

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24年 5月11日現在

機関番号：12602

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2010～2011

課題番号：22791924

研究課題名（和文） 周波数掃引光コヒーレンストモグラフィーの信号強度と歯硬組織の特性の関連性

研究課題名（英文） Relationship between swept source optical coherence tomography signal and characteristics of dental hard tissue

研究代表者

サダル アリレザ（SADR ALIREZA）

東京医科歯科大学・歯と骨のGCOE拠点・GCOE拠点形成特任教員

研究者番号：20567755

研究成果の概要（和文）：本研究の主たる成果は、歯科領域における光干渉断層画像診断法（SS-OCT）の開発を行い、歯牙硬組織診断装置として実用化に近づけたことである。従来の歯牙硬組織の画像診断には、デンタル X 線が用いられてきたが、OCT においては撮影に際して X 線の被爆を避けることができる。

研究成果の概要（英文）：The main results of this study is development of the Optical Coherence Tomography (SS-OCT) imaging modality towards a practical level for use as a dental hard tissue diagnostic modality. Current diagnostic methods have used dental X-ray to assess mineral density of tooth but OCT do a similar or advantageous assessment without exposure to any ionizing radiation.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1000000	300000	1300000
2011年度	600000	180000	780000
年度			
年度			
年度			
総計	1600000	480000	2080000

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：歯科理工学、光コヒーレンストモグラフィー

1. 研究開始当初の背景

生体に無害な近赤外光を用いた光干渉断層画像診断法（OCT）は、組織の精密断層像を得ることができる最先端の医療撮像技術であり、歯科医療に革新的な変革をもたらす可能性を秘めた新技術である。OCT はすでに医科領域において実用化され、特に眼科領域において臨床応用が急速に進み、本邦においても普及しつつある。OCT の空間分解能は約 10 μm と従来の画像診断装置（CT、MRI：300～

600 μm 程度）に比較して高く、生体の微細構造や病変の検出の可能性がある。

ところで、歯科医療の臨床現場において、その診断方法を俯瞰すると、主に歯科医師による視診と、X 線写真や医療用 CT に頼らざるを得ないのが現状といえる。近年では DIAGNOdent や光誘導蛍光定量法（QLF）、透過光診断法）などが開発され、注目を集めているが画期的なう蝕診断装置としては今だ改良の余地があると思われる。また従来から

行われている視診は簡便ではあるが、歯科医師の主観による影響を強く受け、その精度と客観性に欠けることは否定できない。

OCT は医科領域、特に眼科領域では眼底（網膜）の診断装置として画期的な方法として評価されている。

このような状況から、日常の歯科医療において、高解像度で非侵襲、かつ客観的で即時的な歯科用検査機器の開発が強く望まれている。SS-OCT は測定開始から直ちに深部の画像や3D 画像を得ることができ被爆も無いことから、歯牙硬組織の革命的な画像診断装置として期待されているが、歯科領域において使用するには SS-OCT の基礎的な特性を理解し、歯牙硬組織の診断に適した装置に改良していく必要がある。

2. 研究の目的

周波数掃引光コヒーレンストモグラフィの信号強度 (dB 絶対値、再生像など) と歯硬組織 (ミネラル密度、脱灰深さ等) の特性の関連性の評価

3. 研究の方法

牛歯のエナメル質および象牙質片を作製し、これらについて脱灰前の SS-OCT (波長 1330nm) 断層画像を撮影した。サンプルを脱灰液に入れた後にこれら脱灰歯片を取り出し、同一脱灰歯片について SS-OCT 画像を経時的に取得した。

脱灰後の SS-OCT 画像については、脱灰最前線と推定される境界として表示される反射強度の低下した部位が認められたことから、画像分析ソフトを用いて SS-OCT 画像の断面プロファイル (dB-脱灰深さ) を作成し (図 1)、組織学的脱灰深さ (真値) を推定する解析法を検討した (図 2)。

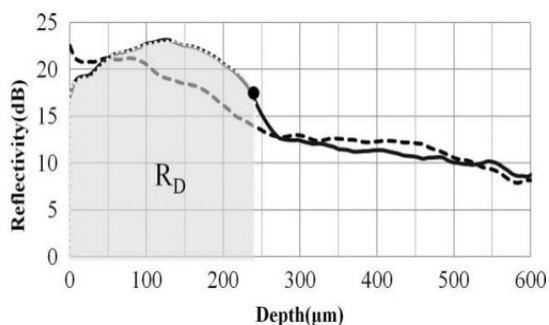


図 1- 典型的な OCT プロファイル (健全象牙質 : 点線、脱灰象牙質 : 実線)
● : OCT 画像上の脱灰深さ (図 2)
 R_D : Integrated Reflectivity (dB $\times\mu\text{m}$)

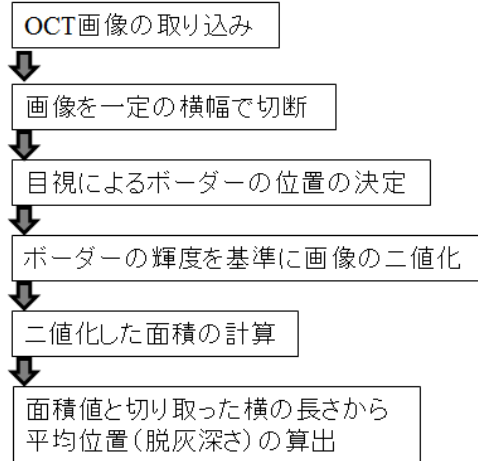
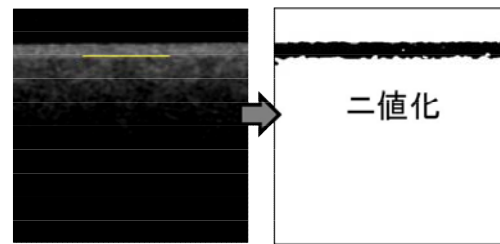


図 2- 上 : ソフトの利用による OCT 画像上での脱灰深さの位置の計測法

下 : 画像解析プロセス

一方、脱灰した歯片を約 100-200 μm の厚さの薄切片とし、光学顕微鏡および Transverse microradiography (TMR) にて組織学的脱灰深さを計測した。

また、健全、脱灰および再石灰化したエナメル質ならびに象牙質片を約 300 μm の厚さの薄切片とし、屈折率を測定するために SS-OCT を用いて光路長差を測定した (図 3)。屈折率とミネラル密度の相関を調べた。

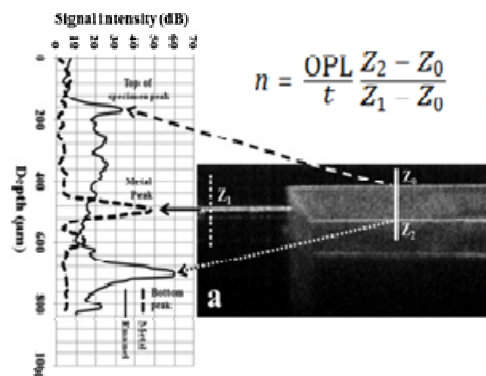


図 3- 屈折率 (n) の測定方法

OPL: 光路長

t : 試料の実測厚み

屈折率 = (光路長 / 実測厚み)

4. 研究成果

脱灰期間が進むに伴う SS-OCT 画像上での変化および断面プロファイルの特徴から、SS-OCT 法にて脱灰深さが推定できる可能性が示唆された (図 4)。

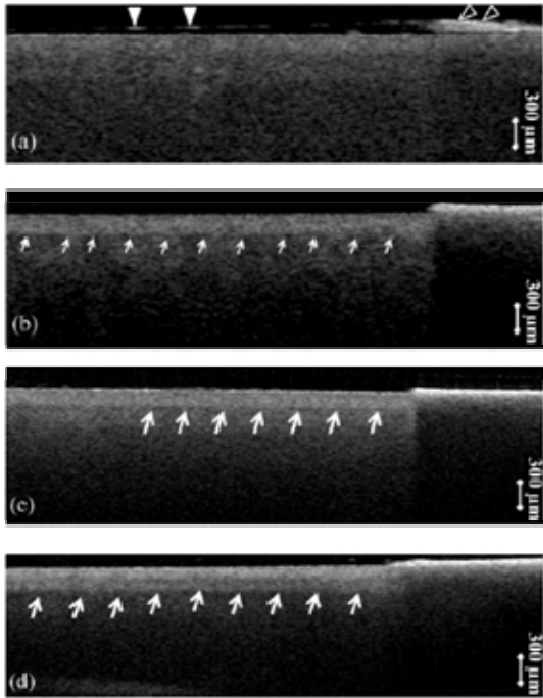


図 4- SS-OCT 画像の典型例脱灰が徐々に進展し、病変は観察することができる。矢印は、水平方向の脱灰境界線を示す。

(a) 脱灰前、(b) 4 日間脱灰後、(c) 7 日間脱灰後、(d) 14 日間脱灰後

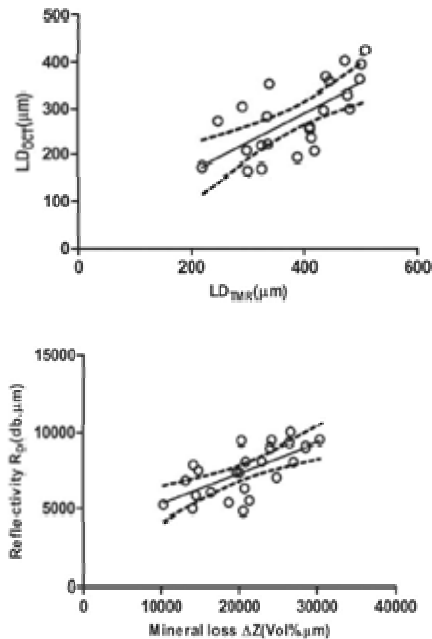


図 5- OCT-TMR 脱灰パラメーターの相関
上：脱灰深さ (LD) 下：ミネラル密度と R_D

OCT 画像で認められたボーダーの位置と TMR で得られた脱灰深さ (真値) とのあいだに一定の相関性が認められた。このことから、脱灰の深さを推定できる可能性が示唆された。OCT プロファイルから得られた R 値 (脱灰深さまでの dB の積算値) と ΔZ (ミネラル溶出量) とのあいだに一定の相関性が認められた。このことより、 ΔZ の推定の可能性も考えられた。また、OCT 画像上測定した脱灰パラメーター (深さおよびミネラル密度) と TMR 上のパラメーターに有意な相関がみられた (図 5)。

SS-OCT を使って歯牙硬組織の内部を観察するには、歯牙のエナメル質と象牙質の屈折率について理解する必要がある。エナメル質の屈折率は 1.63 であるが、象牙質の屈折率は象牙細管の走行によって左右される。光の入射方向が象牙細管の走行と並行な場合は屈折率が低くなり、反対に直行する場合は高くなる傾向がある。その値は 1.49~1.59 まで変化することがわかった (図 6)。

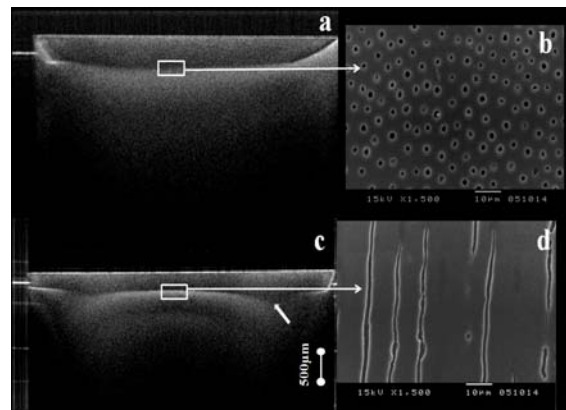
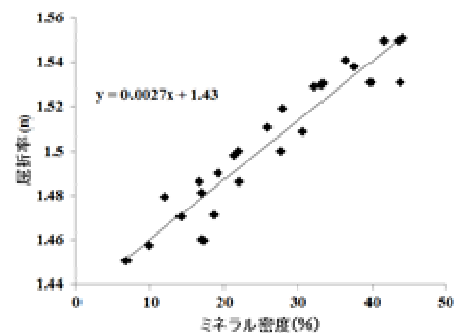
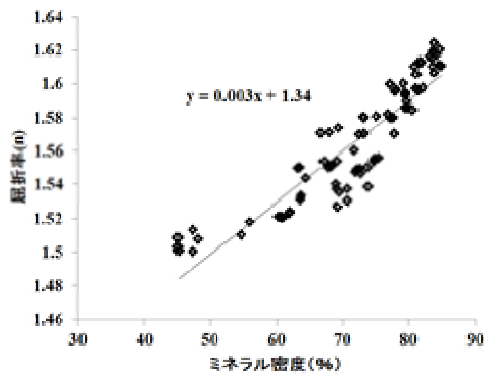


図 6- 象牙細管の走行によって象牙質の OCT 画像は左右される。a: 光の入射方向が象牙細管の走行 (b) と直角の場合、c: 光の入射方向が象牙細管の走行 (d) と並行の場合。

さらにエナメル質や象牙質は脱灰されると、屈折率は低くなり、光学距離は短くなることが解明された。このような各種歯牙硬組織の屈折率の変化は SS-OCT において、物体を透過する際の距離の変化となって現れ、脱灰距離を計測することが困難となる。しかしながら逆にこれらの条件をもとに、エナメル及び象牙質の屈折率を計測すれば、脱灰や再石灰化の状態を SS-OCT を使って診断することが確認できた (図 7)。

図7- 上：脱灰エナメル質のTMR ミネラル密



度と OCT 光路長差の屈折率に非常に高い相関が認められた。

下：脱灰象牙質の TMR ミネラル密度と OCT 光路長差の屈折率に非常に高い相関が認められた。

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7件)

1) Nazari A, Sadr A, Nakashima S, Shimada Y, Tagami J. Effect of Hydration on Assessment of Early Enamel Lesion using Swept-source Optical Coherence Tomography. J Biophotonics (査読有) (in press).

2) Hariri I, Sadr A, Shimada Y, Tagami J, Sumi Y. Effects of structural orientation of enamel and dentin on light attenuation and local refractive index: an optical coherence tomography study. J Dent (査読有) 2012;40:387-96.

3) Sadr A, Nakashima S, Shimada Y, Tagami J, Sumi Y. Longitudinal assessment of subsurface artificial root caries lesions by optical coherence tomography in comparison with transverse

microradiography. Proc SPIE (査読有) 2012 8208:16.

4) Natsume Y, Nakashima S, Sadr A, Shimada Y, Tagami J, Sumi Y. Estimation of lesion progress in artificial root caries by Swept Source Optical Coherence Tomography in comparison to transverse microradiography. J Biomed Opt (査読有) 2011;16(7):071408.

[学会発表] (計5件)

1) Sadr A, Shimada Y, Makishi P, Hariri I, Bakhsh TA. Swept source optical coherence tomography for quantitative and qualitative assessment of dental composite restorations, Lasers in Dentistry XVII, BIOS SPIE Photonics West, San Francisco, CA, USA, January 2011, Abstract no. 78840C. (Oral Presentation).

2) Sadr A, Hariri I, Bakhsh TA, Shimada Y, Nakashima S, Sumi Y, Tagami J. Demineralization affects refractive indices of human enamel and dentin. 88th General Session of IADR, Barcelona, Spain, July 2010, Abstract no. 2606. (Poster Presentation).

3) Nazari A, Sadr A, Nakashima S, Shimada Y, Sumi Y, Tagami J. Hydration and Demineralization Effects on Reflectivity of Enamel Using SS-OCT. 88th General Session of IADR, Barcelona, Spain, July 2010, Abstract no. 0387.

[その他]

ホームページ等

<http://www.tmd.ac.jp/grad/ope/english/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

サダルアリレザ (SADR ALIREZA)

東京医科歯科大学・歯と骨のGCOE拠点・GCOE拠点形成特任教員

研究者番号：20567755