

論文の内容の要旨

氏名：三 富 純 一

博士の専攻分野の名称：博士（歯学）

論文題名：エナメル質表層脱灰の光干渉断層画像解析への $1/e^2$ 幅の応用

光干渉断層画像法 (Optical Coherence Tomography, 以後, OCT) は, 装置が小型で簡便かつ非侵襲的に高解像度の精密断層像を得ることを可能とし, 歯科領域での新たなモダリティとして注目されている。OCT は, 近赤外線を対象物に照射してその表層および内部で反射あるいは散乱する光の様相を光学干渉計によって捉えることで, 光干渉強度と内部位置情報から 2 次元の精密断層像を構築する。したがって, 既存の画像診断システムとは画像構築原理が異なることから, OCT イメージ像から歯質の状態変化を正しく把握するための解析法が必要である。そこで, エナメル質初期齶蝕病変における OCT イメージ像の解析法について, エナメル質に pH サイクルを負荷した際の状態変化を観察し, 信号強度分布から最大ピーク強度値および $1/e^2$ 幅を求めることによって検討した。

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 #2,000 で調整した後, 象牙質面をネイルバーニッシュで被覆したものを測定用試片とした。これらの試片を, 0.1 M 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 条件の pH サイクルを適用した。試片のエナメル質内部における状態変化観察には, Super Luminescent Diode を光源とする, Time-Domain 型 OCT 装置 (以後, TD-OCT, モリタ東京製作所) を用い, B-scan mode から断層像を得た。さらに, A-scan mode から TD-OCT に付属するソフトウェアを用いて信号強度分布を解析することで, 最大ピーク強度値を検出するとともに $1/e^2$ 幅を求めた。また, 形状測定レーザマイクロスコプ (VK-9710, キーエンス) を用いて歯質の表面性状を観察するとともに表面粗さ (R_a , μm) を測定した。なお, これらの観察時期としては, 実験開始前および実験開始 14 および 28 日後とし, 試片の数は各条件について 6 個とした。

その結果, 精製水保管条件における OCT イメージ像は, 実験期間の延長に伴ってエナメル質表層におけるシグナル輝度の上昇が認められた。また, レーザ顕微鏡像は実験開始前では, スミヤー層がエナメル質表面を覆う像が観察され, 表面粗さは $0.08 \mu\text{m}$ だったのに対し, 28 日経過後ではエナメル小柱が露出し, 表面粗さが $0.14 \mu\text{m}$ と大きくなった。OCT イメージ像は, 照射光線の歯質表層あるいは内部での反射性の強弱を段階ごとにカラー表示することで, 透過率の高い部分は照射された光線の反射光強度が少ない暗部として, 逆に散乱の強い部分では明部として可視化される。精製水保管条件の OCT イメージ像において, pH サイクル適用後にエナメル質表層のシグナル輝度が上昇したが, 人工唾液保管条件では, 28 日後ではエナメル質表層のシグナル輝度に変化は認められず, 内部断層像の色調に変化が認められた。また, レーザ顕微鏡像では, 精製水保管条件と比較して平坦な表面性状が観察された。このように, 人工唾液保管条件においてエナメル質内部の変化が観察された理由としては, エナメル質表面の脱灰が抑制されたために, 試片内部への光線透過性が増大し, OCT イメージ像の色調変化として表れたものと考えられた。

本研究では, OCT イメージ像の変化を数値化することを目的として, A-scan mode における最大ピーク強度値を求めるとともに, その幅を求めることで比較, 検討した。すなわち, 得られた信号強度分布グラフの最大ピーク強度値を基準として 86.5% が含まれる円を算出し, この円の直径から得られる波形の幅である $1/e^2$ 幅を用いた。その結果, 精製水保管条件における $1/e^2$ 幅は, 実験開始前で $70 \mu\text{m}$ であり, 28 日後で $60 \mu\text{m}$ と, ほとんど変化は認められなかった。一方, 唾液保管条件における信号強度分布の解析からは, 最大ピーク強度値は実験開始前と比較して 28 日後で約 14 dB 低下するものの, $1/e^2$ 幅の変化は実験開始前で $60 \mu\text{m}$ であったものが, 28 日後で $360 \mu\text{m}$ と有意に広くなった。これは, 精製水保管条件と比較して人工唾液に保管することでエナメル質表面における脱灰が抑制されたため, エナメル質表面での照射光線の散乱が少なく, 試片内部への光線透過性が増大したことを示す。このように, OCT イメージ像から得られた情報について, A-scan mode から得られた最大ピーク強度値および $1/e^2$ 幅を代表値として比較することによって, エナメル質における表層下脱灰を定量的に比較, 検討することが可能であった。

以上のように, 本実験の結果から OCT を用いた歯質断層像の解析では, エナメル質が脱灰することに

よって生じた基質的变化が光線反射性および透過性に及ぼす影響を, OCT イメージ像の変化として捉えられることが示された。さらに, ピーク強度値および $1/e^2$ 幅を測定することで, より詳細な解析が可能であることが示された。