



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	メタクリル酸エステル系接着性シーラーの封鎖性と生体親和性に及ぼす水の影響
Author(s)	鈴木, 魁
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(歯学)
Dissertation Number	甲第15016号
Issue Date	2022-03-24
DOI	https://doi.org/10.14943/doctoral.k15016
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/90425
Type	doctoral thesis
File Information	Kai_Suzuki.pdf



博士論文

メタクリル酸エステル系接着性シーラーの
封鎖性と生体親和性に及ぼす水の影響

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

鈴木 魁

抄録

側枝やフィン、イスマスなど狭い間隙部を封鎖するにはシーラーが重要な役割を担っているが、それらの部位にはペーパーポイントが到達しないため乾燥することが困難で、水が残留している場合が多く、現在使用されているシーラーでは、水が混和すると硬化や接着が阻害されるため封鎖性が低下すると考えられる。しかし、4-methacryloxyethyl trimellitate anhydrideと2-hydroxyethylmethacrylate、水を主成分としているメタクリル酸エステル系シーラー（メタシールSoftペースト、以下MSSP）は、ある程度の量の水が混和しても硬化や接着が期待される。そこで本研究では、水を混和した場合や湿潤状態にある象牙質面へのシーラーの封鎖性、および水を混和した場合の生体親和性への影響を評価した。

MSSPに蒸留水を体積比で1:0または1:1で混和し、溶解率と重合率を計測した。次に、MSSP、AH Plus[®]、チャンネルスNを用い、シーラー：蒸留水を質量比で1:0, 1:0.1, 1:0.2, 1:0.3で混和し、牛歯から作製した象牙質ブロックに塗布、硬化後に色素浸透試験を行った。また、同様の方法で、表面を水で浸潤させた象牙質ブロックに、水を混和していない各シーラーを塗布して色素浸透試験を行った。さらに、水を混和したシーラーをラット皮下結合組織に埋入し、病理組織学的に炎症状態を評価した。

その結果、MSSPは水の混和率が1:1でも溶解率や重合率に変化はなかった。また、水を混和したシーラーの色素浸透率は、MSSPでは大きな影響がみられなかったが、AH Plus[®]やチャンネルスNは水の混入率が1:0.2になると色素浸透量が大きくなり、MSSPに対して有意に色素浸透率が高くなった ($p=0.035$)。さらに、MSSPは象牙質面上の水の有無で色素浸透率に大きな影響はなかったが、AH Plus[®]およびチャンネルスNに比較して有意 ($p<0.001$) に色素浸透率が低かった。一方、MSSPは水を混和して練和直後に移植した場合でも炎症はほとんど見られなかったが、AH Plus[®]やチャンネルスNは強い炎症みられ、MSSPは他の2群に対して有意 ($p<0.001$) に炎症が少なかった。

以上の結果から、MSSPは水が混和しても重合率が低下せず象牙質への封鎖性に影響がほとんどなく、湿潤状態の象牙質に対しても高い封鎖性が得られるとともに、水が混和しても高い生体親和性があることが明らかになった。

本文

【緒言】

難治性根尖性歯周炎は、側枝やフィン、イスマスなどの解剖学的な根管形態¹⁾、根管形成時のエラーであるレジヤジップなどにより、機械的清掃が不可能なファイルが到達しない部位に残存する細菌が原因となることがある²⁾。これらの部位に対しては根管洗浄と根管貼薬により殺菌が行われるが、その効果は十分とは言えない^{3,4)}。根管内に次亜塩素酸ナトリウムを満たして受動的に超音波振動を加えるpassive ultrasonic irrigationが日常的に行われているが、細菌除去は十分とは言えず⁵⁾、さまざまな検討が行われているが、とくに側枝など機械的清掃が困難な部位では十分な効果が得られていないのが現状である⁵⁾。根管貼薬により長時間の殺菌を行うことも行われているが、ホルムクレゾールなど生体に有害性の高い消毒剤を用いても、完全に殺菌することはできない⁶⁾。

とくに、一度根管充填された歯で根尖病変が存在する症例で、レジヤジップをはじめとする根管形態の変化が生じている場合には、再治療しても成功率は62 %にすぎなかったという報告もあり⁷⁾、最も感染根管治療が難しいと考えられる。レジヤジップに対しては、プレカーブを付与したファイルを未切削の根管壁に到達させて切削することが試みられているが、きわめて難易度の高い治療である。

一方、根管内に導電性の薬液をいれて高周波電流を通電すると、根管の細い部位ではインピーダンスが大きくなるため電流密度が高くなってジュール熱が発生⁸⁾し、根管壁のコラーゲンが蒸散したり根管壁が熔融凝固したりすることが報告⁹⁾されており、レジヤなどでファイルが届かない部位でも殺菌できる可能性が示されている。その一方で、無菌化できたとしてもファイルが到達しない根管は、封鎖が大きな課題となる。

現在、ガッタパーチャとシーラーを用いた加圧根管充填法がスタンダードになっているが、ファイルが到達しない根管の封鎖では適切な加圧は難しく、シーラーの封鎖性が大きな役割を果たすと考えられる。しかし、現在使用されているシーラーのほとんどは、乾燥した根管であっても単独では高い封鎖性が得られないとの報告が多い¹⁰⁾。一方、レジン系接着性シーラーは加圧しなくても高い封鎖性が得られるとの報告はあるが¹¹⁾、ファイルが到達しない根管はペーパーポイントも届かず、乾燥することがほぼ不可能で、多量に水分が残留している根管壁では接着性が低下するため、十分な封鎖性は得られていない¹²⁾。

一方、メタクリル酸エステル系シーラーは、4-methacryloxyethyl trimellitate anhydride (4-META) と2-hydroxyethylmethacrylate (HEMA) 、水を主成分としており、一般的にこのような組成物を室温で重合させることは困難であるが、親水性重合開始システムを成分中に含めることにより高い重合率を得ることに成功している。このことから、根管内にある程度の量の水があっても吸水し、高い重合率や封鎖性が得られる可能性がある。そこで本研究の目的は、このシー

ラーに水が混和した場合の封鎖性や生体親和性、水が湿潤した象牙質面に対する封鎖性を評価することである。

【材料と方法】

実験 1. 水が混和したメタクリル酸エステル系シーラーの硬化状態

メタクリル酸エステル系シーラー（メタシールSoftペースト，サンメディカル，以下MSSP）に蒸留水を体積比で1：0または1：1で混和し，48時間硬化させ，以下の方法で溶解率（JIS T 6522）および重合率の計測を行った．重合率は，「硬化物からの溶出成分」／「硬化物に含まれるモノマー量」で未反応モノマーの溶出率を計測することにより算出した．

また，MSSPに蒸留水を1：0または1：0.3の割合で混和し，48時間硬化させてイオンスパッター（E1030，日立製作所）を用いてPt-Pd蒸着し，表面形態を走査型電子顕微鏡（S-4800，日立製作所，以下SEM）で観察した．

実験 2. 水を混和したシーラーの封鎖性

1. 象牙質片の作製と被着面の処理方法

冷凍保存したウシ抜去歯の歯冠を切除，歯髄を除去し，歯根から3×3×2 mmの象牙質片を作製した．表面を#100耐水研磨紙を用いて研削し，被着面を17 % EDTA（17 % EDTAリキッド，ペンロンジャパン）で2分処理後，5 mlの蒸留水で水洗し，エアードライした．

2. シーラーの被着面への塗布方法

メタシールSoftペースト（サンメディカル），AH Plus®（デンツプライシロナ），キャナルスN（昭和薬品化工）をメーカー指示に従って練和後，各シーラーに蒸留水を重量比で1：0，1：0.1，1：0.2，1：0.3の割合で混和し，被着面に塗布，静置した．その後，37 °C，湿度 100 %で24時間硬化させ，試験片とした．各シーラーの主成分は表1の通りである．

3. 色素浸入試験

各試験片（各群 n=10）に，被着面を除いてネイルバーニッシュを塗布し，0.5 %塩基性フクシン溶液（塩基性フクシン，和光純薬工業）に浸漬した．24時間後に試験片を取り出し，即時重合レジンで包埋，試料中央で被着面に垂直な方向で切断した．その後，デジタルマイクロスコープ（VHX-5000，キーエンス）を用いてシーラーと象牙質被着面の界面に浸入した色素の距離を測定し，色素浸入率（%）=両側からの色素浸入距離の和／象牙質片の長さ×100を算出した．

統計分析は統計処理ソフト（SPSS Statistics version 22.0，日本IBM）を用いてKruskal Wallis検定とMann Whitney-U検定を行った．

また MSSP の一部の試料は 6N 塩酸に 5 秒間、1 %次亜塩素酸ナトリウム溶液に 5 分間浸漬、水洗、乾燥を行って、イオンスパッター (E1030, 日立製作所) を用いて Pt-Pd 蒸着し、接着界面の SEM (S-4800, 日立製作所) 観察を行った。

実験 3. 水が浸潤した象牙質面に対するシーラーの封鎖性

1. 象牙質片の作製と被着面の処理方法

実験2と同様に作製, EDTA処理後, ネイルバーニッシュを行った。

2. シーラーの被着面への塗布方法

MSSP, AH Plus®, キャナルスNをメーカー指示通りに練和後, 被着面に蒸留水を滴下し, 水が湿潤している状態, またはエアードライ後に, 各シーラーを塗布, 静置した。その後, 37 °C, 湿度100 %で24時間硬化させ, 試験片とした。

3. 色素浸入試験

実験 2 と同様に試験を行い, 統計処理した。また, 一部の試料はイオンスパッター (E1030, 日立製作所) を用いて Pt-Pd 蒸着し, 接着界面の SEM (S-4800, 日立製作所) 観察を行った。

実験 4. 水を混和したシーラーに対する組織反応

10週齢の雄性Wistar系ラットを実験に供した (北海道大学動物実験会承認番号 20-0115) 。ラットに塩酸メドミジン (ドミツール®, 日本全薬工業) 0.75 mg, ミダゾラム (ドルミカム®, アステラス製薬) 10.0 mg, 酒石酸ブトルファノール (ベトルファール®, Meiji Seikaファルマ) 12.5 mgを混合, 注射用水を加え全量を50 mlとした三種混合麻酔薬を0.01 ml/g腹腔内投与して全身麻酔を行い, 背部を切開, 次の条件で練和したシーラーを皮下結合組織内に埋入し, ただちに切開部を縫合した。

シーラーはMSSP, AH Plus®, キャナルスNの3種とし, 各シーラーに蒸留水を重量比で1:0または1:0.3の割合で混和して埋入試料とした。埋入はシーラーを練和直後または24時間硬化後に行った。

観察期間は2週とし, 埋入したシーラーを周囲組織とともに一塊として摘出, 4 %中性緩衝ホルマリン溶液で浸漬固定を行った。通法によりパラフィン包埋後, 厚さ6 μmの切片を作製し, ヘマトキシリン-エオジン重染色 (H-E染色) を行って, 光学顕微鏡で評価した。評価方法は, 組織とシーラーが接触している部位を200倍で無作為に4か所撮影し, 炎症性細胞浸潤状態を Zmenerら¹³⁾の方法を改変して, ①炎症なし: 炎症性細胞浸潤なし ②軽度: 数層の炎症性細胞浸

潤 ③中程度：10層程度の炎症性細胞浸潤 ④重度：幅広い炎症性細胞の浸潤 の4段階に分類した。

【結果】

実験 1. 水が混和したメタクリル酸エステル系シーラーの硬化状態

MSSPの溶解率は、水の混和率が体積比で1：0では0.86 %，1：1では0.84 %であった。重合率はそれぞれに97 %と96 %であった。

SEMによる形態を、水の混和率が体積比で1：0と1：0.3で比較すると、表面にはわずかに気泡がみられたが、いずれもほぼ同様の形態であった（図1A, B）。

実験 2. 水を混和したシーラーの封鎖性

MSSPは辺縁部にわずかに色素の浸入を認める程度で、蒸留水の混和により大きな差は見られなかった（図2A, B, C）。一方、AH Plus[®]は水を混和しなければ、色素浸入はMSSP同様に辺縁部にわずかにみられる程度であったが、水を混和すると色素浸入量が大きくなるものが増加した（図2D, E）。チャンネルNは水の混和にかかわらず、シーラーと象牙質の界面にはほとんど色素が浸入していた（図2F）。

SEM観察では、MSSPは水を混和しなかった場合には、象牙細管に数十 μm のレジンタグが観察された（図3A）。水を混和した場合にはやや短い傾向がみられた（図3B）が、数 μm のハイブリッド層が観察された。

色素浸入率は、MSSPは蒸留水を混入しても大きな影響がみられず、水の混入率によって色素浸入率に有意差($p=0.27$)はなかった（Kruskal Wallis検定）。AH Plus[®]は水の混入率が高くなると色素浸入率が大きくなり、チャンネルNは水の混和がなくても色素浸入が大きかった（図4）。シーラーに対して水の混入率が重量比で1：0.2になると、AH Plus[®]とチャンネルNはMSSPに対して有意に色素浸入率が高くなった（ $p=0.035$, Mann-Whitney U検定）。

実験 3. 水が浸潤した象牙質面に対するシーラーの封鎖性

象牙質表面に水が浸潤している状態でシーラーを塗布すると、MSSPでは乾燥している場合にくらべてわずかに色素浸入が大きくなる程度であったが（図5A）、AH Plus[®]（図5B）とチャンネルN（図5C）では、著しく色素浸入量が大きくなり、ほぼ全面に浸入している試料も多数みられた。

SEM観察では、MSSPは水が浸潤した象牙質面に塗布した試料でも、界面に間隙はほとんどみられず、数十 μm のレジンタグの形成が観察された（図6A, B）。

色素浸入率は、MSSPでは象牙質面上の水の有無で有意差がなかったが($p>0.05$)、AH Plus®は水が浸潤した象牙質面では有意 ($p<0.001$) に色素浸入率が高くなった (図7)。チャンネルスNでは象牙質面に水がなくても色素浸入率は高かったが、水があると有意 ($p<0.001$) に大きくなった。象牙質面に水が浸潤している場合の色素浸入率を3種のシーラーで比較すると、MSSPはAH Plus®およびチャンネルスNに比較して有意 ($p<0.001$) に色素浸入率が低かった。

実験 4. 水を混和したシーラーに対する組織反応

シーラーに水を混和せず、24時間硬化させた後に移植した場合、MSSPは硬化体の表面に炎症性細胞の浸潤はほとんどみられなかった (図7A)。一方、AH Plus®ではリンパ球を中心とした炎症性細胞がシーラー表層から30 μm 程度にみられ (図7B)、チャンネルスNでは炎症性細胞浸潤のある結合組織はさらに厚みを増していた (図7C)。

水を混和して24時間硬化させた後に移植した場合には、MSSPは水がない場合とほぼ同様に炎症性細胞はほとんどみられなかった (図7D)。しかし、AH Plus®では炎症の範囲は拡大しており (図7E)、チャンネルスNではシーラー内部および周囲に高い密度でリンパ球が観察され、浸潤範囲も広がった (図7F)。

シーラーに水を混和せずに練和し、直ちに皮下結合組織内に埋入した場合、MSSPは著しく崩壊して大部分が吸収されており小さな顆粒状に分散していた (図8A)。顆粒状に分散したMSSP内部には多数のリンパ球が観察されたが、周囲に広く炎症性細胞がみられることはなかった。AH Plus®ではシーラー内部はほとんど空洞になっており顆粒状のシーラーが散在していた。周囲には炎症細胞浸潤が見られ、硬化後に埋植した場合より高密度で広範囲であった (図8B)。チャンネルスNではシーラー内部へのリンパ球浸潤がみられ、シーラー周囲では硬化後に埋入した場合より炎症性細胞が多く、広範囲であった (図8C)。

シーラーに水を混和して直ちに皮下結合組織内に埋入した場合、MSSPは水を混和しなかった場合よりさらに吸収されており (図8D)、シーラー内部には水を混和しなかった場合と同様にリンパ球が多数みられた (図8E)、周囲には炎症性細胞はほとんど観察されなかった。AH Plus®では水を混和しなかった場合と同様に空洞になっており、シーラーは顆粒状に散在していた。周囲には炎症性細胞浸潤が多数みられ、その範囲も広がっていた (図8F)。チャンネルスNでは水を混和しなかった場合よりさらにシーラー内部および周囲への炎症性細胞の浸潤が著しかった (図8G)。

各シーラー周囲の炎症状態を分類した結果 (図9)、MSSPは水を混和せずに硬化させて埋入した場合では、シーラー周囲に炎症が生じなかったものが50%あり、水を混和させて埋入した場合には21%に低下したが、いずれも炎症の程度は軽度であった。練和直後に埋入した場合は、水の混和にかかわらず、ほとんど炎症が出現せず、硬化させてから埋入した場合よりも有意 ($p=0.002$, $p<0.001$) に炎症が減少した。

AH Plus®は水を混和せずに硬化後に埋入した場合では、軽度の炎症が50 %、中程度の炎症が42%であったが、水を混和すると軽度炎症が減少して中程度の炎症が50 %に増加し、重度炎症もみられ、有意 (p=0.009) に炎症は悪化した。練和直後に埋入した場合、水の混和にかかわらず重度の炎症が50 %に増加し、硬化してから埋入した場合に比較して有意 (p<0.001と p=0.018) に悪化した。

キャナルスNは水を混和せずに硬化後に埋入した場合では、中程度の炎症が42 %と最も多く、軽度と重度の炎症もみられた。一方、水を混和すると重度炎症が83 %と増加し、有意 (p<0.001) に炎症が悪化した。練和直後に埋入した場合、水を混和しないと重度炎症が62.5 %であったが、水を混和した場合は重度炎症が96 %を占めており、水の混和により有意 (p=0.005) に悪化した。また、硬化後に埋入した場合と比較すると、水を混和しない場合では有意に炎症が悪化した。水を混和した場合には有意差 (p>0.05) はなかった。

3つのシーラーを、水を混和して練和直後に埋入した場合で比較すると、MSSPは他の2群に対して有意 (p<0.001) に炎症が少なかった。

【考察】

本研究は、ファイルが届かない根管の根管充填に適切なシーラーを検討する目的で行った。ファイルが届かない根管では適切な加圧充填ができないので、高い封鎖性を得るためには根管壁への接着性を有するシーラーが望ましい。接着性を有するシーラーとしては本実験で用いたメタシールSoft ペーストの他に、4-META/MMA-TBBを主成分とするスーパーボンド根充シーラー (サンメディカル) やメタシールSoft (サンメディカル) , UDMA, TEGDMA, Bis-GMA, ethoxylated Bis-GMAなどを成分とするEpiphany (Pentron) , UDMA, TEGDMAなどからなる EndoREZ (Ultradent) があげられる。しかし、ファイルが到達しない部位では乾燥ができないため、これらの中で高い重合率が期待できるのは、TBBを重合開始剤として用いているスーパーボンド根充シーラーやアミノ酸系重合開始剤を用いているメタシールSoftおよびメタシールSoftペーストであろう。しかし、スーパーボンド根充シーラーでも乾燥が不十分だと封鎖性がやや低下することが報告されており¹⁴⁾、またメタシールSoftは多量に水を混和すると、重合率は低下しないが溶解率が高くなる (データ未公開)。そこで本研究では、4-META, HEMA, 水を含み吸水性が期待でき、さらに親水性アミノ酸系重合開始剤により水があっても重合阻害されないと考えられるメタシールSoftペーストで (MSSP) を用いて実験を行った。

まず、多量に水を混和した場合に重合率や溶解率が悪化しないかを実験1で調べたところ、水を混和しない場合とほとんど差はなく、硬化後の形態もほぼ同様であったことから、MSSPは水を混和しても硬化にほとんど影響しないと考えられた。

次に、根管内に水が残存している場合、シーラーを根尖方向に送り込む際に水と混和することになるため、水の混和量と象牙質との封鎖性を実験2で検討した。その結果、MSSPはシーラーの

0.3倍の水を混和しても色素浸入率がほとんど変化しなかったのに対して、現在広く臨床で用いられているAH Plus®は水を混和すると色素浸入量が大きくなり、チャンネルNは水の混和がなくても大きな色素浸入率を示した。このことから、MSSPは根管に水が残っている場合に使用するシーラーとして適切な材料と考えられた。

一方、ファイルが到達しない根管では、シーラーと水を混和することはできず、シーラーを水のある根管に押し込んでいくことになる。そこで実験3では、象牙質表面に水を滴下して、その上からシーラーを塗布し、封鎖性を検討した。その結果、AH Plus®とチャンネルNは著しい漏洩を示したのに対して、MSSPは乾燥象牙質に塗布した場合と同様のハイブリッド層やレジンタグが形成され、色素浸入率は乾燥状態に比較するとやや増加したものの、乾燥状態でAH Plus®を用いた場合と同程度の封鎖性が得られた。AH Plus®は広く根管充填に使用され良好な成績を示していることから^{15,16)}、これと同等の封鎖性が得られたことは、MSSPはファイルが到達せず多量の水を含む根管に充填された場合でも、臨床的には良好な成績が得られるのではないかと思われる。

一般にHEMAを含むレジンは接着耐久性に劣ることが報告されている¹⁷⁾。本実験で使用したメタシールSoftペーストもHEMAを多量に含むことから、接着耐久性が危惧されるが、充填用のボンディング材やレジンセメントと異なり、シーラーには外力が加わることはほとんどないので、接着強さが低下しても封鎖が確保されていれば良いと考えられる。HEMAを多量に含む接着性シーラーにはメタシールSoftがあるが、この臨床成績を調べた研究では少なくとも5年の間に根尖性歯周炎が発生する傾向はまったく見られていない¹⁸⁾。したがって、これに組成が近似しており水が混和した場合の溶解率がさらに低下しているMSSPでは、臨床成績に影響を及ぼすような封鎖性の低下は長期的に生じないのではないかと思われる。

根管充填時にシーラーが根尖孔から歯周組織に溢出した場合、とくにMSSPは吸水性が高いため、体液を吸収し、吸収された体液のタンパク等が変性して炎症を誘発する可能性が危惧される。そこで実験4で水の混和と硬化体および練和直後の未硬化の状態での皮下結合組織内に埋入して、組織反応がどのように異なるかを検討した。

実験期間は、埋入時の手術に伴う炎症が消失して、埋入試料の組織反応が観察しやすい2週とした。その結果、MSSPの硬化体は水の混和状態にかかわらずAH Plus®やチャンネルNより炎症は軽度であり、MSSPが高い生体親和性を有することが明らかになった。AH Plus®はホルムアルデヒドが溶出することが報告¹⁹⁾されており、チャンネルNは粉成分に含まれる亜鉛の金属イオンが炎症を誘発すると考えられているが²⁰⁾、MSSPは水が混和しても重合率が高く溶解率が低いことから、レジン成分の溶出などがほとんどないために高い生体親和性がえられたものと考えられる。

一方、練和直後に組織内に埋入した場合、MSSPは水の混和にかかわらずすべての標本で著しく崩壊して吸収され、小顆粒に分散していた。この理由は今のところ不明であるが、練和直後のMSSPが血液や体液に浸漬されると、親水性が高いため分散し、吸収性が高まったのではないかと

思われた。また、MSSP内部にはリンパ球を主体とする炎症性細胞が浸潤していたが、周囲には炎症の波及はほとんどなかったことから、臨床で根尖孔から歯周組織内に溢出した場合には、腫脹や疼痛などの症状はほとんど出現せず、すみやかに吸収されるのではないかと考えられた。ファイルが到達しない根管にシーラーを充填していく場合には、歯周組織への溢出がある程度避けられないが、このことは大きな利点の一つとなるであろう。それに対して、AH Plus[®]やキャナルスNは硬化体より練和直後に埋植した場合の方が炎症は強く発現しており、根管充填時にシーラーが歯周組織内に溢出した場合には、MSSPより臨床症状が強く発現する可能性があると思われた。AH Plus[®]は硬化後に移植した場合に比べて、練和直後の移植した場合にはシーラーが空洞化していたが、これは標本作製過程で溶出したと考えられ、AH Plus[®]は組織内では硬化が阻害されていたものと思われた。また、キャナルスNもシーラー内部への炎症性細胞侵入が多くなっており、硬化せずに分散したものと考えられた。とくに水が混和した場合にはAH Plus[®]もキャナルスNも炎症が強くなったが、水を混和することによってさらに硬化が阻害されたためではないかと思われた。またこれらのシーラーは一塊として存在しており吸収される傾向はなかったことから、長期間残存して炎症を持続させる危険性があると思われた。したがって、ファイルが到達せず乾燥が不十分な根管に充填するシーラーとしては、生体親和性の点からもMSSPの利点は大きいと思われる。しかし、MSSPはこのような特徴を有することから、大きな根尖孔や穿孔部などで浸出液が完全に止まっていない症例では、歯周組織との界面付近でシーラーが崩壊して吸収される危険性が考えられるので、浸出液を完全に止めるために高周波電流で凝固したり、コラーゲンスポンジなどの止血剤を病変部に充填したりする方法を併用した方が、確実な封鎖が得られる可能性がある。

本実験は象牙質の平面で封鎖性を検討したことから、実際の根管で行った場合に生じる重合収縮の影響²¹⁾は加味されていない。また、実際には細菌や根管洗浄剤、貼薬剤の影響で硬化や接着が阻害される可能性もあるため^{22, 23)}、今後はヒトの根管での封鎖性を検証する必要がある。また、HEMAを含む親水性が高いレジンでは接着性が低下することから²²⁾、封鎖性が長期間維持されるかも今後の大きな課題である。

【結論】

メタシールSoftペーストの封鎖性や生体親和性に対する水の影響を検討した結果、以下のことが明らかになった。

1. シーラーと同量の水が混和しても、重合率や溶解率は変化しなかった。
2. 象牙質面が湿潤状態であっても色素浸入率に有意差はなく高い封鎖性が得られた。

3. 水を混和したり練和直後に結合組織内に埋入してもほとんど炎症は誘発されなかった.

【謝辞】

本稿を終えるにあたり，終始ご指導，ご助言頂きました北海道大学大学院歯学研究院口腔健康科学講分野歯周・歯内療法学教室および生体材料工学教室の教室員の皆様に心より感謝いたします.

参考文献

- 1) Barbizam JVB, Fariniuk LF, Marchesan MA: Effectiveness of manual and rotary instrumentation techniques for cleaning flattened root canals. *J Endod*, 28: 365-366, 2002.
- 2) ssJosé Claudio Provenzano, Henrique S. Antunes, Flávio R.F. Alves, Isabela N. Rôças, Wilber S. Alves, Márcia R.S. Silva, José F. Siqueira Jr: Fate of the tissue in lateral canals and apical ramifications in response to pathologic conditions and treatment procedures. *J Endod*, 36: 1-15, 2010.
- 3) Retamozo B, Shabahang S, Johnson N, Aprecio RM, Torabinejad M: Minimum contact time and concentration of sodium hypochlorite required to eliminate *Enterococcus faecalis*. *J Endod*, 36: 520-523, 2010.
- 4) Shuping GB, Ørstavik D, Sigurdsson A, Trope M: Reduction of intracanal bacteria using nickel- titanium rotary instrumentation and various medications. *J Endod*, 26: 751-755, 2000.
- 5) Ricucci D, Siqueira JF : Fate of the tissue in lateral canals and apical ramifications in response to pathologic conditions and treatment procedures. *J Endod*, 36 : 1-15, 2010.
- 6) Chong BS, Pitt FTR : The role of intracanal medication in root canal treatment. *Int Endod J*, 25 : 97-106, 1992.
- 7) Sjögren U, Hägglund B, Sundqvist G, Wing K: Factors affecting the long-term results of endodontic treatment. *J Endod*, 16: 498-504, 1990.
- 8) Tarao H, Akutagawa M, Emoto T, Takei A, Yumoto H, Tominaga T, Ikehara T, Kinouchi Y: Evaluation of temperature increase from joule heat in numerical tooth model by applying 500 kHz current for apical periodontitis treatment -effect of applied voltage and tooth conductivity. *Bioelectromagnetics*, 42: 224-237, 2021.
- 9) 熊谷広道, 菅谷勉: 高周波電流によるファイル未到達根管の焼灼. 第151回日本歯科保存学会学術大会プログラムおよび講演抄録集: 127, 2019.
- 10) Siriporn T, Cholticha A, Wirongrong T: Bacterial coronal leakage after obturation with three root canal sealers. *J Endod*, 27: 36-39, 2001.
- 11) Suprit SP, Madhu AP, Saleem DM: Evaluation of the apical sealing ability of bioceramic sealer, AH plus & Epiphany: An in vitro study. *J Conserv Dent*, 17: 579-582, 2014.

- 12) Roggendorf MJ, Ebert J, Petschelt A, Frankenberger R: Influence of moisture on the apical seal of root canal fillings with five different types of sealer. *J Endod*, 33: 31-33, 2007.
- 13) Zmener O, Martinez Lalis R, Pameijer CH, Chaves C, Kokubu G, Grana D: Reaction of rat subcutaneous connective tissue to a mineral trioxide aggregate-based and a zinc oxide and eugenol sealer. *J Endod*, 38:1233-1238, 2012.
- 14) 中澤篤史, 菅谷 勉, 川浪雅光: レジ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*, 34: 87-96, 2014.
- 15) 15) De Almeida WA, Leonardo MR, Tanomaru Filho M, Silva LAB: Evaluation of apical sealing of three endodontic sealers. *Int Endod J*, 33: 25-27, 2000.
- 16) 16) Dutra F, Barroso JM, Carrasco LD, Capelli A, Guerisoli DMZ, Pécora JD: Evaluation of apical microleakage of teeth sealed with four different root canal sealers. *J Appl Oral Sci*, 14: 341-345, 2006.
- 17) Tay FR, Pashley DH, Suh BI, Carvalho RM, Itthagarun A: Single-step adhesives are permeable membranes. *J Dent*, 30: 371-382, 2002.
- 18) 金子 至, 内川宗敏, 松井 力, 汲田 剛, 三溝泰弘, 丸山慶四郎, 菅谷 勉: メタシーラー Softを用いた根管充填後の臨床成績に関する後ろ向き研究. *日歯保存誌*, 62: 279-285, 2019.
- 19) Leonardo MR, Bezerra da Silva LA, Filho MT, Santana da Silva R: Release of formaldehyde by 4 endodontic sealers. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*, 88: 221-225, 1999.
- 20) Asrari M, Lobner D: In vitro neurotoxic evaluation of root-end-filling materials. *J Endod*, 29: 743-746, 2003.
- 21) Tay FR, Loushine RJ, Lambrechts P, Weller RN, Pashley DH: Geometric factors affecting dentin bonding in root canals: A theoretical modeling approach. *J Endod*, 31: 584-589, 2005.
- 22) Nikaido T, Takano Y, Sasafuchi Y, Burrow MF, Tagami J: Bond strengths to endodontically-treated teeth. *Am J Dent*, 12: 177-180, 1999.
- 23) 武本 真治, 春山 亜貴子, 松本 倫彦, 服部 雅之, 吉成 正雄, 河田 英司, 小田 豊: 次亜塩素酸ナトリウム処置した象牙質の接着に及ぼす還元剤の効果. *日歯理工誌*, 30: 41-46, 2011.
- 24) 西谷 佳浩, 高橋 圭, 林 幸則, 星加 知宏, 堀川 元, 中田 貴, 田中 久美子, 佐野 英

彦, 吉山 昌宏: 象牙質接着におけるレジンの親水性の影響. 接着歯学, 26: 92-98 2008.

表1.

製品名	メーカー	構成成分
メタシールSoftペースト (MSSP)	サンメディカル	ペーストA：メタクリル酸エステル類（HEMA、4-META、その他）、水、有機質フィラー、その他 ペーストB：メタクリル酸エステル類（HEMA、その他）、X線造影剤、重合開始剤、その他
AH Plus® (AH)	Dentsply Sirona	ペーストA：ビスフェノール A 型エポキシレジン、ビスフェノールF型エポキシレジン、タングステン酸カルシウム、酸化ジルコニウム、シリカ、黄色色素 ペーストB：ジペンジルジアミン、ミノアダマンタン、トリシクロデカンジアミン、タングステン酸カルシウム、酸化ジルコニウム、シリカ、シリコンオイル
チャンネルス N (CN)	昭和薬品化工	散：酸化亜鉛、ロジン、次炭酸ピスマス、硫酸バリウム 液：脂肪酸、プロピレングリコール

图 1

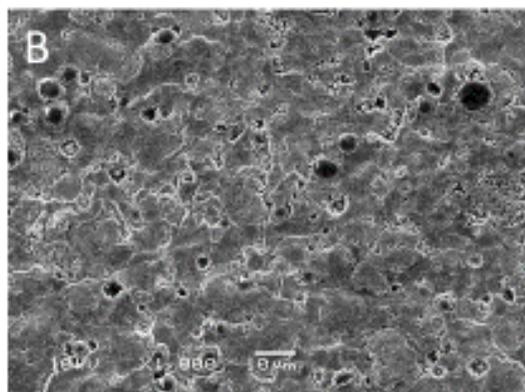
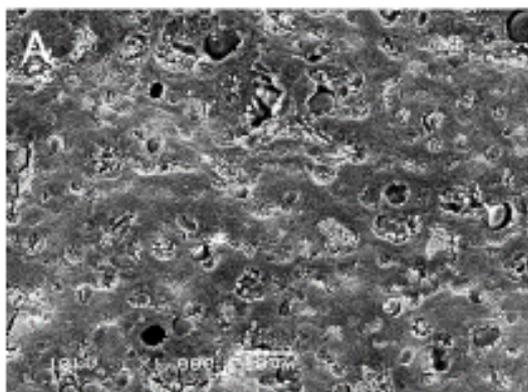


図 2

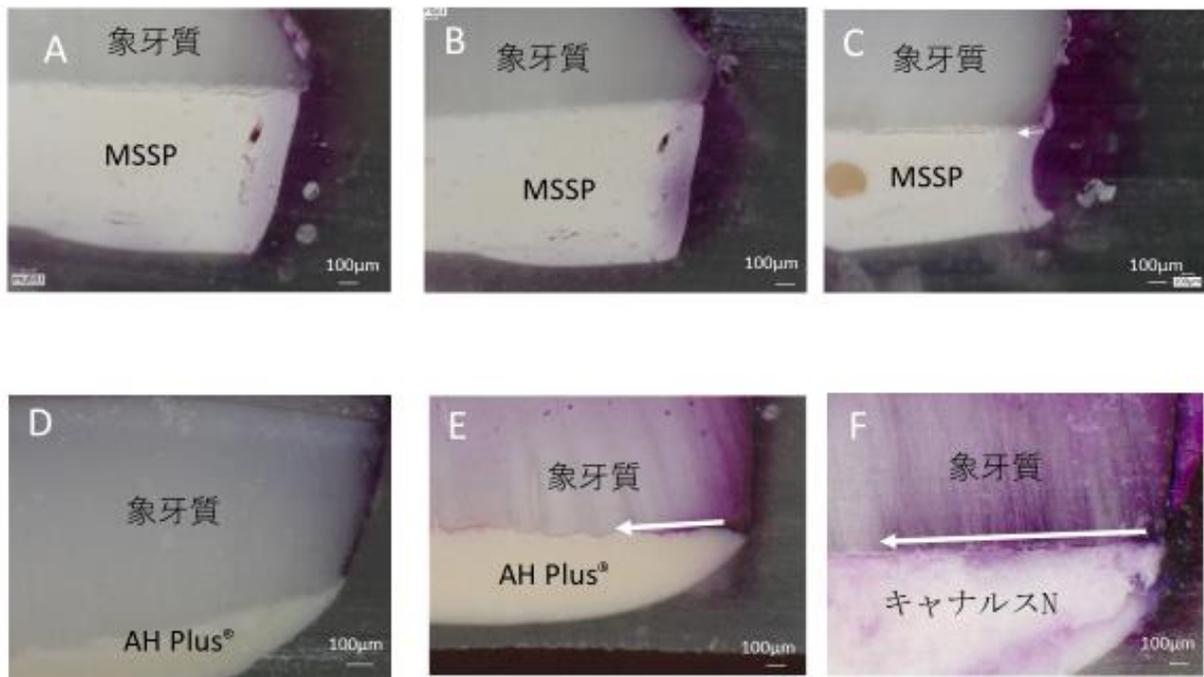


图 3

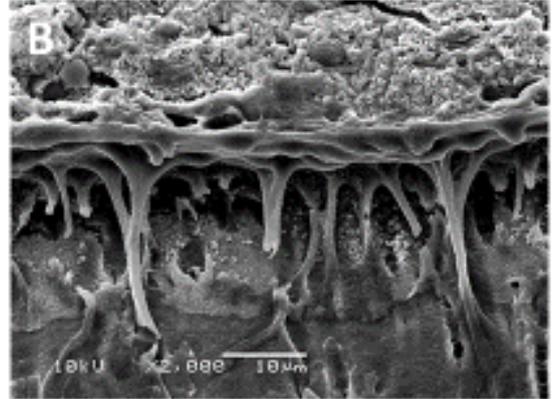
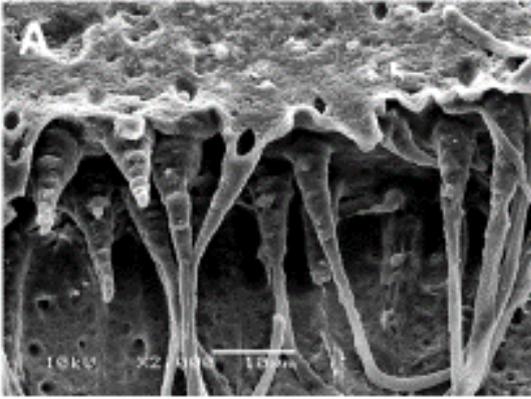


図 4

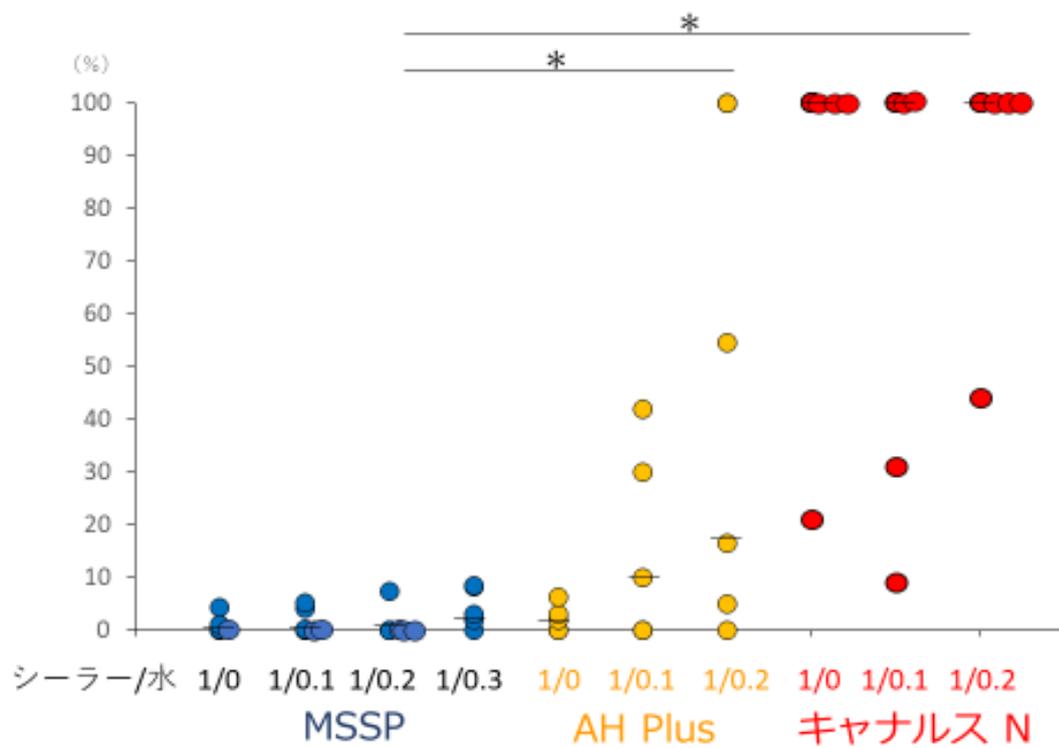


図 5



图 6

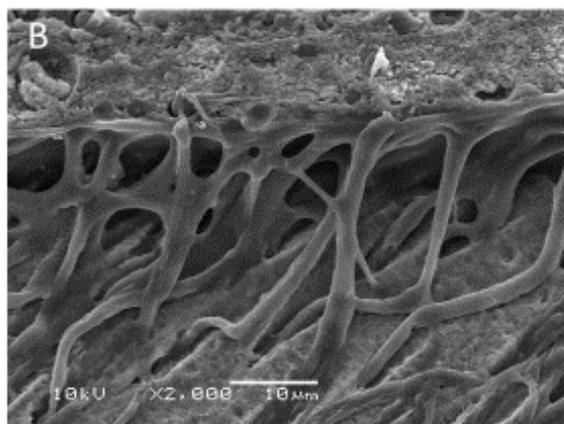
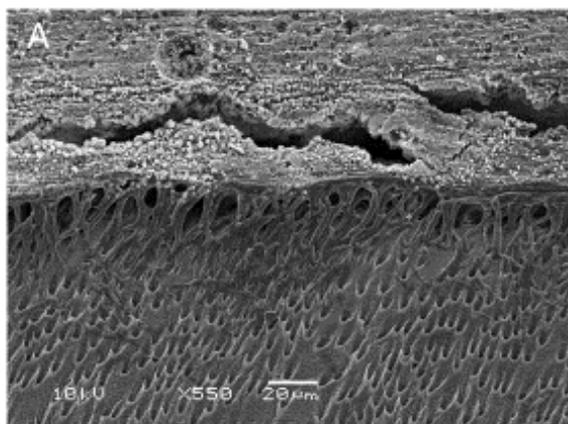


図 7

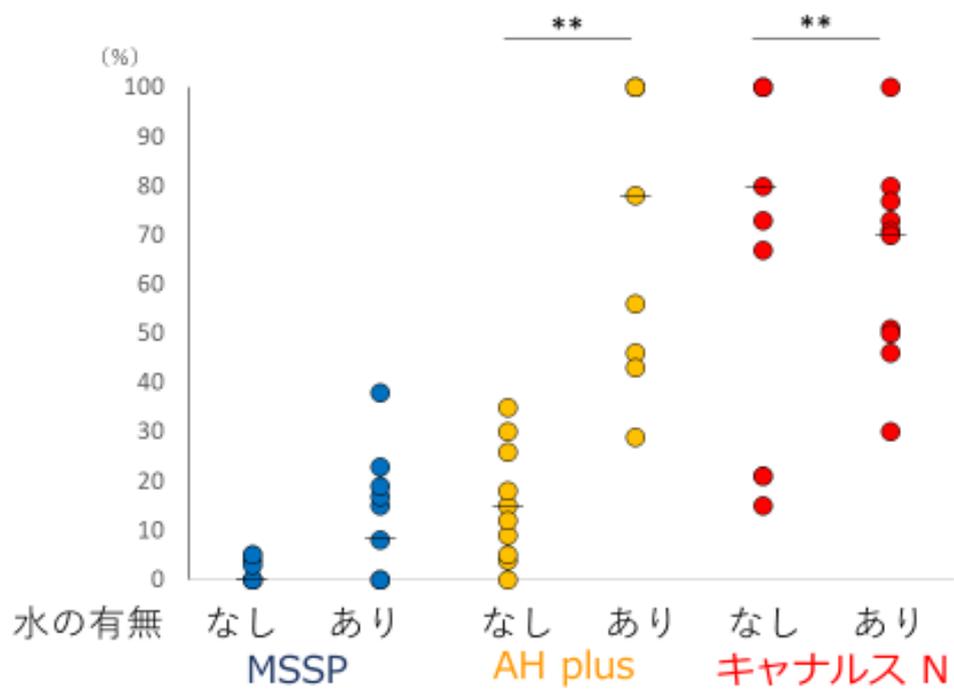


図 8

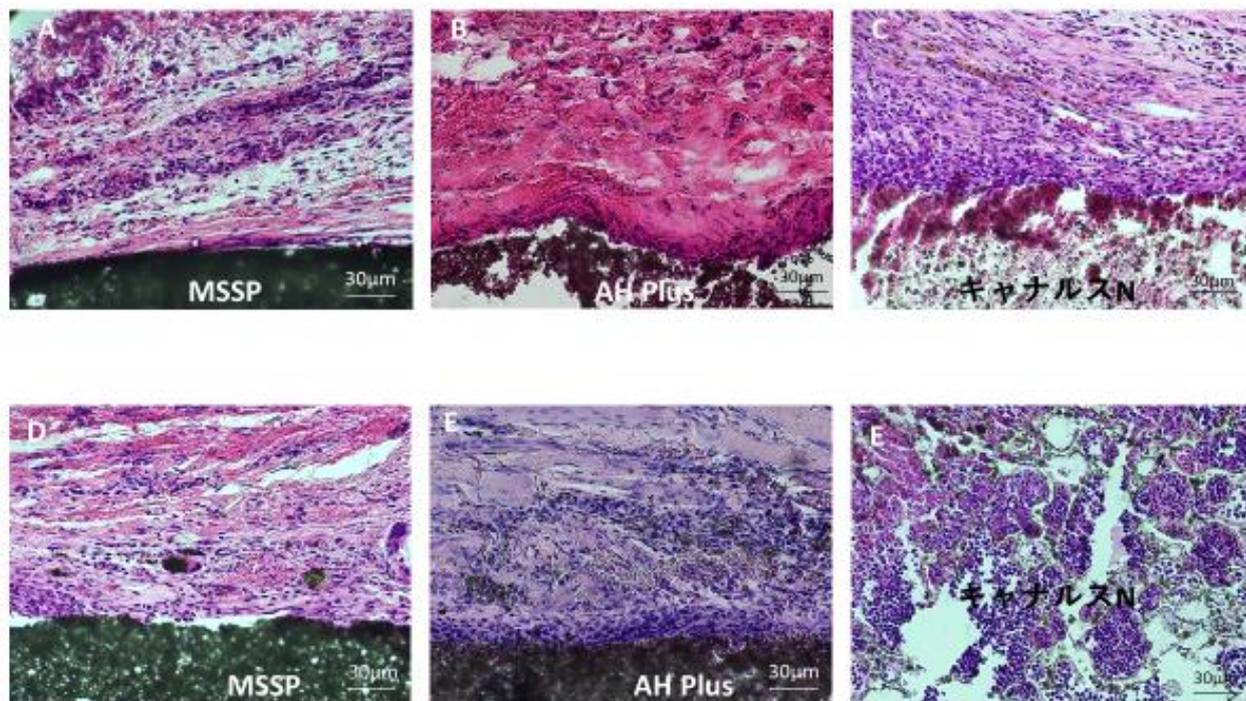


図 9

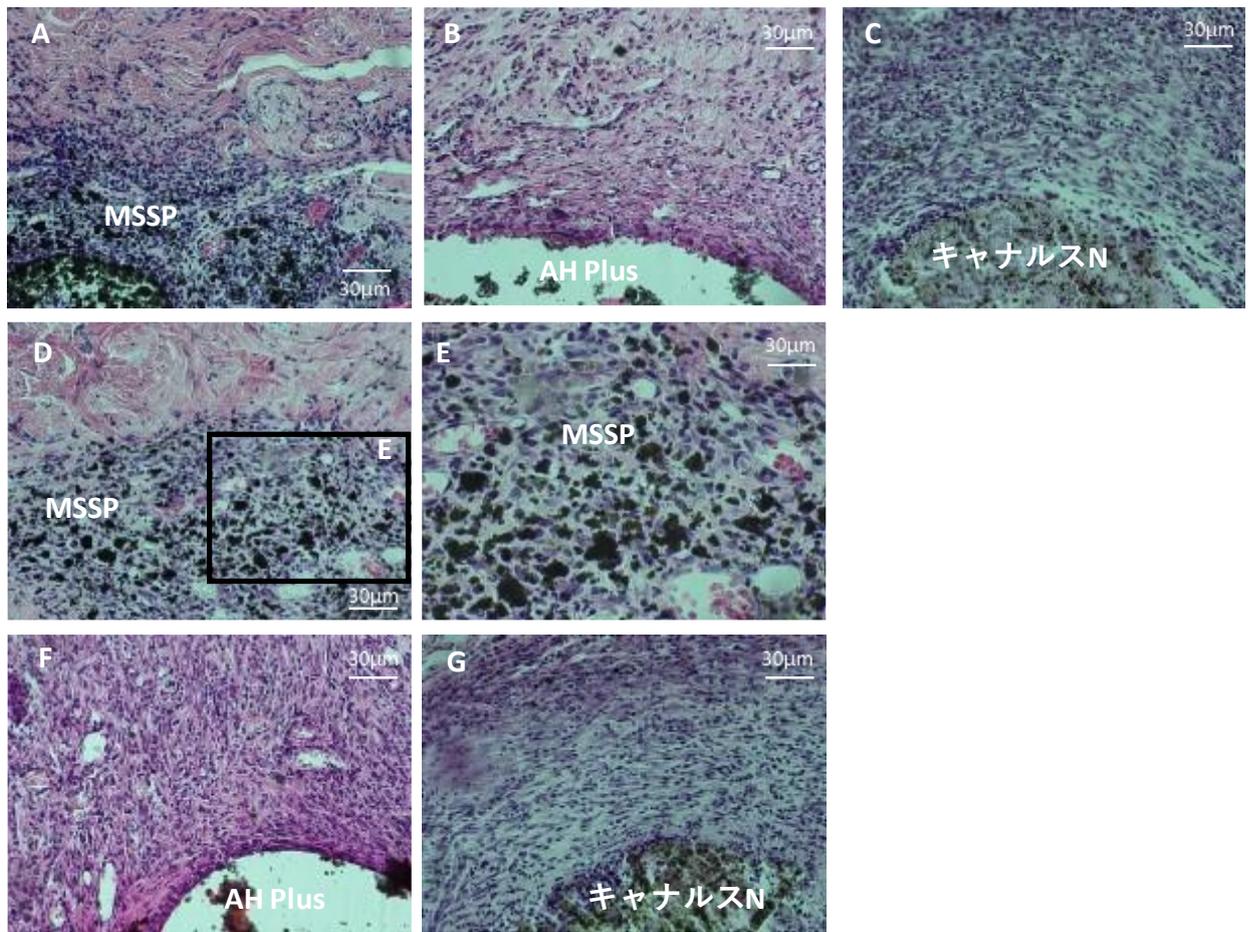
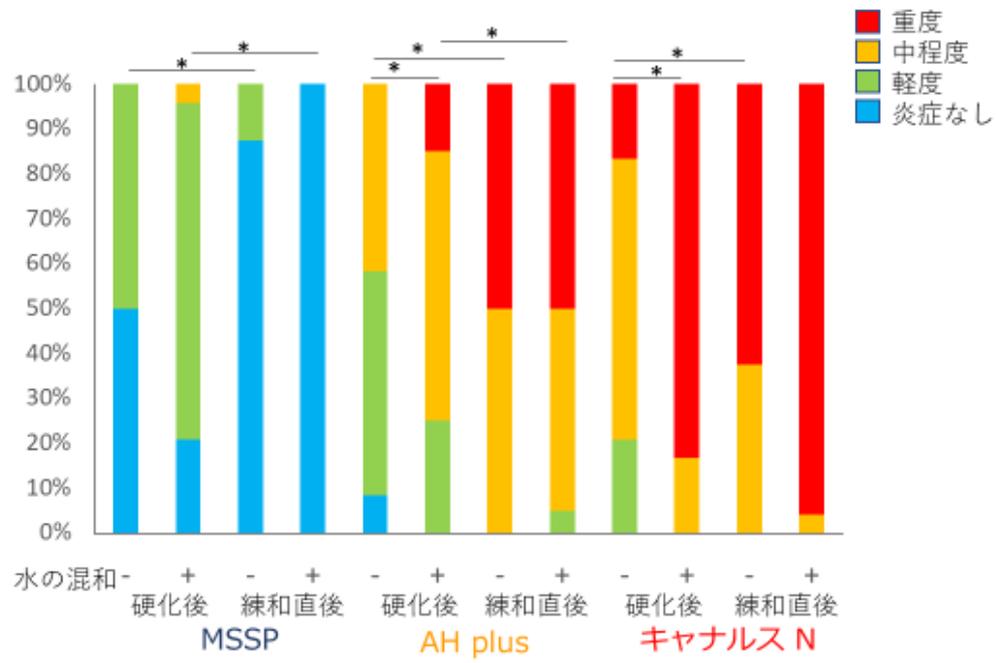


図 1 0



図とその説明

表1. 各材料の構成成分および使用方法

図1. MSSPの表面形態 A:シーラー : 水=1 : 0 B:シーラー : 水=1 : 0.3

図2. 水を混和したシーラーと象牙質との界面への色素浸入状態

A : MSSP : 水=1 : 0 B : MSSP : 水=1 : 0.1 C : MSSP : 水=1 : 0.3

D : AH Plus® : 水=1:0 E : AH Plus® : 水=1 : 0.1 F : キャナルス : 水=1 : 0

図3. 水を混和したMSSPと象牙質の界面のSEM写真

A : MSSP : 水=1 : 0 B : MSSP : 水=1 : 0.3

図4. 水を混和したシーラーを接着後の界色素浸入率

* : $p < 0.05$

図5. 水が浸潤している象牙質に接着後の色素浸入状態

A : MSSP B : AHPlus® C : キャナルスN

図6. 水が浸潤している象牙質とMSSPとの界面の接着状態

A:弱拡大 B:強拡大

図7. 濡れた象牙質面とシーラーの界面への色素浸入率

** : $p < 0.001$

図8. 硬化後に埋入したシーラーに対する組織反応

A:水を混和していないMSSP

B:水を混和していないAH Plus®

C:水を混和していないキャナルスN

D:水を混和したMSSP

E:水を混和したAH Plus®

F:水を混和したキャナルスN

図9. 練和直後に埋入したシーラーに対する組織反応

A:水を混和していないMSSP

B:水を混和していないAH Plus®

C:水を混和していないキャナルスN

D:水を混和したMSSP

E:Dの強拡大

F:水を混和したAH Plus®

G:水を混和したキャナルスN

図10. 各シーラーに対する炎症状態の分類