



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	クエン酸応用が水酸化カルシウムの除去と根管封鎖性に及ぼす影響
Author(s)	鷺巣, 太郎; 菅谷, 勉; 川浪, 雅光
Citation	北海道歯学雑誌, 33(2), 82-93
Issue Date	2013-03
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/52447
Type	journal article
File Information	04-washizu.pdf



原 著

クエン酸応用が水酸化カルシウムの除去と根管封鎖性に及ぼす影響

驚巢 太郎, 菅谷 勉, 川浪 雅光

抄 録：水酸化カルシウムは良好な殺菌作用や生体親和性により、根管貼薬に広く用いられている。一方、水酸化カルシウムが根管内に残存すると、接着性レジンシーラーを用いた根管充填ではとくに封鎖性が低下する。本研究の目的は、水酸化カルシウムが十分に除去でき、接着性レジンシーラーが接着可能な方法を明らかにすることである。

実験1では、ウシ下顎前歯を長軸方向に2分割し、間隙を300 μ mとして歯根を復位、固定、根管内に水酸化カルシウムを1週間貼薬後、#50Uファイルを用いて次の5つの方法で水酸化カルシウムを超音波洗浄した。①W群：注水下（30/60秒）②G群：10%クエン酸-3%塩化第二鉄溶液（グリーン）（30/60秒）③G+N群：G群に加え10%次亜塩素酸ナトリウム（NC）（30秒）、④CA群：20%クエン酸（30/60秒）、⑤CA+N群：CA群に加えNC（30秒）。洗浄後に水酸化カルシウムの残存率を光学顕微鏡で計測するとともに、SEM観察を行った。さらに根管貼薬しないC群を加えて、スーパーボンド根充シーラー（SBS）を接着し、色素侵入試験と微小引張試験を行った。実験2では根管壁に幅300 μ m深さ1.5mmのグルーブを形成して水酸化カルシウムを貼薬し、W群、G60秒+N群の方法で洗浄、C群を加えてガッタパーチャポイントとSBSで根管充填し、グルーブ部で根尖からの色素侵入距離を計測、SEM観察を行った。

実験1の結果、G60秒+N群の水酸化カルシウムの残存量は他群と比較して有意に少なく、微小引張試験と色素侵入試験はC群と有意差がなかった。実験2では、G60秒+N群の色素侵入距離はW群より有意に少なくC群と有意差がなく、SEM観察でも根管壁との良好な接着が観察された。

以上より、グリーンとNCで超音波洗浄することで、効果的に水酸化カルシウムを除去でき、SBSを用いた根管充填で高い封鎖性が得られることが明らかとなった。

キーワード：水酸化カルシウム、超音波洗浄、クエン酸、接着性レジン系シーラー、根尖封鎖

緒 言

水酸化カルシウムは1920年にHermannによって歯科領域に使用されて以来¹⁾、消毒作用の良好な持続性や生体親和性により、根管貼薬剤として広く用いられている²⁾。とくに根尖部の炎症が長期間改善しない難治性根尖性歯周炎では、水酸化カルシウムは根尖歯周組織への刺激が少なく、炎症を緩和して線維芽細胞や骨芽細胞を活性化し、治癒を促進する作用が長期間持続するため²⁻⁵⁾、利点が多いと考えられる。

一方、槌状根やイスムスを有する根管、ステップやジップが見られる彎曲根管など、機械的根管拡大形成を適切に行うことが難しい根管では、根管充填による封鎖が不十分になることが予後不良の原因の一つと考えられる。このようにアピカルシートを適切に形成して加圧根管充填を行うことが難しい根管では、接着性レジン系シーラーを用いる

ことで高い封鎖性が得られることが報告⁶⁾されている。

しかしながら、根管充填を行う際に水酸化カルシウムが根管壁に残存していると、根管充填の封鎖性が低下するという報告が多い⁷⁻¹⁰⁾。また、西谷ら⁹⁾は水酸化カルシウムを30日間貼薬して生理食塩水で洗浄し、光重合型ボンディング材を接着した結果、接着強さが半分程度しか得られなかったとしている。さらにBaebizamら¹⁰⁾は、水酸化カルシウムが象牙細管を物理的に封鎖するだけでなく、強塩基性による象牙質の脱灰抑制も接着を阻害することを指摘している。したがって、とくに接着性レジン系シーラーを用いる場合には、根管貼薬した水酸化カルシウムを確実に除去することが、高い封鎖性を得るためにはきわめて重要となる。

根管内に貼薬した水酸化カルシウムの除去方法は、これまでもEDTAやクエン酸、次亜塩素酸ナトリウムなどの薬剤を用いた化学的除去方法^{11, 12)}や、ロータリーファイ

ルや超音波ファイル、各種根管洗浄シリンジ、手用ファイルによる機械的除去方法^{13,14)}、また両者を組み合わせた方法^{12,13,15)}などが検討されているが、十分な除去には至っていないのが現状である^{11~16)}。とくにファイルや超音波チップが届かず機械的清掃が行えない部位では、水酸化カルシウムの除去はより困難とされている。^{9,12,14~17)}

また、水酸化カルシウムを根管壁から除去するためには、水より脱灰作用を有する薬剤が効果的と考えられる^{12,18)}。根管内に用いられている薬剤で脱灰作用を有しているものとしてはEDTA、クエン酸があり、クエン酸はEDTAよりスメア層の除去速度が速い¹⁹⁾。Rödigら¹⁶⁾は、貼薬した水酸化カルシウムの除去には、クエン酸がEDTAや次亜塩素酸ナトリウム、水よりも優れていることを報告しているが、水酸化カルシウムの残存率を低倍率視野下でスコア化した研究であり、残存状態の評価精度が低く、根管充填後の封鎖性に対する影響までは検討されていない。

そこで、本研究では機械的清掃が行えない部位で水酸化カルシウムが十分に除去でき、接着性レジン系シーラーが接着可能な方法を明らかにする目的で、20%クエン酸含有水酸化カルシウム溶解剤、10%クエン酸-3%塩化第二鉄溶液と10%次亜塩素酸ナトリウム溶液を用いて、水酸化カルシウムの残存率を計測し、水酸化カルシウム除去効果とスーパーボンド根充シーラーの接着に及ぼす影響を検討した。

材 料 と 方 法

実験1-1 根管貼薬した水酸化カルシウムの効果的な除去方法の検討

実験には、牛海綿状脳症対策特別措置法第7条第2項の規定により許可され（許可番号：健全第2110号）、屠殺後ただちに抜去した牛歯を用いた。牛下顎前歯40本の歯根表面に付着している軟組織をスケーラーで除去し、低速切断機（Isomet, Buehler, USA）を用いて歯根長が15mmとなるように切断した。K-file（マニー、栃木）で#80まで根尖孔の穿通を行い、作業長14mmで#140まで根管形成を行った。根管形成中は根管内に10%次亜塩素酸ナトリウム溶液（ネオクリーナー「セキネ」、ネオ製薬、以下NC、東京）を満たして行い、形成終了後に18% EDTA溶液（ウルトラデントEDTA18%、ウルトラデントジャパン、東京）で30秒、NCで30秒の最終洗浄を行った。

次に歯根をユニファストII（ジーシー、東京）とJMフィットチェック（ニッシン、京都）で印象採得後、マイセルとマレットを用いて歯根を長軸方向に2分割し、破折部の片側にアルミ箔を挟んで間隙幅が300 μ mとなるようにして復位、対側をクリアフィルメガボンド（クラレメディカル、東京）で接着して固定後、アルミ箔を除去した。根管洗浄に用いる超音波ファイルより狭い間隙幅にすることで、機械的洗浄器具が直接到達できないモデルとした。（図1）

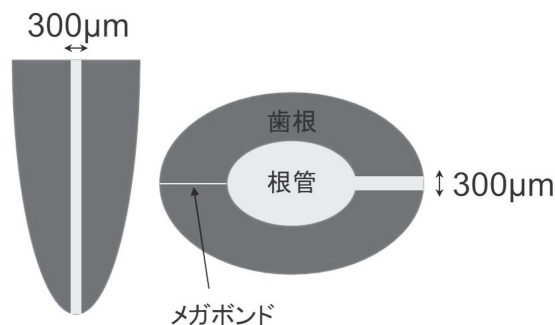


図1 機械的洗浄ができない根管モデル
歯根を分割し、超音波ファイルが直接接触しない幅300 μ mの間隙を作製して、対側を接着して固定した。

根管貼薬剤として水酸化カルシウム（水酸化カルシウム試薬特級、和光純薬、大阪）と蒸留水を重量比1:1で練和してペースト状とし、根管内に#140 K-fileおよびスプレッター（YDM、東京）を用いて填入した。間隙部と根尖孔より水酸化カルシウムペーストが溢出したことを確認し、歯冠側を水硬性セメント（キャビトンEX、ジーシー、東京）で仮封、シリコン印象材中に植立した後、37℃湿度100%中に1週間保存した。

1週間後、仮封材を探針で除去し、23G鈍針（ニプロ、大阪）を装着したシリンジを13mmまで挿入して蒸留水5mlで根管洗浄後、さらに超音波ファイルで根管洗浄を行った。超音波洗浄は、超音波スケーラー（ソルフィー、モリタ、東京）に#50Uファイル（マニー、栃木）を接続し、出力を1に設定してUファイルを13mmまで挿入し、次の方法で行った（各群n=4）。

- ①W群：ソルフィーの注水設定を2として、水道水の注水下で30秒または60秒間超音波洗浄（W30秒群・W60秒群）
 - ②G群：10%クエン酸-3%塩化第二鉄溶液（表面処理剤グリーン、サンメディカル、以下グリーン、滋賀）を根管内に満たして注水せずに30秒または60秒間超音波洗浄（G30秒群・G60秒群）
 - ③G+N群：②の後にNCを根管内に満たして注水せずに30秒間超音波洗浄（G30秒+N群・G60秒+N群）
 - ④CA群：20%クエン酸（ウルトラデントクエン酸20%：ウルトラデントジャパン、東京）を根管内に満たして注水せずに30秒または60秒間超音波洗浄（CA30秒群・CA60秒群）
 - ⑤CA+N群：④の後にNCを根管内に満たして注水せずに30秒間超音波洗浄（CA30秒+N群・CA60秒+N群）
- 洗浄終了後、歯根を再分割して一方の歯根を光学顕微鏡（Olympus BX50、オリンパス光学工業、東京）による水酸化カルシウム残存率の計測に用い、もう一方の歯根は走査型電子顕微鏡（以下SEM）観察を行った。
- 水酸化カルシウム残存率の計測は100倍で根管壁と間隙部表面の写真撮影を行い、視野中0.5mm四方（0.25mm²）

に残存している水酸化カルシウムの面積をImage J 1.44 (NIH, USA) で計測して、残存比率を算出した。計測部位は、根管壁では根尖部 (0~0.5mm) と根尖から 1 (0.75~1.25mm), 2 (1.75~2.25mm), 4 (3.75~4.25mm), 6 (5.75~6.25mm), 8 (7.75~8.25mm) mmの部位の 6 部位とし、間隙部では根尖から 1, 2, 4, 6, 8 mmの部位の 5 部位をさらに根管壁から根表面側に 0~0.5mm, 0.5~1.0mm, 1.0~1.5mmの 3 部位にわけて15部位とし、合計21部位で計測を行った (図2)。

残存率の統計学的分析はSPSS II (IBM, 東京) を用いて Games-Howell testを行った。

SEM観察は、歯根を自然乾燥後、イオンスプッター (E-1030, 日立製作所, 東京) を用いて120秒間Pt-Pd蒸着し、走査型電子顕微鏡 (S-4000, 日立製作所, 東京) を用い加速電圧10kVで行った。

実験1-2 水酸化カルシウム除去後の象牙質面の被接着性の検討

牛下顎前歯40本を用い、実験1-1と同様に歯根長を15mm、根尖孔を#80で穿通し、作業長14mmで#140まで根管形成した。歯根をユニファストIIとJMフィットチェックで印象採得後、マイセルとマレットを用いて長軸方向に2分割し、破折部の片側にアルミ箔を挟んで間隙が300 μ mとなるようにして復位、対側をクリアフィルムメガボンドで接着して固定後、アルミ箔を除去した (図1)。

水酸化カルシウムペーストを根管及び間隙部に貼薬して歯冠側をキャピトンEXで仮封、シリコン印象材中に植立した後、37℃湿度100%中に1週間保存した。仮封材を探針で除去し、シリンジに23G鈍針を装着して13mmまで挿入、蒸留水5mlで根管洗浄後、さらに超音波洗浄を行っ

た。超音波洗浄は、ソルフィーに#50Uファイルを接続し、出力を1に設定して13mmまで挿入し、次の方法で行った。

W群：ソルフィーの注水設定を2として、水道水の注水下で60秒間超音波洗浄

G群：グリーンを根管に満たし注水せずに60秒間超音波洗浄

G+N群：G群の方法に加えNCを根管に満たして注水せずに30秒間超音波洗浄

また、根管に水酸化カルシウムを貼薬せず、超音波洗浄も行わなかった群をC群とした。

洗浄終了後、歯根を再分割し、両歯根とも間隙部の象牙質面に次の処理を行なってスーパーボンド根充シーラー (サンメディカル, 滋賀, 以下SBS) を接着した。最終洗浄でNCを用いたG+N群とC群は芳香族スルフィン酸塩 (アクセル, サンメディカル, 滋賀) 処理10秒を行い、次に各群ともグリーン処理5秒、水洗, エアブローして、間隙部の象牙質面にスーパーボンド根充シーラー (サンメディカル, 滋賀, 以下SBS) を塗付した。SBSはメーカー指示に従って、モノマー液4滴, キャタリスト1滴, 粉材1杯を混和、筆で象牙質面に塗布して、PMMAブロックを圧接、SBS硬化までのモノマー揮発を防止するために、アルジネート印象材で全体を被覆し、37℃湿度100%中に24時間保存した。

その後、一方の歯根を微小引張試験、もう一方の歯根を色素侵入試験に用いた。微小引張試験はIsometを用いて被着面積が約1mm²となるようにスティック状にトリミングし、1歯から5本の試料を作製して、材料試験機 (EZ-test, 島津) によりクロスヘッドスピード1.0mm/分で行った (各群n=50)。微小引張強さの計測後、破断面を光学顕微鏡で観察し、破断面を次の4つに分類した。①SBSの凝集破壊、②象牙質とSBS間の界面破壊、③①と②の混合破壊、④その他。

色素侵入試験は、接着部位以外をネイルバニッシュで被覆、0.5%塩基性フクシンに24時間浸漬し、試料の中央部をIsometで歯軸に垂直方向に切断して光学顕微鏡写真を撮影、Image Jで歯根表面側からの色素侵入距離を計測した (各群n=10)。

計測結果はSPSS II を用いて Games-Howell testを行った。

実験2 根管充填後の根尖封鎖性の検討

牛下顎前歯18本を用い、実験1-1と同様に歯根長を15mm、根尖孔を#80で穿通、作業長14mmで#140まで根管形成した。歯根をユニファストIIとJMフィットチェックで印象採得後、マイセルとマレットを用いて歯根を長軸方向に2分割した。次に、両歯根の根管壁に、超音波エンドファイル・シングル#25 (マニー, 栃木) で深さ1.5mm幅300 μ mのグループを、根尖孔から10mm歯冠側の位置まで形成した (図3)。歯根を元の形態に復位、クリアフィ

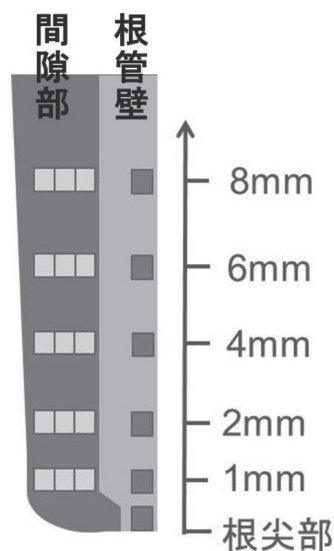


図2 水酸化カルシウム残存率計測部位

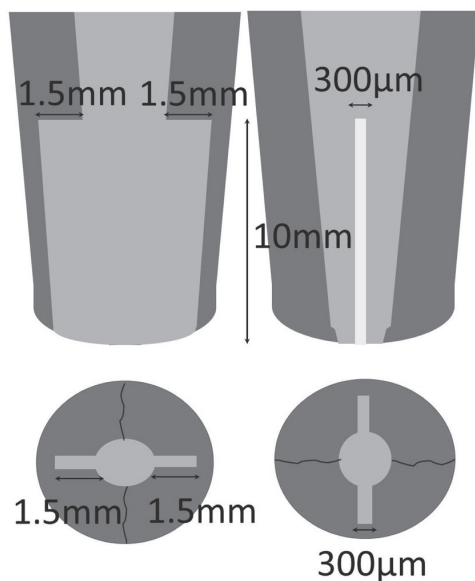


図3 機械的洗浄ができない根管モデル
歯根を分割し、根管壁に幅300 μ m、深さ1.5mmの裂溝を形成して接着、固定した。

ルメガボンドで接着、固定し、シリコン印象材に植立、水酸化カルシウムペーストを実験1と同様に貼薬、仮封し、37℃湿度100%条件下で1週間保存した。

仮封材を除去し、23G鈍針を装着したシリンジを13mmまで挿入して蒸留水5mlで根管洗浄後、さらに超音波洗浄を行った。超音波洗浄はソルフィーに#50Uファイルを接続し、出力を1に設定して13mmまで挿入し、次の方法で行った。

W群：ソルフィーの注水設定を2として、水道水の注水下で60秒間超音波洗浄

G+N群：グリーンを根管に満たし注水せずに60秒間超音波洗浄後、NCを根管に満たして30秒間超音波洗浄

また、根管に水酸化カルシウムを貼薬せず、超音波洗浄も行わなかった群をC群とした。

G+N群とC群はアクセル処理10秒を行い、3群ともグリーン処理5秒、水洗、ペーパーポイントで乾燥して、SBSとガッパパーチャポイント（モリタ、東京）#140を用いた単一ポイント法で根管充填し、キャビトンEXで仮封した。

根管充填後、歯根全体をアルジネート印象材で被覆し、37℃、湿度100%条件下で24時間保存した。その後、根尖孔を除いた歯根全体をネイルバニッシュでコーティングし、0.5%塩基性フクシンに24時間浸漬した。マイクロスコープ下で歯根を歯軸に平行に研削して、グループ部を露出させ、光学顕微鏡写真を撮影、グループ部での色素侵入距離をImage Jで計測した（各群n=6）。色素侵入試験の結果はGames-Howell testで統計学的分析を行った。さらに、自然乾燥後イオンスプッターを用いて120秒間Pt-Pd

蒸着し、走査型電子顕微鏡を用い加速電圧10kVで、根管壁とSBSの接着状態を観察した。

結 果

実験1-1

1) 根管壁のSEM観察所見

W 30秒群では、水酸化カルシウムが厚く堆積し、象牙質面のほぼ全面を被覆していた（図4-a）。W 60秒群では、水酸化カルシウム残存量はW 30秒群より減少したが、象牙質面は全面覆れており象牙細管はほとんど観察されなかった（図4-b）。

G30秒群は、象牙細管開口部より大きな塊状の水酸化カルシウムがわずかに残存していたが、象牙細管は広く開口していた（図4-c）。G60秒群は、根管壁部では粒子状の水酸化カルシウムが点在していたが、象牙細管は大きく開口している様子が観察された（図4-d）。

G30秒+N群では、水酸化カルシウム残存量はG30秒群より減少し、粒子状の水酸化カルシウムがごくわずかに観察されるのみで、象牙細管も広く開口していた（図4-e）。G60秒+N群は、ほとんどの部位で水酸化カルシウムの残存が観察されず、象牙細管は大きく拡大して管間象牙質は薄くなっていた（図4-f）。

CA30秒群は、水酸化カルシウムの小塊が点在し、象牙細管の一部は被覆されていた（図4-g）。CA60秒群は、水酸化カルシウムの残存は認められず、象牙細管が大きく拡大し、管間象牙質の一部は欠けたような凹凸がみられた（図4-h）。

CA30秒+N群では、粒子状の水酸化カルシウムがごくわずかに認められるのみで、象牙細管は大きく拡大して管間象牙質は粗糙になっていた（図4-i）。CA60秒+N群は、水酸化カルシウムの残存はほとんど観察されず、象牙細管は大きく拡大して管間象牙質は菲薄化して凹凸を呈していた（図4-j）。

2) 間隙部のSEM観察所見

W 30秒群では、水酸化カルシウムが厚く堆積し、象牙質面のほぼ全面を被覆していた（図5-a）。W 60秒群は、間隙部でも水酸化カルシウム残存量はW 30秒群より減少したが、象牙質面は全面覆れており象牙細管はほとんど観察されなかった（図5-b）。

G30秒群は、小塊状および粒子状の水酸化カルシウムが散在して象牙細管の多くの部分を被覆していた（図5-c）。G60秒群は、水酸化カルシウムの小塊が点在して、象牙細管も拡大していた（図5-d）。

G30秒+N群は、小塊状の水酸化カルシウムが散在し、象牙細管の多くは被覆されていた（図5-e）。G60秒+N群は、水酸化カルシウムはほとんど観察されず、象牙細管は拡大していた（図5-f）。

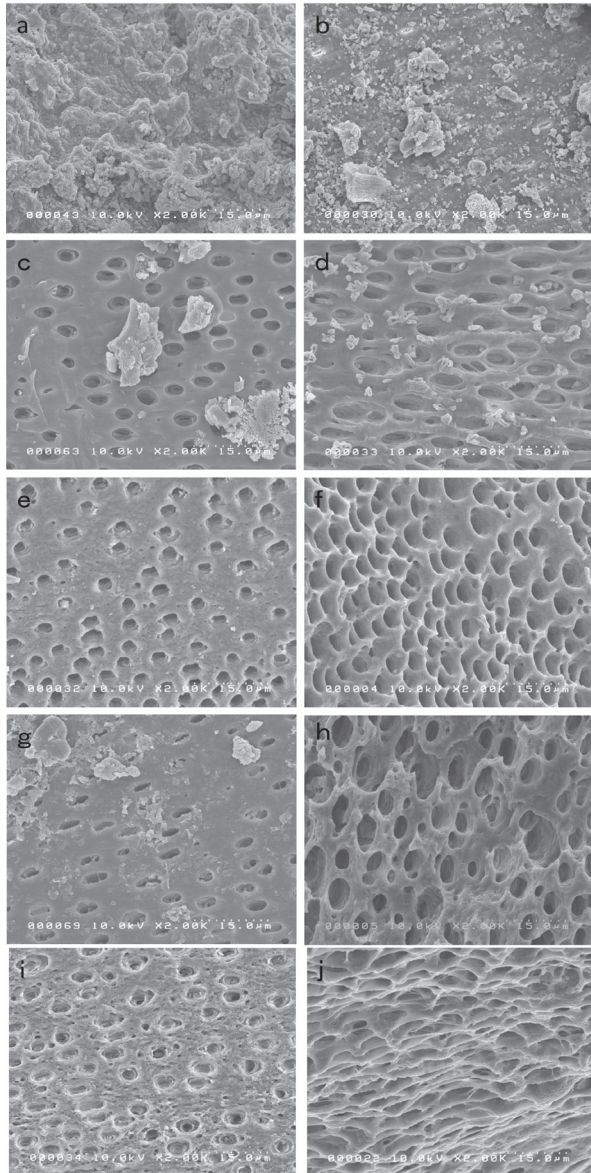


図4 水酸化カルシウム除去後の根管壁の走査型電子顕微鏡写真
a : W30秒群 b : W60秒群 c : G30秒群 d : G60秒群
e : G30秒+N群 f : G60秒+N群 g : CA30秒群
h : CA60秒群 i : CA30秒+N群 j : CA60秒+N群

W群は60秒でも水酸化カルシウムが堆積していた。G群とCA群は60秒で水酸化カルシウム残存がきわめて少なくなり、さらにNCを併用することで水酸化カルシウムはほぼ消失し、象牙細管は大きく拡大した。

CA30秒群では、塊状の水酸化カルシウムが象牙細管を被覆していた(図5-g)。CA60秒群は、塊状の水酸化カルシウムが残存し、露出した象牙細管は大きく拡大して、管間象牙質は粗糙を呈していた(図5-h)。

CA30秒+N群は、水酸化カルシウムの小塊が象牙細管を被覆している部分が多く、一部に露出している象牙細管は大きく拡大していた(図5-i)。CA60秒+N群では、水酸化カルシウムの小塊が多く認められ、象牙細管を被覆していた。露出した象牙細管は大きく拡大し、管間象牙質

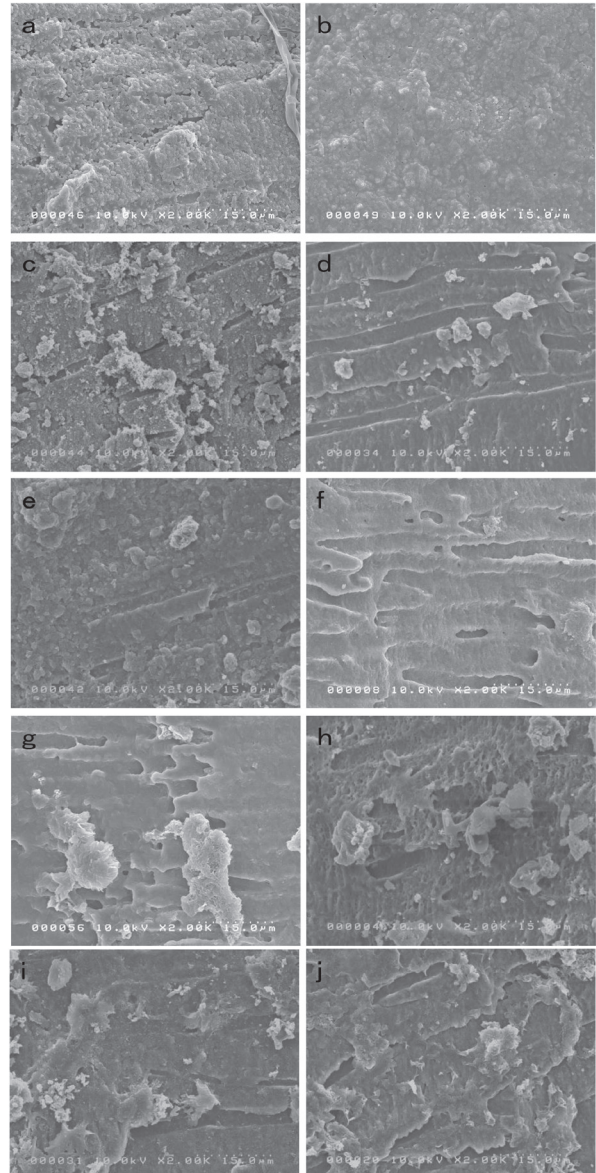


図5 水酸化カルシウム除去後の間隙部の走査型電子顕微鏡写真
a : W30秒群 b : W60秒群 c : G30秒群 d : G60秒群
e : G30秒+N群 f : G60秒+N群 g : CA30秒群
h : CA60秒群 i : CA30秒+N群 j : CA60秒+N群

W群は60秒でも水酸化カルシウムの残存が多かった。G群は60秒ではわずかな残存がみられるのみで、NCを併用することでほぼ消失したが、CA群はNCを併用しても残存がみられ、象牙質面は粗糙を呈していた。

は粗糙化していた(図5-j)。

3) 水酸化カルシウム残存率の計測結果

根管壁の残存率は、根尖からの距離がいずれの部位でもG60秒+N群が他の群より有意に低かった($p < 0.05$)(図6)。G60秒+N群の残存率を根尖からの距離で比較すると、根尖部では3~14%(平均7.5%)であったのに対し、根尖から1mm以上歯冠側の部位では0.1~1.9%と根尖付近に比べて有意に低かった($p < 0.05$)。

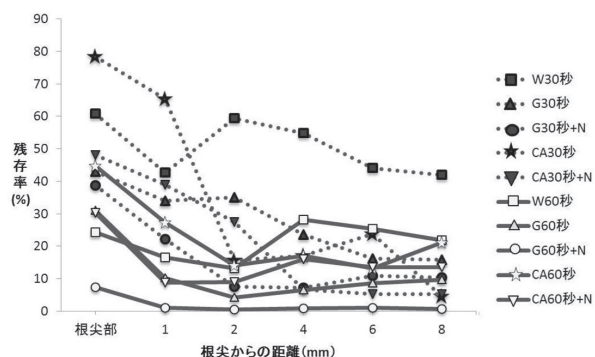


図6 根管壁の水酸化カルシウム残存率
根尖からの距離がいずれの部位でもG60秒+N群が他の群より有意に低かった ($p < 0.05$).

間隙部の根管から0~0.5mmの部位では、G60秒+N群の残存率が最も低かったがG60秒群とは有意差がなく ($p > 0.05$)、他の群より有意に低かった ($p < 0.05$) (図7). G60秒+N群の残存率を根尖からの距離と比較すると、0.03~1.3%で有意差はなかった ($p > 0.05$).

間隙部の根管から0.5~1.0mmの部位においても、G60秒+N群の残存率は他の群と比較して有意に低かった ($p < 0.05$) (図8). G60秒+N群の残存率を根尖からの距離と比較すると、0.02~1.1%で有意差はなかった ($p > 0.05$).

間隙部の根管から1.0~1.5mmの部位では、G60秒+N群の残存率はG30秒+N群と有意差が認められなかった ($p > 0.05$) が、他の群と比較して有意に残存率が少なかった ($p < 0.05$) (図9). G60秒+N群の残存率を根尖からの距離と比較すると、0.03~4.5%で有意差はなかった ($p > 0.05$).

実験1-2

1) 微小引張試験

試料作製途中(各群50個)の試料破断数は、W群12個、G群10個、G+N群2個、C群1個であった。

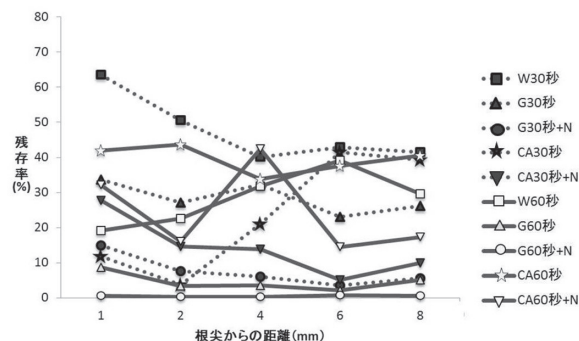


図7 間隙部における根管壁より0~0.5mmの部位の水酸化カルシウム残存率

G60秒+N群の残存率が最も低かったがG60秒群とは有意差がなく ($p > 0.05$)、他の群より有意に低かった ($p < 0.05$).

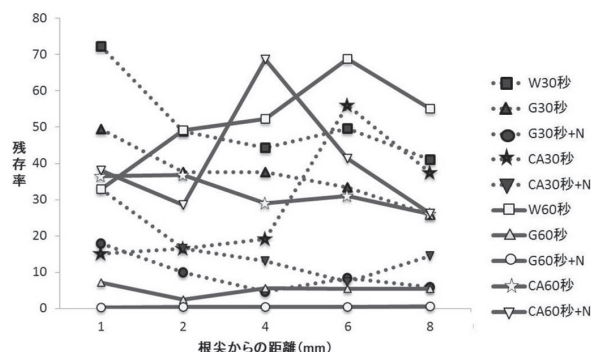


図8 間隙部における根管壁より0.5~1.0mmの部位の水酸化カルシウム残存率

G60秒+N群の残存率は他の群と比較して有意に低かった ($p < 0.05$).

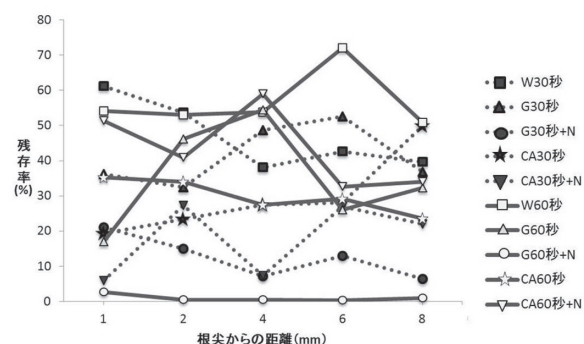


図9 間隙部における根管壁より1.0~1.5mmの部位の水酸化カルシウム残存率

G60秒+N群の残存率はG30秒+N群と有意差が認められなかった ($p > 0.05$) が、他の群と比較して有意に残存率が少なかった ($p < 0.05$).

各群の微小引張強さは、W群 6.9 ± 3.2 MPa, G群 9.7 ± 2.8 MPa, G+N群 16.2 ± 3.8 MPa, C群 18.9 ± 7.1 MPaで、G+N群はW群、G群と比較して有意に高く ($p < 0.05$)、C群との間に有意差は認められなかった ($p > 0.05$)。また、G群はC群と比較して有意に低く、W群より高かった ($p < 0.05$) (図10)。

微小引張試験による破断形態の分類では、W群は試料の90%以上が象牙質とSBSの界面破壊で、G群は約70%が界面破壊、G+N群では25%がSBSの凝集破壊、約60%が混合破壊、C群は約半数がSBSの凝集破壊で30%が混合破壊であった (図11, 12)。

2) 色素侵入試験

色素侵入試験後の光学顕微鏡写真を図13に示す。W群は歯面とSBSの間に広範囲に間隙がみられ、大きな色素侵入が観察された。G群はW群より距離は短い間隙が認められ、色素侵入も大きかった。G+N群とCでは間隙は見られず、色素侵入もきわめてわずかであった。

色素侵入試験は、試料作製中に破断したものを計測から

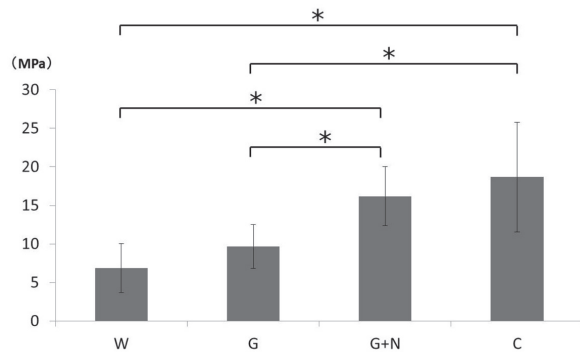


図10 微小引張試験による接着強さ

* : $p < 0.05$ Games-Howell test

G+N群は水酸化カルシウム貼薬していないC群と有意差がなく ($p > 0.05$), W群, G群と比較して有意に高かった ($p < 0.05$).

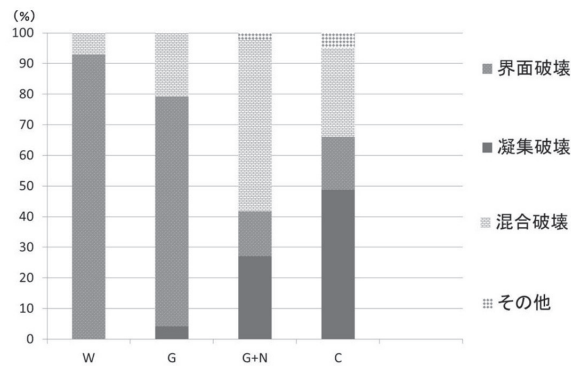


図11 微小引張試験の破断形態分類

W群とG群では象牙質とSBSの界面破壊が多く, G+N群とC群ではSBSの凝集破壊や混合破壊が多かった.

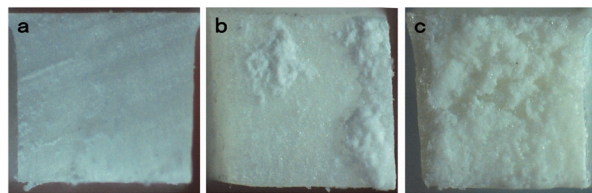


図12 微小引張試験破断面の代表例

a : W群, 象牙質とSBSの界面破壊 b : G+N群, 混合破壊
c : C群, SBS凝集破壊

除外し, 計測した試料数は各群6歯であった. 色素侵入距離はW群 $1409.2 \pm 62.7 \mu\text{m}$, G群 $1133.9 \pm 83.7 \mu\text{m}$, G+N群が $442.6 \pm 79.1 \mu\text{m}$, C群が $376.7 \pm 106.2 \mu\text{m}$ で, G+N群はC群との間に有意差はなく ($p > 0.05$), W群およびG群より有意に小さかった ($p < 0.05$) (図14).

実験2

1) 根尖からの色素侵入試験

根尖からの色素侵入試験後の光学顕微鏡写真を図15に示す. W群は根管壁とSBSの間に広く間隙がみられ, 色素も

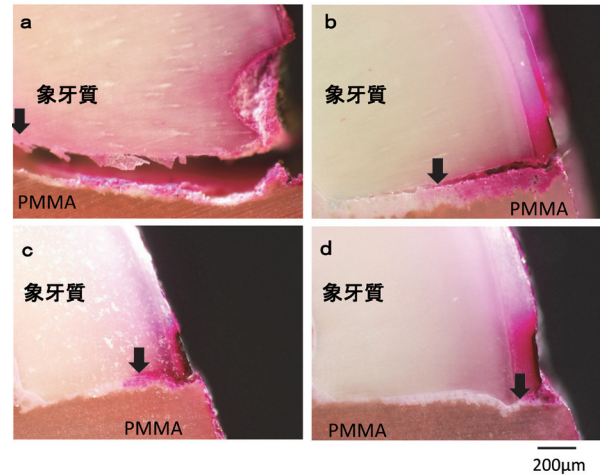


図13 色素侵入試験後の光学顕微鏡観察写真

a : W群 b : G群 c : G+N群 d : C群

W群とG群は歯面とSBSの間に間隙が認められ, ↓部まで色素侵入がみられた. G+N群とC群は間隙がみられず色素侵入はわずかであった.

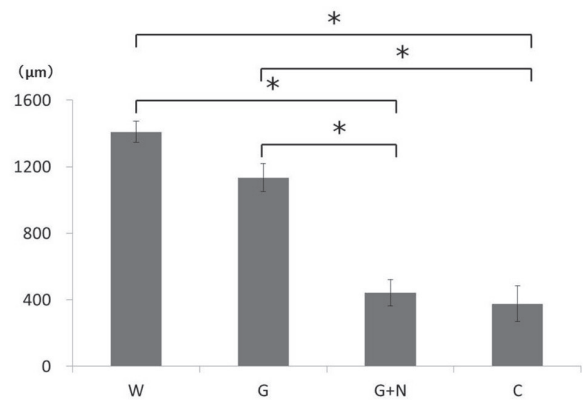


図14 色素侵入距離

* : $p < 0.05$ Games-Howell test

G+N群はC群との間に有意差はなく ($p > 0.05$), W群およびG群より有意に小さかった ($p < 0.05$).

大きく侵入した. G+N群とC群では間隙はみられず, 色素侵入もわずかであった.

色素侵入距離はW群が $2578.4 \pm 782.2 \mu\text{m}$, G+N群が $394.8 \pm 141.7 \mu\text{m}$, C群が $369.4 \pm 110.3 \mu\text{m}$ で, G+N群はW群と比較して有意に小さく ($p < 0.05$), C群と有意差は認められなかった ($p > 0.05$) (図16).

2) 接着界面のSEM観察像

W群では多くの部位でSBSと根管壁の間に間隙がみられ, 間隙がみられなかった部位でもレジタグは短く, 数も少なかった (図17-a). G+N群とC群は, いずれも根管壁とSBSの界面に塩酸や次亜塩素酸ナトリウムに溶解しない厚さ約 $10 \mu\text{m}$ の層がみられ, 長いレジタグが観察された (図17-b, c).

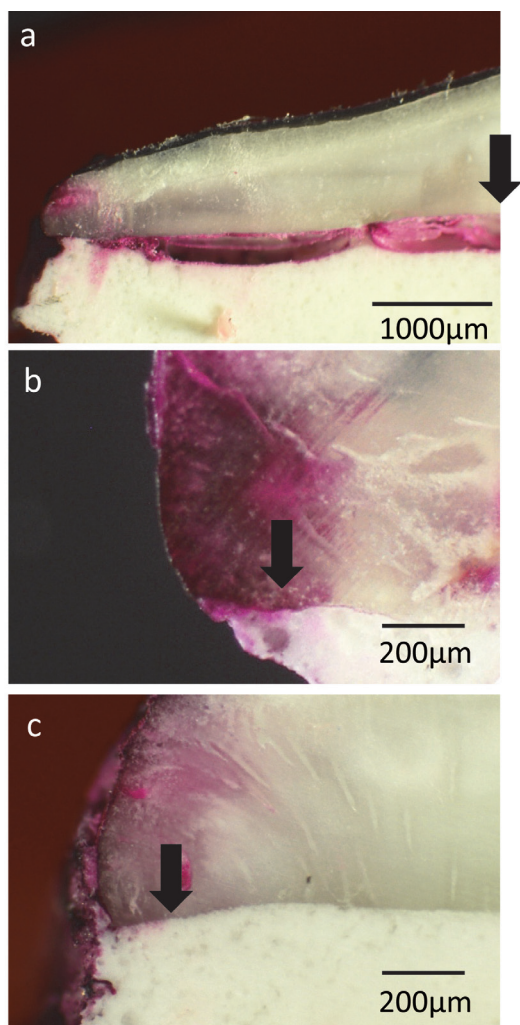


図15 根尖からの色素侵入試験後の光学顕微鏡写真

a : W群 b : G+N群 c : C群

W群は根管壁とSBSの間に広く間隙がみられ、色素も大きく侵入したが、G+N群とC群では間隙はみられず色素侵入もわずかであった。

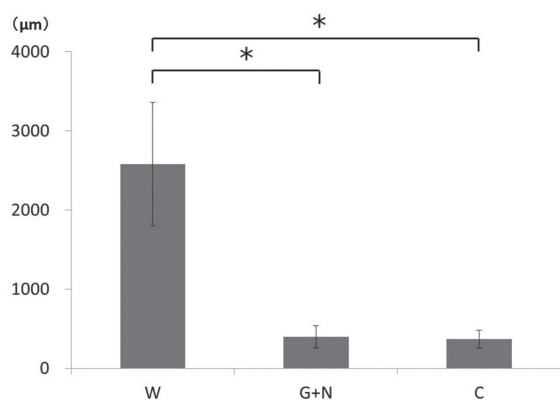


図16 根尖からの色素侵入距離

* : $p < 0.05$ Games-Howell test

G+N群はW群と比較して有意に小さく ($p < 0.05$), C群と有意差は認められなかった ($p > 0.05$).

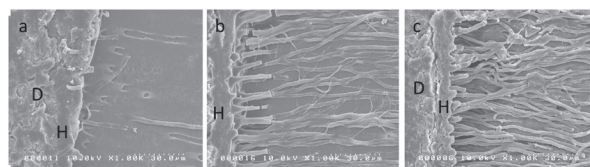


図17 接着界面の走査型電子顕微鏡写真

a : W群 b : G+N群 c : C群

D : 象牙質, H : 塩酸にも次亜塩素酸にも溶解しない層

W群では根管壁とSBSの間に間隙がみられなかった部位でもレジントグは短く、数も少なかったが、G+N群とC群では長いレジントグが多数観察された。

考 察

1. 水酸化カルシウム製剤

根管内に水酸化カルシウムを貼薬する場合、根管貼薬用に市販されているプレミックスタイプを用いる方法と、蒸留水と水酸化カルシウム粉末を混和して用いる方法がある。プレミックスタイプの水酸化カルシウム製剤は水酸化カルシウムの濃度が24～48%で、基材としてプロピレングリコール、シリコンオイル、エックス線造影性を付与するための硫酸バリウムなどが含まれており、これらの基材は根管からの除去をさらに困難にすると報告されている¹⁴⁾。一方、蒸留水と水酸化カルシウム粉末を混和して用いる場合には、操作性が悪く、空気中の二酸化炭素と反応して炭酸カルシウムとなるため長期保存ができないが、水酸化カルシウム濃度を高くすることが可能で、根管からの除去も行いやすいため、本研究では蒸留水と水酸化カルシウム粉末を混和して使用した。水酸化カルシウムの濃度は、Kファイルとスプレッターによる根管内への填入しやすさから、50%とした。

2. クエン酸製剤

根管内を洗浄する薬剤として、ウルトラデントクエン酸20%と歯面処理材グリーン、さらにネオクリーナーを併用した。ウルトラデントクエン酸20%は水酸化カルシウム除去用として市販されており、市販されているクエン酸溶液としては最も濃度が高いことから選んだ。歯面処理材グリーンは、クエン酸濃度は10%であるが塩化第二鉄を3%添加することでpHは1以下となり、ウルトラデントクエン酸20%のpH2よりも低いことと、コラーゲンの変性が少なく接着に有利になる可能性があることから選択した。ネオクリーナーは単独で使用しても水酸化カルシウムの除去効果は不十分との報告^{17, 20)}がある一方で、酸やEDTAとの交互洗浄を行うと除去効果が上昇するとの報告²¹⁾がある。また、クエン酸を根管内に長時間作用させると過脱灰になり、脱灰層へのレジンの浸透が不十分になるため、過脱灰になった象牙質の有機質を溶解する目的で、ネオクリーナーを併用した。

3. 根管モデルの作製

ファイルが接触して機械的に水酸化カルシウムを除去することが不可能な部分での除去効果を詳細に評価するため、実験1では歯根を分割し、間隙を作製して歯根を復位、接着、固定した。間隙幅は水酸化カルシウムが確実に侵入し、かつファイルが入らない幅とした。水酸化カルシウムの除去後に再度歯根を分割して間隙部の水酸化カルシウム残存率を評価することにより、試料作製途中に間隙部に付着している水酸化カルシウムが脱落することなく評価が可能であった。予備実験の結果、間隙部の水酸化カルシウムは一方の歯根にのみ付着してもう一方には残存しないということではなく、両面ほぼ均等な残存状態であったことから、一方の歯根で残存率を計測し、もう一方の歯根でSEM観察を行った。実験2ではLeeら²²⁾の方法を参考に根管壁にグルーブを形成して実験を行った。いずれも超音波ファイルの直径より狭いことから、間隙部やグルーブでの水酸化カルシウムの除去効果は、水流と化学的な効果であったと考えられる。なお、実験1で間隙部の評価部位を根管壁から1.5mmまでとしたのは、根尖部付近では根管拡大後の根管壁の厚みが概ね1.5mm程度であったためである。

また、被験歯には牛歯を用いた。これは、規格した根管形態で実験を行うために、歯根形態が同様の歯を多数収集することが可能なためである。したがって、水酸化カルシウムの除去方法を比較するためには有用であったと考えられるが、牛歯は人歯と比較して耐酸性が劣るとの報告もあることから²³⁾、水酸化カルシウム除去後の接着性を評価するには、今後、人歯での評価も必要と思われる。

4. 部位による水酸化カルシウム除去効果

実験1-1の結果、W群では根管壁部、間隙部ともに水酸化カルシウムの残存が多く、象牙細管はほとんど観察されなかった。とくに間隙部の根管から1.0~1.5mmの部位では、超音波洗浄時間を30秒から60秒に延長しても残存率はほとんど低下しなかったことから、さらに時間を延長しても残存率の低下は期待できないと考えられた。また、超音波洗浄ではアコースティックストリームとキャビテーションにより高い洗浄効果があると報告^{24~27)}されているが、本研究では根尖部1mmから8mmの根管壁と間隙部のいずれの部位でも残存率に有意差は認められず、超音波振動の大きい腹部分と振動が小さい節部分で除去効果に大きな差は生じていないと考えられた。これは、根管の拡大が#140でファイルが#50と、ファイルと根管壁に距離があるため、アコースティックストリームやキャビテーションの効果が十分に及ばなかったためと思われる。したがって、超音波ファイルが接触しない部位の水酸化カルシウムを除去する場合、超音波ファイルを上下動させず固定した位置で超音波振動を行えば良いと思われる。しかし、根尖部ではやや残存率が高く、超音波ファイル先端から1mm

以上根尖部では十分な除去効果が発揮されなかったことから、確実に除去するためには、超音波ファイル先端はアピカルシートから1mm以内の位置まで挿入して洗浄することが必要と思われた。

5. クエン酸製剤と水酸化カルシウム除去効果

グリーンとウルトラデントクエン酸20%で水酸化カルシウムの残存率を比較すると、グリーンの方が低かった。この理由として、ウルトラデントクエン酸20%では基材としてプロピレングリコール、キサンタンガムやシリコンを含有しているため流動性がグリーンより低く、細部への浸透や、超音波振動による流速が低かった可能性が考えられた。さらに、20%クエン酸のpHは約2.0前後であるが、グリーンのpHは塩化第二鉄の影響により約0.86²⁸⁾とされており、低いpHが水酸化カルシウムの除去に有利に働いたと思われる。

6. 水酸化カルシウム除去後の象牙質面

ウルトラデントクエン酸20%を使用した群においても、グリーンを使用した群でも、根管壁部のSEM観察で象牙細管が広く拡大されており、象牙質が過脱灰になっている可能性が考えられた。しかしながら、脱灰量と接着強さには相関関係がなく、コラーゲンの変性を抑制できるかが接着強さに大きく影響することが指摘されている^{29,30)}。また、グリーンは塩化第二鉄の影響でコラーゲンの変性が少なく、象牙質の過脱灰を抑制し²⁹⁾、レジンの接着に有利に働くことが示されている。しかし、過脱灰した象牙質にレジンが十分に浸透しないと、接着耐久性が大きく低下する原因となる^{31~33)}。したがって、次亜塩素酸ナトリウムを併用することは、水酸化カルシウムの除去効果を高めるだけでなく、過脱灰により露出したコラーゲンを除去し、接着に有利な象牙質面に改変するのにも有効と考えられる。また、グリーンに次亜塩素酸ナトリウムを併用すると、グリーン単独で用いた場合より水酸化カルシウムの除去効果が高くなった。これは、脱灰が進行した象牙質表面の有機質をさらに溶解することによって、表面に付着している水酸化カルシウムが除去されたためと考えられた。

7. 水酸化カルシウム除去後の封鎖性と引張強さ

実験1で根管壁から1.0mm以上離れた間隙部でも高い封鎖性と引張強さが得られるだけの水酸化カルシウム除去効果が得られたが、被着面が平面の場合に比べ、実際に根管充填する場合には全周が被着面となるためconfiguration factorが大きく重合収縮に伴うコントラクションギャップが生じやすくなる。さらに、根管内では歯面処理や水洗、乾燥、シーラーの塗布なども不確実になりやすく、接着に不利な条件が多くなる。そこで実験2では、臨床に即したモデルを作製し、SBSを用いた単一ポイント根管充填法を

行った場合に、ファイルが接触しないグループ部で十分な封鎖性が得られるかを評価した。

その結果、水道水で超音波洗浄したW群は根尖孔からの色素侵入量が多く、根管壁とシーラーの界面には間隙が多く見られ、一部間隙がみられなかった部位でもレジタグは短く数も少なかった。これは象牙質面に多くの水酸化カルシウムが残存し、管間象牙質が露出していた一部の部位でも象牙細管は水酸化カルシウムで閉塞されていたためと考えられ、実験1の所見と一致するものであった。一方、G+N群はC群と色素侵入量に差がなく、界面のSEM観察においても、ハイブリッド層と考えられる酸にも次亜塩素酸にも溶解しない10 μ m程度の層や、長いレジタグが両群とも同様に認められた。実験1では、グリーンを長時間作用させて象牙細管が広く拡大し過脱灰になっていた象牙質面をNCで溶解することで、接着に適切な象牙質面を得ることができたと考えられたが、実験2の結果は、実験1より接着条件の厳しい根管においても、十分に接着可能な象牙質面が得られていたことを示すものと考えられた。しかし、過脱灰になっていると接着直後の封鎖性は低下しなくても、長期的な接着耐久性が低下しやすいことから^{34,35)}、この点についての評価は今後の課題と言える。

8. 今後の課題

今後さらにヒトの歯を用いて検討するとともに、間隙幅や超音波スケーラーの出力の影響、水酸化カルシウム製剤による違い、彎曲根管における除去効果なども評価し、歯面処理剤グリーンとネオクリナーを併用した超音波洗浄法を臨床応用することで、水酸化カルシウム貼葉の大きな欠点を解決し、ファイルが十分に根管壁に接触しない難治性根尖性歯周炎の治療成績の向上に役立つものと思われる。

結 論

牛歯根管に水酸化カルシウムを貼葉し、クエン酸と次亜塩素酸ナトリウムによる超音波洗浄を行い、以下の結論を得た。

1. 水酸化カルシウムの残存率は歯面処理材グリーン60秒とネオクリナー30秒の超音波洗浄が最も低く、ファイルが接触できない部位に対しても1%以下であった。
2. スーパーボンド根充シーラー接着後の微小引張試験と色素侵入試験は、歯面処理材グリーン60秒とネオクリナー30秒の超音波洗浄法が最も良好な成績を示し、水酸化カルシウムを貼葉しない場合と有意差がなかった。
3. スーパーボンド根充シーラーを用いた単一ポイント根管充填後の根尖からの色素侵入量は、歯面処理材グリーン60秒とネオクリナー30秒の超音波洗浄を行った群は、水酸化カルシウムを貼葉していない群と有意差がなかった。

謝 辞

稿を終えるにあたり、本研究に並々ならぬご支援・ご協力を賜りました、北海道大学 大学院歯学研究科 口腔健康科学講座歯周・歯内療法学教室 田中佐織先生に御礼を申し上げますとともに、同教室員の皆様の暖かいご協力に感謝いたします。

参 考 文 献

- 1) Hermann BW : Calcium hydroxyd als mittel zur behandlung und fullung von urzelkanalen. Univ. Wurzburg Med Dissertation, 1920.
- 2) Foreman PC, Barnes IE : A review of calcium hydroxide. Int Endod J, 23 : 83-297, 1990.
- 3) Martin DM, Crabb HSM : Calcium hydroxide in root canal therapy. Br Dent J, 142 : 277-283, 1977.
- 4) 林 善彦, 永澤 恒 : 難治性感染根管治療への水酸化カルシウムペーストの応用. 日歯保存誌, 34 : 986-992, 1991.
- 5) Tanomaru-Filho M, Leonardo MR, Silva LAB : Effect of irrigation solution and calcium hydroxide root canal dressing on the repair of apical and periapical tissues of teeth with periapical lesion. J Endod, 28 : 295-299, 2002.
- 6) 三上大輔, 菅谷 勉, 川村直人, 川浪雅光 : 根管充填法の違いが根尖孔の大きい根管の封鎖性に及ぼす影響. 北歯学誌, 印刷中, 2011.
- 7) Porkaew P, Retief DH, Barfield RD, Lacefield WR, Soong SJ : Effects of calcium hydroxide paste as an intracanal medicament on apical seal. J Endod, 16 : 369-74, 1990.
- 8) Kim SK, Kim YO : Influence of calcium hydroxide intracanal medication on apical seal. Int Endod J, 35 : 623-628, 2002.
- 9) 西谷佳浩, 西谷登美子, 糸田俊之, 高畑安光, 吉山昌宏 : 水酸化カルシウムペーストがセルフエッチングプライマーの根管象牙質への接着強さに及ぼす影響. Adhes Dent, 22 : 103-109, 2004.
- 10) Baebizam JV, Trope M, Teixeira EC, Tanumaru-Filho M, Teixeira FB : Effect of calcium hydroxide intracanal dressing on the bond strength of a resin-based endodontic sealer. Braz Dent J, 19 : 224-227, 2008.
- 11) Lambrianidis T, Margelos J, Beltes P : Removal efficiency of calcium hydroxide dressing from the root canal. J Endod, 25 : 85-88, 1999.
- 12) van der Sluis LW, Wu MK, Wesselink PR : The evaluation of removal of calcium hydroxide paste

- from an artificial standardized groove in the apical root canal using different irrigation methodologies. *Int Endod J*, 40 : 52-57, 2007.
- 13) 五島奈実, 後藤康治, 赤峰昭文 : カルシベックスの効果的除去法についての検討. *日歯内療誌*, 24 : 71-77, 2003.
- 14) Balvedi RP, Versiani MA, Manna FF, Biffi JC : A comparison of two techniques for the removal of calcium hydroxide from root canals. *Int Endod J*, 43 : 763-768, 2010.
- 15) Naaman A, Kaloustian H, Ounsi HF, Naaman-Bou Abboud N, Ricci C, Medioni E : A scanning electron microscopic evaluation of root canal wall cleanliness after calcium hydroxide removal using three irrigation regimens. *J Contemp Dent Pract*, 8 : 11-18, 2007.
- 16) Rödiger T, Vogel S, Zapf A, Hülsmann M : Efficacy of different irrigants in the removal of calcium hydroxide from root canals. *Int Endod J*, 43 : 519-527, 2010.
- 17) Kuga MC, Tanomaru-Filho M, Faria G, Só MV, Galletti T, Bavello JR : Calcium hydroxide intracanal dressing removal with different rotary instruments and irrigating solutions : a scanning electron microscopy study. *Braz Dent J*, 21 : 310-314, 2010.
- 18) 石橋崇俊, 細矢哲康, 飯野史明, 新井高 : 水酸化カルシウム製剤を貼葉した根管に対する洗浄剤としての乳酸水溶液の有効性. *日歯保存誌*, 49 : 195-199, 2006.
- 19) 山口正孝 : クエン酸の根管洗浄に関する研究. *愛知歯学誌*, 31 : 225-242, 1993.
- 20) Kenney DM, Allemang JD, Johnson JD, Hellstein J, Nichol BK : A quantitative assessment of efficacy of various calcium hydroxide removal techniques. *J Endod*, 32 : 563-565, 2006.
- 21) Tatsuta CT, Morgan LA, Baumgartner JC, Adey JD : Effect of calcium hydroxide and four irrigation regimens on instrumented and uninstrumented canal wall topography. *J Endod*, 25 : 93-98, 1999.
- 22) Lee SJ, Wu MK, Wesselink PR : The efficacy of ultrasonic irrigation to remove artificially placed dentine debris from different-sized simulated plastic root canals. *Int Endod J*, 37 : 607-612, 2004.
- 23) 荒尾武文, 中林宣男 : 牛歯ダンベル型接着資料を用いた引張試験の長所 : 歯材器, 16 : 175-181, 1997.
- 24) Ahmad M, Pitt Ford TR, Crum LA : Ultrasonic debridement of root canals : An insight into the mechanism involved. *J Endod*, 13 : 93-101, 1987.
- 25) Ahmad M, Pitt Ford TR, Crum LA : Ultrasonic debridement of root canals : Acoustic streaming and its possible role. *J Endod*, 13 : 490-499, 1987.
- 26) Ahmad M, Pitt Ford TR, Crum LA, Walton AJ : Ultrasonic debridement of root canals : Acoustic cavitation and its relevance. *J Endod*, 14 : 486-493, 1988.
- 27) 駒橋一永 : 超音波を応用した根管洗浄の機序に関する研究. *日歯保存誌*, 31 : 821-832, 1988.
- 28) Soeno K, Taira Y, Jimbo T, Sawase T : Surface treatment with ascorbic acid and ferric chloride improves the micro-tensile bond strength of 4-META/MMA-TBB resin to dentin. *J Dent*, 38 : 940-944, 2008.
- 29) 清村正弥, 阿部義人, 中林宣男 : 4-META/MMA-TBB系レジンの象牙質への接着—クエン酸-FeCl₃前処理法の再検討—. *日歯保存誌*, 28 : 277-284, 1985.
- 30) 水沼徹 : レジンの象牙質に対する接着と象牙質コラーゲンの構造変化—塩化第二鉄がコラーゲンに与える影響—. *歯材器*, 5 : 54-64, 1986.
- 31) 中林宣男, 小島克則, 増原英一 : 歯科用即時重合レジンに関する研究 (第24報) —象牙質に対する機械的維持による接着—. *歯材器*, 1 : 74-77, 1982.
- 32) 渡辺功, 宝田健二, 中林宣男 : 4-META/MMA-TBBレジンのリン酸処理象牙質への接着. *歯材器*, 10 : 671-677, 1991.
- 33) Hashimoto M, Ohno H, Kaga M, Sano H, Tay FR, Oguchi H, Araki Y, Kubota M : Over-etching effects on micro-tensile bond strength and failure patterns for two dentin bonding systems. *J Dent*, 30 : 99-105, 2002.
- 34) Sano H, Shono T, Takatsu T, Hosoda H : Microporous dentin zone beneath resin-impregnated layer. *Oper Dent*, 19 : 59-64, 1994.
- 35) Tay FR, Pashley DH : Water treeing—a potential mechanism for degradation of dentin adhesives. *Am J Dent*, 16 : 6-12, 2003.

ORIGINAL

Effect of citric acid application on removal of calcium hydroxide and root canal sealing

Taro Washizu, Tsutomu Sugaya and Masamitsu Kawanami

ABSTRACT : Calcium hydroxide has been generally used root canal dressing. However, remnants of medicament reduced the sealing ability of a resin-based-sealer. The purpose of this study was to investigate the efficacy of citric acid irrigation on the removal of calcium hydroxide and on root canal sealing.

For experiment 1, extracted bovine root were split longitudinally into halves. After a 300 μ m wide was prepared, the roots were reconstituted and fixed. The reassembled root canal was filled with calcium hydroxide ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), stored for 1 week at 37°C in 100% humidity and ultrasonically irrigated with an ultrasonic file #50 and the following irrigants: (1) group W30s/60s: with pour water, (2) group G30/60s: with 10% citric acid and 3% ferric chlorite, (3) group G30s/60s+N: in addition to group G, 10% sodium hypochlorite 30s, (4) group CA30s/60s: 20% citric acid, (5) group CA30s/60s+N: in addition to group CA, 10% sodium hypochlorite for 30s. The percentage of the $\text{Ca}(\text{OH})_2$ remnants area was measured microscopically with $\times 100$ magnification and was calculated for each removal method. The dentin surfaces of the root canal and gap were examined by SEM. Micro tensile bond strength (MTBS) and dye penetration tests were employed to evaluate the dentin bond strength and leakage between the 4-META/MMA-TBB resin sealer (SBS) and the dentin surface of groups G60s, G60s+N, W60s, and group C with no root canal dressing. For experiment 2, two 300 μ m wide grooves were cut into the apical part of the root canal dentin of the extracted bovine root and filled with $\text{Ca}(\text{OH})_2$. After the following irrigation: (1) W60s (2) G60s (3) G60s+N, and no root canal dressing, root canals were filled with a single gutta-percha point and SBS. Dye penetration distances were measured from the apical foramen. And the adhesive interface was observed by SEM.

As the results, the percentage of $\text{Ca}(\text{OH})_2$ remnants area was less than 1% in group G60s+N, the lowest among all the groups. The micro tensile bond strengths and dye penetration tests showed no significant differences between group G60s+N and group C. The dye penetration from the apical foramen of group G60s+N was statistically significantly less than that of group W and not significantly different from group C. A hybrid layer and resin tugs were observed at the adhesive interface by SEM.

Overall, it is suggested that a 10% citric acid and 3% ferric chlorite 60s and 10% sodium hypochlorite 30s combination is the most effective in removing calcium hydroxide from root canals and in root canal sealing with 4-META/MMA-TBB resin sealer.

Key Words : Calcium Hydroxide, Ultrasonic irrigation, Citric acid, Adhesive root canal sealer, apical seal