

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年 5月31日現在

機関番号：32622

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2009～2011

課題番号：21791950

研究課題名（和文） 歯根破折防止を可能にするヒト歯質のフラクトグラフィ解析による歯の疲労寿命予測

研究課題名（英文） Fatigue and fracture behavior of radicular dentin substrate: prevention of tooth fracture

研究代表者

井上 利志子（INOUE TOSHIKO）

昭和大学・歯学部・研究補助員

研究者番号：90398701

研究成果の概要（和文）：新規に開発および作製した治具および水中試験装置を用いて、歯根象牙質の疲労試験を行い、ステアケース法により疲労強さを求めた。さらに同部位での引張試験を行ったところ、歯根象牙質の疲労強さは引張強さの約半分程度であった。すなわち、疲労試験において歯根象牙質は歯冠象牙質よりも小さな値を示し、歯冠象牙質に比べて歯根象牙質の脆弱性がより明らかとなった。また、電子顕微鏡にて疲労試験後の破断面の詳細な観察を行ったところ、疲労破断面に特徴として現れるストライエーションが確認され、ストライエーションの間隔は3から10ミクロンを示した。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this study was to compare the fatigue and tensile strengths of radicular dentin. Dentin slabs were prepared along the radicular tooth and trimmed into dumbbell-shaped specimens. Subsequently, fatigue and tensile tests were performed. The staircase method was employed to determine fatigue strength and its standard deviation. Mean fatigue strength and tensile strength were 44.3 ± 5.0 and 84.4 ± 8.3 MPa, respectively. The fatigue strength of radicular dentin was only approximately one half of the tensile strength. Additionally, fracture surfaces were observed by scanning electron microscopy. In engineering materials, fatigue failures are often facilitated by cyclic crack extension, which is identified by a series of self-similar inflections on the fracture surface regarded as “striations”. We confirmed that striations spacing on fracture surfaces of radicular dentin ranged from approximately 3 to 10 μm .

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,400,000	420,000	1,820,000
2010年度	700,000	210,000	910,000
2011年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
総計	3,000,000	900,000	3,900,000

研究分野：医歯薬学

科研費の分科・細目：歯学，歯科医用工学・再生歯学

キーワード：歯，歯質，象牙質，強度特性，疲労強さ，引張強さ

1. 研究開始当初の背景

口腔領域は摂食をはじめとして多くの重要な機能を担っており、歯の強度特性を検討することは重要なことであると思われる。超

高齢化社会の到来とともに、歯を保存することが高齢者のQOLを維持するために重要な要因であることが認識されている。歯がどのような強度分布をしているかを知ることは高齢者などの歯の破折を防ぐための修復物の

設計には必要不可欠な情報であり、意義の高いことと考えられる。また歯の破折を防ぐことにより、抗加齢医学への貢献が期待される。

2. 研究の目的

歯は歯冠部分と歯根部分からなり(図1)、歯根部での破折は歯冠部とは異なる様相を呈し(図2)、重篤な症状になり、抜歯になる可能性も高い。しかしながら、歯冠部に比べて歯根部の情報は少ない。

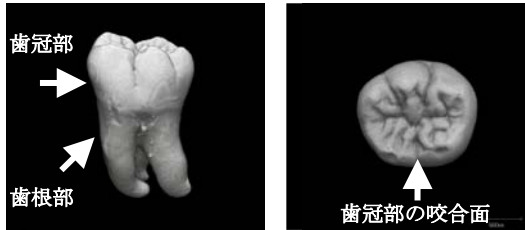


図1. 歯の模式図

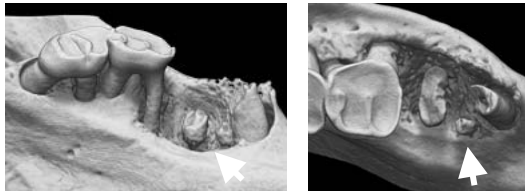


図2. 老齢ラットにおける歯の歯根破折状況

そこで本研究では、①歯根部の大部分を占める歯根象牙質における歯冠象牙質の比較構造解析および②歯根部の象牙質を用いた歯根部歯質の強度特性評価の2点に主眼を置き、象牙質の強度特性と構造の解明を行うことを目的とする。

3. 研究の方法

(1) 歯冠部および歯根部における比較構造解析

歯冠部および歯根部における超微小硬度および弾性率の測定を行った(図3)。さらに化学組成の違いの検討を行った。

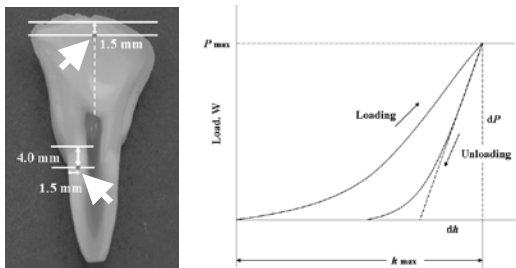


図3. 超微小硬度および弾性率測定部位および試験模式図

(2) 歯根象牙質における引張および疲労強度測定

歯根部(図4)より厚さ1.0mmの象牙質薄片を採取し、開発したならい加工機を用いてダンベル型試験片を作製した。新規に作製した治具および水中試験装置を用いて、歯根象牙質の疲労試験を行い、さらに同部位での引張試験も行った(図4)。疲労強さはステアケース法を用いて算出した。

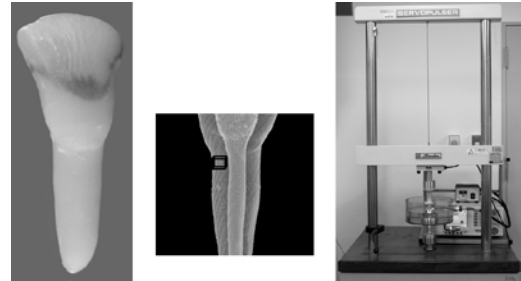


図4. 疲労強度測定部位および疲労試験機

(3) 疲労試験後の破断面の観察

試験後の試験片の破断面の蒸着を行った後、電子顕微鏡にて観察を行った。

4. 研究成果

(1) 歯冠部および歯根部における比較構造解析

歯冠部および歯根部におけるナノ硬さおよび弾性率、化学組成において違いがみられた。すなわち、ナノ硬さにおいて、歯冠部分が歯根部分よりも硬く、弾性率も大きいことが確認された。また、カルシウム量に関しても、歯冠部の方が歯根部よりも多いことがわかった(図5)。

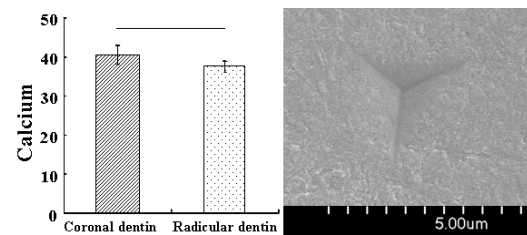


図5. カルシウム量 (wt%) および圧痕像

(2) 歯根象牙質における引張および疲労強度測定

歯根象牙質の疲労強さは引張強度の約半分程度であることが明らかになった(図6)。すなわち、引張試験においては歯軸方向では歯冠象牙質は歯根象牙質よりも小さな値を示すが、疲労試験においては、歯根象牙質は歯冠象牙質よりも小さな値を示すことが明らかとなり、疲労試験と引張試験では逆の結果を示した。

象牙質をコラーゲンとヒドロキシアパタイトから成る複合材料として考えた際に、

疲労や引張試験などの機械的強度にはコラーゲンが影響を与えるとされている。したがって、これらの事象の起因としてはコラーゲンの配向が関与していることが推察された。すなわち、歯冠象牙質は象牙質内に均質に配向しているが、歯根象牙質は歯軸方向に多く配列し、象牙質内に片寄りが見られることが報告されている。つまり、歯根象牙質中のコラーゲンの偏向が歯根象牙質の脆弱化を招いたと考えられる。

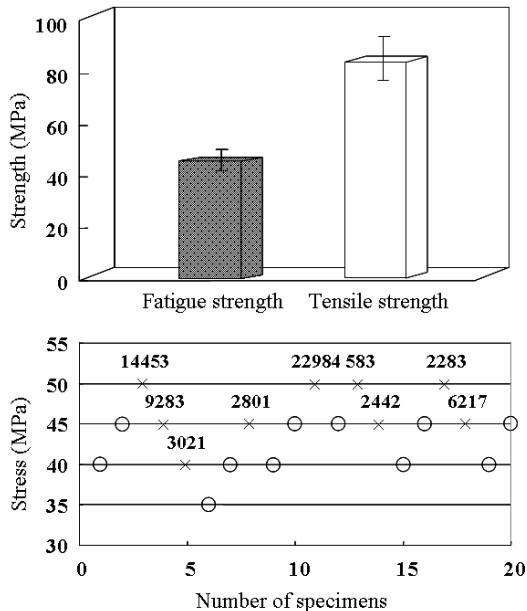


図6. 疲労強さと引張強さおよびステアケース法による疲労試験結果

(3) 電子顕微鏡による破断面の観察

象牙質は歯髄からエナメル質およびセメント質方向に放射状に走る細い管である象牙細管が存在する。象牙質は象牙細管、象牙細管の周囲の高石灰化管状帯である管周象牙質および管周象牙質間に存在して象牙質の大部分を占める管間象牙質から構成されている。

疲労試験後の破断面像を図7Aに、引張試験後の破断面像を図7Bに示す。疲労破断面に特徴として現れるストライエーションが管間象牙質において確認された。ストライエーションは象牙細管に対して直交するように存在した(図7A)。複合材料の成分であるコラーゲンに着目した際に、コラーゲンは象牙細管に対して直交するように配向しており、ストライエーションはコラーゲン走行に平行に発生することがわかった。

また、ストライエーションについては、間隔は3から10ミクロンを示した(図7A)。これは従来報告されている歯冠象牙質の約5分の1から10分の1程度であり、歯冠象牙質に比べて、歯根象牙質の脆弱性がより明ら

かとなった。

破断の起始部においては、管周象牙質と管間象牙質の境界部が不明瞭になる像が観察された(図7C)。さらに、亀裂の伝播部においては、管周象牙質と管間象牙質の境界部が明瞭ではあったものの管周象牙質は一部破壊されている像が観察された。また管間象牙質は、一部コラーゲンが露出していた(図7D)。起始部と伝播部において、破壊機構は異なっていることが示唆された。

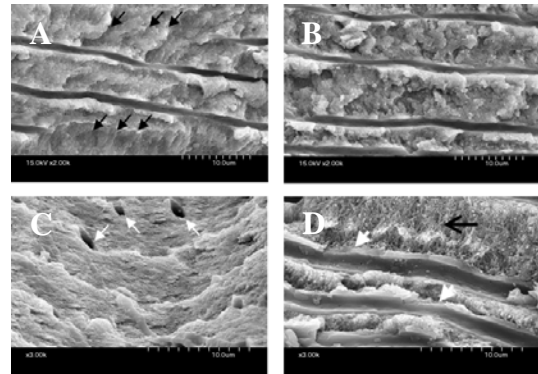


図7. 破断面における電子顕微鏡像

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計6件)

- ① Inoue T, Saito M, Yamamoto M, Debari K, Kou K, Nishimura F, Miyazaki T: Comparison of nanohardness between coronal and radicular intertubular dentin. *Dental Materials Journal*. 28(3): 295-300, 2009, 査読有.
DOI: 10.4012/dmj.28.295
- ② Inoue T, Yamamoto M, Saito M, Debari K, Kou K, Nishimura F, Miyazaki T: Chemical analysis of coronal and radicular dentin using Fourier transform infrared spectroscopy. *Dental Medicine Research*. 29(2): 134-138, 2009, 査読有.
<http://mol.medicalonline.jp/library/journal/download?GoodsID=cd8dentm/2009/002902/004&name=0134-0138j&UserID=202.254.227.190>
- ③ Inoue T, Debari K, Kou K, Yamamoto M, Saito M, Nishimura F, Miyazaki T: Dentinal tubule densities in human and bovine coronal dentin. *Dental Medicine Research*. 29(3): 238-240, 2009, 査読有.
<http://mol.medicalonline.jp/library/journal/download?GoodsID=cd8dentm/2009/002903/005&name=0238-0240e&UserID=202.254.227.190>

- ④ Inoue T, Nishimura F, Debari K, Kou K, Miyazaki T: Fatigue and tensile properties of radicular dentin substrate. *Journal of Biomechanics*. 44(4): 586-592, 2011, 査読有.
DOI:10.1016/j.jbiomech.2010.11.025
- ⑤ Inoue T, Saito M, Yamamoto M, Nishimura F, Miyazaki T: Fatigue and fracture observations of radicular dentin. *Dental Medicine Research*. 31(3): 228-231, 2011, 査読有.
DOI: 10.7881/dentalmedres.31.228
- ⑥ Inoue T, Saito M, Yamamoto M, Nishimura F, Miyazaki T: Relation between incremental lines and tensile strength of coronal dentin. *Dental Materials Journal*. 31(4): 541-548, 2012, 査読有.
DOI:10.4012/dmj.2012-024

〔学会発表〕 (計 13 件)

- ① 井上利志子, 齊藤 誠, 山本雅人, 西村文夫, 宮崎 隆: ラットにおける硬組織の加齢変化解析. 第 53 回日本歯科理工学会学術講演会, 2009年4月15日, タワーホール船堀.
- ② Kou K, Inoue T, Debari K, Nishimura F, Miyazaki T: Analysis of aging in rat hard tissues. 2nd Meeting of International Association for Dental Research Pan Asian Pacific Federation and the 1st Meeting of International Association for Dental Research Asia/Pacific Region, September 24, 2009, Wuhan, China.
- ③ 井上利志子, 齊藤 誠, 山本雅人, 西村文夫, 宮崎 隆: ラットの下顎骨における加齢変化. 第 55 回日本歯科理工学会学術講演会, 2010年4月15日, タワーホール船堀.
- ④ 天野 均, 井上利志子, 田中政巳, 小林真一, 山田庄司: CCI ラットにおける頭蓋顔面異常に関する研究. 第 30 回日本骨形態計測学会, 2010年5月15日, 米子コンベンションセンター BIG SHIP.
- ⑤ 井上利志子, 齊藤 誠, 山本雅人, 西村文夫, 宮崎 隆: ラットの加齢における骨質構造解析. 第 56 回日本歯科理工学会学術講演会, 2010年10月15日, 長良川国際会議場.
- ⑥ Inoue T, Amano H, Tanaka M, Kobayashi S, Miyazaki T: Morphological changes of mandibular bone in cartilage calcification insufficient rats. 58th Annual Meeting of Japanese Association for Dental Research, November 21, 2010, Kitakyushu, Japan.
- ⑦ 天野 均, 井上利志子, 田中政巳, 小林真一, 山田庄司: CCI ラットにおける下顎骨の形態異常に関する研究. 第 31 回日本骨形態計測学会, 2011年5月22日, 長良川国際会議場.
- ⑧ 天野均, 井上利志子, 龍家圭, 田中政巳, 柴田俊一, 山田庄司: CCI ラットにおける軟骨内石灰化不全に伴う頭蓋顔面異常に関する研究. 第 53 回歯科基礎医学会, 2011年10月1日, 長良川国際会議場.
- ⑨ Inoue T, Yamamoto M, Saito M, Debari K, Kou K, Nishimura F, Miyazaki T: Aging and three dimensional changes of bone structure in rats. 59th Annual Meeting of Japanese Association for Dental Research, October 8, 2011, International Conference Center Hiroshima, Japan.
- ⑩ 井上利志子, 齊藤 誠, 山本雅人, 西村文夫, 宮崎 隆: 軟骨性石灰化不全ラットにおける骨構造解析. 第 58 回日本歯科理工学会学術講演会, 2011年10月23日, 奥羽大学歯学部.
- ⑪ 井上利志子, 齊藤 誠, 山本雅人, 西村文夫, 宮崎 隆: ラットの歯および歯槽骨における加齢変化. 第 59 回日本歯科理工学会学術講演会, 2012年4月14日, あわぎんホール (徳島県郷土会館)
- ⑫ 井上利志子, 齊藤 誠, 山本雅人, 西村文夫, 宮崎 隆: ラットの骨硬度測定による加齢特性評価. 第 60 回日本歯科理工学会学術講演会, 2012年10月13日, 九州大学医学部 百年講堂.
- ⑬ 天野 均, 龍 家圭, 井上利志子, 渡辺実, 永山元彦, 柴田俊一, 田沼順一, 山田庄司, 宮崎 隆, 田中政巳: 軟骨内石灰化不全ラットにおける顎顔面異常. 第 22 回日本歯科医学会総会, 2012年11月9日-10日, インテックス大阪.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

井上 利志子 (INOUE TOSHIKO)
昭和大学・歯学部・研究補助員
研究者番号: 90398701