

学位論文の内容の要旨

論文提出者氏名	藤田 理雅
論文審査担当者	主査 和泉 雄一 副査 水口 俊介、大槻 昌幸
論文題目	Measurement of the remaining dentin thickness using optical coherence tomography for crown preparation
<p>(論文内容の要旨)</p> <p>Optical coherence tomography (OCT) は生体組織の断面図を非破壊、高精度に取得できる近赤外光を用いた技術である。本研究では、歯髄付近の象牙質の限界測定深度と光学的特性を求め、支台歯形成時に残存象牙質厚さの測定が可能か検討した。今回はヒト第三大臼歯を使用した。実験 1 として、歯冠部象牙質の限界測定深度を求めめるため、0.50、0.75、1.00、1.25、1.50、1.75mm の厚さの象牙質切片を用意した。その後、各象牙質切片を OCT により撮影した。厚さ 1.00mm 以下の象牙質ブロックは全て、ブロック底辺まで OCT 画像を取得できた。実験 2 として、残存象牙質厚さ 0.50mm と 1.00mm の象牙質歯髄複合体の切片を用意した。各切片を OCT にて撮影した。その後、実測値を測定し、OCT 画像の長さ変化割合を求めた。0.50mm の残存象牙質厚さの象牙質歯髄複合体切片の長さ変化割合は 1.00mm のものより有意に低かった。1.00mm 以下の OCT 画像を取得できることから、OCT の臨床での有用性が示唆され、また変数としての長さ変化割合を考慮すれば歯髄損傷も防ぐことができると考えられる。</p> <p>材料及び方法</p> <p>本研究は、本学倫理審査委員会の承認を得た上で行った (承認番号 ; 729 号、2012 年)。</p> <p>実験 1 : 象牙質における OCT 画像の限界測定深さ</p> <p>ヒト抜去歯で、齲蝕や破折のない健全な上下顎第三大臼歯 10 本を対象とした。それぞれの歯を歯軸に対して平行に 6 分割し、その後、歯冠部象牙質を 0.50、0.75、1.00、1.25、1.50、1.75mm の厚さで切り出した。それぞれの試料をスライドガラス上に置き、OCT 撮影を行った。</p> <p>その後、OCT 画像の解析を行った。試料を介さない場合のスライドガラス表層を Z_1、試料表層を Z_0、試料の厚みを d、OCT 画像長さ変化割合を c_s とした。また、試料の光学的距離は、OCT 画像上で試料を介した時のスライドガラス表層 (Z_2) から試料表層 (Z_0) までの距離である。また、試料の厚みと OCT 画像長さ変化割合の関係は以下の式であらわすことができる。</p> $d = Z_1 - Z_0 = (Z_2 - Z_0) / c_s \quad (1)$ <p>ゆえに OCT 画像長さ変化割合は式 (1) より以下の式であらわすことができる。</p> $c_s = (Z_2 - Z_0) / (Z_1 - Z_0) \quad (2)$ <p>Z_2 が観察できるかを調べ、Z_2 が観察できたものについては、式 (2) を用いて OCT 画像長さ変化</p>	

割合、 Z_2 におけるシグナル強度を求めた。 Z_2 が観察できないものは結果から除外した。各象牙質切片厚さの画像長さ変化割合、 Z_2 におけるシグナル強度を比較するため、反復測定による1元配置分散分析を行った後、ボンフェローニ多重比較を行った($p < 0.05$)。

実験 2：象牙質歯髄複合体の OCT 画像とマイクロ CT 画像の比較

ヒト抜去歯で、齶蝕や破折のない健全な上下顎第三大臼歯 10 本を対象とした。それぞれの歯をエポキシレジンに包埋し、その後、包埋ブロックを 1.00mm の厚さで歯軸方向に水平にスライスし切片を作製した。それぞれの歯において、象牙質歯髄複合体が観察できる切片を 2 つ選び、残存象牙質が 0.50mm、1.00mm の厚みになるまで歯軸方向に垂直に歯冠部方向より削除した。

OCT 画像での歯髄表層を Z_2 とした。切片表層 Z_0 から歯髄表層 Z_2 までの光学的距離と Z_2 におけるシグナル強度を求めた。

次にマイクロ CT システムにて CT 画像を取得した。CT 画像上での歯髄表層を Z_1 とし、切片表層 Z_0 から歯髄表層 Z_1 までの実測値 d を測定した。その後、式 (2) を用いて OCT 画像長さ変化割合を測定した。

それぞれの残存象牙質厚みにおける OCT 画像長さ変化割合とシグナル強度を比較するため、対応のある T 検定を行った($p < 0.05$)。

結果

実験 1：象牙質における OCT 画像の限界測定深さ

OCT 画像上で 1.00mm 以下の象牙質切片は全て Z_2 が観察できた。

また、象牙質切片厚さ 0.50mm、0.75mm、1.00mm、1.25mm による OCT 画像長さ変化割合の平均値は、それぞれ 1.63 ± 0.10 、 1.67 ± 0.09 、 1.80 ± 0.06 、 1.79 ± 0.16 であった。0.50 mm と 1.00 mm、0.50 mm と 1.25 mm および 0.75 mm と 1.00 mm に有意差が認められた。

象牙質切片厚さ 0.50mm、0.75mm、1.00mm、1.25mm によるシグナル強度の平均値は、それぞれ 30.30 ± 2.98 、 22.40 ± 3.33 、 18.15 ± 3.33 、 14.83 ± 2.03 (dB) であった。1.00mm と 1.25mm の間以外で有意差が認められた。

実験 2：象牙質歯髄複合体の OCT 画像とマイクロ CT 画像の比較

残存象牙質厚さ 0.50mm、1.00mm による OCT 画像長さ変化割合の平均値は、それぞれ 1.57 ± 0.07 、 1.77 ± 0.16 であった。両者間に有意差が認められた。

残存象牙質厚さ 0.50mm、1.00mm によるシグナル強度の平均値は、それぞれ 29.17 ± 2.10 、 17.67 ± 1.35 (dB) であった。両者間に有意差が認められた。

考察

深い窩洞であっても、注意深く形成すれば残存象牙質厚さ 0.50mm までであれば、窩洞下の象牙芽細胞の生存に局限した影響を与えるだけであるという報告がある。実験 1 において、厚さ 1.00mm まで全ての象牙質切片で歯髄表層が観察できたことより、OCT は厚さ 0.50mm から 1.00mm の象牙質歯髄複合体の画像を取得し、歯髄損傷を防ぐのに有用であると示唆される。

今回の実験では 0.50mm における OCT 画像長さ変化割合は実験 1 で 1.63 ± 0.10 、実験 2 では 1.57 ± 0.07 であった。OCT 画像長さ変化割合は物質の屈折率の影響も受けると考えられる。Optical path length matching method において、屈折率を求める式は、今回の研究における OCT 画像長さ変化割合を求める式と同じである。しかし、今回の研究では 0.50 から 1.75mm までの厚みの象牙質を使用しており、均一な物質として定義づけられている屈折率ではなく、今回は長さ変化割合と表記した。

実験 1 と 2 において、0.50mm と比較して 1.00mm の OCT 画像長さ変化割合の値は高かった。象牙細管の方向により、象牙質の OCT 画像長さに影響を与えるとの報告もある。象牙細管の走行および光線の入射方向の一致度の違いによって、象牙質内部における光線の反射、散乱状態が変化するため、光線の入射方向が象牙細管の走行と並行な場合は OCT 画像長さ変化割合が低くなり、反対に直行する場合は高くなる傾向がある。今回の研究で使用した象牙質はいずれも歯髄に近い歯冠部象牙質で、測定した部位は髄角に近い部分である。髄角付近の象牙質に歯冠部方向から垂直に光を当てた場合、象牙細管に対し斜めに当てた場合と一致する。よって報告されている象牙質の屈折率より大きくなる可能性がある。また、散乱の影響をうける象牙細管の距離が長ければ長いほど、象牙細管の走行による散乱が大きくなるため、OCT 画像長さ変化割合が大きくなる可能性がある。また、水分やミネラル含有率の違いにより、OCT 画像長さ変化割合も変化してくると考えられる。象牙質のミネラル含有率はエナメル象牙境付近では高く、歯髄付近では低くなり、水分含有率はその逆になる。ミネラルの屈折率は水分の屈折率より高く、屈折率の高いものから低いものへ光が移行する場合、スネルの法則より、光学的距離が大きくなる。以上より、OCT 画像長さ変化割合も変化してくると考えられる。

臨床において、残存象牙質厚さを測定しようとした場合、
残存象牙質厚さ = OCT 深さ / OCT 画像長さ変化割合
であるため、実験 2 で得られた 0.50mm の OCT 画像長さ変化割合を 1.57 に設定すると、残存象牙質厚さが大きく出る可能性がある。これを基準にすると、支台歯形成時に深く削りすぎてしまい、歯髄損傷の可能性が高くなる。よって臨床において 0.50 から 1.00mm の残存象牙質量を残したい場合は、OCT 画像長さ変化割合は高い値で設定した方が歯髄損傷の可能性が低くなると考えられる。

結論

OCT は 1.00mm 以下の残存象牙質量であれば、歯髄表層を観察することができ、支台歯形成時に残存象牙質量を測定するのに有用である。また、0.50mm と 1.00mm の残存象牙質量では象牙質の OCT 画像長さ変化割合に有意差が認められた。

論文審査の要旨および担当者

報 告 番 号	甲 第 4764 号	藤田 理雅
論文審査担当者	主 査 和泉 雄一 副 査 水口 俊介、大槻 昌幸	
<p>(論文審査の要旨)</p> <p>従来、歯冠修復では、強度、適合性などの観点から臼歯部ではメタルクラウンが、前歯部ではメタルフレームに審美材料を前装した前装冠が主に用いられてきた。近年、審美性や金属アレルギー等の問題によりメタルフリー修復が盛んに行われるようになってきた。メタルフリー修復では修復材料の強度の関係から一般に通常のメタルクラウンの場合に比べて歯質の削除量を大きくする必要がある。従って生活歯の支台歯形成において、歯質の削除量を必要最小限にとどめなくてはならない。過度な削除を行うと歯髄に損傷を来すため、正確な支台歯形成の重要性が一段と増してきている。</p> <p>残存象牙質の厚みの測定は、これまで X 線写真や超音波を利用した方法などが用いられて来たが、いずれの方法も精度に問題があり、臨床上最適な方法がないのが現状である。</p> <p>本研究は、生体組織の断面図を非破壊、高精度に取得できる近赤外光を用いた OCT による残存象牙質厚さの測定について検討を行なったもので、この研究への着眼点は歯科補綴学の臨床にとってきわめて有意義なものと高く評価できる。</p> <p>本研究は、本学倫理審査委員会の承認を得た上で行っている（承認番号；729号、2012年）。実験1として象牙質における OCT 画像の測定限界深さの測定、実験2として象牙質歯髄複合体の OCT 画像とマイクロ CT 画像の比較、検討を行っている。</p> <p>実験1ではヒト抜去歯で、齶蝕や破折のない健全な上下顎第三大臼歯 10本を対象として、それぞれの歯を歯軸に対して平行に6分割し、歯冠部象牙質を0.50、0.75、1.00、1.25、1.50、1.75mmの厚さで切り出した後に、それぞれの試料をスライドガラス上に置き、OCT撮影を行い、OCT画像の解析を行っている。</p> <p>試料を介さない場合のスライドガラス表層を Z_1、試料表層を Z_0、試料の厚みを d、OCT 画像長さ変化割合を c_s とすると、試料の光学的距離は、OCT 画像上で試料を介した時のスライドガラス表層(Z_2)から試料表層(Z_0)までの距離である。試料の厚みと OCT 画像長さ変化割合の関係は $d = Z_1 Z_0 = (Z_2 Z_0) / c_s$ で表され、OCT 画像長さ変化割合は $c_s = (Z_2 Z_0) / (Z_1 Z_0)$ で表される。Z_2 が観察できるかを調べ、Z_2 が観察できたものについては、OCT 画像長さ変化割合、Z_2 におけるシグナル強度を求めている。Z_2 が観察できないものは結果から除外し、各象牙質切片厚さの画像長さ変化割合、Z_2 におけるシグナル強度を比較するため、反復測定による1元配置分散分析を行った後、ボンフェローニ多重比較を行っている ($p < 0.05$)。</p> <p>実験2では、ヒト抜去歯で、齶蝕や破折のない健全な上下顎第三大臼歯 10本を対象とし、それぞれの歯をエポキシレジンに包埋後、包埋ブロックを1.00mmの厚さで歯軸方向に水平にスラ</p>		

イスし切片を作製している。それぞれの歯において、象牙質歯髄複合体が観察できる切片を2つ選び、残存象牙質が0.50mm、1.00mmの厚みになるまで歯軸方向に垂直に歯冠部方向より削除している。

OCT画像での歯髄表層を Z_2 'とし、切片表層 Z_0 から歯髄表層 Z_2 'までの光学的距離と Z_2 'におけるシグナル強度を求めている。次にマイクロCTにてCT画像を取得し、CT画像上での歯髄表層を Z_1 'とし、切片表層 Z_0 から歯髄表層 Z_1 'までの実測値 d を測定し、OCT画像の長さ変化割合を測定している。それぞれの残存象牙質厚みにおけるOCT画像長さ変化割合とシグナル強度を比較するため、対応のあるT検定を行っている($p < 0.05$)。

以上のように、本研究は、周到な実験計画に基づいて行われており、妥当な方法によるものといえる。

本研究で得られた主な結果は以下のとおりである。

1. OCT画像の測定限界深さの測定

OCT画像上で1.00mm以下の象牙質切片は全て Z_2 'が観察できた。また、象牙質切片厚さ0.50mm、0.75mm、1.00mm、1.25mmによるOCT画像長さ変化割合の平均値は、それぞれ 1.63 ± 0.10 、 1.67 ± 0.09 、 1.80 ± 0.06 、 1.79 ± 0.16 であり、0.50mmと1.00mm、0.50mmと1.25mmおよび0.75mmと1.00mmに有意差が認められた。

象牙質切片厚さ0.50mm、0.75mm、1.00mm、1.25mmによるシグナル強度の平均値は、それぞれ 30.30 ± 2.98 、 22.40 ± 3.33 、 18.15 ± 3.33 、 14.83 ± 2.03 (dB)であった。1.00mmと1.25mmの間以外で有意差が認められた。

2. 象牙質歯髄複合体のOCT画像とマイクロCT画像の比較

残存象牙質厚さ0.50mm、1.00mmによるOCT画像長さ変化割合の平均値は、それぞれ 1.57 ± 0.07 、 1.77 ± 0.16 であった。両者間に有意差が認められた。

残存象牙質厚さ0.50mm、1.00mmによるシグナル強度の平均値は、それぞれ 29.17 ± 2.10 、 17.67 ± 1.35 (dB)であった。両者間に有意差が認められた。

以上の研究結果から、OCTは1.00mm以下の残存象牙質量であれば、歯髄表層を観察することができ、支台歯形成時に残存象牙質量を測定するのに有用であることが明らかとなった。また、0.50mmと1.00mmの残存象牙質量では象牙質のOCT画像長さ変化割合に有意差が認められた。

以上のように本研究は、生体組織の断面図を非破壊、高精度に取得できる近赤外光を用いたOCTによる残存象牙質厚さを測定について評価、検討を加えたもので、得られた知見は、クラウンの長期予後を考える上で極めて重要な意義をもち、歯科補綴延いては歯学全般の進歩、発展に寄与するところは大である。よって本論文は博士(歯学)の学位請求論文として十分価値のあるものと認められた。