

## 科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成 25 年 5 月 10 日現在

機関番号：32665

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011～2012

課題番号：23792188

研究課題名（和文） 客観的な齲蝕除去への光干渉断層画像診断法の応用

研究課題名（英文） Application of optical coherence tomography for removal caries

研究代表者

池田 昌彦 (IKEDA MASAHIKO)

日本大学・歯学部・非常勤医員

研究者番号：30508594

研究成果の概要（和文）：光干渉断層画像診断法（Optical Coherence Tomography、以後 OCT）が齲蝕象牙質除去時の客観的指標として応用可能か検討した。その結果、OCT を用いて齲蝕象牙質の状態を把握することが可能であった。また、切削深さによっては残存象牙質と歯髄腔とを識別することが可能であったことから、その臨床有用性が示された。

研究成果の概要（英文）：Optical coherence tomography (OCT) has a great potential for the non-destructive imaging of caries in vivo. On the other hand, principle of OCT image building is different from X-ray, so analysis of OCT images has need of reading image suitable for OCT. The purpose of this study was to examine the application of OCT for removal caries detection. From the results of this study, OCT was used to get scanning images of caries affected dentin and monitoring residual tooth thickness.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	1,900,000	570,000	2,470,000

研究分野：歯科保存修復学

科研費の分科・細目：歯学・保存治療系歯学

キーワード：OCT、齲蝕除去、歯質厚径測定、非侵襲画像診断

## 1. 研究開始当初の背景

Minimal Intervention という治療概念の普及とともに、齲蝕病巣へのアプローチにも変化が認められてきた。すなわち、接着技術の進歩によって、歯質の削除を最小限の侵襲に留めることの必要性が強調されている。一方、窩洞を狭小化することのみに注意が払われると、感染歯質の取り残しなどの問題も生じるところから、予後良好な修復処置を行うためには、感染歯質を確実に除去しながらも、可及的に健康歯質を残すための明確な指標が必要となる。しかし、臨床家の多くは、齲蝕の除去に際して術者の経験などの主観に頼るところが大きく、齲蝕検知液を使用した場合でも、その染色性の判定は視覚という個人の主観に左右されることが指摘されており、客観的な齲蝕除去の指標は存在しないの

が現状である。これらの臨床背景のもと、既存の診断法では判定困難な齲蝕象牙質鑑別のための客観的指標および歯質切削時の残存歯質厚径の測定に、新たな非侵襲的検査法の導入は急務である。

## 2. 研究の目的

OCT が齲蝕象牙質除去時の客観的指標として応用可能か検討し、その臨床応用を確立することを目的とし、以下の実験を行った。

(1) OCT はエックス線画像診断とは画像構築原理が異なることから、OCT イメージ像の解析については、これに適した読像法が必要である。そこで、口腔内環境をシミュレートした pH サイクルにエナメル質を適用した場合の状態変化をより客観的に把握するために、

A スキャンモードで得られた信号強度ピークから  $1/e^2$  幅を求めることで OCT イメージ像を解析し、その関連性について検討した。

(2) OCT の象牙質への応用を目指して、象牙質の微細な状態変化を観察するための基礎的実験を行った。すなわち、象牙質はエナメル質と比較して光透過性が低く、さらに細管構造を有するため、得られる画像情報に違いがみられる可能性が考えられる。そこで、象牙細管の走行あるいは封鎖状態の違いが OCT イメージ像に及ぼす影響について検討した。

(3) OCT の効果的な臨床使用術式を確立するために、エナメル質および象牙質観察で得られた測定条件に関するデータをもとに、OCT を用いて口腔内観察を行い、これを他の齶蝕診査機器と比較することで、それぞれの齶蝕検出能および臨床特性について検討した。

(4) チェアサイドで非侵襲的かつ簡便に応用できる客観的な齶蝕象牙質除去法を確立することを目的として、齶蝕象牙質除去にともなう OCT イメージ像の変化を観察するとともに、齶蝕検知液の染色性と比較することで、齶蝕象牙質外層および内層の鑑別が可能か否か検討し、OCT イメージ像におよぼす影響因子を解明する。さらに、齶蝕象牙質除去において重要となる歯髄腔までの距離を定量化し、客観的な測定が可能か検討した。

### 3. 研究の方法

以下の実験において、OCT 観察には SLD を光源として、マイケルソン型光干渉計の応用技術によって構築された Time-Domain 型 OCT 装置（モリタ東京製作所）を用いた。すなわち、干渉計にプローブを組合せ、パーソナルコンピュータで制御するシステムであり、SLD から発せられる近赤外線を試片に照射し、試片内部から反射あるいは散乱してくる物体光と参照鏡から反射してくる参照光を干渉させることで 2 次元断層像をイメージ化するものである。

(1) OCT を用いたイメージ像の解析法に関する検討— $1/e^2$  幅の応用

ウシ下顎前歯歯冠部唇側面中央付近の歯質を、モデルトリマーを用いて直径 4~6 mm、高さ 2~3 mm の、エナメル質および象牙質で構成されたブロックとして切り出した。このブロック全面を、耐水性 SiC ペーパー# 2000 を用いて調整し、測定用試片とした。試片の象牙質面に、ネイルバーニッシュを塗布して被覆した後、これらの試片を pH サイクルに適用した。すなわち、0.1M 乳酸緩衝液に 1 日 2 回、各 10 分間浸漬した後、37°C の精製水あるいは人工唾液に保管する 2 条件を設定し、OCT を用いてエナメル質内部の状態変化を経

時的に観察した。

OCT によるイメージ像の観察時期としては、実験開始前および実験開始 1、7、14、21 および 28 日経過後とした。さらに、Micro-CT（リガク）を用いて内部変化を、形状測定レーザーマイクロスコープ（VK-9710、キーエンス）を用いて歯質の表面性状を観察した。また、OCT イメージ像の変化をより客観的に把握することを目的として、測定範囲内の任意の 20 ヶ所における歯質の表層から深層にわたる反射光分布の信号強度グラフを得ることで信号強度を解析し、ピーク値を算出した。さらに、最大ピークを有する非対称な波形のピーク強度値から 86.5% に低下した時点での強度での幅を示す  $1/e^2$  幅を求め、OCT イメージ像と解析した数値との関連性について検討した。

(2) 象牙細管の走向および封鎖状態が OCT イメージ像に及ぼす影響

ウシ下顎前歯歯冠部唇側面中央付近の歯質を、モデルトリマーを用いて直径 4~6 mm、高さ 2~3 mm の象牙質で構成されたブロックとして切り出した後、超音波洗浄を行ない、横断面では象牙細管の開口が、縦断面では象牙細管の走向が確認されたものをコントロール試片とした。また、コントロール試片表面に対してナノシールを適用し、レーザー顕微鏡像でナノシールの塗布による析出物によって象牙細管が封鎖された像を観察されたものを象牙細管封鎖試片とした。OCT によるイメージ像の観察は、各試片の横断面および縦断面に対して OCT 照射光を垂直に入射させる 2 条件を設定した。また、OCT イメージ像の変化をより客観的に把握することを目的として、歯質の表層から深層にわたる反射光分布の信号強度グラフを得ることで信号強度を解析し、ピーク値を算出するとともに  $1/e^2$  幅を求めた。

(3) OCT イメージ像と各種齶蝕診査機器との比較

日本大学歯学部附属歯科病院保存修復科に通院中で、本臨床研究の趣旨を理解し、協力を得られた患者 30 名を対象として行った。すなわち、齶蝕あるいは齶蝕の疑いのある歯牙 60 本に対して、OCT を用いて断層像の観察を行った。さらに、可及的同一部位について、レーザー蛍光法を応用することで非破壊的に齶蝕の進行程度を数値によって把握することが可能な DIAGNOdent Pen (KaVo)、および光源に白色および青色 LED を使用することで齶蝕部位を蛍光の違いとして視覚的に検出可能な SOPROLIFE (ACTEON) を用いて比較、検討した。なお、本臨床研究を実施するにあたっては、日本大学歯学部倫理委員会の承認を得ている（倫 2008-17 号）。

(4) OCT を用いた齶蝕象牙質除去時の画像変

#### 化の観察および残存歯質厚径の測定

咬合面齲蝕を有するヒト抜去大白歯に対して、齲蝕検知液（クラレメメディカル）を指標として、マイクロモーターに装着したスチールバーおよびスプーンエキスカベーターを用いて齲蝕除去を行い、OCT を用いて残存した窩底部象牙質を観察するとともに、齲蝕象牙質除去時の画像変化を把握した。また、齲蝕除去の各過程における歯髄腔までの距離を、OCT を用いて測定するとともに、形状測定レーザ顕微鏡（VK-9710、キーエンス）を用いて歯質の縦断面を撮影し、得られた両測定値を比較、検討した。なお、供試したヒト抜去歯は異なる時期に採取され、個人の特定が不可能なものであり、本研究を実施するにあたっては、日本大学歯学部倫理委員会の承認を得ている（倫 2008-17 号）。

#### 4. 研究成果

##### (1) OCT を用いたイメージ像の解析法に関する検討— $1/e^2$ 幅の応用

乳酸緩衝液に浸漬後、37°C 精製水に保管した条件での、実験開始前および開始 28 日後におけるエナメル質の OCT イメージ像からは、表層付近にシグナルが観察され、実験期間の延長に伴い幅の変化は少ないものの、シグナル強度の増加が認められた。しかし、イメージ像の変化は表層に限られ、エナメル質内部に著明な変化は認められなかった。また、レーザ顕微鏡による観察からは、観察期間の延長に伴って歯質表面が粗糙になる傾向が認められた。一方、A スキャンモードで得られた信号強度を解析したグラフからは最大ピークが検出され、ピーク幅の拡大が確認されたが、深さ方向の変化の指標となる  $1/e^2$  幅の拡大はほとんど認められなかった（図 1）。

以上の結果から、OCT を用いたイメージ像の解析においては、歯質が脱灰することによって生じた基質的变化が光線透過性に影響を及ぼすことによって、OCT イメージ像の変化として表れた。さらに、A スキャンモードで検出される信号ピーク強度および  $1/e^2$  幅は、歯質の表面および内部の変化の指標となることが判明し、これらの数値を検討することによって、より詳細な解析が可能であることが示された。

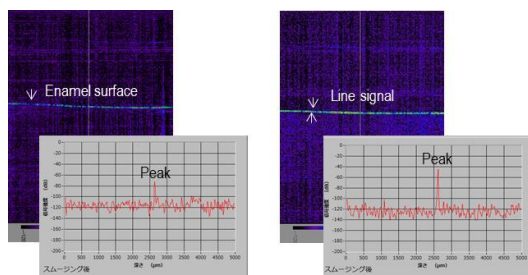


図 1 OCT イメージ像と信号強度ピーク値の経時的変化

##### (2) 象牙細管の走向および封鎖状態が OCT イメージ像に及ぼす影響

コントロール試片に対して象牙細管と水平に照射光を入射した場合、象牙質表層に線状の高輝度のシグナルが観察されたのに対し、照射光を象牙細管に垂直に入射した場合、象牙質表面から深部に向かって、帯状にシグナルの拡大が観察された（図 2）。また、同一試片のいずれの測定面においても、象牙質表層に信号強度ピークが検出されるとともに、歯質内部の変化の指標となる  $1/e^2$  幅は、コントロール試片の縦断面に対して垂直に入射した条件で、横断面と比較して有意に大きい値を示し、OCT イメージ像で観察された象牙質内部の変化と一致した。一方、ナノシール試片の OCT イメージ像からは、コントロール試片と比較して象牙質表面でのシグナルが強くなるとともに、縦断面ではシグナルの深さ方向への広がりが少なくなる傾向を示した。

以上の結果から、OCT を用いて象牙質を観察した場合、象牙細管の走行、封鎖性および照射光線の入射角度がイメージ像に影響を及ぼすことが判明した。このことは、象牙質の脱灰および再石灰化など、象牙質の器質的变化を観察する上で重要な因子であり、これらの条件を考慮することで、より詳細な解析が可能であることが示された。

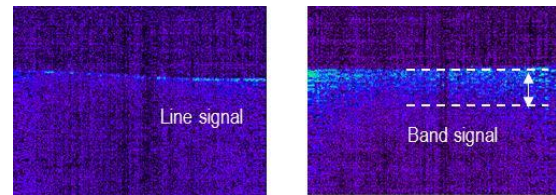


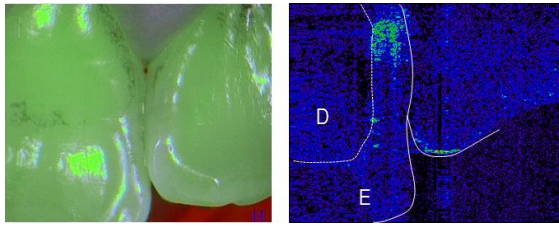
図 2 象牙細管の走向が OCT イメージ像に及ぼす影響

##### (3) OCT イメージ像と各種齲蝕診査機器との比較

OCT を用いて歯質の断層像を観察したところ、視診では確認が困難な小窩裂溝および隣接面部における初期齲蝕病変を、健全歯質とは異なるシグナルとして検出することが可能であった。一方、同一部位を DIAGNOdent Pen および SOPROLIFE を用いて診査したところ、OCT によって検出可能であった齲蝕病変が検出されない、あるいは偽陽性と診断される場合があり、必ずしも OCT イメージ像と一致するものではなかった（図 3）。

以上の結果から、視診では発見することが困難な齲蝕病変の診断に、OCT の応用は有効であり、客観的に齲蝕病変を検出することが可能であった。しかし、齲蝕の存在する部位、進行程度あるいは歯質の表面性状などが齲蝕検出能に影響をおよぼすことから、診査を行う際には、それぞれの装置に適した測定条件を考慮する必要性が示唆された。



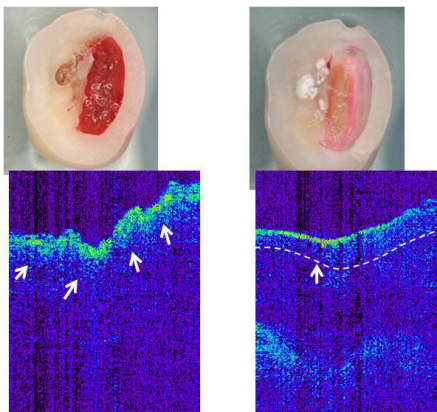


SOPROLIFE で診査困難 OCT で高輝度シグナル観察  
図3 各種齲蝕診査機器を用いた隣接面観察

(4) OCT を用いた齲蝕象牙質除去時の画像変化の観察および残存歯質厚径の測定

咬合面齲蝕を有する大白歯に対して、齲蝕検知液を指標として齲蝕除去を行なった際の OCT イメージ像では、齲窩の開拓を行なった直後の、軟化象牙質が齲蝕検知液で濃染している場合、表層でシグナルが強く表れるものの、齲蝕円錐の形態は明瞭には観察できず、齲蝕の範囲を特定することは困難であった。しかし、軟化象牙質を除去するにつれて断層像は明瞭となり、欠損部直下に齲蝕の影響を受けた象牙質が層状に観察された(図4)。また、齲蝕除去時の残存歯質厚径の測定は、研削深さが浅いあるいは中程度の場合、比較的表層での断層像の観察は可能であるものの、残存象牙質と歯髓腔を識別することは困難であり、測定不能であった。しかし、研削深さが深くなるにしたがって、残存象牙質と歯髓腔を識別することが可能となり、これによって得られた残存歯質の測定値はレーザー顕微鏡による縦断面像からの値と近似していた。

以上の結果から、OCT を用いて齲蝕象牙質あるいは齲蝕影響象牙質の状態を把握しながら、残存歯質厚径の測定が可能であることが判明した。今後、プローブ形状を変更するなどの改良によって、より詳細な齲蝕象牙質の状態を観察することが可能であり、その臨床有用性が示唆された。



内部状態の観察困難 齲蝕影響象牙質が確認

図4 齲蝕検知液を用いて感染象牙質除去時の OCT イメージ像の変化

## 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 Murayama R, Furuichi T, Yokokawa M, Takahashi F, Kawamoto R, Takamizawa T, Kurokawa H, Miyazaki M, Ultrasonic investigation of the effect of S-PRG filler-containing coating material on bovine tooth demineralization, Dent Mater J, 31, 954-959, 2012, 査読有、DOI:10.4012/dmj.2012-153
- ② 島村 穰、高橋史典、竹中宏隆、吉田ふみ、池田昌彦、森健太郎、黒川弘康、安藤 進、宮崎真至、歯質の乾燥状態が光干渉断層画像に及ぼす影響、日歯保存誌、55 巻、 333-339、 2012、 査読有、[http://www.hozon.or.jp/member/pdf/vol155\\_no5/333.pdf](http://www.hozon.or.jp/member/pdf/vol155_no5/333.pdf)
- ③ Shimamura Y, Murayama R, Kurokawa H, Miyazaki M, Mihata Y, Kamaguchi S, Influence of tooth-surface hydration conditions on optical coherence-tomography imaging, J Dent, 39, 572-577, 2011, 査読有、DOI:10.1016/j.jdent.2011.06.004
- ④ 黒川弘康、渡邊孝行、石山智恵美、碓井貴子、藤井雄介、石井 亮、清水裕亮、宮崎真至、釜口昌平、三畑幸則、光干渉断層画像法 (Optical Coherence Tomography) の歯科臨床応用に関する基礎的検討—ホワイトニング剤が歯質に及ぼす影響—、日歯保存誌、54 巻、250-258、2011、査読有、[http://www.hozon.or.jp/member/pdf/vol154\\_no4/250.pdf](http://www.hozon.or.jp/member/pdf/vol154_no4/250.pdf)

[学会発表] (計11件)

- ① 村山良介、OCT による乳歯の脱灰状況の観察、日本歯科保存学会、2012. 11. 23、広島国際会議場、広島
- ② 古宅真由美、OCT を用いたシーラント充填状態の観察、日本歯科保存学会、2012. 11. 23、広島国際会議場、広島
- ③ 島村 穰、象牙質の湿潤状態が OCT イメージに及ぼす影響、日本歯科保存学会、2012. 11. 22、広島国際会議場、広島
- ④ 黒川弘康、次世代に向けた診査法 光干渉断層画像診断法 (OCT) の歯科臨床への応用、日本歯科医学会総会、2012. 11. 11、インテックス大阪、大阪
- ⑤ 島村 穰、象牙細管の走向が OCT イメージ像に及ぼす影響、日本歯科保存学会、2012. 6. 29、沖縄コンベンションセンター、沖縄
- ⑥ 飯野正義、光干渉断層画像法の歯質残存厚径測定への応用、日本歯科理工学会学

術講演会、2012. 4. 14、あわぎんホール、徳島

- ⑦ Shimamura Y、 Infulence of tooth-surface hydration on optical coherence tomography imaging、 41<sup>st</sup> Annual Meeting & Exhibition of the AADR、 2012. 3. 23、 Tampa、 USA
- ⑧ 村山良介、PRG バリアコートのエナメル質表層化脱灰病変の再石灰化効果、日本歯科保存学会、2011. 10. 21、大阪国際交流センター、大阪
- ⑨ 黒川弘康、OCT を用いた歯質断層像の解析についてー状態変化と OCT イメージの関連性、日本歯科保存学会、2011. 10. 21、大阪国際交流センター、大阪
- ⑩ 島村 穰、OCT イメージ像と各種齲蝕診査機器との比較、日本歯科保存学会、2011. 6. 10、東京ベイ舞浜ホテルクラブリゾート、千葉
- ⑪ 村山良介、PRG フィラー含有コーティング材の歯質石灰化効果に関する研究、日本大学歯学会総会・学術大会、2011. 5. 20、日本大学歯学部大講堂、東京

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

池田 昌彦 (IKEDA MASAHIKO)  
日本大学・歯学部・非常勤医員  
研究者番号：30508594

### (2) 研究分担者

( )

研究者番号：

### (3) 連携研究者

( )

研究者番号：

### (4) 研究協力者

宮崎 真至 (MIYAZAKI MASASHI)  
日本大学・歯学部・教授  
研究者番号：70239391  
黒川 弘康 (KUROKAWA HIROYASU)  
日本大学・歯学部・助教  
研究者番号：10291709