

授与番号 甲第 347 号

### 論文内容の要旨

Effects of different bonding systems with various polymerization modes and root canal region on the bond strength of core build-up resin composite

-ボンディングシステムと根管の部位の違いが支台築造用レジンの接着強さに与える影響-  
(清水峻介、澤田智史、浅野明子、菅徹也、野田守、武本真治)

(Journal of Prosthodontic Research 令和3年4月掲載予定)

しみず しゅんすけ  
清水 峻介

### I. 研究目的

根管治療した歯は、支台築造を行い補綴装置が装着される。近年、支台築造には直接法によるレジン支台築造が多用されている。直接法によるレジン支台築造は、再感染のリスクや患者の負担を低減することができる。一方で、根管窩洞にボンディングシステムを応用し、支台築造用レジンで築造するため、その接着は感染経路の封鎖とともに補綴装置の維持にも重要な役割を果たす。ボンディングシステムの重合様式には、光重合型、化学重合型やデュアルキュア型があり、それぞれ歯冠部のコンポジットレジン修復では十分な維持力を発揮している。しかしながら、根管窩洞のような深い窩洞では、根管象牙質の象牙細管の方向や数が異なり、接着への影響が危惧される。また、重合様式の異なるボンディングシステムが支台築造用レジンの接着に及ぼす影響については不明な点が多い。本研究では、異なるボンディングシステムと根管象牙質の接着部位の違いが接着強さに及ぼす影響を明らかにすることを目的とした。

### II. 研究方法

試料には 54 本のウシ下顎前歯歯根を用いた。根管に歯軸と平行に直径 3mm、深さ 14mm の支台築造窩洞を形成した。その窩洞を通法にしたがって根管洗浄し、37°C の水中で 7 日間留置した。その後、窩洞内を十分に乾燥し、各ボンディングシステムを各社指示にしたがって作用させ、支台築造用レジンを充填し光照射によって硬化させた。ボンディングシステム (BS) として、3 種類の光重合型、2 種類の化学重合型および 3 種類のデュアルキュア型を用いた。支台築造した試料は、水中に 7 日間 37°C で静置した。7 日後、試料を歯軸に対して垂直に、厚みが 1.0mm となるように歯冠側から根尖側へと断続的に切断し、1 本の歯根から 9 個の円板状試料を得た。得られた試料は、歯冠側から根尖側に 3 個ずつ (歯冠側、中央部、根尖側) とし、各部位から 2 つの試料を接着強さ試験に、残りの 1 つを色

素浸透試験に供した。得られた円板状試料のレジン部位を万能材料試験機で、押し出し試験を行い、最大荷重値から接着強さを算出した。また、押し出し試験後の破断様式を観察した。接着程度を調べるため、円板状試料の歯冠側に 0.2%フクシン溶液を滴下し、接着界面をデジタル実体顕微鏡で観察し、染色割合を算出した。押し出し試験と色素浸透試験で得られたデータを BS と根管象牙質の部位 (Region) を要因とする二元配置分散分析および Tukey の多重比較により検定した (n=36)。破断様式の割合は  $\chi^2$  検定および残差分析を行った。有意水準はいずれも 95%とした ( $\alpha=0.05$ )。

### III. 研究成績

接着強さは BS の重合様式の違いでのみ有意差を認め、光重合型 BS と比較して化学重合型 BS が有意に大きかった。その破断様式は、 $\chi^2$  検定と残差分析の結果、歯冠側、中央部および根尖側のいずれの部位でも化学重合型 BS で根管象牙質と支台築造用レジンの凝集破壊が有意に多く認められた。歯冠側ではデュアルキュア型 BS で、根尖側では光重合型 BS で象牙質と支台築造用レジンの界面破壊が有意に多く認められた。

色素浸透割合は Region で有意差を認め、BS との交互作用を認めた。化学重合型 BS の根尖側に対して光重合型 BS の歯冠側および化学重合型 BS の歯冠側と根尖側で有意差を認めた。光重合型 BS の根尖側で最も染色面積が多かった。

### IV. 考察及び結論

本研究では、接着強さはボンディングシステムの違いによつてのみ有意差が認められ、色素浸透試験では根管象牙質の部位およびボンディングシステムで有意差が認められた。化学重合型 BS は十分な接着強さを有し、破壊形態が象牙質と支台築造用レジンが一体化していると予想され、歯根自体の強度の向上に寄与すると考えられる。一方で、光重合型 BS は接着強さが化学重合型 BS と比較して劣り、色素浸透試験の結果から歯冠側と根尖側でのギャップに違いが認められた。このことは、支台築造窩洞の深さでは、光重合型 BS の硬化に影響を与える光照射器との距離が関係しているためと推測された。化学重合型 BS およびデュアルキュア型 BS は根管象牙質の部位による封鎖性の違いも認められないことから、光重合型 BS と比較して均一な接着による封鎖が期待できる。

本研究では、牛歯歯根に重合様式の異なるボンディングシステムを応用してレジン支台築造し、その接着について検討を行い、以下の点が明らかになった。

1. 化学重合型ボンディングシステムを応用した根管象牙質への支台築造用コンポジットレジンの接着強さは、光重合型ボンディングシステムを応用したより大きかった。
2. 光照射するボンディングシステムでは、光重合型ボンディングシステムでは根尖側で、デュアルキュア型ボンディングシステムでは歯冠側で界面破壊が多く認められた。

3. 化学重合型ボンディングシステムを応用した場合、支台築造用レジンと根管象牙質が一体となって破壊し、根管象牙質との接着が効果的であった。
4. 光重合型ボンディングシステムは、根尖側で根管象牙質と支台築造用コンポジットレジンとのギャップの割合が大きかった。

## 論文審査の結果の要旨

### 論文審査担当者

主査 田邊 憲昌 准教授 (補綴・インプラント学講座 補綴インプラント学分野)  
副査 野田 守 教授 (歯科保存学講座う蝕治療学分野)  
副査 武本 真治 教授 (医療工学講座)

根管治療した歯は、支台築造を行い補綴装置が装着される。近年、支台築造には直接法によるレジン支台築造が多用されている。直接法によるレジン支台築造は、再感染のリスクや患者の負担を低減することができる。一方で、根管窩洞にボンディングシステム（以下BS）を応用し、支台築造用レジンを築造するため、その接着は感染経路の封鎖とともに補綴装置の維持にも重要な役割を果たす。BSの重合様式には、光重合型、化学重合型やデュアルキュア型があり、それぞれ歯冠部のコンポジットレジン修復では十分な維持力を発揮している。しかしながら、根管窩洞のような深い窩洞では、根管象牙質の構造が異なり、接着への影響が危惧される。また、重合様式の異なるBSが支台築造用レジンの接着に及ぼす影響については不明な点が多い。本研究では、BSの重合様式と根管象牙質の部位（以下Region）の違いが接着強さに及ぼす影響を明らかにすることを目的とした。ウシ抜去歯の歯根に、支台築造用窩洞を形成し、3種類のBSを作用させ、支台築造用レジンを充填した。充填した歯根を切断し、1本の歯根から9個の試料を得て上から3つずつ歯冠部、中央部、根尖部とした。得られた試料を用いて、接着強さを得るために押出し試験を、封鎖性の確認のために色素浸透試験を行った。その後、破断様式の分類と、走査型電子顕微鏡による界面観察を行った。

押出し試験の結果、接着強さではBSとRegionでの交互作用は認められなかった。BS間で有意差を認め、Regionによる有意差は認めなかった。BS間では、光重合型BSと比較して化学重合型BSが有意に接着強さが大きかった。その破断様式は、 $\chi^2$ 検定と残差分析の結果、歯冠側、中央部および根尖側のいずれの部位でも化学重合型BSで凝集破壊が有意に多く認められた。歯冠側ではデュアルキュア型BSで、根尖側では光重合型BSで界面破壊が有意に多く認められた。色素浸透割合はRegionで有意差を認めた。化学重合型BSの根尖側に対して光重合型BSの歯冠側および化学重合型BSの歯冠側と根尖側で有意差を認めた。光重合型BSの根尖側で最も染色面積が多かった。本研究では、接着強さはボンディングシステムの違いによってのみ有意差が認められ、色素浸透試験では根管象牙質の部位およびボンディングシステムで有意差が認められた。

本研究の結果から、化学重合型BSは根管のいずれの部位でも十分な接着強さを有し、破壊形態が象牙質と支台築造用レジンが一体化となっていたことから、歯根自体の強度の向

上に寄与すると考えられる。一方で、光重合型 BS は接着強さが化学重合型 BS と比較して劣り、歯冠側と根尖側でのギャップに違いが認められた。このことは、支台築造窩洞の深さでは、光重合型 BS の硬化に影響を与える光照射器との距離が関係しているためと推測された。化学重合型 BS およびデュアルキュア型 BS は根管象牙質の部位による封鎖性の違いも認められないことから、光重合型 BS と比較して均一な接着による封鎖が期待できることが示唆された。

#### 試験・試問の結果の要旨

**Q1** 重合様式の異なる 3 種類のボンディングシステムで深い根管での接着について研究されていますが、光重合型ボンディングシステムは深い根管窩洞には使用しないのではないかと？

**A** 実際の臨床では、コンポジットレジン修復に用いているボンディング材を応用している歯科医もいるのが現状です。本学では用いていませんが、接着にどの程度の影響があるかを明らかにすることも必要と考え、対象としました。

**Q2** 牛歯の大きさ（深さが 14mm）はヒトの歯根と比較して大きいので、光照射するボンディングシステムでは影響が大きくなるのではないかと？

**A** 光照射の距離はボンディングシステムの硬化に影響することは予測されます。また、牛歯を用いた *in vitro* 試験なので、深い窩洞でどこまで影響がでるかということも必要であると考えます。牛歯は①人歯と同様に接着試験には用いられていることと、②本試験での接着強さへの試験的な限界を明らかにできること、③スケールアップしているため、小さい人歯への影響を推測することができるかと考えます。

**Q3** レジン支台築造をする場合には、ファイバーポストを併用することが多いと思うが、もし、ファイバーポストを併用した場合には結果はどのようになるかと考えるか。また、ファイバーポストには光透過型のようなものもあるが、これを用いた場合には光重合型での接着に及ぼす影響はどのようになるかと考えるか。

**A** ファイバーポストは歯根の強化と補綴装置を維持するうえでは必要だと思います。ですが、界面が多くなるので、十分な接着がされていないと脱離の可能性もあります。また、光透過型ファイバーポストはボンディング材やコンポジットレジンの重合には効果的であると思います。

しかし、近年の支台築造用コンポジットレジン自体の強度が向上しているため、ファイバーポストがなくても十分に補綴装置を維持できると考えます。

Q4 破壊様式、色素浸透試験で封鎖性は歯冠側、根尖側でどちら重要と考えるか。

A 均一に接着することが重要であるため、どちらがよいということはいえないと思います。ギャップがない界面での接着が封鎖性の向上にかかわると思います。

Q5 支台築造のトラブルとして築造しているもの歯根破折が多いが、そのようなことを想定した場合ではどのようなボンディング材有効と考えるか。

A 歯根と支台築造用レジンが一体となっていることが必要だと考えます。したがって、根管のいずれの部位でも接着が均一であった（ギャップの少ない）化学重合型が有効であると考えます。

Q6 ボンディング処理にかかる処理時間は3種類のボンディングシステムで違いがあるのではないか。

A 化学重合型では10～20秒で処理しますが、光重合型およびデュアルキュア型を問わず照射時間は20秒です。したがって、今回用いているものでは処理時間に大きな違いはありません。しかし、口腔内を想定するとラバーダム等で環境を整えることで接着阻害因子を少なくすることで時間の短縮を図れると考えます。

Q7 歯冠修復用コンポジットレジンには種々の色調があると思いますが、支台築造用コンポジットレジンの色調については検討をされていますか。

A 本研究で支台築造用コンポジットレジンの色調については検討をしていません。支台築造用コンポジットレジンでは色調の選択の種類があまり検討されていません。

Q8 本研究の臨床への応用のアプローチとして封鎖性、補綴装置の維持の観点からどのように考えますか。

A 深い窩洞に対して、根尖部から歯冠側まで均一な接着が封鎖性には重要であると考えます。十分な接着が得られれば補綴装置の維持も可能であると考えます。そのなかで根管の深さに依存しない維持力と封鎖性を示した化学重合型ボンディングシステムは有効であると考えます。

Q9 緒言のところに記載されていた、直接法の利点として歯質削除量を低減できることにより、歯根破折を予防できるとあったが、削除量と歯根破折は関連するか？

A アンダーカットが許容されるので残存歯質が多くなる点では破折のリスクは低減されると考えます。また、支台築造体の設計に自由度があるので最終補綴装置の設計に影響すると考えます。

Q10 接着強さに差がないのに接着に差が認められるのはなぜか。もう少し詳細に説明してください。

A 本研究で用いた押し出し試験では、押し出す際の摩擦（剪断）の影響があります。しかし、試料の厚みが1mmであれば問題ないとされていますので、試験方法には問題がないと考えます。破壊形態でみると界面破壊では“接着強さ”であるのに対して、凝集破壊となっている試料では“接着強さはそれ以上”であり、十分な接着がなされていると考えています。また、色素浸透試験でのギャップの割合が接着に影響していると考えます。“接着”とは接着強さだけではなく、本研究でも検討した破壊形態や封鎖性など、様々なファクターを考慮し、トータルで判断するものだと考えます。

Q11 ギャップ（割合）はどれくらいだと封鎖性に優れるのか。

A 0%が最もいいとは思いますが、どれくらいまで許容されるかは分かりませんので、今後検討したいと思います。

Q12 本研究ではボンディング材でしたが、CAD/CAM冠やレジンインレーなどを装着するレジンセメントではどのように考えるか。

A レジンセメントであっても化学重合型がよいのではないかと思います。しかし、CAD/CAM冠やレジンインレーのように透光性のものであれば、デュアルキュア型は十分な接着が期待できると思います。

とは難しい。