

令和 5 年 6 月 26 日現在

機関番号：14401

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2019～2022

課題番号：19K24068

研究課題名（和文）次世代レジンコア築造法の探求～化学重合型ボンディング材と高解像非破壊試験法～

研究課題名（英文）Exploration of Next Generation Resin Core Build-up Methods: Chemically Curing Bonding Materials and High-Resolution Nondestructive Testing Methods

研究代表者

東 真未 (Higashi, Mami)

大阪大学・大学院歯学研究科・招へい教員

研究者番号：20845797

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,200,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、新規化学重合型ボンディング材を用いて、「歯および材料の温度」や「根管内の部位」の違いが象牙質接着性に与える影響を検討し、その接着特性を評価した。また、その接着特性の評価方法として μ CTによる非破壊観察を行うことで接着界面のギャップをより詳細に非破壊的に観察し、新たな接着能評価法を確立した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で使用した化学重合型ボンディング材は新規の材料であったことから、これを根管象牙質に応用した報告は本研究が最初であり、本研究から化学重合型ボンディング材が根管象牙質接着に高い接着能を示すことが明らかになったことにより、臨床におけるレジン支台築造法に関するガイドライン作成の一助になると考えられる。また、 μ CTを駆使した接着能評価方法を確立したことで、歯科材料研究がより発展することが考えられる。

研究成果の概要（英文）：In this study, the effects of "tooth and bonding material temperature" and "site in the root canal" on dentin bonding were investigated using a new chemically polymerized bonding material.

In addition, we established a new method for evaluating the bonding properties by nondestructive observation using μ CT to observe the gap at the bonding interface.

研究分野：接着歯学

キーワード：接着歯学 根管象牙質接着

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

歯質と材料との良好な接着は歯冠修復・補綴歯科治療を行う上で重要であり、さらに臨床においては操作が簡便であることが求められる。近年、新規に開発された化学重合型ボンディング材（ボンドマーライトレス、トクヤマデンタル、東京）は、光照射の必要がないことからチェアタイムを大きく削減できるだけでなく、光重合型ボンディング材と異なり光の届きにくい根管内での接着にも有利であると考えられる。一方、化学重合型ボンディング材では、光重合型ボンディング材と比較して接着操作時の歯および材料の温度が接着性に与える影響が大きい可能性があるが、化学重合型ボンディング材の接着特性について詳細に検討した研究は見られない。

2. 研究の目的

本研究では、新規化学重合型ボンディング材を用いて、「歯および材料の温度」や「根管内の部位」の違いが象牙質接着性に与える影響を検討し、その接着特性を評価することを目的とした。また、その接着特性の評価方法として μ CTによる非破壊観察を行うことで接着界面のギャップをより詳細に非破壊的に観察し、新たな接着能評価法を確立することを目的とした。

3. 研究の方法

実験 1-1. 試料およびボンディング材の温度の影響

(1) 試料作製

ヒト大白歯の象牙質を耐水研磨紙にて研磨した。試料の温度の影響を調べるため、4群に分けた。異なる保存温度（ 37°C ： T_{high} 、 23°C ： T_{middle} 、 4°C ： T_{low} ）に浸漬した被着体試料を準備し、 T_{high} および T_{middle} の試料に対して新規化学重合型ボンディング材（ボンドマーライトレス、トクヤマデンタル、以下 BL）を室温（ B_{middle} ）にして使用した群（ $T_{\text{high}}/B_{\text{middle}}$ 群、 $T_{\text{middle}}/B_{\text{middle}}$ 群）および T_{high} と T_{low} に対して BL を冷蔵庫から出してすぐに用いた群（ $T_{\text{high}}/B_{\text{low}}$ 群、 $T_{\text{low}}/B_{\text{low}}$ 群）を追加設定した。

(2) 微小引張接着（ μ TBS）試験

象牙質被着面にコンポジットレジン（エステセム II、トクヤマデンタル）を築盛した試料を 37°C 水中に 24 時間浸漬した後、 $1\text{ mm} \times 1\text{ mm}$ のビームを作製した。ビームはそれぞれ 24 時間、1 か月および 6 か月間 37°C 水中に浸漬した後、小型卓上試験機（EZTest、島津製作所）にて μ TBS 試験を行った。

(3) 接着界面の破断面観察

μ TBS 試験後の破断面を走査電子顕微鏡（SEM, JSM-6510LV, JEOL 社）にて観察した。

実験 1-2. 象牙質被着面処理後の温度上昇の影響

実験 1-1 と同様に試料を作製した。歯の温度は 37°C に、ボンディング材の温度は 23°C に規定し、 $T_{\text{high}}/B_{\text{middle}}$ 群をネガティブコントロール（N-cont 群）とした。実験群は、被着面

処理後に 10 秒間冷風処理する群 (P-Cont 群), 10 秒間温風処理する群 (HT 群), 10 秒間光照射する群 (LT 群) とした. 実験 1-1 と同様に μ TBS 試験, 破断面観察を行った.

実験 2. 根管象牙質の部位における影響

(1) 試料作製

ヒト小白歯を, セメントエナメル境で歯軸に対して垂直に切断した. 歯根部を根管充填した後, ポストの長さをセメントエナメル境より 10 mm に統一して根管形成した. 用いるボンディング材によりランダムに 2 群に分けた. BL を用いる群 (BL/L-) に加えて, 光重合型ボンディング材 1 (ユニバーサルボンド QUICK, クラレノリタケデンタル, UBQ/L+群) を用いる群を設定した. ボンディング処理後, 支台築造用レジン (クリフィル DC コアオートミックス ONE, クラレノリタケデンタル) を形成した根管内に填入し, 40 秒間光照射した.

(2) プッシュアウト試験

作製した試料を 37 °C 水中に 24 時間浸漬した後, 歯冠側から 1 mm の厚みで歯軸に直交するように試料を 6 枚切り出し, プッシュアウト試験を行った.

(3) X線マイクロコンピューター断層 (μ CT) 撮影

μ CT (SKYSCAN1272, BRUKER) を用いて根管象牙質-レジン界面の非破壊観察を行った.

4. 研究成果

実験 1-1. 試料およびボンディング材の温度の影響

μ TBS 試験の結果, T_{high}/B_{middle} 群と T_{high}/B_{low} 群との間には有意差を認めなかった ($P = 0.87$). T_{high}/B_{middle} 群は T_{middle}/B_{middle} 群に対し ($P = 0.001$), T_{high}/B_{low} 群は T_{low}/B_{low} 群に対し ($P < 0.001$), それぞれ有意に高い接着強さを示した(表 1). 破断面観察から T_{high} 群では混合破壊, 凝集破壊が観察され, 接着状態は良好であったが, T_{middle}/T_{low} 群ではセメント側界面のボンディング材に多数の気泡が観察された (図 1). その理由として, ボンディング材の温度低下による不十分な揮発, 重合遅延による象牙質側からの吸水が考えられた.

これらの結果から, 歯の温度が低い場合は, 新規化学重合型ボンディング

表 1 実験 1-1: 微小引張接着強さおよび破断様式

温度 (歯/ボンディング)	保管期間		
	24時間	1か月	6か月
T_{high}/B_{mid} 群	27.2 (10.7) [7/9/0]	18.9 (12.9) [9/6/1]	19.5 (14.2) [11/5/0]
T_{high}/B_{low} 群	22.5 (8.0) [9/5/2]	19.3 (7.2) [11/4/1]	18.9 (9.0) [12/4/0]
T_{mid}/B_{mid} 群	16.5 (13.1) [16/0/0]	11.2 (9.6) [16/0/0]	11.4 (13.5) [16/0/0]
T_{low}/B_{low} 群	9.8 (9.8) [16/0/0]	9.1 (7.9) [16/0/0]	6.6 (4.6) [16/0/0]

上段: 微小引張接着強さ, 単位 [MPa], () 内は標準偏差, n=16
下段: 破断様式 [界面破壊/混合破壊/凝集 (レジン) 破壊] の個数

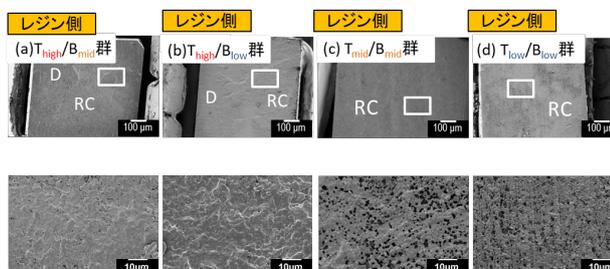


図 1 実験 1-1: 破断面 (レジン側) の SEM 像

(a), (b): 混合破壊
(c), (d): 界面破壊, ボンディング材中に無数の気泡を認める.
D: 象牙質, RC: 支台築造用レジン.

材の重合が良好に進まないことが明らかとなった。

実験 1-2. 象牙質被着面処理後の温度上昇の影響

μ TBS 試験の結果、HT 群と LT 群は T_{high}/B_{middle} 群と比較し、接着強さが有意に高く ($P < 0.001$)、象牙質被着面温度を上昇させると接着強さが向上することが確認された (表 2)。破断面観察においても、HT 群と LT 群では実験 1-1 で認めた気泡は見られず、良好に重合していることが明らかとなった。

表2 実験1-2: 微小引張接着強さおよび破断様式

温度 (歯/ボンディング)	保管期間		
	24時間	1か月	6か月
P-Cont群	20.6 (7.0) [10/6/0]	13.1 (3.7) [12/4/0]	10.7 (1.8) [13/3/0]
HT群	52.0 (12.0) [4/10/2]	39.8 (9.5) [7/8/1]	34.3 (7.1) [11/5/0]
LT群	45.3 (10.1) [5/10/1]	32.9 (5.7) [9/6/1]	29.2 (6.8) [12/4/0]
N-Cont群 (T_{high}/B_{mid})	27.2 (10.7) [7/9/0]	18.9 (12.9) [9/6/1]	19.5 (14.2) [11/5/0]

上段: 微小引張接着強さ, 単位 [MPa], ()内は標準偏差, n=16
下段: 破断様式 [界面破壊/混合破壊/凝集 (レジン) 破壊] の個数

実験 2. 根管象牙質の部位における影響

光重合型ボンディング材を使用した UBQ/L+群は、根尖側の接着強さが歯冠側と比較して有意に低かった ($P = 0.03$)。化学重合型ボンディング材を使用した BL/L-群では、歯冠側と根尖側の接着強さに有意差を認めなかった ($P = 0.99$) (図 2)。

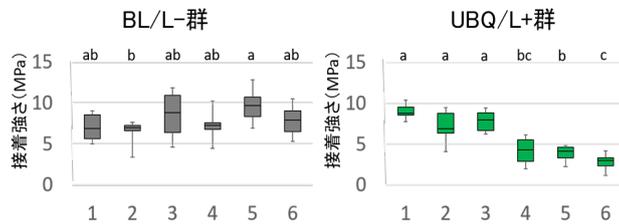


図2 各群の部位別接着強さ

箱ヒゲ図は、上から最大値, 75パーセンタイル値, 中央値, 25パーセンタイル値, 最小値を表す。同一群内の同一アルファベット間で有意差なし。各群 n=9。

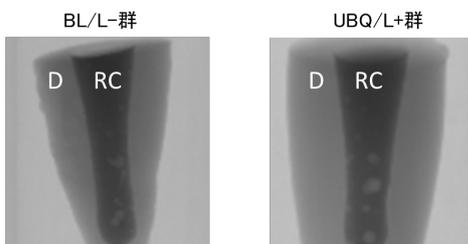


図3 実験2: μ CT単純撮影画像

D: 象牙質, RC: 支台築造用レジン。各群6試料を観察し、代表的な像を示す。

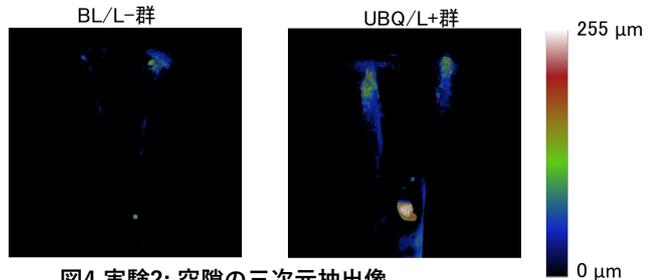


図4 実験2: 空隙の三次元抽出像

根管象牙質-レジン界面の空隙は色で示される。寒色では空隙は小さく、暖色では空隙が大きい。各群6試料を観察し、代表的な像を示す。

μ CT による観察により、UBQ/L+群、FA/L+群では根尖側において根管象牙質-レジン界面にギャップを多く認めた。BL/L-群では根管象牙質-レジン界面にギャップを認めなかった。新規化学重合型ボンディング材では、根管内の部位にかかわらず良好に接着していることが、非破壊観察においても可視的に明示された (図 3, 4)。

これらの非破壊観察の結果は、接着試験結果と強く相関しており、非破壊観察は接着能評価として全体像を 3次元で把握することができるという点で有効であると考えられる。

象牙質に対する新規化学重合型ボンディング材の接着特性について、「歯の温度」、「材料の温度」、および「根管内の部位」に着目して評価した結果、以下のことが明らかとなった。

1. 歯の温度は象牙質接着性に影響する。
2. 新規化学重合型ボンディング材の温度は象牙質接着性に影響しない。
3. 新規化学重合型ボンディング材塗布後に被着面の温度を上昇させることにより、象牙質接着性が向上する。
4. 根管象牙質への接着において、新規化学重合型ボンディング材は歯冠側、根尖側ともに良好な接着性を示す。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 0件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 YUMITATE Masahiro, MINE Atsushi, HIGASHI Mami, MATSUMOTO Mariko, HAGINO Ryosuke, BAN Shintaro, YAMANAKA Azusa, ISHIDA Masaya, MIURA Jiro, MEERBEEK Bart VAN, ISHIGAKI Shoichi, YATANI Hirofumi	4. 巻 41
2. 論文標題 Effect of tooth temperature on the dentin bonding durability of a self-curing adhesives: The discrepancy between the laboratory setting and inside the mouth	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Dental Materials Journal	6. 最初と最後の頁 317 ~ 322
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.4012/dmj.2021-184	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 Yumitate M, Mine A, Higashi M, Matsumoto M, Takaishi M, Hagino R, Van Meerbeek B, Yatani H, Ishigaki S.
2. 発表標題 The effect of heating on chemical polymerized bonding material.
3. 学会等名 CED-IADR/NOF Oral Health Research congress
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------