



Title	接着性シーラーを用いた根管充填が垂直歯根破折の抵抗性に及ぼす効果
Author(s)	河合, 大史
Citation	北海道大学. 博士(歯学) 甲第15015号
Issue Date	2022-03-24
DOI	10.14943/doctoral.k15015
Doc URL	http://hdl.handle.net/2115/90531
Type	theses (doctoral)
File Information	Daishi_Kawai.pdf



[Instructions for use](#)

博士論文

接着性シーラーを用いた根管充填が
垂直歯根破折の抵抗性に及ぼす効果

令和4年3月申請

北海道大学

大学院歯学研究科口腔医学専攻

河 合 大 史

抄録

垂直性歯根破折は歯頸部から根尖に向かって破折するだけではなく、根尖部から生じ歯冠側に破折していく症例も多い。この対策として、根管充填材を根管壁に接着することが有効と考えられ、本研究では接着性シーラーと、除去可能なポイントを併用した根管充填が破折抵抗性の向上に有効であるかを検討した。

成ブタの歯根を#80まで根管拡大後、S群はポイントを用いず4-META/MMA-TBBレジンのみで根管充填した。S-G群はS群の方法に加えて、ガッタパーチャポイントによる単一ポイント法を行った。S-F群はS群の方法に加えて、ノルマルヘプタンをプライマーとし塗付したポリプロピレン製のポイントを用いた単一ポイント法を行った。S-T群は根管壁を表面処理材グリーンで処理後、さらにセルフエッチングプライマーで処理した後に、4-META/MMA-TBBレジンのみで根管充填した。S-T-F群はS-F群の方法に加えてポリプロピレン製のポイントを用いた単一ポイント法を行った。M群はポイントを用いずにメタクリル酸エステル系シーラーのみで根管充填した。M-G群はM群の方法に加えて、ガッタパーチャポイントを用いた単一ポイント法を行った。M-F群はM群の方法に加えて、ポリプロピレン製のポイントを用いた単一ポイント法を行った。またC群はコントロールとして根管充填を行わなかった。

24時間後に歯軸に直交する方向で厚さ1.0mmに切断し、引張強さを計測した。その結果、S-T群とS-T-F群はほぼ同様の引張強さを示し、他のすべての群より有意($p>0.05$)に高い値を示し、C群の約1.6倍となった。

以上の結果から、根管壁を表面処理材グリーンで処理後にセルフエッチングプライマーでさらに処理を行い、4-META/MMA-TBBレジンでポリプロピレン製のポイントを接着することで、根管充填材の除去も可能で破折抵抗性の向上も得られることが示唆された。

キーワード：垂直歯根破折、4-META/MMA-TBBレジン、根管充填、フレックスポイント

緒言

2018年の8020推進財団の調査によれば、永久歯の抜歯原因はう蝕、歯周病に次いで破折が17.8%と3番目に多いことが報告されている¹⁾。さらにAxelssonらの報告によればメンテナンスによって高度に管理されていれば、う蝕や歯周病により歯を喪失することは少なく、歯根破折が大多数を占めている²⁾。したがって今後、う蝕や歯周病の予防やメンテナンスが広く浸透していくと、歯根破折での歯の喪失割合はさらに増加すると予想される。

垂直歯根破折は歯頸部から根尖部へと向かうものと、根尖部から歯頸部へと向かうものの2つのパターンがあり、その発生頻度は同程度であるとの報告がある^{3,4)}。歯頸部からの垂直歯根破折では近遠心方向、頬舌側方向への破折が混在している。一方で根尖部からからの垂直歯根破折ではその9割が頬舌側方向であったとされている^{3,4)}。この破折が生じる方向の違いから、歯頸部からの垂直歯根破折と根尖からの垂直歯根破折では発生のメカニズムが異なる可能性が示唆される。そのため、対策方法もそれぞれに合わせて考える必要があると思われる。

中谷らは、根尖部から生じる垂直歯根破折は、根尖部のマイクロクラックが咬合力によって歯が沈下する力に抵抗するために、歯根が歯根膜によって引っ張られ伸展していくというメカニズムを提唱している⁵⁾。また骨が一部で欠損している歯根に、根尖方向の力を加えると、骨欠損に面した歯根に亀裂が生じることから⁵⁾、扁平な歯根では骨欠損がなくても歯の沈下に抵抗する歯根膜の張力によって長径に垂直方向に大きな牽引力が働き、頬舌方向に破折線が生じる可能性が指摘されている。

さらに根尖部から歯根が破折する原因はいくつかの報告がある。過剰な根管拡大形成により根管壁が薄くなることや⁶⁾、根尖孔が大きく開大されること⁶⁾、加圧充填時に過剰な力を加えること^{7,8)}、根管壁を侵食する水酸化カルシウムの長期根管貼薬⁹⁻¹¹⁾などは、破折の危険性を高めるとの実験結果があるが、根管充填時の力では歯根破折は生じないとの結果も報告されている^{12,13)}。また、根管形成時、特にNi-Tiロータリーファイルを用いた場合にマイクロクラックがかなりの頻度で発生するとされている¹⁴⁻¹⁷⁾。しかし、これらの抜去歯を用いたin vitroの実験では、歯根の亀裂は必ずしも頬舌方向に限らないと推測されること、臨床的にはこれらを原因と推察する根尖からの垂直歯根破折は報告されていないことから、歯内療法が根尖からの歯根破折の原因となっていることは少ないのではないかと考えられる。一方、ヒトの歯根に4点曲げ試験を行い、レーザー走査型共焦点顕微鏡で観察した研究では、歯根膜による張力がマイクロクラックそのものを生じさせる可能性が報告されている¹⁸⁾。

したがって、根尖方向からの垂直歯根破折は様々な要因が複雑に絡み合って引き起こされると考えられ、有力な原因を特定することは困難なのが現状であろう。しかし、原因は特定できなくても、根管壁に象牙質に近似した物性の材料を接着し、歯根全体を一体化することにより、破折抵抗性を向上させる可能性が提唱されている¹⁹⁾。抜去歯を用いて4-

META/ MMA-TBB レジンで作製したポイントを根管壁に 4-META/ MMA-TBB レジンで接着すると、ガッタパーチャポイントを接着した場合に比べて、破折抵抗性を有意に向上させることができたと報告されており²⁰⁾、ある程度の硬さのある根管充填材を接着することは根尖からの破折を予防する有効な方法になる可能性がある。しかし、この方法では充填材の除去が難しく再根管治療ができないことや、歯冠補綴時にポストを形成できないことが問題となる。そこで本実験では、除去可能な根管充填材を根管壁に接着させる方法で破折抵抗性を向上させることが可能かを検討した。

材料と方法

1) 試料と根管拡大・根管充填方法

実験には成ブタの下顎臼歯を抜歯し分割して用いた。歯根表面の軟組織を取り除き、歯冠を精密切断機（プレシソーCL40，三啓）によって切断し歯根長を 15 mm とした。K ファイル（マニー）を用いて #55 まで根尖孔の穿通を行い、作業長 14 mm で #80 まで根管形成を行って、次の方法で根管充填を行った。

S 群：ポイントを使用せずに 4-META/ MMA-TBB レジン（スーパーボンド，サンメディカル）のみで根管充填した。

S-G 群：S 群の根管充填法に加えて、ガッタパーチャポイント（ガッタパーチャポイント，モリタ）を用いた単一ポイント法で行った。

S-F 群：S 群の根管充填法に加えて、ポリプロピレン製のポイント（フレックスポイント「ネオ」，ネオ製薬工業株式会社）を用いた単一ポイント法で行った。

S-T 群：S 群と同様に根管壁を処理した後に、根管壁をセルフエッチングプライマー（テイスプライマー，サンメディカル）で処理し、S 群の根管充填法を行った。

S-T-F 群：ST 群の根管充填法に加えて、フレックスポイントを用いた単一ポイント法で行った。

M 群：ポイントを用いずにメタクリル酸エステル系シーラー（メタシール Soft，サンメディカル）のみで根管充填した。

M-G 群：M 群の根管充填法に加えて、ガッタパーチャポイントを用いた単一ポイント法で行った。

M-F 群：M 群の根管充填法に加えて、フレックスポイント用いた単一ポイント法で行った。

C 群：根管充填しなかった。

S 群と S-F 群では 10 %クエン酸 3 %塩化第二鉄溶液（表面処理材グリーン，サンメディカル）を根管内に満たした。10 秒後に水洗し、乾燥させた後にスーパーボンド混和ラジオペーク（サンメディカル）をメーカー指示の通りにモノマー液，キャタリスト，ポリマー粉末を混和してシリンジ（テルモ）に吸引し、根管へ充填した。また S-T 群では根管

壁の表面処理剤グリーンで 10 秒処理，水洗乾燥してティースプライマー（サンメディカル）で根管を満たし，20 秒後にエアブローし，スーパーボンド混和ラジオペークをシリンジで充填した．またフレックスポイントは #60 の先端を切断し #80 として，ノルマルヘプタン（PPX プライマー，セメダイン）を塗布して使用した．

2) 引張試験

根管充填を行った各歯根は 100 %，37 °C で 24 時間保管し，プレシソー CL40 を用いて厚さが約 1.0 mm となるように根尖から 1.5 mm，3.0 mm，4.5 mm，6.0 mm の位置で歯軸に垂直方向に切断して，1 歯根あたり 4 枚の試料を作製した．各試料は近遠心壁の厚みが約 1.0 mm になるようにトリミングした（図 1）．試料の厚みはデジタルノギス（CD-S15C，ミットヨ）を用いて計測し，トリミングした根管の近遠心壁の厚みは光学顕微鏡で撮影した画像を用いて，Image J 1.48（NIH，USA）で計測した．その後，材料試験機（EZ-test，島津）を用いて頬舌側方向に引張試験を行った．

3) 引張試験破断様式の分類

引張試験を行った試料に光学顕微鏡を用いて 25 倍で観察した．引張り力が作用する破断部から離れた部位を引張り部，剪断力が生じる破断部周囲を剪断部として（図 1）それぞれについて以下の様に分類した．①シーラーの凝集破壊，②象牙質とシーラーの界面破壊，③象牙質とシーラーの混合破壊，④シーラーとポイントの界面破壊，⑤シーラーとポイントの混合破壊，⑥象牙質とシーラー，シーラーとポイントの混合破壊．

4) 走査型電子顕微鏡（SEM）観察

引張試験後，試料を自然乾燥させた後にイオンスプッター（E-1030，日立製作所）を用いて 120 秒間 Pt-Pd 蒸着し，加速電圧 10 kV で SEM（S-4800，日立製作所）観察を行った．

5) 評価方法

破断部の断面積と根管壁全周の面積を合計して，引張り強さを除して算出した値を破断強さとした．またシーラーの厚みを計測し，引張り強さとの関係を解析した．さらに根尖部から 1.5 mm，3.0 mm，4.5 mm，6.0 mm それぞれの位置での破断強さを比較した．統計学的処理は SPSS Ver.23（日本 IBM）を用いて Mann-Whitney U の検定を行なった．

結果

1) 引張試験

各群の破断強さは C 群では 7.22 MPa（中央値），S 群は 9.3 MPa，S-G 群は 7.4 MPa，

S-F 群は 9.3 MPa, S-T 群は 11.6 MPa, S-T-F 群は 11.3 MPa, M 群は 7.6 MPa, M-G 群は 7.2 MPa, M-F 群は 8.2 MPa であった (図 2). 各群間の検定結果を表 1 に示した. 根管充填を行った S 群, S-F 群, S-T 群, S-T-F 群, M 群, M-F 群は, いずれも根管充填していない C 群に対して有意に大きい値を示した ($p < 0.05$). 最も高い値を示した S-T 群と S-T-F 群は, 他の群に比べて有意差が認められた ($p < 0.05$) が, S-T 群と S-T-F 群の間に有意差は認められなかった ($p > 0.05$).

一方, 根尖からの距離と破断強さ (図 3) の関係を見ると, 根管充填していないコントロールでは, 根尖から 1.5 mm の位置で他の位置より破断強さがやや低かったが有意差はなかった. 根管充填を行った他の 8 群では, 部位による差はなく概ね同様の値を示した.

各群のシーラーの厚みは 28 μm ~ 258 μm と大きなばらつきがあったが, シーラーの厚みと引張強さとの散布図をみると, いずれのシーラーも厚みと引張強さの間に関連性はみられなかった (図 4).

2) 破断様式の分類 (図 5)

根管壁に引張力が加わった引張部の破断様式は, スーパーボンドを用いた 5 群の中では, ポイントを用いなかった S 群や S-T 群で象牙質とシーラーの界面破壊や混合破壊が多かったのに対して, ポイントを併用した S-G 群, S-F 群ではシーラーとポイントの界面破壊や混合破壊, あるいは象牙質とシーラー, ポイントの混合破壊が多くなった. メタシール Soft を用いた M 群, M-G 群, M-F 群では, スーパーボンドを用いた 5 群に比べてシーラーの凝集破壊が多く見られた.

破断部近傍で剪断力が加わった部位では, ポイント用いなかった S 群, S-T 群, M 群で引張部と類似の判断様式であった. 一方, ポイントとスーパーボンドを併用した S-G 群, S-F 群, S-T-F 群ではシーラーとポイントの界面破壊が減少して, 象牙質とシーラーの混合破壊が増加した. ポイントとメタシール Soft を併用した場合には, M-G 群はシーラーとポイントの混合破壊が減少して象牙質とシーラーの混合破壊が増加したが, M-F 群では引張部と大きな変化はなかった.

3) SEM 観察

S 群のシーラーの凝集破壊部では (図 6-a) では, 象牙細管内に切断されたレジンタグや管間象牙質へのスーパーボンドの残存がみられた. スーパーボンドとガッタパーチャポイントを併用した S-G 群の象牙質とシーラー, ポイントの混合破壊部では (図 6-b), 象牙細管や引きちぎられたガッタパーチャを思わせる凹凸が見られた. フレックスポイントを併用した S-F 群の象牙質とシーラー, ポイントの混合破壊部では (図 6-c), 象牙細管にレジンタグが残存し, シーラーとポイントの界面破壊を思わせる平坦な像がみられた. スーパーボンドにティースプライマーを併用した S-T 群では, 象牙細管やレジンタグはみ

られず、スーパーボンドの脆性破壊の様相であった（図 6-d）。S-T-F 群のポイントとシーラーの混合破壊部では、フレックスポイントの延性破壊を思わせる不整形の構造物（図 6-e 矢印）と、残存スーパーボンドの表面に円形の凸構造がみられた。

M 群、M-G 群、M-F 群の象牙質とシーラーの界面破壊部は同様の形態で、一部に象牙細管の露出があったが、多くの象牙質表面は不整形の構造物で覆われ、数 μm の球状物が多数観察された（図 6-f）。

考察

ガッタパーチャポイントと様々なシーラーを用いて根管充填し、破折抵抗性を調べたいくつかの実験では、破折抵抗性が十分に向上したという結果はなく²¹⁻²³⁾、根管充填によって破折抵抗性は向上できないのが現状と言える。また、垂直性歯根破折の研究ではレジンなどに歯を植立し固定し、根管内にロッドを挿入して歯軸に垂直方向に加圧したり、斜め方向への加圧を破折するまで行ったりする方法などが行われてきた²⁴⁻²⁷⁾。しかし根尖部からの垂直破折については、根尖から歯頸部まで破折している完全破折は必ずしも多くないため、強い衝撃や強大な加圧によるものより、根尖部に生じたマイクロクラックが、咬合力によって歯根膜に引っ張られて伸展していく可能性が高いと考えられる。したがって、根管内部から強大な力を加える実験では、誤った評価を行う危険性がある。そのため本研究では、歯軸と直交する方向へ引張試験を行った。

本研究ではシーラーとしてスーパーボンドとメタシール Soft を用い、ポイントはガッタパーチャポイントとフレックスポイントを用いて評価した。本研究で用いたスーパーボンド混和ラジオベークは根管充填用シーラーではないが、スーパーボンド根充シーラーと類似の組成であり、硬化が早く温度による影響を受けにくいこと、ポリマー量が相対的に多く、物性が高いことから選択した。また M 群で使用したメタシール Soft は、アミノ酸系重合開始剤を用いており、水分が多い根管壁から重合が開始する点では、スーパーボンド共通する特性であるが、除去性を高めるために物性を低下させ、ファイルによる切削を可能としている点が大きく異なっている。したがって、根管壁には接着性が高く、物性が異なるシーラーとしてこの 2 つを比較することとした。

ポイントは日常的に多用されているガッタパーチャポイントと、ガッタパーチャポイントに比べて強度が高いと考えられるフレックスポイントを使用した。フレックスポイントはポリプロピレンを主成分としているため、スーパーボンドやメタシール Soft は接着しないことから、ポリプロピレン用のプライマーを併用した。

その結果、S 群と M 群では、どちらも C 群に対して有意に大きな引張強さを示したことから、根管壁に接着することは破折抵抗性を上げるために、一定の効果が期待できると思われた。表面処理材グリーンとティースプライマーを併用した S-T 群が S 群に対して有

意に大きな引張強さを示したが、これは、酸処理後にティースプライマーを併用した中村ら²⁸⁾の研究で、併用することで象牙細管内の微細な脱灰やレジンの浸透が生じて接着強さが向上したという報告と一致するものであった。とくに根管内ではエアードライが不完全になりやすいが、ティースプライマーの方が表面処理材グリーン処理後のエアブローより寛容性があるために、破断強度が大きく向上した可能性も考えられた。

また、ガッタパーチャポイントを用いた S-G 群、M-G 群は、いずれも C 群との有意差は認められず、ガッタパーチャポイントを根管壁に接着させることは、破折抵抗性の向上には貢献しないと考えられた。しかし、メタシール Soft を用いた M-F 群では根管充填していない C 群より有意に破断強さが向上したが、その程度はわずかであり、臨床的な意義は低いと思われた。また、メタシール Soft のみで根管充填した M 群とフレックスポイントを併用した M-F 群は、いずれもシーラーの凝集破壊が他に比べて多く、シーラーの物性が低いために、ポイントの硬さに関係なく破断強さが向上しなかったものと考えられる。シーラーの物性は低くても、厚みを薄くすることで接着強さが向上して破折抵抗性があがる可能性も考えられたが、シーラーの厚みと破断強さを比較した結果では、シーラーの厚みは関連性が見られえなかったことから、物性の低いシーラーで破折抵抗性を向上させることは難しいと思われる。

一方、フレックスポイントとスーパーボンドを併用した S-F 群では、S-G 群に対して有意に大きな破断強さを示し、S 群とは有意差のない値を示した。破断様式をみると、引張部でも剪断部でも、ガッタパーチャとフレックスポイントで著しい差はなかったことから、破断強さに差が生じたのは、ポイントとの接着強さではなくポイントの物性の違いが大きく影響しているものと思われた。また、ティースプライマーを併用した S-T 群と S-T-F 群は、最も高い破断強さを示し、根管充填していない C 群の約 1.6 倍の値となった。このことは臨床的にも垂直歯根破折を減少させる効果が期待させるものであった。さらに、S-T 群と S-T-F 群はほぼ同様の値を示し有意差はなかったことから、フレックスポイントを併用してスーパーボンドの体積を減少させて重合収縮量を減らすことは、あまり意義がないと考えられる根管内での接着は configuration factor が最大となり、重合収縮の影響を受けやすいが、スーパーボンドは根管壁から重合が開始され、しかも硬化が緩慢という特徴から、根管壁でのコントラクションギャップの発生、接着強さの低下を招かなかつたのであろう。したがって、ポストの形成や再根管治療を想定しない場合には、根管内をすべてスーパーボンドのみで充填することが、簡便で封鎖性も高く²⁹⁾、破折抵抗性も向上が来たできる合理的な根管充填法と考えられる。しかし、破断面の分類結果を S-T 群と S-T-F 群で比較すると、S-T-F 群では引張部のシーラーとポイントの界面破壊と混合破壊を合わせると約 52 % あったことから、フレックスポイントとスーパーボンドの接着強さを向上させることで、さらに破折抵抗性が高くなる可能性が考えられた。

根管壁の接着性は根尖部と上部で異なり、根尖部では根管上部より接着性が低下すると

言われている³⁰⁾。そこで、本実験での破折抵抗性を根尖から 1.5 mm, 3.0 mm, 4.5 mm, 6.0 mm の位置で比較した。しかし、本研究ではいずれの部位でも同等の接着強さがみられ、部位による差は見られなかった。これは、スーパーボンドやメタシール Soft が象牙質の性状によって影響を受けることなく良好に接着することを意味していると考えられる。

本研究では成ブタの歯根を用いた。これは、白歯の歯根の大きさがヒトの小白歯に近いこと、歯種にばらつきがなく安定的に入手が可能なためであるが、ブタの歯根を用いた研究は多いとは言えず、ヒトの歯根との違いについては明確になっていない。したがって、今後は本研究結果をヒトの歯で検証することが課題の一つである。また、レジンは長期的に接着強さが低下することから、向上した破折抵抗性がどの程度の期間維持されるのかも大きな検討課題である。さらに、垂直歯根破折には多くの要因が関与していることから、臨床研究によってその効果を確認することが必要であろう。

結論

スーパーボンドとメタシール Soft, ガッタパーチャポイントとフレックスポイントを組み合わせる根管充填を行い、破折抵抗性を検討した。その結果、次のことが明らかとなった。

1. ガッタパーチャポイントを根管壁に接着することは、破折抵抗性の向上が期待できない。
2. スーパーボンドの表面処理材グリーンにティースプライマーを併用することで、接着強さが向上した。
3. スーパーボンドのみで根管を充填する方法と、さらにフレックスポイントを併用する方法が破折抵抗性の向上に効果的で、根管充填していない歯根の約 1.6 倍を示した。

参考文献

- 1) 公益財団法人 8020 推進財団. 第 2 回永久歯の抜歯原因調査報告書 2018;1-8.
- 2) Axelsson P, Nyström B, Lindhe J. The long-term effect of a plaque control program on tooth mortality, caries and periodontal disease in adults. Results after 30 years of maintenance. *J Clin Periodontol.* 2004; 31: 749-757.
- 3) Sugaya T, Nakatsuka M, Inoue K, Tanaka S, Miyaji H, Sakagami R, Kawamami M. Comparison of fracture sites and post lengths in longitudinal root fractures. *J Endod.* 2015; 41:159-163.
- 4) 菅谷 勉. 垂直歯根破折の実態と接着治療の理論的背景. *日歯補綴誌.* 2014; 6:14-19.
- 5) 中谷充宣. 裂開状骨欠損が垂直歯根破折抵抗性に及ぼす影響. *日保存誌.* 2017; 146 回春季学会プログラム抄録集: 145.
- 6) Standlee JP, Caputo AA, Holcomb J, Trabert KC. The retentive and stress-distributing properties of a threaded endodontic dowel. *J Prosthet Dent.* 1980; 44: 398-404.
- 7) Holcomb JQ, Pitts DL, Nicholls JI. Further investigation of spreader loads required to cause vertical root fracture during lateral condensation. *J Endod.* 1987; 13: 277-284.
- 8) Barreto MS, Moraes Rdo A, Rosa RA, Moreira CH, Só MV, Bier CA. Vertical root fractures and dentin defects: effects of root canal preparation, filling, and mechanical cycling. *J Endod.* 2012; 38: 1135-1139.
- 9) Andreasen JO, Farik B, Munksgaard EC. Long-term calcium hydroxide as a root canal dressing may increase risk of root fracture. *Dent Traumatol.* 2002; 18: 134-137.
- 10) Doyon GE, Dumsha T, von Fraunhofer JA. Fracture resistance of human root dentin exposed to intracanal calcium hydroxide. *J Endod.* 2005; 31: 895-897.
- 11) Zarei M, Afkhami F, Malek Poor Z. Fracture resistance of human root dentin exposed to calcium hydroxide intervisit medication at various time periods: an in vitro study. *Dent Traumatol.* 2013; 29:156-60.
- 12) Lertchirakarn V, Palamara JE, Messer HH. Load and strain during lateral condensation and vertical root fracture. *J Endod.* 1999; 25:99-104.
- 13) Barreto MS, Moraes Rdo A, Rosa RA, Moreira CH, Só MV, Bier CA. Vertical root fractures and dentin defects: effects of root canal preparation, filling, and mechanical cycling. *J Endod.* 2012; 38:1135-1139.
- 14) Lam PP, Palamara JE, Messer HH. Fracture strength of tooth roots following canal preparation by hand and rotary instrumentation. *J Endod.* 2005; 31:529-32.
- 15) Saha SG, Vijaywargiya N, Saxena D, Saha MK, Bharadwaj A, Dubey S. Evaluation of the incidence of microcracks caused by Mtwo and ProTaper Next rotary file systems

- versus the self-adjusting file: A scanning electron microscopic study. *J Conserv Dent.* 2017; 20: 355-359.
- 16) Lin GSS, Singbal KP, Noorani TY, Penukonda R. Vertical root fracture resistance and dentinal crack formation of root canal-treated teeth instrumented with different nickel-titanium rotary systems: an in-vitro study. *Odontology.* 2021; doi: 10.1007/s10266-021-00643-y.
 - 17) Kim HC, Lee MH, Yum J, Versluis A, Lee CJ, Kim BM. Potential relationship between design of nickel-titanium rotary instruments and vertical root fracture. *J Endod.* 2010; 36: 1195-1199.
 - 18) Eltit F, Ebacher V, Wang R. Inelastic deformation and microcracking process in human dentin. *J Struct Biol.* 2013; 183:141-8.
 - 19) Tay FR, Pashley DH. Monoblocks in root canals: a hypothetical or a tangible goal. *J Endod.* 2007; 33: 391-398.
 - 20) 鷺巣 太郎,菅谷 勉.4-META/MMA-TBB レジンシーラーとレジン製ポイントを用いた根管充填による垂直歯根破折抵抗性.接着歯学. 2016; 34, 9-15.
 - 21) Cavalcante DM, Belladonna FG, Simões-Carvalho M, Carvalhal JCA, Souza EM, Lopes RT, Silva EJNL, Dummer PMH, De-Deus G. Do pre-existing microcracks play a role in the fracture resistance of roots in a laboratory setting? *Int Endod J.* 2020; 53: 1506-1515.
 - 22) Uzunoglu Ozyurek E, Aktemur Turker S. Evaluation of fracture resistance of roots-filled with various root canal sealers at different time periods. *Eur Oral Res.* 2019; 53: 6-11.
 - 23) EL-Ma'aita AM, Qualtrough AJ, Watts DC. Resistance to vertical fracture of MTA-filled roots. *Dent Traumatol.* 2014; 30:36-42.
 - 24) Dibaji F, Afkhami F, Bidkhor B, Kharazifard MJ. Fracture Resistance of Roots after Application of Different Sealers. *Iran Endod J.* 2017; 12: 50-54.
 - 25) Bhat SS, Hegde SK, Rao A, Shaji Mohammed AK. Evaluation of resistance of teeth subjected to fracture after endodontic treatment using different root canal sealers: an in vitro study. *J Indian Soc Pedod Prev Dent.* 2012; 30:305-309.
 - 26) Lertchirakarn V, Poonkaew A, Messer H. Fracture resistance of roots filled with gutta-percha or RealSeal®. *Int Endod J.* 2011; 44:1005-10.
 - 27) Okitsu M, Takahashi H, Yoshioka T, Iwasaki N, Suda H. Effective factors including periodontal ligament on vertical root fractures. *Dent Mater J.* 2005; 24: 66-69.
 - 28) 中村光夫,野川博史,宮森紗耶香,吉川真穂,今井啓文,小泉寛恭：象牙質接着に対する各種表面処理材とセルフエッチングプライマーの併用効果. *Adhes Dent.* 2017; 35: 33-39.

- 29) 中澤篤史,菅谷 勉,川浪雅光：レジシン系シーラーの種類と根充方法が根尖封鎖性に及ぼす影響. 北海道歯誌. 2014; 34:87-96.
- 30) Yoshiyama M, Carvalho RM, Sano H, Horner JA, Brewer PD, Pashley DH. Regional bond strengths of resins to human root dentine. J Dent. 1996; 24: 435-442.

図表

図1

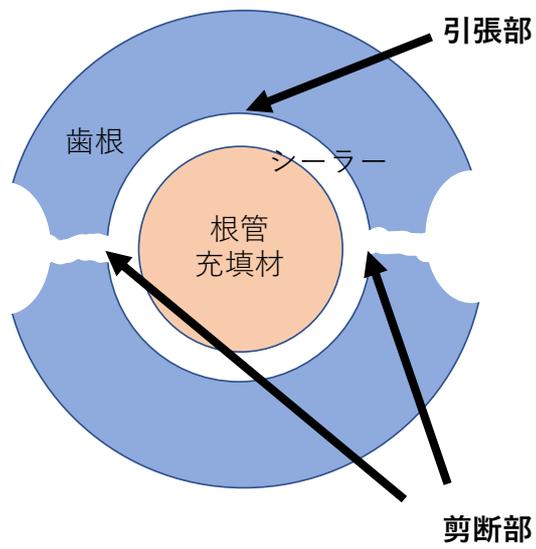


图 2

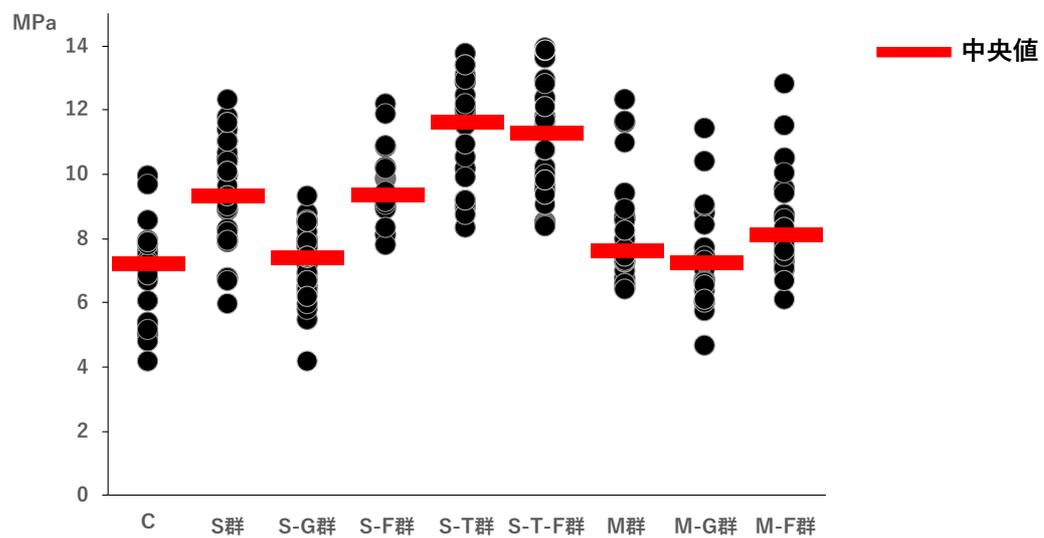


图 3

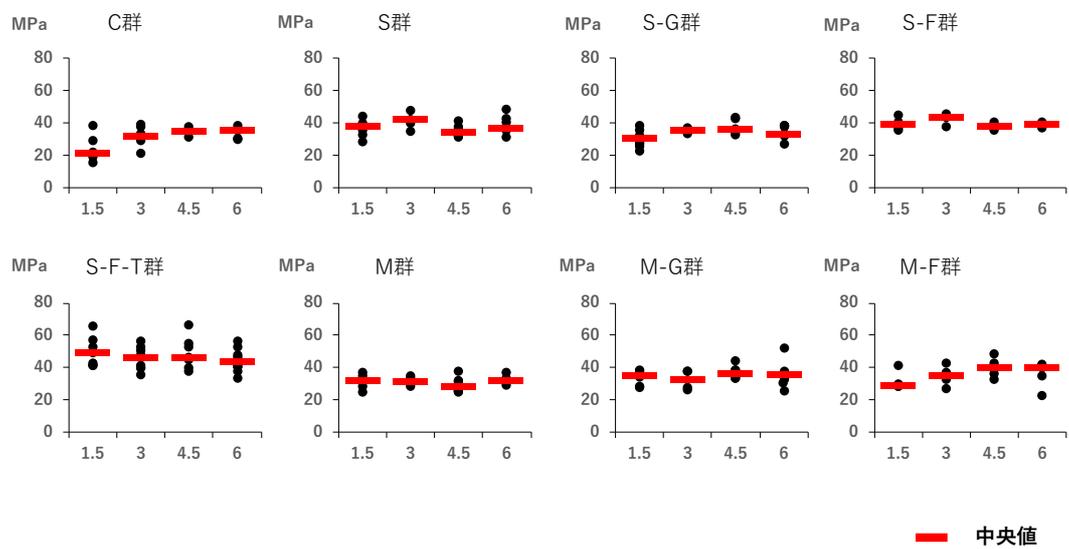


図 4

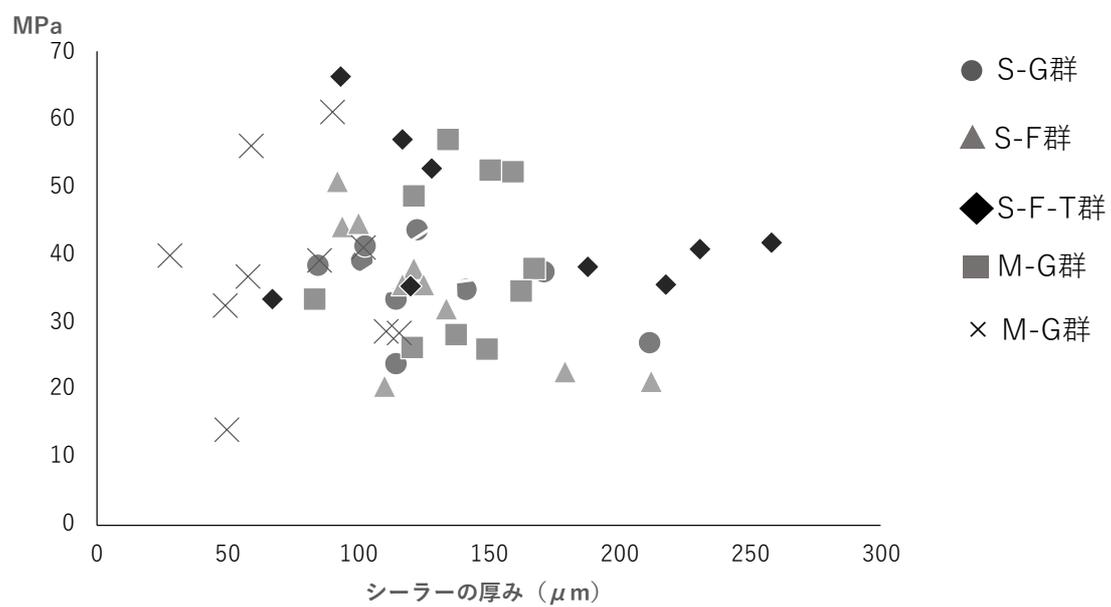


図 5

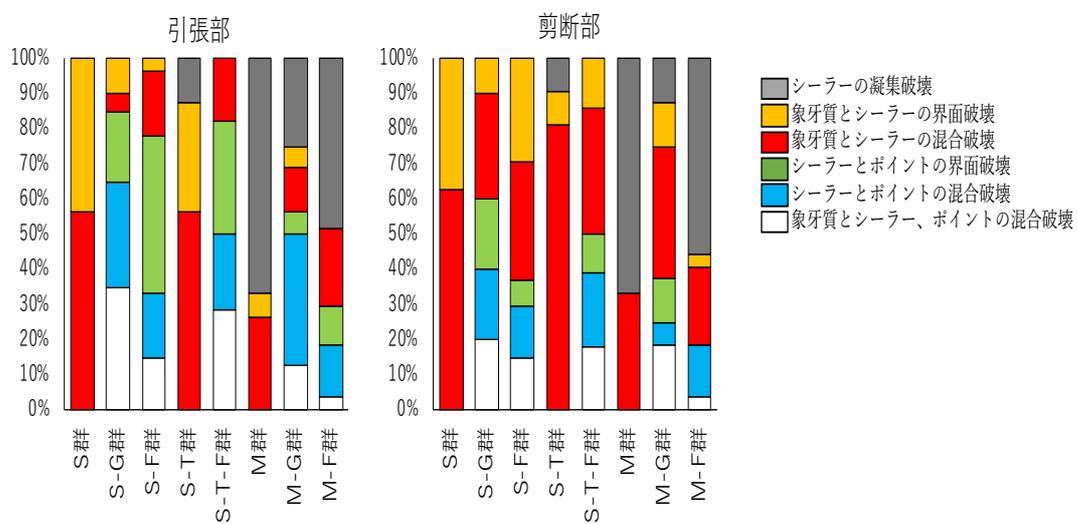


图 6

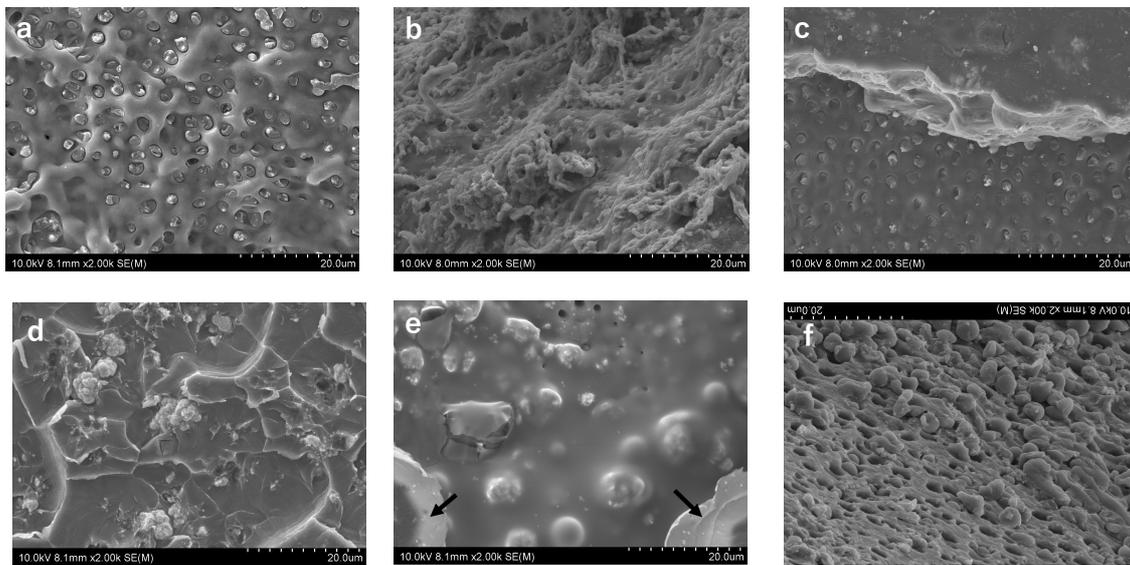


表 1

	C群	S群	S-G群	S-F群	S-T群	S-T-F群	M群	M-G群	M-F群
C群	*	*	*	*	*	*	*	*	*
S群	< 0.001	*	*	*	*	*	*	*	*
S-G群	0.461	< 0.001	*	*	*	*	*	*	*
S-F群	< 0.001	0.604	< 0.001	*	*	*	*	*	*
S-T群	< 0.001	0.001	< 0.001	0.006	*	*	*	*	*
S-T-F群	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.002	0.773	*	*	*	*
M群	0.046	0.015	0.084	0.001	< 0.001	< 0.001	*	*	*
M-G群	0.769	< 0.001	0.775	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.078	*	*
M-F群	0.004	0.044	0.009	0.004	< 0.001	< 0.001	0.307	0.012	*

図表説明

図1 歯根のトリミングと破断様式の評価部位

図2 各群の破断強さ

図3 各群の根尖からの距離と破断強さ

図4 各群のシーラーの厚みと破断強さ

図5 破断様式の種類

図6

a: S群のシーラーの凝集破壊部

b: S-G群の象牙質とシーラー,ポイントの混合破壊部

c: S-F群の象牙質とシーラー,ポイントの混合破壊部

d: S-T群のシーラーの凝集破壊部

e: S-T-F群のポイントとシーラーの混合破壊部

f: M群の象牙質とシーラーの界面破壊部

表1 各群間の検定結果 (p値)