



Title	非破壊試験を応用した象牙質接着の評価：ポスト孔象牙質接着の非破壊観察ならびに象牙質接着強さに影響を及ぼす因子の解明
Author(s)	南野, 卓也
Citation	大阪大学, 2016, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/56136
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

論文内容の要旨

氏名 (南野 順也)	
論文題名	非破壊試験を応用した象牙質接着の評価 ー ポスト孔象牙質接着の非破壊観察ならびに象牙質接着強さに影響を及ぼす因子の解明ー
【目的】	
<p>近年、非破壊試験として光干渉断層画像装置 (Optical Coherence Tomography ; 以下OCT) とX線マイクロコンピュータ断層撮影装置 (x-ray microcomputed tomography ; 以下μCT) が用いられている。非破壊試験のメリットは試料に外力を加えることなく内部の情報を得ることができる点であり、これまで把握できなかった現象を捉えることが可能となる。歯学研究においても様々な非破壊観察が行われているが、接着操作が困難な支台築造法におけるポスト孔周囲の象牙質接着に関する報告はきわめて少ない。本研究では、実験1としてこれらの装置を用い、ポスト孔周囲の象牙質への接着様相の実態の把握を目的として、ポスト孔周囲の象牙質-レジン間の接着様相を非破壊的に評価した。</p>	
<p>一方、接着試験に関しては、せん断試験と引張試験に大別されるが、現在は微小引張試験が一般的に用いられている。しかしながら、他の接着試験も同様であるが、測定値にばらつきが大きいことが欠点として挙げられる。測定値に影響を及ぼす因子として、象牙質の部位、接着面積、レジンの物性などが挙げられているが、これらはいずれも限定的に考察された因子であるため種々の因子がお互いにどのような影響力をもって結果のばらつきに関与しているのかは依然として明らかになっていない。そこで、実験2として象牙質接着強さに影響を与える因子の相互関係の解明を目的として、試験体内部の情報を具現化・数値化できる非破壊試験に着目し、微小引張試験の測定値に影響を及ぼす因子について統計学的に解析した。</p>	
【材料および方法】	
実験1 ポスト孔周囲の象牙質接着の非破壊的観察	
1) 試料の作製	
<p>う蝕に罹患していない9本のヒト抜去単根管歯（未根充歯）をセメントエナメル境で歯軸に対して垂直に切断し、歯冠を除去した。次に根管をKファイルにて#80まで拡大し、ガッタパー-チャポイントを用いて側方加圧にて根管充填を行った。37°C水中に24時間以上保管したのち、セメントエナメル境から10 mmの深さまでポスト孔を形成した後、EDTA水溶液と次亜塩素酸ナトリウムゲルにてポスト孔周囲の象牙質を処理した。続いて光重合型ボンディング材を塗布後、レジンコア材をポスト孔に填入した。</p>	
2) OCT観察	
<p>作製した試料をSwept-source OCTを用いて、各築造ステップ時（ポスト孔形成後、ボンディング材塗布後、レジンコア築造後）のポスト孔内を非破壊で観察した。</p>	
3) μCT観察	
<p>OCT観察と同一試料のポスト孔をμCTを用いて観察し、接着界面およびレジンコア材料内部を非破壊的に評価した。</p>	
4) OCTによるリアルタイム撮影	
<p>Spectral-domain OCTにて、レジンコア材料充填から光重合までの操作をリアルタイムに断層動画撮影した。</p>	
実験2 微小引張試験における象牙質接着強さに影響を及ぼす因子の解析	
1) 接着試験試料の作製	
<p>う蝕に罹患していない10本のヒト抜去大臼歯の歯冠部を歯軸に対して垂直に切断し、耐水研磨紙を用いて平坦な歯冠中央象牙質研磨面を得た。光重合型ボンディング材を塗布後、レジンコア材を築盛した。これらの試料を37°C水中に24時間以上保管した後、ダイヤモンドカッターにて1 mm×1 mmのビーム状の試料片を作製した。</p>	
2) 接着試験に影響を及ぼす因子の項目と測定方法	
<p>接着強さに影響を及ぼす因子として、①気泡、②レジンのX線吸収係数、③象牙質のX線吸収係数、④接着部位、⑤接着面積、⑥歯の個体差を選定した。以下に各因子の測定方法を示す。</p>	
①気泡：OCTおよびμCTを用いて試験体の非破壊観察を行い、接着界面の気泡の有無を確認した。	
②レジンのX線吸収係数、③象牙質のX線吸収係数：物性確認のため、μCTを用いて試験体を構成している象牙質、コン	

ポジットレジンのX線吸収係数 (mgHA/cm^3) を測定した。

④接着部位, ⑤接着面積: 歯髄腔から接着界面までの試料体の長さを測定し, 接着部位を数値 (mm) で表した. また, 試験体の接着界面部の断面積を接着面積 (mm^2) として算出した.

⑥歯の個体差: 各試験体をどの歯から作製したかを記録した.

3) 接着試験法

試験体をジグに装着し, 小型卓上試験機を使用し, クロスヘッドスピード1.0 mm/minにて微小引張試験を行った.

4) 接着強さと各種パラメータの解析

上記①～⑥のパラメータが接着試験結果に及ぼす影響を, 一般線形モデルで解析した. 続いて, 歯の個体差を考慮した各種パラメータと接着強さの関係を評価するため, 線形混合モデルを用いて統計解析を行った. 有意水準は5%とした.

【結果】

実験1 ポスト孔周囲の象牙質接着の非破壊的観察

OCT, μ CT両画像とともに支台築造後のポスト孔内の気泡や象牙質-レジン界面に存在するギャップが明示された. 両画像の解像度には大差はないが (OCT: 12 μm , μ CT: 10 μm), 観察像に違いが認められた. OCTを用いたリアルタイム撮影では, 象牙質とレジンの界面に歯冠側約6 mmの地点から根尖側に向かってギャップが伸展していく様子を確認できた. 同試料を μ CTで観察したが, ギャップは確認できなかった.

実験2 微小引張試験における象牙質接着強さに影響を及ぼす因子の解析

10歯から作製された試験体は合計152本であった. 全試験体の接着強さの平均値 \pm SDは, 33.5 \pm 17.0 MPaであり, 10歯の中で, 最大および最小の接着強さを示した歯の接着強さの平均 \pm SDはそれぞれ47.0 \pm 15.8 MPa, 16.5 \pm 9.9 MPaであった. 気泡あり群は59本, 気泡なし群は93本であり, 気泡あり群と気泡なし群の接着強さの平均 \pm SDはそれぞれ29.4 \pm 17.0 MPa, 36.2 \pm 16.6 MPaであった. 各因子の平均 \pm SDは, それぞれレジンのX線吸収係数が4048.1 \pm 72.9 mgHA/cm^3 , 象牙質のX線吸収係数が1795.9 \pm 27.0 mgHA/cm^3 , 接着部位が3.82 \pm 1.78 mm, 接着面積が0.99 \pm 0.17 mm^2 であった.

6つのパラメータが接着強さに及ぼす影響を一般線形モデルにより解析した結果, 接着部位 ($P<0.001$) および歯の個体差 ($P<0.001$) に有意差を認めた. 歯の個体差を考慮に入れた線形混合モデルによる統計解析の結果, 接着部位 ($P<0.001$), 気泡 ($P=0.038$), 接着面積 ($P=0.039$) に有意差を認めた. レジンおよび象牙質のX線吸収係数と接着強さの間に相関は認められなかった.

【考察および結論】

実験1 ポスト孔周囲の象牙質接着の非破壊的観察

OCTの画像は屈折率が変化する部位で強いシグナルを認めるためギャップを明示しやすく, μ CTは観察深度に制限がないため, 全体像や細部の形態を確認しやすいことがわかった. また, 重合中に生じたギャップは光照射に伴うレジンの重合収縮により生じる可能性が示唆された.

実験2 微小引張試験における象牙質接着強さに影響を及ぼす因子の解析

接着部位, 気泡, 接着面積が接着強さに有意な影響を及ぼす因子であることが明らかとなった. 接着部位は歯髄からの距離による象牙質の構造の変化が影響したと考えられる. 気泡の存在は接着界面の脆弱化が予想され, 接着面積は大きいほど応力分布が複雑になり, ばらつきが増加することが考えられる. また, 歯の個体差が接着強さに影響を及ぼすことが明らかとなった. 接着強さの解析の精度を上げるためにには, 本研究で行ったように歯の個体差を考慮すべきである.

OCTならびに μ CTを用いたポスト孔周囲の象牙質接着の非破壊的観察および微小引張試験における象牙質接着強さに影響を及ぼす因子の解析により以下の結論を得た.

1. OCTにより根内部の構造を観察することが可能であった. さらに, セメント質を除去することで内部の描出がより鮮明となることが明らかとなった. 観察の結果, レジンと象牙質とのギャップやレジンコア内の気泡が確認できた. OCTの画像は屈折率が変化する部位で強いシグナルを認めるためギャップを明示しやすく, μ CTは観察深度に制限がないため, 全体像や細部の形態を確認しやすいことがわかった.
2. OCTを用いて, ポスト孔内レジン硬化時のギャップ形成を動的に捉えることができた. そのギャップは歯冠側6 mmの部分から始まり, 根尖側に伸展した.
3. 一般線形モデルによる統計解析の結果, 接着部位および歯の個体差は接着試験結果に有意な影響を及ぼす因子であることが明らかとなった.
4. 歯の個体差を考慮に入れた線形混合モデルによる統計解析の結果, 接着部位に加えて気泡の有無および接着面積が新たに接着強さに有意な影響を及ぼす因子であることが明らかとなった.

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏名 ()	
	(職)
論文審査担当者	氏名
主査	教授
副査	教授
副査	准教授
副査	講師
	矢谷 博文
	今里 聰
	野杣 由一郎
	権田 知也

論文審査の結果の要旨

本研究は、実験1として光干渉断層画像装置（Optical Coherence Tomography；以下 OCT）とX線マイクロコンピュータ断層撮影装置（x-ray microcomputed tomography；以下 μCT）を用いた非破壊試験を行うとともに、実験2として象牙質接着強さに影響を与える因子を統計的に明らかにすることを試みたものである。

実験1の結果、OCTとμCTの画像上に支台築造後のポスト孔内の気泡や象牙質-レジン界面に存在するギャップを明示することができた。OCTは根管内部の対象物の構造や組成の微妙な違いを描出するのに優れており、レジンコア内部の気泡も明瞭に描出できるのに対し、μCTは観察深度に制限がないため、対象物の全体像を把握するのに優れていた。また、OCTによるリアルタイム観察によりポスト孔内レジン硬化時の重合収縮に起因すると思われるギャップ形成像を動的に捉えることができた。

次いで実験2の一般線形モデルによる統計解析の結果、象牙質の被着対象部位（歯髄からの距離）および歯の個体差が接着試験結果に有意な影響を及ぼす因子であることが明らかとなった。さらに、歯の個体差を考慮に入れた線形混合モデルによる統計解析を行った結果、接着部位に加えて気泡の有無および接着面積が新たに接着強さに有意な影響を及ぼす因子であることが明らかとなった。

以上の研究成果は、レジンのポスト孔周囲の象牙質への接着、および象牙質接着強さの評価に関する新しい知見を与えるものであり、本研究は博士（歯学）の学位論文として価値のあるものと認める。