評価にはエナメル小柱に局限したナノレベルの物性試験を行う必要がある。本研究の目的は、超微小な球状圧子を用いてエナメル小柱にナノインデンテーションを行いエナメル質の物性を応力ひずみ曲線で表すことである。トライポインデーターに直径0.5μmの球状圧子を用い、SPM観察下で、標準試料の溶融石英、未処理および35%過酸化水素で漂白(OB)処理したエナメルサンプルにそれぞれ準静的な物性試験を行った。平均接触面積に対する圧力とひずみから未処理およびOB処理したエナメルサンプルにおいて、明確な変曲点のある連続した応力ひずみ曲線が得られた。

研究成果の概要(英文)：The aim of this study was to investigate the mechanical properties of bleached enamel and obtain stress-strain curves using spherical nanoindentation. Based on the hierarchical structure, nanoscale analysis is critical for the measurement of enamel crystals mechanical property. The stress-strain curves were obtained for the conical indenters for fused quartz and untreated enamel. The continuous stress-strain curves were measurable for untreated and in-office bleached (35 % hydrogen peroxide with halogen lamp irradiation 3 minutes x 3 times ; OB) enamel. The yield force was observed clearly in enamel stress-strain curves. The analysis of data obtained from partial unloading method with conical indenter tip revealed the stress-strain response by nanoindentation of enamel crystals without the effect of enamel sheath protein so that nanoscale mechanical properties on enamels with or without OB were comparable at material level.

研究分野：歯科理工学

キーワード：エナメル質 物性 応力ひずみ曲線 オフィスホワイトニング

1. 研究開始当初の背景

近年の審美修復材料は、色調や物性に関して天然歯エナメル質との調和が求められるため、エナメル質との物性の比較は必要不可欠である。しかし、エナメル質の物性は未だに明らかにされておらず、エナメル質は構造上薄く加工することが困難であるため、引っ張り試験や三点曲げ試験のように大きなサンプルを必要とする測定方法は適切ではない。これまでエナメル質は無機脆性材料として捉えられてきたが、実際は 90 パーセント以上のアパタイト結晶と残り数パーセントのエナメルタンパクが高度に複合化された組織であり、エナメル質の物性を単純に均一材料と比較することは難しい。マイクロインデンテーション法を用いたサブミクロンレベルでのエナメル質の機械的強度の新たな測定方法により、エナメル質がナノ構造の弾性体であることが報じられた【Biomaterials 27:4388-4398,2006】。しかし、マイクロインデンテーションは荷重が大きく、圧痕は rod unit の直径を大きく超え、間質の影響を受けてしまうため、低荷重領域の測定においては信頼性のあるデータが得にくいことが問題点として指摘されている。したがってエナメル質の物性を評価するには、エナメル質の構造の大部分を占めるアパタイトに局限したナノレベルのインデンテーションを行うことが必要である。申請者は、超微小な球状圧子を用いることにより、小柱間エナメルタンパクの影響を受けずにナノ構造体としてのエナメル質の物理学的特性を応力ひずみ曲線で表すことで、ナノレベルではエナメル質を材料として捉えることができ、他の修復材料と機械的強度を直接比較するための新たな物理化学的指標を作成できると考えた。

2. 研究の目的

本研究の目的は、超微小な球状圧子を用いた

ナノインデンテーション法により小柱間エナメルタンパクの影響を受けずにエナメル小柱にナノレベルの準静的試験を行い、エナメル質の物理学的特性を応力ひずみ曲線で表すことである。

3. 研究の方法

矯正治療により便宜抜去した健全な第三大臼歯をエポキシ樹脂 (Palapress vario, Heraeus) にて包埋し、エナメル小柱の長軸方向と垂直に被験面が出るよう切断した。耐水研磨紙および研磨剤 (Micro Polish, BUEHLER) を用いて 0.05 μm まで研磨した。標準試料として均一材料である溶融石英を用いた。トライポインデーター (Ti 950, Hysitron) に直径 0.5 μm の球状ダイヤモンド圧子を用い、溶融石英サンプルで圧子の校正を行った。走査型プローブ顕微鏡観察下で溶融石英とエナメル小柱に、それぞれ最大荷重 500 μN および 300 μN でパーシャルアンローディングを行った。同様に、エナメルサンプルに 35 % 過酸化水素 (松風ハイライト, 松風) とハロゲンランプを用いてオフィスホワイトニング (OB) 処理 (光照射 3 分 \times 3 回) を行ったのちパーシャルアンローディングを行った。

4. 研究成果

パーシャルアンローディングで求められた結果をナノインデンテーションデータ解析ソフトで解析し、平均接触面積に対する圧力とひずみから応力ひずみ曲線を求めた。解析結果から溶融石英の応力ひずみ曲線図は連続した曲線を示した。未処理および OB 処理したエナメルサンプルにおいても、溶融石英と同様に連続した応力ひずみ曲線を得ることができた。球状圧子を用いたことでサンプル表面にナノスケールで連続したひずみを与えられていた。

本研究により得られたエナメル質の応力ひ

ずみ曲線は、変曲点が明らかであった。また OB 処理によりエナメルサンプルの応力ひずみ曲線に変化がみられた。以上から、球状圧子を用いたナノインデンテーション法により、エナメル質においてナノレベルで応力ひずみ曲線が適用できることが明らかになった。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 1 件)

‘Nanomechanical properties and molecular structures of in vitro mineralized tissues on anodically-oxidized titanium surfaces’
10 (3) 2014 Apr; 629 - 637
DOI, 10.1016/j.nano.2013.09.007

Nanomedicine: Nanotechnology, Biology, and Medicine

Jang, I.-K., Tanaka, R., Wurihan, Suzuki, D., Shibata, Y., Fujisawa, N., Tanimoto, Y., Ogura, K., Kamijo, R., Miyazaki, T.

[学会発表](計 4 件)

6th International Conference on Mechanics of Biomaterials and Tissue (U.S.A.) 2015 年 12 月 10 日

‘Stress-strain response under spherical nanoindentation of bleached tooth enamel’

R. TANAKA, Y. SHIBATA, T. MIYAZAKI

日本歯科理工学会第 66 回秋季学術講演会 (舟堀) 2015 年 10 月 4 日

ナノインデンテーション法による漂白エナメル質の物性解析

田中 玲奈, 柴田 陽, 糸瀬 明希, 宮崎 隆

第 140 回日本歯科保存学会 2014 年度春季学術大会(滋賀) 2014 年 6 月 19, 20 日
二種類のホワイトニング処理によるエナメル質の耐酸性

田中 玲奈, 真鍋 厚史, 宮崎 隆

日本歯科理工学会第 65 回春季学術講演会 (仙台) 2015 年 4 月 11, 12 日

球状圧子を用いたナノインデンテーションによるエナメル質の応力ひずみ特性

田中 玲奈, 柴田 陽, 宮崎 隆

[図書](計 0 件)

[産業財産権]

出願状況(計 0 件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

出願年月日:

国内外の別:

取得状況(計 0 件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

取得年月日:

国内外の別:

[その他]

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

荻野(田中) 玲奈(OGINO REINA)

昭和大学・歯学部歯科保存学講座歯科理工学部門・助教

研究者番号：80585779

(2)研究分担者
()

研究者番号：

(3)連携研究者
()

研究者番号：