

機関番号：31602

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2009～2010

課題番号：21791916

研究課題名(和文) 象牙質の微細構造と動的粘弾性による力学的特性の解析

研究課題名(英文) Analysis of the microstructure and viscoelasticity of the dentin

研究代表者

宇佐美 晶信 (USAMI AKINOBU)

奥羽大学・歯学部・助教

研究者番号：30405964

研究成果の概要(和文): 歯牙の主体をなす象牙質は内部に微細構造として象牙細管が存在する。象牙細管の走行方向と象牙質の機械的性質の関係を評価するためウシ下顎中切歯を用いて、SEMにより象牙細管の走行方向を計測するとともに、粘弾性の計測をおこない、その関連について評価をおこなった。その結果、ウシ下顎中切歯において弾性率は象牙細管と平行方向で垂直方向に比べ大きな値を示していた。しかし粘性率については象牙細管の走行方向との関連に有意な差はみられなかった。

研究成果の概要(英文): Dentin that is a major component of tooth has the dentin tubules as its microstructure. The aim of this study was to evaluate the relationship between orientation of the dentin tubules and mechanical strength of the dentin. Orientation of the dentin tubules was analyzed using a scanning electro microscope and coefficient of elasticity and coefficient of viscosity were measured using a creep meter. The mechanical analysis showed that elasticity was larger in parallel than in perpendicular to the direction of the dentin tubules.

交付決定額

(金額単位: 円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	2,100,000	630,000	2,730,000
2010年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,600,000	780,000	3,380,000

研究分野：医歯薬学

科研費の分科・細目：歯学・補綴系歯学

キーワード：象牙質、異方性、粘弾性

1. 研究開始当初の背景

メカニカルストレスによる歯根破折や楔状欠損について有限要素法により応力分布の評価をおこなうことによる発生メカニズム究明が試みられている。しかし、これら有限要素法による解析は象牙質が均質な構造を呈しているという前提でおこなわれている。

しかし、象牙質はその内部に象牙細管が存在しており、その走行方向により機械的性質は影響を受けていると考えられる。すなわち、象牙質内部の微細構造により象牙質の機械的性質は異方性を生じているものと考えられる。そこで、象牙質内部の微細構造である象牙細管の形態的評価をおこなうとともに

象牙質の機械的性質の評価として粘弾性の計測をおこないそれらの関連について考察することにより、象牙質の基礎的データを獲得することを目的に本研究課題を申請した。

2. 研究の目的

ヒトの歯牙の大部分は象牙質で構成されている。象牙質は約 70%の無機成分と約 30%の有機成分より構成されており、内部に微細構造として象牙細管が歯髄側からエナメル象牙境まで走行している。近年、歯牙の有限要素法解析や様々な力学的シミュレーションがおこなわれているが、その際に歯牙構成要素の各種パラメーターが必要となる。しかし、象牙質の機械的性質については均質なものととらえており、その異方性を考慮したものはみられない。そこで本研究ではウシ下顎中切歯を試料として、SEM による形態学的評価と象牙質有機質成分の弾性率、粘性率の計測による機械的評価をおこない、それらの関連について比較検討をおこなうことを目標とした。

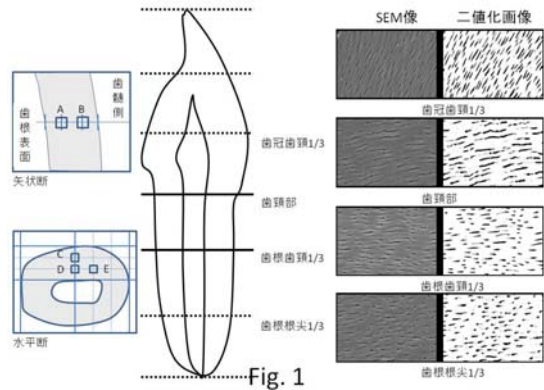
3. 研究の方法

①形態的評価

試料にはウシ下顎中切歯を用いた。形態的計測の試料として矢状断、水平断の試料を作成した。矢状断は唇舌中央で歯軸に平行な平面において、水平断は歯頸部、歯根歯頸 1/3 において歯軸に直交する平面で試料を切断した。切断後それぞれの試料断面を 9、6、3、1 μm の研磨紙にて研磨したのち、スメア一層除去のため 0.5M の EDTA、および蒸留水にて超音波洗浄をおこなった。試料はデシケータ内で一晚保存したのち、Au-Pd にてスパッターコーティングをおこなった。SEM 画像の撮影は倍率 1000 倍にておこなった。関心領域を矢状断においては歯頸部、歯根歯頸 1/3 の唇舌側それぞれにおいて、歯牙表面 1/3 (A)、歯髄側 1/3 (B) の計 8 部位を設定した。水平断においては歯頸部、歯根歯頸 1/3 いずれの断面においても歯牙表面 1/3 (C)、歯髄側 1/3 (D) および近心側 (E) の 3 部位を、唇舌側それぞれで計 12 部位を設定した。得られた関心領域の SEM 画像を画像解析ソフト Image J にて二値化し、象牙細管の関心領域に占める面積率と走行方向を計測した (Fig. 1)。

②機械的評価

機械的性質の計測はウシ下顎中切歯の歯頸部から歯根歯頸 1/3 の間における象牙質より一辺が 2mm の立方体の試料片を作成し、0.5M EDTA にて 4 日間脱灰をおこなったのちに計測をおこなった。試料を 2 グループに分け、クリープメーターにて唇舌方向および歯軸方向での弾性率、粘性率を計測した。



4. 研究成果

①形態的評価

形態計測結果である細管の面積率と走行方向の平均値と標準偏差は (Table. 1) に示した。矢状断において唇舌側ともに歯牙表面 1/3 (A) に比べ歯髄側 (B) において面積率は大きな値を示した。象牙細管の走行方向は、矢状断において水平面となす角度が歯頸部唇側で歯牙表面 1/3 (A) で $-5.7 \pm 20.8^\circ$ 、歯髄側 1/3 (B) では $-31.9 \pm 10.4^\circ$ であり舌側では歯牙表面 1/3 (A) で $3.1 \pm 20.9^\circ$ 、歯髄側 1/3 (B) では $-6.1 \pm 26.7^\circ$ であった。矢状断において象牙細管は歯頸部から歯根歯頸 1/3 の間において、ほぼ水平方向に走行している様子が観察された。水平断においては歯頸部、歯根歯頸 1/3 いずれにおいても唇舌側ともに歯牙表面 1/3 および歯髄側 1/3 すなわち関心領域 (C)、(D) では象牙細管は、ほぼ唇舌方向に走行している様子が観察された。

Table. 1

矢状断における象牙細管の割合 (%)					
	唇側		舌側		
	歯牙表面側 (A)	歯髄側 (B)	歯牙表面側 (A)	歯髄側 (B)	
歯頸部	2.9 ± 1.0	7.9 ± 2.4	4.9 ± 1.8	7.0 ± 3.2	
歯根歯頸 1/3	4.2 ± 0.9	6.3 ± 2.3	3.9 ± 1.2	8.1 ± 1.2	
矢状断における象牙細管の方向 (°)					
	唇側		舌側		
	歯牙表面側 (A)	歯髄側 (B)	歯牙表面側 (A)	歯髄側 (B)	
歯頸部	-5.7 ± 20.8	-31.9 ± 10.4	26.1 ± 10.4	28.6 ± 12.0	
歯根歯頸 1/3	3.1 ± 20.9	-6.1 ± 26.6	-2.1 ± 17.6	8.1 ± 19.5	
水平断における象牙細管の割合 (%)					
	唇側			舌側	
	歯牙表面側 (C)	歯髄側 (D)	近心側 (E)	歯牙表面側 (C)	歯髄側 (D)
歯頸部	5.1 ± 1.9 *	7.4 ± 1.8 *	5.6 ± 1.7 *	5.8 ± 1.6	10.3 ± 2.1
歯根歯頸 1/3	5.2 ± 0.9	9.9 ± 2.4	8.0 ± 1.1	6.3 ± 1.6	11.6 ± 2.0
水平断における象牙細管の方向 (°)					
	唇側			舌側	
	歯牙表面側 (C)	歯髄側 (D)	近心側 (E)	歯牙表面側 (C)	歯髄側 (D)
歯頸部	-3.6 ± 4.8	3.5 ± 4.2	37.9 ± 10.0	-7.3 ± 10.8	2.2 ± 10.1
歯根歯頸 1/3	-1.3 ± 6.7	1.3 ± 9.2	41.5 ± 5.0	-2.7 ± 5.2	-11.9 ± 17.4

形態学的計測結果より矢状断では歯頸部から歯根歯頸 1/3 にかけては歯軸に垂直方向に象牙細管は走行している様子が観察された。また水平断では近遠心的に中央の位置では象牙細管は唇舌方向に走行している様子が観察された。これらの結果より、機械的計測の試料片を歯軸方向に加重した場合は象牙細管に直角に、唇舌方向に加重した場合は象牙細管に平行に荷重することになると考え

られた。

②機械的評価

機械的性質として弾性率と粘性率を計測した。弾性率は唇舌方向、すなわち象牙細管に平行な方向で 18.3 ± 0.4 MPa、歯軸方向すなわち象牙細管に直交する方向で 11.7 MPa \pm 0.1 MPa であった。弾性率は象牙細管の走行に平行な方向で有意に大きな値を示していた。粘性率については測定値のばらつきが大きく計測結果に象牙細管の走行方向の違いによる有意差はみられなかった (Fig. 3)。

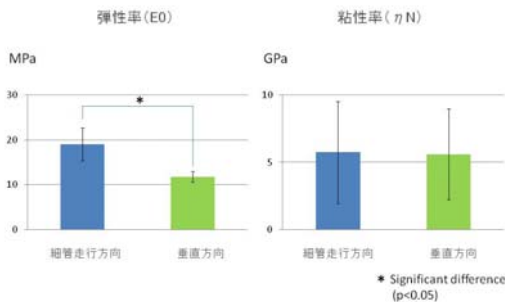


Fig. 3

ウシ下顎中切歯の象牙質の機械的性質については従来、様々な研究がおこなわれてきた。脱灰象牙質についても研究がおこなわれているが、乾燥状態では試料片に変形が起こるとともに、物性が大きな値を示すようになるといわれている。そこで今回の脱灰試料を用いた実験では湿潤状態で弾性率、粘性率の計測をおこなった。

骨の研究においてコラーゲンの走行方向は機械的性質に影響を与えるとされており、また、アパタイトはコラーゲンの走行方向に配列するとされる。象牙質の有機質成分の大部分を占めるコラーゲンは象牙細管に直交して網状に配列するとされる。そのため非脱灰試料では象牙細管に直交する方向で大きな機械的性質を示すと考えられるが、今回の脱灰象牙質では象牙細管の方向で弾性率は大きな値を示した。コラーゲンの走行方向のみならず、象牙細管の走行方向の違いによる圧縮時の内部水分の漏出速度の差異も計測結果に影響していると考えられた。

③今後の展望

象牙質のコラーゲンは骨のコラーゲンとは異なりリモデリングされることはない。また、コラーゲンの架橋構造は加齢とともに増加することが知られている。このように象牙質のコラーゲンは加齢変化に伴い組成に変化が蓄積されていくため、機械的性質においても変化していくものと考えられる。しかし、

架橋構造のうちで生理的架橋は一定の量になると安定となるのに対して、非生理的架橋が加齢とともに増加を続ける。近年、整形外科の分野において骨のコラーゲンにおける非生理的架橋構造と骨の機械的性質や骨折との関連について研究がなされ、非生理的架橋構造を評価することにより骨折のリスクファクターとして利用できるとされている。しかし、象牙質においては生理的架橋についての研究はみられるが、非生理的架橋と機械的性質の関連については検討がなされていない。今回の研究結果より象牙細管の方向性による影響を少なくした試料作成の条件を設定して、象牙質の有機質成分の大部分を占めるコラーゲンの非生理的架橋構造を評価するとともに象牙質の機械的性質との関連を調べることにより、将来的には歯牙破折などの臨床でのリスクファクターを開発するための基礎的なデータが得られると考える。

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)

- ① SUZUKI Yusuke, MATSUNAGA Satoru, USAMI Akinobu, ABE Shinichi, IDE Yoshinobu: Comparative study of longitudinal changes in peri-implant bone microstructure. J. Jpn. Soc. Oral. Implant. 23(3): 450-459, 2010. 査読あり

[学会発表] (計 3 件)

- ① Akinobu Usami, Hiroshi Saito, Reiki Sukekawa, Naomi Fukai
“Relation between the orientation of the dentin tubules and the mechanical strength of the dentin.”
The 116th Annual Meeting of the Japanese Association of Anatomists
2011/03
東北地方太平洋沖地震のため誌上開催
- ② 宇佐美晶信, 斉藤博, 祐川励起, 深井直実
「象牙細管の走行と機械的特性の関連」
第 52 回歯科基礎医学会・総会
2010/9/22 東京
- ③ 宇佐美晶信, 斉藤博, 祐川励起, 深井直実
「ウシ下顎中切歯象牙細管の SEM による観察検討」
第 115 回日本解剖学会総会・学術大会
2010/3/30 盛岡

6. 研究組織

(1) 研究代表者

宇佐美 晶信 (USAMI AKINOBU)

奥羽大学・歯学部・助教

研究者番号：30405964