

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 16 日現在

機関番号：32665

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2013

課題番号：24792036

研究課題名(和文) 光干渉断層画像診断法を応用した残存歯質厚径測定器の開発

研究課題名(英文) Development of the monitoring residual tooth thickness instrument using optical coherence tomography

研究代表者

利根川 雅佳 (TONEGAWA, Motoka)

日本大学・歯学部・専修医

研究者番号：80608414

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,900,000円、(間接経費) 570,000円

研究成果の概要(和文)：光干渉断層画像診断法(以後、OCT)の原理を応用した歯質厚径計測装置を用いて、エナメル質あるいは象牙質切削後の残存歯質厚径についてこれを定量化し、客観的な測定が可能か検討した。その結果、エナメル-象牙境および象牙質と歯髄腔との境界での信号強度分布のピーク値は、周囲の信号強度よりも相対的に高く検出され、それぞれのピーク間距離から残存歯質厚径を計測することが可能であり、この値はレーザー顕微鏡による計測値と相関が認められたことから、臨床応用への有用性が示された。

研究成果の概要(英文)：Optical Coherence Tomography (OCT) is a new diagnostic imaging technique that many potential dental applications. OCT was addressed as a non-invasive cross-sectional imaging of the internal biological system at the submicron scale. The purpose of this study was to examine the application of OCT for monitoring residual tooth thickness. The enamel surface, interface of enamel and dentin, dentin and pulp cavity showed an increase in the signal intensity at the internal of tooth. The current study demonstrated that the OCT was successfully used to signal intensity measurement may be a suitable indication of tooth thickness.

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：光干渉断層画像診断法 歯質厚径計測 口腔内計測法

### 1. 研究開始当初の背景

患者の審美に対する要求の高まりとともに、歯質の切削を最小限 (Minimal) の侵襲 (Intervention) に留めることを目的としたラミネートベニア修復が臨床においても着目されている。このラミネートベニア修復においては、修復物の保持をエナメル質に対する接着に依存することから、修復物を口腔内で長期間にわたって機能させるためには、治療計画立案時に修復対象となる歯のエナメル質の厚さについて十分な情報を得ることが大切となる。さらに、歯質切削時においては、残存するエナメル質厚径を正確に把握することが修復の予後のためにも重要となる。また、齲蝕の除去あるいは窩洞形成時において残存象牙質厚径の計測が可能であれば、感染歯質を確実に除去しながら、可及的に健康歯質を残すための明確な指標となりえる。しかし、現状においては、チェアサイドで非侵襲的かつ簡便に利用できる歯質厚径計測装置はなく、臨床家の多くは、歯質の厚さの判定を自らの臨床経験に委ねているのが現状である。これらの臨床背景のもと、既存の方法では計測困難なエナメル質切削後の残存エナメル質厚径、あるいは感染歯質の除去および窩洞形成後の残存象牙質厚径についてこれを定量化し、新たな非侵襲的計測法を臨床的に確立することは急務である。

### 2. 研究の目的

光干渉断層画像診断法 (Optical Coherence Tomography、以後、OCT) の原理を応用して試作した歯質厚径計測装置を用いて、切削後の歯質厚径についてこれを定量化することで、客観的な測定が可能か検討し、その臨床応用を確立することを目的として、以下の実験を行った。

(1) 歯面形成を想定して歯質を削除した場合の残存歯質厚径の測定に OCT の応用が有効か、ウシ下顎前歯歯冠部歯質から、エナメル質のみ、あるいはエナメル質と象牙質で構成された、厚さの異なる数種のブロックを作製、これを用いることで検討した。

(2) 残存歯質厚径の測定に OCT の応用が有効か、臨床条件を考慮して、抜歯直後の歯髓組織を有するウシ下顎前歯の歯冠部エナメル質および歯根部象牙質を測定対象として検討した。

(3) 歯質厚径計測装置の口腔内への応用を目指して、計測値への影響因子を解明するための基礎的実験を行った。すなわち、OCT は照射した近赤外光の歯質への透過性あるいは内部での反射性の違いによって画像情報を得ることから、歯質を切削した際の歯質の表面粗さは、歯質厚径を計測する際の影響因子となる可能性が考えられる。そこで歯質切削時の表面粗さの違いが OCT イメージ像に及ぼす影響について検討した。

(4) 歯質厚径計測装置の口腔内への応用を目指して、計測値への影響因子を解明するための基礎的実験を行った。すなわち、齲蝕象牙質除去の際に用いる齲蝕検知液の歯質の染色性あるいは残存齲蝕象牙質量が OCT イメージ像および残存歯質厚径計測値におよぼす影響について検討した。

### 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) ウシ抜去歯を用いた歯質厚径計測に関する基礎的研究

残存歯質厚径の測定には、ウシ下顎前歯歯冠部歯質を硬組織精密低速切断機 (Isomet 1000、Buehler) を用いて、直径 4~6 mm のエナメル質のみで構成、あるいはエナメル質と象牙質で構成されたブロックとして切り出して用いた。このブロック全面を、耐水性 SiC ペーパーの #2000 まで順次研磨、平坦面を露出させ、異なる厚さになるよう調整し、これを測定用試片とした。これらの試片の断層像を、OCT を用いて観察することによって残存歯質厚径の光学距離を測定し、歯質の屈折率でこの数値を除すことで補正した。また、歯質の表層から深層にわたる反射光分布の信号強度を解析することで、その関連性について検討した。さらに、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、これら測定用試片は、実験期間を通じて 37 °C の精製水中に保管し、実験に供試する際に水中から取り出して使用した。

#### (2) 臨床条件を考慮した歯質厚径計測に関する基礎的研究

残存歯質厚径の測定には、歯髓組織を有するウシ下顎前歯を用いた。歯根部歯周組織を除去した後、唇側を耐水性 SiC ペーパーの #2000 まで順次研磨し平坦面を露出させ、これを測定用試片とした。切縁からエナメル-セメント質境までをエナメル質計測面、エナメル-セメント質境から根尖までを象牙質計測面とし、1 mm 毎に水平断面の撮影を行った。OCT によるイメージ像を得るとともに、歯質における屈折率の異なる構造あるいは境界を、異なる信号強度ピークとして検出し、ピーク位置の差から光学距離を求めるとともに、組織固有の屈折率でこの数値を除し、これを OCT 計測値とした。また、OCT 計測後の試片を、硬組織精密低速切断機により、計

測面に対して垂直に、1mm 間隔で切断した後、レーザ顕微鏡を用い、水平断面における歯質厚径を計測することで、OCT より得られた計測値と比較、検討した。なお、これら測定用試片は、実験期間を通じて 37 の精製水中に保管し、実験に供試する際に水中から取り出して使用した。

(3) 歯質厚径計測装置の臨床応用に関する基礎的研究 - 切削後の歯質の表面粗さが計測値におよぼす影響について

残存歯質厚径の測定には、健全ヒト抜去前歯冠部エナメル質および象牙質を用いた。すなわち、唇側エナメル質および象牙質を SiC ペーパーの #180 あるいは #2000 を用いて 3 条件の異なる深さまで研削し、これを測定用試片とした。これらの試片の断層像を、OCT を用いて観察することによって残存歯質厚径の光学距離を測定し、歯質の屈折率でこの数値を除すことで補正した。また、レーザ顕微鏡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、これら測定用試片は、実験期間を通じて 37 の精製水中に保管し、実験に供試する際に水中から取り出して使用した。また、供試したヒト抜去歯は異なる時期に収取され、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) 歯質厚径計測装置の臨床応用に関する基礎的研究 - 齲蝕検知液の使用が計測値におよぼす影響について

咬合面齲蝕を有するヒト抜去大臼歯に対して、齲蝕検知液（クラレメディカル）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バータ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光学距離を測定し、歯質の屈折率でこの数値を除すことで補正した。さらに、レーザ顕微鏡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、これら測定用試片は、実験期間を通じて 37 の精製水中に保管し、実験に供試する際に水中から取り出して使用した。また、供試したヒト抜去歯は異なる時期に収取され、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) ウシ抜去歯を用いた歯質厚径計測に関する基礎的研究

OCT を用いて歯質の断層像の観察を行ったところ、エナメル質のみで構成された試片においては、いずれの厚さの試片においても OCT イメージ像から残存歯質厚径の測定が可能であった。また、信号強度を解析したグラ

フからは、試片の表面および底面に最大ピークが検出され、このピーク間距離はイメージ像との関連性を示すとともに、レーザ顕微鏡による測定値と近似していた。一方、エナメル質と象牙質で構成された試片における残存歯質厚径の測定は、試片の厚さによって異なるものの、エナメル質のみの試片と比較して困難となる傾向を示した。OCT は照射光線の透過性の違いによって内部構造をイメージ化することから、歯質の光線透過性の違いが残存歯質厚径の測定に影響を及ぼしたためと考えられた。

以上の結果から、OCT の象牙質での歯質厚径測定への応用には、さらなる検討の必要性が示唆された。

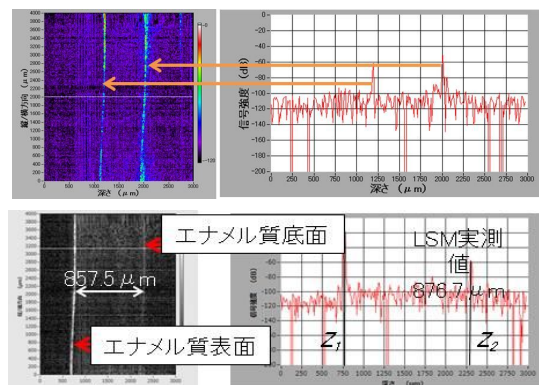


図1 エナメル質ブロックの OCT イメージ像とレーザ顕微鏡像および得られた残存歯質厚径計測値の比較

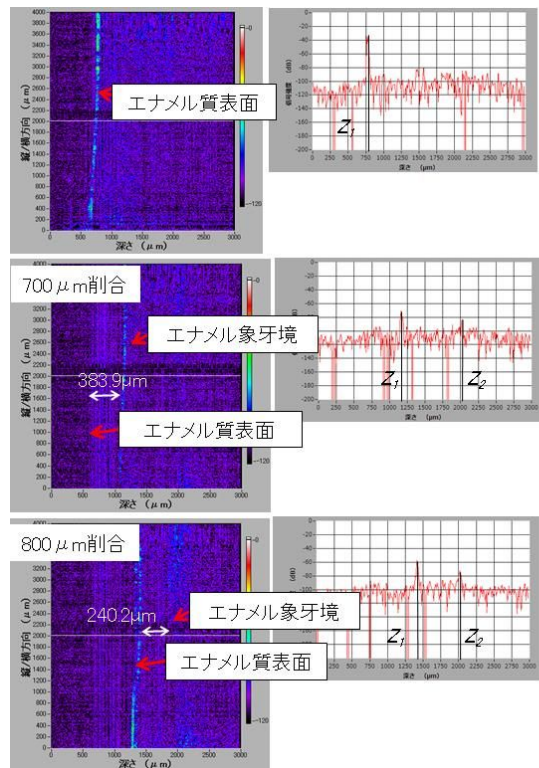


図2 エナメル質および象牙質で構成されたブロック切削時の OCT イメージ像と残存歯質厚径計測値



(2) 臨床条件を考慮した歯質厚径計測に関する基礎的研究

OCT による信号強度分布のピークは、エナメル表面では、約-50 dBであり、象牙質表面では約-55 dBであった。また、エナメル象牙質境および、象牙質と歯髓腔の境界と思われる信号強度分布のピークはそれぞれ、約-60 dB、-75 dBであった。これらは、レーザ照射面表層から深さ方向へ移行するに従い減衰する傾向が認められたものの、周囲の信号強度よりも相対的に高い信号強度のピークとして検出され、エナメル質表層およびエナメル-象牙質境、象牙質表層および歯髓腔の境界を判別することが可能であった。それらは、周囲組織の光干渉性、すなわち屈折率が異なる物質の間で起こる反射および散乱を検出しているものと考えられた。また、これらの測定結果より、それぞれの境界を指し示すピーク間距離から得られた残存歯質厚径は、3D マイクロ CT による測定値との近似性が認められ、その有用性が示された。

以上の結果から、OCT を用いた歯質の境界検出および、それを用いた残存歯質厚径測定が可能であることが示唆され、臨床応用への有用性が示された。

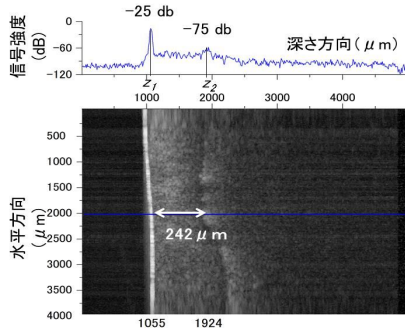


図 2-1 ウシ歯エナメル質切削時の OCT イメージ像と同部位の信号強度分布

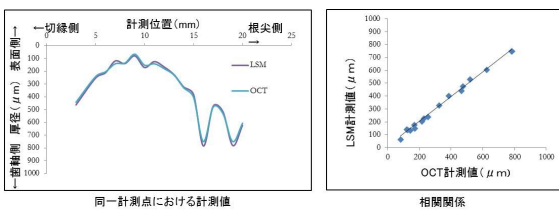


図 2-2 OCT およびレーザ顕微鏡を用いたウシ歯エナメル質残存厚径計測値の相関性

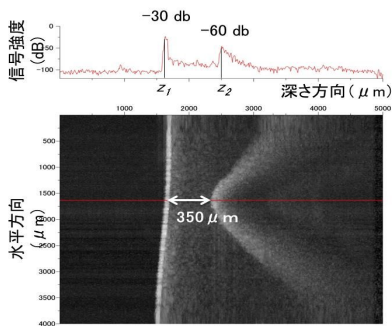


図 3-1 ウシ歯歯根部象牙質切削時の OCT イメージ像と同部位の信号強度分布

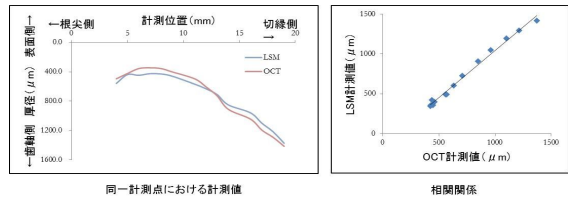


図 3-2 OCT およびレーザ顕微鏡を用いたウシ歯象牙質残存厚径計測値の相関性

(3) 歯質厚径計測装置の臨床応用に関する基礎的研究 - 切削後の歯質の表面粗さが計測値におよぼす影響について

前歯唇側エナメル質を異なる粗さで研削した条件での OCT イメージ像は、#180 の SiC ペーパーを用いた場合、#2000 と比較して表層でのシグナルが強く表れる傾向を示したものの、表面粗さの違いがイメージ像におよぼす影響は、いずれの研削深さにおいても認められなかった。また、歯質切削に用いられるダイヤモンドポイントと同程度の粗さを有する#180 の SiC ペーパーで前歯唇側エナメル質を切削した場合のエナメル質表層からエナメル-象牙質境までの残存歯質厚径は、いずれの深さ条件においても計測可能であり、レーザ顕微鏡による計測値と近似していた。一方、前歯唇側象牙質を異なる粗さで研削した条件での OCT イメージ像は、いずれの表面粗さにおいても、研削が進むにつれ、内部イメージ像が明瞭となることで、象牙質と歯髓腔との境界が判別可能となり、これによって得られた残存歯質厚径の計測値はレーザ顕微鏡による縦断面像から得られた値と近似していた。本装置に用いた 1310 nm の近赤外光は、歯質に対する透過性が高く、空間分解能も 10 μm と高い解像度を有することから、歯質切削後の表面粗さの違いは、エナメル質においては、照射光線の表層での散乱は大きくなるものの、内部イメージ像におよぼす影響は少なく、残存歯質厚径の計測が可能であったものと考えられた。一方、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象牙質では、象牙質表層から歯髓腔までの距離が大きい場合、残存歯質厚径の計測は困難であったものと考えられた。

以上の結果から、OCT の原理を応用した歯質厚径計測装置は、歯質切削時の表面粗さに影響を受けることが少なく、残存歯質厚径計測に応用可能であることが示された。

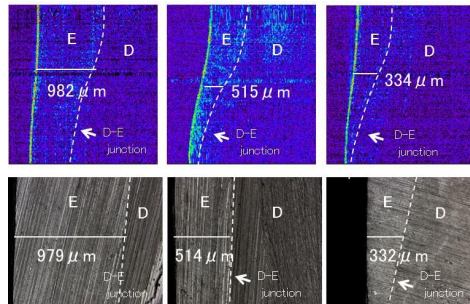


図 4-1 エナメル質研削時の OCT イメージ像とレーザ顕微鏡および得られた残存歯質厚径計測値の比較

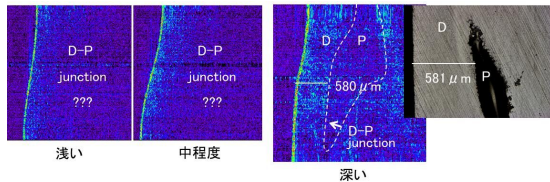


図4-2 象牙質研削時のOCTイメージ像とレーザ顕微鏡像および得られた残存歯質厚径計測値の比較

(4) 歯質厚径計測装置の臨床応用に関する基礎的研究 - 齧蝕検知液の使用が計測値におよぼす影響について

齧蝕検知液を指標として齧蝕除去を行なった際の残存歯質厚径の計測は、齧蝕検知液で象牙質が濃染している場合、象牙質表層でシグナルが強く表れる傾向を示し、象牙質と歯髓腔の境界を判別できず、困難であった。しかし、齧蝕象牙質の除去が進むにつれ、象牙質表層のシグナル強度が低下するとともに、内部イメージ像が明瞭となることで、象牙質と歯髓腔との境界が判別可能となり、これによって得られた残存歯質厚径の計測値はレーザ顕微鏡による縦断面像から得られた値と近似していた。本計測装置に用いた1310 nmの近赤外光は、その光線透過性が色の影響を受けにくい波長帯であることから、脱灰および変性した齧蝕象牙質の除去に伴い、照射光線の透過性が向上し、計測が可能となったものと考えられた。

以上の結果から、歯質厚径計測装置は、齧蝕象牙質除去時の残存歯質厚径計測に応用可能であることが示された。

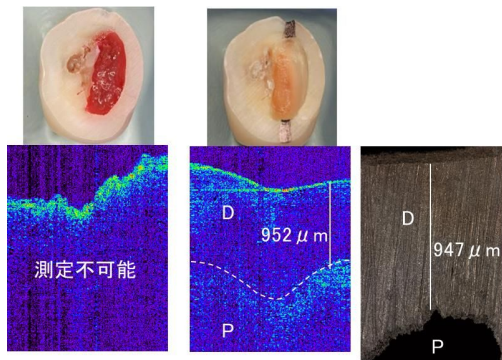


図5 齧蝕象牙質除去時のOCTイメージ像とレーザ顕微鏡像および得られた残存歯質厚径計測値の比較

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0件)

[学会発表](計7件)

村山 良介、照射レーザの波長が歯質のOCT像に及ぼす影響、第138回日本歯科保存学会、2013.6.28、福岡国際会議場、福岡

飯野 正義、歯質残存厚径測定へのOCTの応用、第138回日本歯科保存学会、2013.6.28、福岡国際会議場、福岡

古宅 眞由美、OCTを用いたシーラント填塞状態の観察、第137回日本歯科保存学会、2012.11.23、広島国際会議場、広島

村山 良介、OCTによる乳歯の脱灰状況の観察、第137回日本歯科保存学会、2012.11.23、広島国際会議場、広島

島村 穰、象牙質の湿潤状態がOCTイメージに及ぼす影響、第137回日本歯科保存学会、2012.11.22、広島国際会議場、広島

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、第22回日本歯科医学会総会、2012.11.11、インテックス大阪、大阪

島村 穰、象牙細管の走行がOCTイメージ像に及ぼす影響、第136回日本歯科保存学会、2012.6.28、沖縄コンベンションセンター、沖縄

[その他]  
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

利根川 雅佳 (TONEGAWA, Motoka)  
日本大学・歯学部・専修医  
研究者番号：80608414

(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