

平成 22 年 4 月 12 日現在

研究種目：若手研究 (B)

研究期間：2008～2009

課題番号：20791571

研究課題名 (和文) IM法による破壊様式と定量解析を併用した超微小領域エナメル質の力学的特性評価

研究課題名 (英文) The evaluation of mechanical property of enamel using an indentation microfracture method and quantitative analysis

研究代表者

坂井 幸子 (林幸子) (HAYASHI-SAKAI SACHIKO)

新潟大学・医歯学系・助教

研究者番号：70397131

研究成果の概要 (和文)：破壊靱性値  $K_{Ic}$  は組織構造に大きく依存し，歯冠方向に 40～70%の indentation area では，70～100%の領域に比較して有意に大きな値となった。また，歯冠方向に 0～40%の indentation area において明確なクラックを確認した例は少数であった。なお，ピッカース硬さ  $H_v$  は押込荷重に影響されずほぼ一定であった。Peripheral quantitative computed tomography による定量解析でも，力学的所見を裏付ける結果となった。

研究成果の概要 (英文)：The fracture toughness was shown to be dependent upon the structural qualities of enamel specimens. The fracture toughness value ( $K_{Ic}$ ) in the indentation area from 40 to 70% toward the cusp was a significant larger than the area from 70 to 100%. The clear clack configuration was restrictive accepted as data of results in the indentation area from 0 to 40% because there was small number of clear clack configuration. It was recognized that the Vickers microhardness numbers do not depend upon the the magnitude of the applied load. The results of quantitative analysis using peripheral quantitative computed tomography also were supported for the obtained mechanical findings

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008 年度	1,700,000	510,000	2,210,000
2009 年度	1,400,000	420,000	1,820,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,100,000	930,000	4,030,000

研究分野：医歯薬学

科研費の分科・細目：歯学・矯正・小児系歯学

キーワード：歯学，物性実験，バイオメカニクス，破壊力学

## 1. 研究開始当初の背景

生体硬組織の力学的性質を明らかにすることは，バイオメカニクスにおける研究の中で基礎的かつ重要なことである。歯は骨

と並びヒトを構成する重要な硬組織であるが，バイオメカニクス分野では骨について研究が比較的盛んであるが，歯については相対的に研究が遅れていることは否めない。その理由として，骨に比較して小さな構造

体であるため取り扱いが難しいこと、エナメル小柱や象牙細管の走向に代表される複雑で微細な組織構造を把握したうえで、それに配慮した試験を行わなければならないことが挙げられた。

## 2. 研究の目的

本研究では微小圧子圧入破壊 (Indentation Microfracture, 以下IM) 法を応用し、破壊靱性値  $K_{IC}$  を指標として超微小領域エナメル質のおよび力学的挙動について検索した。さらに共焦点レーザー顕微鏡による破壊様式の評価と形態的観察、Peripheral quantitative computed tomography (pQCT) による単位体積当たりの体積密度の定量解析を併用し、力学的特性と微細組織レベルでの密度分布との関係のマッピング作成を試み、バイオメカニクス、組織学および密度構造様式の各観点から統合的に検討し、相関性を明らかにすることを目的とした。

## 3. 研究の方法

### (1) 試料準備および加工

本学歯学総合病院小児歯科診療室において、治療上の理由から抜歯に至った上顎中切歯のうち、患者が廃棄処分を希望したものを試料として用いた。抜去後は 0.1% chloramineT 溶液にて保存し、試料は近遠心に二等分する矢状断 ( $n=10$  以上) とした。マイクロカッターにて 1mm 厚となるよう切出し加工を行った。作製中は *in vivo* を想定し湿潤状態を維持した。表面は耐水研磨紙 (#400 ~ 1000) と粒度  $3\mu\text{m}$  ダイヤモンドで研磨したのち、 $0.04\mu\text{m}$  コロイダルシリカにて琢磨し表面状態を向上させ光学顕微鏡にて確認した。また研磨剤の影響を考慮し、最後に超音波洗浄を行い試料とした。

### (2) 破壊靱性値を指標とした力学的挙動の検索

押込荷重  $P=1.96, 2.94, 4.90$  (N), 負荷時間 30 秒, 除荷後 90 秒経過後の計測条件設定にて計測を行った。IM 法に用いるピッカーズ硬さ試験機には従来の 2 軸微動台に圧子角度設定機能を付与し改良を加えたものを使用

した。計測を阻害する組織を含む部位は避け、計測部位は個体差に配慮し、理解しやすいパーセンテージ表記とし、個体差が生じないようにした。エナメルセメント境を 0% とし、唇舌方向に 25, 50, 70% および歯冠方向に 10 ~ 90% に相当する部位を indentation area と定め計測した。IM 法では一回の試験で硬さ ( $H_V$ ) と破壊靱性値 ( $K_{IC}$ ) の両方が算出可能である。

$$H_V = 0.189P / d^2 \dots \dots \dots (1)$$

$$K_{IC} = 1.4 / \pi^{3/2} \tan \phi \cdot P / c^{3/2} \dots \dots (2)$$

### (3) 共焦点レーザー顕微鏡による破壊様式の評価

共焦点レーザー顕微鏡にて indentation area 全体の組織観察および破壊様式の評価を行った。一般的にクラックは Palmqvist crack (pc), Median crack (mc), Lateral crack (lc) に分類されるが、pc と mc は試料表面のクラックが同一に観察されるため識別不可能となることが予想された。よって本研究では、 $P/c$  の場合は pc,  $P/c^{3/2}$  の場合は mc として評価を行うこととした。微小クラックは 3D 表示させ、大きさおよび深さについて計測した。また、エナメル小柱の走向との関係についても考察を行い、強化されている主軸および方向依存性を組織学的観点から調査した。

### (4) pQCT による密度構造様式の検索

(2) の計測部位について、pQCT を用いて画像データに基づく詳細な単位体積当たりの密度 ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ) の測定および定量解析を行い、密度構造様式を検索した。

### (5) マッピング化

(2) で得られたデータから力学的挙動を分析し、微細組織形態に (3) 破壊様式の評価と併せて、(4) 体積密度分布を加えた融合マッピングの作成を試みた。pQCT で得られたモノクロデータに擬似カラーを施し可視化を容易にし、表出する力学的特性を多方面から裏付け、検討が可能となった。

## 4. 研究成果

これまでの研究例として、Hassan ら<sup>1)</sup> は歯の破壊靱性値を試みたが、長軸方向に対する検討は行っておらず、微小クラックの観察にも光学顕微鏡を用いているため、クラック長

さの正確な測定や破壊様式の評価には問題がある。一方、Xuら<sup>2)</sup>の報告では、組織観察は行われているものの、力学的性質の重要な要素である密度解析までには至っていない。

そこで本研究では、線形破壊力学のなかでも脆性破壊に対する材料の抵抗性を示す破壊靱性値を指標として、微細なハイドロキシアパタイト結晶構造体であるエナメル質を評価するためIM法を応用した。

本研究の結果、ビッカース硬さ $H_V$ は押込荷重 $P=1.96, 2.94, 4.90$  (N)に影響されず、ほぼ一定であることが示された。

破壊靱性値 $K_{IC}$ は、ビッカース硬さ $H_V$ の結果と同様に押込荷重による差は認められなかった。しかし、組織構造に大きく依存し、歯冠方向に40~70%のindentation areaでは、70~100%のindentation areaに比較して有意に大きな値が認められた。また、歯冠方向に0~40%のindentation areaにおいて明確なクラックを確認した例は少数であったため、明確に確認した結果のみを採用した。

pQCTによる解析でも、この力学的所見を裏付けるような類似した傾向を示す結果となった。

また、破壊様式の評価では、一般的にクラックはPalmqvist crack (pc), Median crack (mc), Lateral crack (lc)に分類されるが、pcとmcは試料表面のクラックが同一に観察されるため識別不可能となった。このため本研究では、均質材料に対する方法を用い、 $P_{cc}/P_{cc}^{3/2}$ の場合はpc、 $P_{cc}^{3/2}$ の場合はmcとして評価を行い、破壊靱性値を算出した。しかし、エナメル質のような不均質構造体に対しても適応可能であるかを今後さらに詳細に検索する必要があると思われる。

- 1) Hassan R, et al.: Fracture toughness of human enamel. J Dent Res 60: 820-827, 1981
- 2) Xu HHK, et al.: Indentation damage and mechanical properties of human enamel and dentin: J Dent Res 77: 472-480, 1998

#### 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4件)

- ① Hayashi-Sakai, S. and Taguchi, Y.: The early treatment of unusual severe ectopic eruption of the bilateral maxillary canines in a young Japanese

girl: a case report. Pediatric Dental Journal, 査読有, 19(1)巻, 2009, 112-116.

- ② Taguchi, Y., Hayashi-Sakai, S., Iizawa, F. and Numa-Kinjoh, N.: Classification of maxillary canine transpositions in Japanese children: a report of 10 cases. Pediatric Dental Journal, 査読有, 19(1)巻, 2009, 136-144.
- ③ Hayashi-Sakai, S., Sakai, J., Kitamura, T., Sakamoto, M. and Taguchi, Y.: The clinical oro-facial findings of an 11-year-old boy with 47, XYY: a case report. Pediatric Dental Journal, 査読有, 18(2)巻, 2008, 179-186.
- ④ Taguchi, Y., Hayashi-Sakai, S. and Tsuda, T.: Severe cases of ectopically erupting maxillary canine with excessive mesial angulation. Pediatric Dental Journal, 査読有, 18(1)巻, 2008, 34-42.

[学会発表] (計3件)

- ① Tomizawa, M., Tsuda, T., Hayashi-Sakai, S. and Iizawa, F.: A survey of oral biopsies from paediatric patients at the University Hospital, The 22<sup>th</sup> Congress of International Association of Paediatric Dentistry, Munich, 2009. 6. 17-20, International Journal of Paediatric Dentistry 19 (Suppl. 1)巻, 2009, 150.
- ② 田口 洋, 林-坂井 幸子, 飯澤二葉子, 金城奈津子, 津田 高: 日本人小児における埋伏上顎犬歯による切歯の歯根吸収, 第46回日本小児歯科学会大会, 大阪, 2009. 5. 14-15, 小児歯科学雑誌 47(2)巻, 2009, 412.
- ③ 津田 高, 林-坂井幸子, 金城奈津子, 田口 洋: 上顎中切歯埋伏の2例-先行乳歯抜去による萌出方向の改善-, 大阪, 2009. 5. 14-15, 小児歯科学雑誌 47(2)巻, 2009, 256.

[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

坂井 幸子（林幸子）  
(HAYASHI-SAKAI SACHIKO)  
新潟大学・医歯学系・助教  
研究者番号：70397131

### (2) 研究分担者

### (3) 連携研究者