



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	各種根管洗浄法の洗浄効果と水酸化カルシウム製剤による水酸化物イオンの拡散
Author(s)	豊田, 有希; 吉原, 俊博; 八若, 保孝
Citation	北海道歯学雑誌, 34(2), 53-64
Issue Date	2014-03
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/55157
Type	journal article
File Information	34-02_02_toyota.pdf



原 著

各種根管洗浄法の洗浄効果と 水酸化カルシウム製剤による水酸化物イオンの拡散

豊田 有希 吉原 俊博 八若 保孝

抄 録：臨床において、歯根の外部吸収の治療には、根管清掃および水酸化カルシウム製剤による根管貼薬が行われている。本研究は、各種根管洗浄法のスミヤー層除去効果と水酸化物イオンの拡散に与える影響を明らかにすることを目的とした。

本実験には、抜去ヒト永久歯およびヒト乳歯の歯根部分を使用した。根管形成後、洗浄法により群分け（永久歯：G1, G2, G3, G4, G5, 乳歯：G1, G2, G2-30, G2-15, G5, G5-30, G5-15）を行った。洗浄法は、G1：交互洗浄（5 % NaOCl, 31 % H_2O_2 ）、G2, G2-30, G2-15：5 % NaOCl超音波洗浄、G3：5 % EDTA超音波洗浄、G4：5 % NaOCl超音波洗浄→5 % EDTA超音波洗浄、G5, G5-30, G5-15：5 % EDTA超音波洗浄→5 % NaOCl超音波洗浄とした。超音波洗浄は、洗浄剤を根管内に満たし、超音波スケーラー（Osada ENAC 10W）を用いて行い、作用時間はG2, G3, G4, G5が45秒、G2-30, G5-30が30秒、G2-15, G5-15が15秒とし、各群とも最後に交互洗浄を行った。実験1（根管内壁の観察）として、走査型電子顕微鏡（SEM：HITACHI S-4000）にて根管内壁を観察し、得られた電子顕微鏡写真から象牙細管開口率を算出した。実験2（歯根周囲のpH変化）として、試料の歯根外表面に人工的に吸収窩を付与し、根管内に水酸化カルシウム製剤を貼薬した後に、1, 2, 3, 4週後の吸収窩周囲のpH変化をスコア化した。実験1, 2から得られたデータについて統計処理を行った。

その結果、永久歯ではEDTA単独あるいはNaOClと併用して超音波洗浄を行う方法が、乳歯ではNaOCl単独で超音波洗浄を行う方法がスミヤー層を効果的に除去し、なおかつ水酸化物イオンの拡散を促進させることが示唆された。

キーワード：根管洗浄，スミヤー層，水酸化カルシウム製剤，水酸化物イオンの拡散，外部吸収

緒 言

臨床において、歯根の外部吸収の治療には、根管清掃および水酸化カルシウム製剤による根管貼薬が行われている。これは、水酸化物イオンが歯根歯質を通過して歯根外表面へ拡散し、それにより破骨細胞から産出される酸を中和する¹⁾など、歯根表面の吸収プロセスを抑制する作用があると考えられているためである¹⁻⁴⁾。一方、リーミング・ファイリングにより根管壁に形成されたスミヤー層は、象牙細管を閉塞し、根管貼薬剤の歯質への浸透を阻害することが報告されている⁵⁻⁷⁾。したがって、外部吸収歯に対する治療効果を高めるためには、根管洗浄によりスミヤー層を効果的に除去し、歯根の外表面への水酸化物イオンの拡散を促進させる必要があると考えられる。

これまで、根管洗浄に使用する溶液の濃度や量、作用時間、他剤との組み合わせ、洗浄補助器具の使用など、スミ

ヤー層除去に効果的な根管洗浄法の比較検討がなされている⁸⁻¹⁷⁾。現在のところ、根管の最終洗浄に、EDTAのようなキレート剤とNaOClを使用する方法が、スミヤー層を構成する無機質と有機質の両方を除去可能であると広く知られている¹⁸⁻²⁰⁾。しかし、過度の根管洗浄はスミヤー層を除去するだけでなく、管周象牙質や管間象牙質まで溶解し、象牙細管開口部を拡大させてしまうといった、根管象牙質のerosionを引き起こす恐れがある^{10-13,15,16)}。そのため、スミヤー層を効果的に除去し、なおかつ歯根歯質への為害性が低い根管洗浄法の検討が必要である。

また、水酸化カルシウムを含む根管貼薬剤による歯根周囲への水酸化物イオンの拡散を調べた実験が行われている^{1,21-29)}が、現在のところ、実験手法が十分に確立されたとはいいがたく、いまだ不明な点が多い。さらに、こうした根管治療に関する研究は、永久歯では多く報告されている一方で、乳歯に対する研究報告は少ない。そこで、本研

究は、永久歯および乳歯において、根管内のスミヤー層除去に有効な根管洗浄法を検討するとともに、歯根の外部吸収窩周囲への水酸化物イオンの拡散に効果的な根管治療法を明らかにすることを目的とした。

材 料 と 方 法

1. 倫理審査

本実験は、北海道大学大学院歯学研究科臨床・疫学研究倫理審査委員会の承認を受けた（承認番号2012第1号）。

2. 試料の作製

(1) 抜去歯の選別

本実験では、ヒト永久歯60本ならびにヒト乳歯37本を使用した。ヒト永久歯は、単根・1根管で歯根彎曲度が小さいもの、ヒト乳歯は歯根が3分の2以上残っているものとした。これらのうち、歯根歯質に亀裂、齲蝕、著しい歯石沈着がみとめられるもの、根管治療が行われているものは除外した。歯は、抜去後から実験開始までの期間、4℃の水中に保存した。

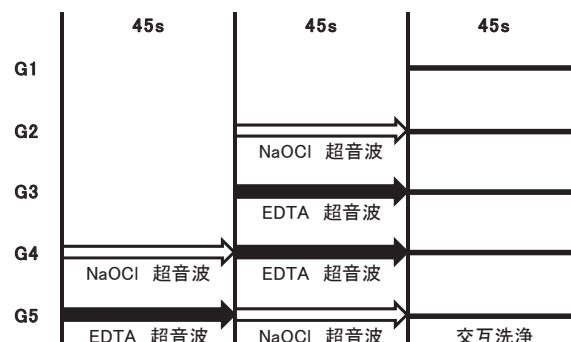
(2) 根管拡大および根管形成

選別したヒト永久歯に対し、タービンにラウンドバーを装着し、注水下にて使用し、セメントエナメル境で歯冠を切断し、根管口を露出させた。ヒト乳歯に対しては、歯冠側より通法に従い髓腔穿孔・開拡を行い、根管口を露出させた。各試料に対して、Kファイル（デンツプライ三金、東京）を用いて根管の機械的拡大および形成を行った。15号のKファイルの先端が根尖から見えるところを根尖側基準点とし、この点から歯冠側の基準点までの長さを根管長とした。ヒト永久歯では、根尖の太さ（アピカルサイズ）を45号以上に設定した。得られた根管長から1mm引いた長さを作業長とし、80号まで根管拡大・形成を行った。ヒト乳歯では、根管長の長さを作業長とし、40号まで根管拡大・形成を行った。

(3) 根管洗浄

交互洗浄は、5%次亜塩素酸ナトリウム溶液（NaOCl、関東化学、東京）と31%過酸化水素水（ H_2O_2 、関東化学、東京）をミニマムシリンジに入れて行った（ $NaOCl \rightarrow H_2O_2 \rightarrow NaOCl$ ）。EDTAは、5%EDTA溶液（pH 7.2, 4℃）を用いた。超音波洗浄は、超音波スケーラー（Osada ENAC 10W、長田電機、愛知）にサイズ15のルートチップを装着し、Power1、無注水下で使用し、チップの先端を作業長から1mm引いた長さまで挿入して行った。その際、15秒ごとに根管内に洗浄剤を追加し、根管内に常に洗浄剤で満たした状態で超音波洗浄を行った。これらの根管洗浄法の組み合わせにより、ヒト永久歯は5グループ（G1、G2、G3、G4、G5）に、ヒト乳歯は7グループ（G1、G2、G2-30、G2-15、G5、G5-30、G5-15）に分類した（図1）。永久歯においては、EDTAによる1分間

< 永久歯 >



< 乳歯 >

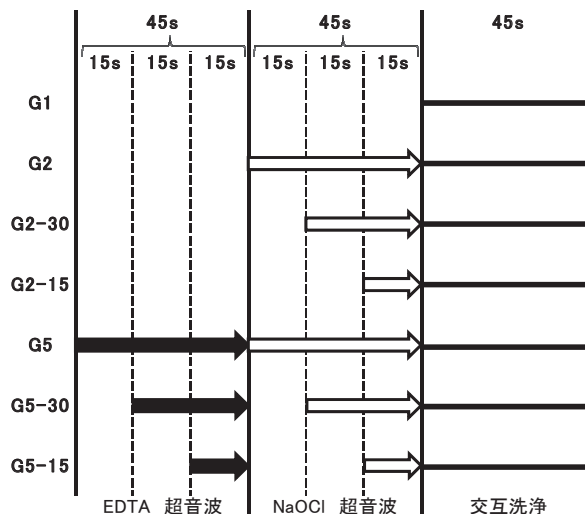


図1 根管洗浄法によるグループ分け

の根管洗浄によってスミヤー層を効果的に除去したという報告がある¹¹⁾が、乳歯においては知見がほとんどない。そのため、本実験では、永久歯への根管洗浄剤の作用時間は一律45秒間に設定し、乳歯に対しては、作用時間の検討を行う目的で、45秒間、30秒間、15秒間と、細かく設定を行った。

(4) 電子顕微鏡用試料の作製

試料のうち、ヒト永久歯35本、ヒト乳歯21本を歯軸に沿って2分割し、通法に従って浸漬固定、脱水、置換、臨界点乾燥、蒸着により、走査型電子顕微鏡用試料を作製した。

(5) 外部吸収モデル歯の作製

試料のうち、ヒト永久歯25本、ヒト乳歯16本に対しては、タービンにラウンドバーを装着し、注水下にて使用し、歯根中央部の外表面に窩洞（2mm×3mm×1mm、根管には達しない）を付与した。窩洞内をG5の洗浄法で洗浄し、この窩洞を外部吸収窩、同試料を外部吸収モデル歯とした。

3. 根管内壁の観察

走査型電子顕微鏡（SEM：HITACHI S-4000、加速電圧10kV、倍率1500倍）にて根中央部と根尖部の根管内壁

の観察を行い、Romeら⁹⁾のスケールを下に、根管内壁に残存したスミヤー層の量と象牙細管開口部の状態を比較した。スミヤー層の量は、大量(根管内壁はほとんどスミヤー層に覆われ、象牙細管の輪郭が認められない)、中等度(根管内壁は部分的にスミヤー層に覆われ、象牙細管の輪郭がわかる、あるいは一部閉塞している)、ほとんどなし(根管内壁にはほとんどスミヤー層がなく、象牙細管は開口あるいは一部閉塞している)とした。また、永久歯の根中央部12か所と根尖部6か所、乳歯の根中央部10か所と根尖部4か所を無作為に撮影し、得られた電子顕微鏡写真から、象牙細管が完全に開口している部分の根管象牙質面積をA、電子顕微鏡写真に写っている根管象牙質全体の面積をBとし、象牙細管開口率($A/B \times 100$)を算出した。

4. 歯根周囲のpH変化の観察

外部吸収モデル歯は、永久歯では5本ずつ5グループ(G1C, G2C, G3C, G4C, G5C)に、乳歯では8本ずつ2グループ(G2-30C, G2-30V)に分類し、根管内にカルシベックス(Calcipect[®] II, 日本歯科薬品, 山口)を貼薬したグループをC, ビタベックス(Vitapex[®], ネオ製薬工業, 東京)を貼薬したグループをVとした(表1)。本実験では、永久歯の根管貼薬にはカルシベックスを使用し、根管洗浄法の違いによる歯根周囲のpH変化の比較検討を行った。乳歯に対しては、小児歯科臨床で根管貼薬に使用されているカルシベックスおよび根管貼薬ならびに根管充填剤として使用されているビタベックスを用いて、根管貼薬剤の違いによる歯根周囲のpH変化の比較を行うこととした。試料は、根管内に水酸化カルシウム製剤を貼薬した後、根管口と根尖孔を即時重合レジン(UNIFAST III, ジーシー, 東京)にて封鎖した。これらを1%フェノールフタレイン含有寒天(Bacto[™] Agar, BD社, USA)中に埋入し、37℃に設定した保温庫(ACW-610, アピックス, 大阪)内に保管した。フェノールフタレインはpH8.5以上のアルカリ領域では赤い色を呈することから、この変色をpH約12の水酸化カルシウム製剤からの水酸化物イオンの拡散の指標とし²⁶⁾、定性的な比較検討を行った。埋入直後、1週間後、2週間後、3週間後、4週間後に保温庫から取り出し、カメラ(CX5, リコー, 東京)にて写真を撮影した。得られた画像から歯根周囲の水酸化物イオンの拡散の程度をスコア化

した。すなわち、寒天の変色域によって、スコア0：拡散なし(寒天の変色なし)、スコア1：拡散あり(外部吸収窩周囲に局限した寒天の変色)、スコア2：著明な拡散あり(外部吸収窩周囲より広範囲に及ぶ寒天の変色)とした。(図2)

スコア	水酸化物イオンの拡散	寒天培地の変色域
0	(-)	なし
1	(+)	外部吸収窩周囲に局限
2	(++)	外部吸収窩周囲より広範囲に及ぶ

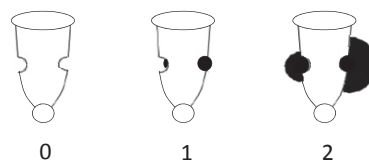


図2 水酸化物イオン拡散のスコア

5. 統計

得られた結果に対し、Stat View[®](ヒューリンクス, 東京)を使用して、統計学的解析を行った。グループ間の比較には一元配置分散分析およびポストホックテストとしてBonferroni/Dunn法を用いた。また、グループ間の経時的変化の比較には反復測定一分散分析法を使用した。有意水準は5%以下とした。

結 果

1. 根管内壁の観察

各グループにおける根管内壁の状態および象牙細管開口率を表2に示す。

表2 根管内壁の状態および象牙細管開口率

<永久歯根中央部>					
	SEM画像		開口率(%)		
	スミヤー層	象牙細管の開口部	Mean	S.D.	
G1	大量	輪郭が認識されない	0.13	0.82	} *
G2	中等度	不完全な開口状態	3.55	5.56	
G3	ほとんどなし	明瞭な開口状態	80.81	21.16	
G4	ほとんどなし	明瞭な開口状態	82.52	24.76	
G5	ほとんどなし	明瞭な開口状態	89.65	13.50	
<永久歯根尖部>					
	SEM画像		開口率(%)		
	スミヤー層	象牙細管の開口部	Mean	S.D.	
G1	大量	輪郭が認識されない	0.03	0.17	} *
G2	中等度	輪郭が認識されない	0.24	0.86	
G3	中等度	部分的に開口	8.28	9.92	
G4	中等度	部分的に開口	19.50	18.64	
G5	中等度	わずかに開口	9.81	16.53	

表1 外部吸収モデル歯のグループ分け

グループ	歯 種	洗浄法	水酸化カルシウム製剤
G1C	永久歯	G1	カルシベックス
G2C	永久歯	G2	カルシベックス
G3C	永久歯	G3	カルシベックス
G4C	永久歯	G4	カルシベックス
G5C	永久歯	G5	カルシベックス
G2-30C	乳歯	G2-30	カルシベックス
G2-30V	乳歯	G2-30	ビタベックス

<乳歯根中央部>

	SEM画像		開口率(%)	
	スマヤー層	象牙細管の開口部	Mean	S.D.
G1	大量	輪郭が認識されない	1.20	5.36
G2	ほとんどなし	部分的に開口	38.65	29.05
G2-30	ほとんどなし	不完全な開口状態	24.34	38.08
G2-15	中等度	輪郭が認識される程度	12.89	37.84
G5	ほとんどなし	明瞭な開口状態	95.98	39.14
G5-30	ほとんどなし	明瞭な開口状態	65.56	44.48
G5-15	中等度	明瞭な開口状態	51.54	10.59

<乳歯根尖部>

	SEM画像		開口率(%)	
	スマヤー層	象牙細管の開口部	Mean	S.D.
G1	大量	輪郭が認識されない	0.09	0.32
G2	ほとんどなし	輪郭が認識される程度	3.84	1.94
G2-30	ほとんどなし	輪郭が認識される程度	0.93	2.88
G2-15	中等度	輪郭が認識される程度	1.30	9.28
G5	ほとんどなし	明瞭な開口状態	63.84	31.90
G5-30	ほとんどなし	明瞭な開口状態	48.24	38.00
G5-15	中等度	部分的に開口	16.60	34.22

開口率：電子顕微鏡写真（×1,500）から、象牙細管が完全に開口している部分の根管象牙質面積をA、電子顕微鏡写真に写っている根管象牙質全体の面積をBとし、開口率（A／B×100）（%）を算出した。

SD：標準偏差

統計解析：Bonferroni/Dunn * $p<0.01$

(1) 永久歯 根中央部

G1では、根管壁に大量のスマヤー層が存在し、象牙細管の輪郭はほとんど観察されなかった（図3a）。G2では、中等度のスマヤー層が存在した。象牙細管の輪郭は、不完全に開口しているものや閉塞しているものが観察された（図3b）。G3、G4、G5では、スマヤー層はほぼ完全に除去され、多くの象牙細管が明瞭に開口しているのが観察された。一部の試料では、さまざまな大きさの象牙細管の分枝が開口しているのが観察された。象牙細管開口部の形は、G3、G4では楕円形が多く、G5では正円形のものが多かった。G5では、一部の象牙細管が開大しているのが認められた。G3、G4、G5はいずれも、管間象牙質の表面は滑らかであった（図3c、d、e）。象牙細管開口率は、G1が0.13%、G2が3.55%、G3が80.81%、G4が82.52%、G5が89.65%であった。G3、G4、G5の象牙細管開口率は、G1、G2と比較して優位に高かった（ $p<0.01$ ）。G5は、G3と比較して優位に高い象牙細管開口率を示し（ $p<0.01$ ）、また、G4と比較しても優位に高かった（ $p<0.01$ ）。

(2) 永久歯 根尖部

G1では、根管壁に大量のスマヤー層が存在し、象牙細管の輪郭はほとんど観察されなかった（図4a）。G2では、中等度のスマヤー層が存在し、象牙細管の輪郭はほとんど観察されなかった（図4b）。G3、G4、G5では、中等度のスマヤー層が存在した。象牙細管は一部開口していたが、輪郭が不明瞭なものや閉塞しているものも観察された（図

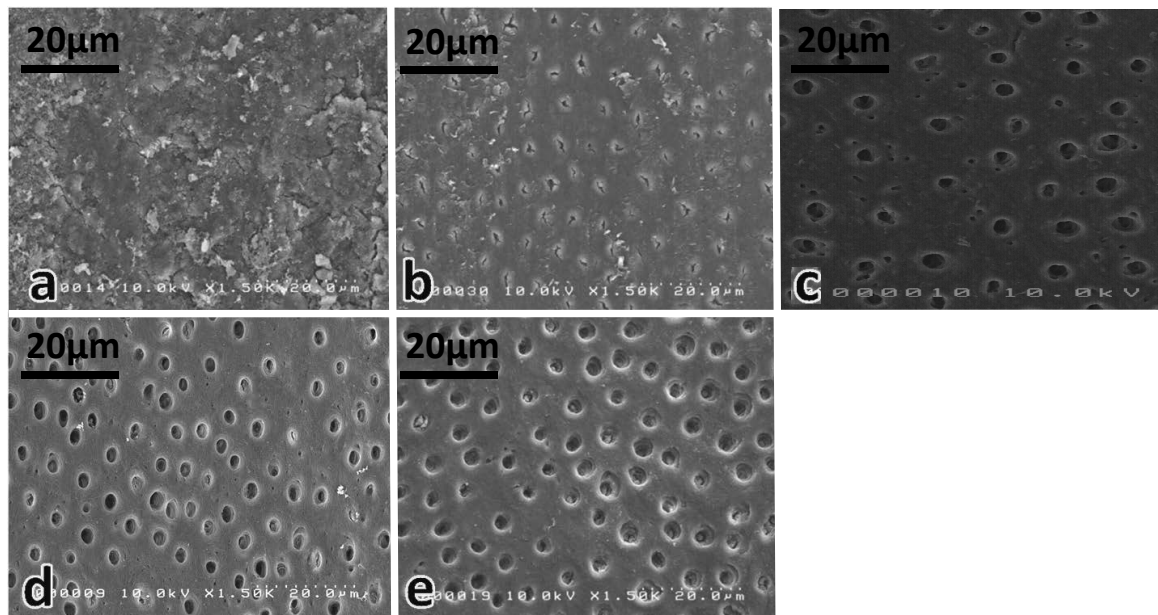


図3 根管内壁のSEM画像（永久歯 根中央部）

- a：G1 大量のスマヤー層が存在し、象牙細管の輪郭が観察されなかった。
- b：G2 中等度のスマヤー層が存在し、象牙細管は不完全に開口していた。
- c：G3 スマヤー層はほぼ完全に除去され、多くの象牙細管が開口していた。
- d：G4 スマヤー層はほぼ完全に除去され、多くの象牙細管が開口していた。
- e：G5 スマヤー層はほぼ完全に除去され、多くの象牙細管が開口していた。

4 c, d, e). 象牙細管開口率は, G1が0.03 %, G2が0.24 %, G3が8.28 %, G4が19.50 %, G5が9.81 %だった. G3, G4, G5の象牙細管開口率は, G1, G2と比較して優位に高かった ($p<0.01$). G4は, G3と比較して優位に高い象牙細管開口率を示し ($p<0.01$), また, G5と比較しても

優位に高かった ($p<0.01$). 根尖部は, どのグループにおいても, 根中央部と比較して低い象牙細管開口率を示した.

(3) 乳歯 根中央部

G1では, 根管壁に大量のスミヤー層が存在し, 象牙細管の輪郭はほとんど観察されなかった (図5 a). G2-15で

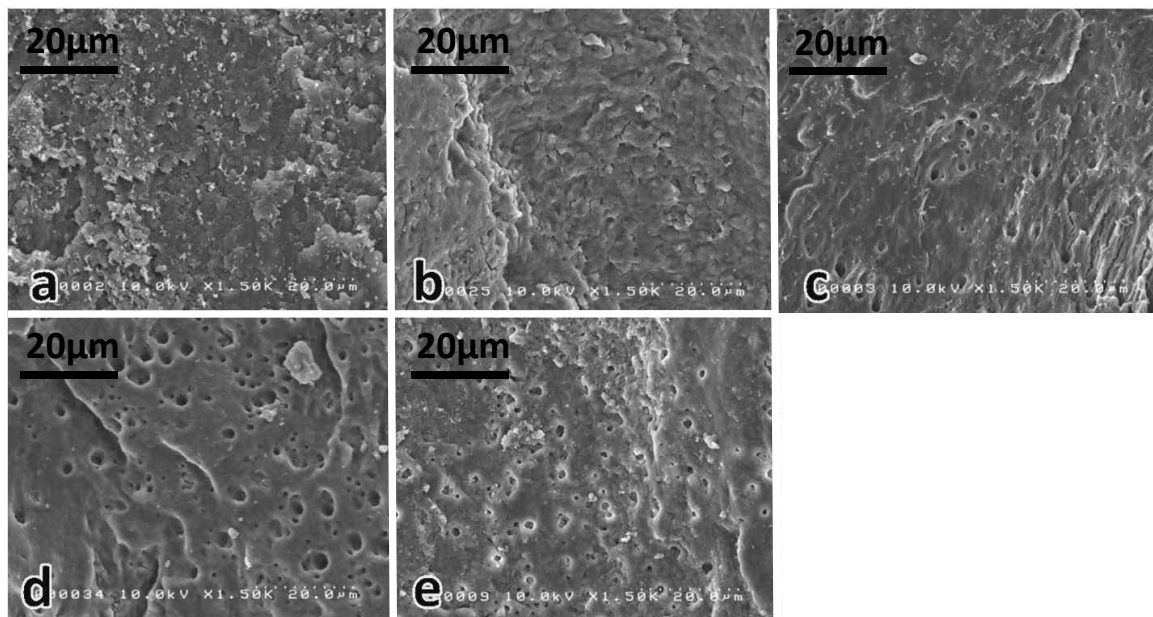


図4 根管内壁のSEM画像 (永久歯 根尖部)

- a : G1 大量のスミヤー層が存在し, 象牙細管の輪郭が観察されなかった.
- b : G2 中等度のスミヤー層が存在し, 象牙細管の輪郭が観察されなかった.
- c : G3 中等度のスミヤー層が存在し, 象牙細管は一部開口していた.
- d : G4 中等度のスミヤー層が存在し, 象牙細管は一部開口していた.
- e : G5 中等度のスミヤー層が存在し, 象牙細管は一部開口していた.

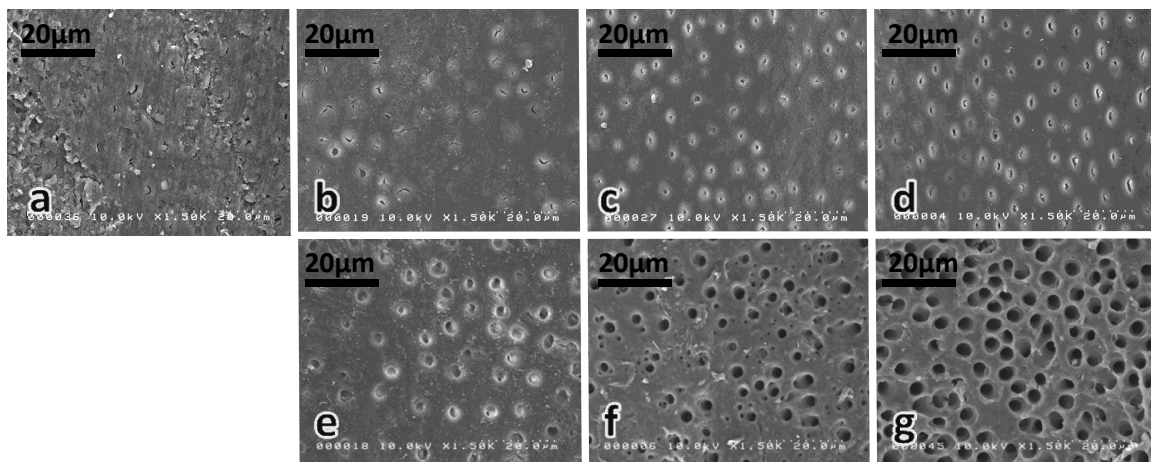


図5 根管内壁のSEM画像 (乳歯 根中央部)

- a : G1 大量のスミヤー層が存在し, 象牙細管の輪郭が観察されなかった.
- b : G2-15 中等度のスミヤー層が存在し, 象牙細管の輪郭が観察された.
- c : G2-30 スミヤー層はほぼ完全に除去され, 象牙細管は不完全に開口していた.
- d : G2 スミヤー層はほぼ完全に除去され, 象牙細管は部分的に開口していた.
- e : G5-15 中等度のスミヤー層が存在し, 象牙細管は明瞭に開口していた.
- f : G5-30 スミヤー層はほぼ完全に除去され, 象牙細管はやや開大していた.
- g : G5 スミヤー層はほぼ完全に除去され, 象牙細管は開大していた.

は、中等度のスミヤー層が存在し、象牙細管は輪郭が不明瞭なものや閉塞しているものが多く観察された。管間象牙質の表面は滑らかであった(図5b)。G2-30では、スミヤー層はほぼ完全に除去されていた。象牙細管は一部開口していたが、不完全な開口状態のものが多く観察された。管間象牙質の表面は滑らかであった(図5c)。G2では、スミヤー層はほぼ完全に除去され、象牙細管は部分的に開口していた(図5d)。また、一部の試料では、ファイルが到達していない根管壁に球状象牙質がみられた。同部位には、機械的清掃なしに象牙細管が開口している部分も観察された(図6a, b)。G5-15では、中等度のスミヤー層が存在

したが、約半数の象牙細管が明瞭に開口していた(図5e)。G5-30では、スミヤー層はほぼ完全に除去され、多くの象牙細管が明瞭に開口し、象牙細管の分枝が開口しているのも観察された。一部の象牙細管の開口部は開大し、隣り合う象牙細管が近接している箇所が認められた(図5f)。G5では、スミヤー層はほぼ完全に除去され、大部分の象牙細管が明瞭に開口していた。象牙細管の開口部は開大し、隣り合う象牙細管が非常に近接し、中には、隣り合う象牙細管が内部で連結しているような箇所も認められた(図5g)。象牙細管開口率は、G1が1.20%、G2-15が12.89%、G2-30が24.34%、G2が38.65%、G5-15が51.54%、G5-30が

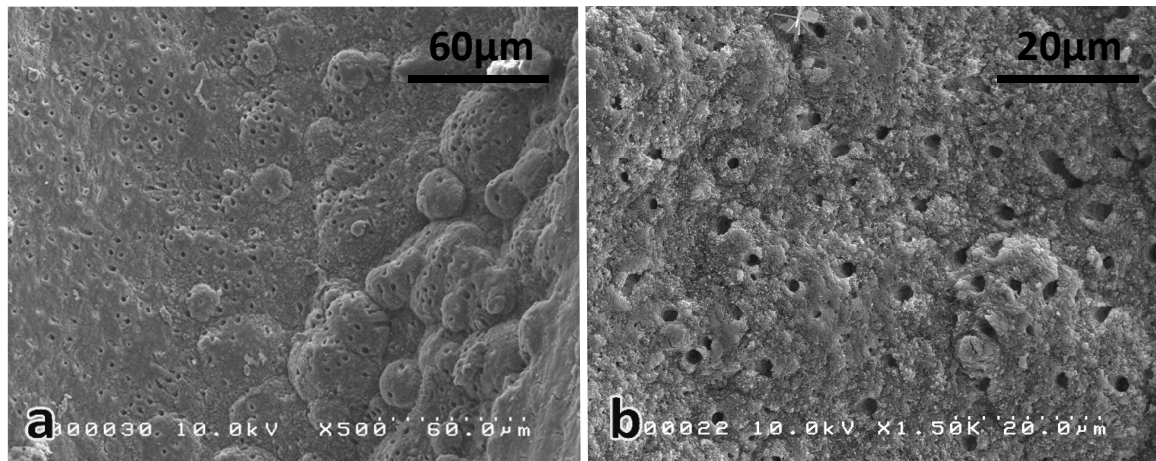


図6 根管内壁のSEM画像(乳歯 根中央部)

- a : G2 (弱拡大) ファイルが到達していない根管壁に球状象牙質がみられた。
b : G2 (強拡大) 球状象牙質では、象牙細管が開口していた。

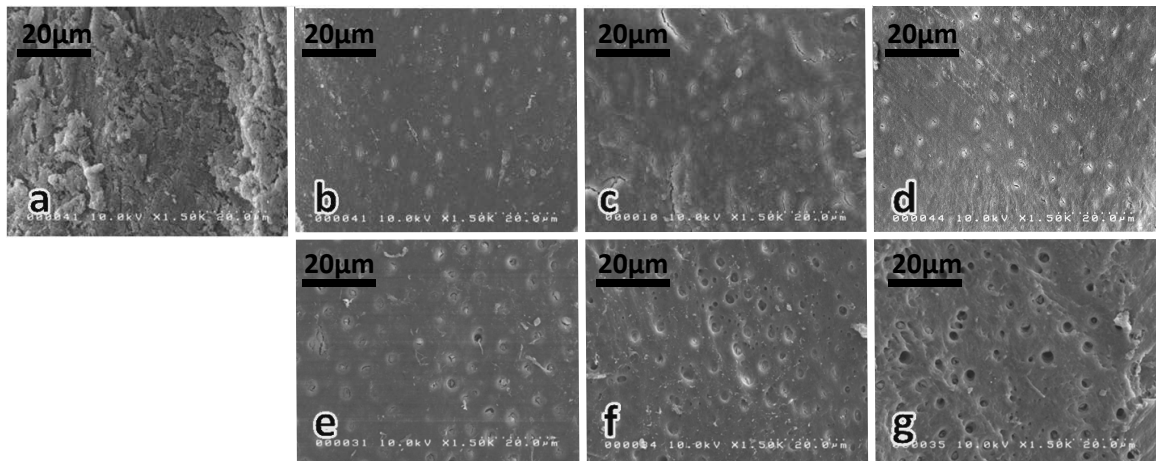


図7 根管内壁のSEM画像(乳歯 根尖部)

- a : G1 大量のスミヤー層が存在し、象牙細管の輪郭が観察されなかった。
b : G2-15 中等度のスミヤー層が存在し、象牙細管の輪郭が観察された。
c : G2-30 スミヤー層はほぼ完全に除去され、象牙細管の輪郭が観察された。
d : G2 スミヤー層はほぼ完全に除去され、象牙細管の輪郭が観察された。
e : G5-15 中等度のスミヤー層が存在し、象牙細管は部分的に開口していた。
f : G5-30 スミヤー層はほぼ完全に除去され、多くの象牙細管が開口していた。
g : G5 スミヤー層はほぼ完全に除去され、多くの象牙細管が開口していた。

65.56%, G5が95.98%であった。G5は他の全てのグループと比較して優位に高い象牙細管開口率を示した($p<0.01$)。

(4) 乳歯 根尖部

G1では、根管壁に大量のスミヤー層が残存し、象牙細管の輪郭はほとんど観察されなかった(図7a)。G2-15では、中等度のスミヤー層が存在し、象牙細管の輪郭は観察されたがその多くは閉塞していた(図7b)。G2-30では、スミヤー層はほぼ完全に除去されていた。象牙細管の輪郭は観察されたが、その多くは閉塞していた(図7c)。G2では、スミヤー層はほぼ完全に除去されていた。象牙細管の輪郭は観察されたが、閉塞しているものが多かった(図7d)。G5-15では、中等度のスミヤー層が存在していた。象牙細管は一部開口していたが、その多くは閉塞していた(図7e)。G5-30およびG5では、ほぼ完全にスミヤー層が除去され、半数以上の象牙細管が開口していた(図7f, g)。象牙細管開口率は、G1が0.09%, G2-15が1.30%, G2-30が0.93%, G2が3.84%, G5-15が16.60%, G5-30が48.24%, G5が63.84%であった。G5-30およびG5は他の全てのグループと比較して優位に高い象牙細管開口率を示した($p<0.01$)。

2. 歯根周囲のpH変化

水酸化カルシウム製剤貼薬後の経過時間による歯根周囲のpH変化を図8, 9に示す。永久歯では、貼薬してから2週後にスコアのピークがみられ、その後は徐々に減少した。一部の試料では、4週後まで高いスコアを維持するものもみられた。1週後, 2週後, 3週後, 4週後において、G5CはG1Cと比較して有意に高いスコアを示した($p<0.05$)。また、2週後, 3週後においては、G5CはG2Cと比較しても有意にスコアが高かった($p<0.05$)。G3C, G4C, G5Cの間には、スコアに有意差は認められなかった

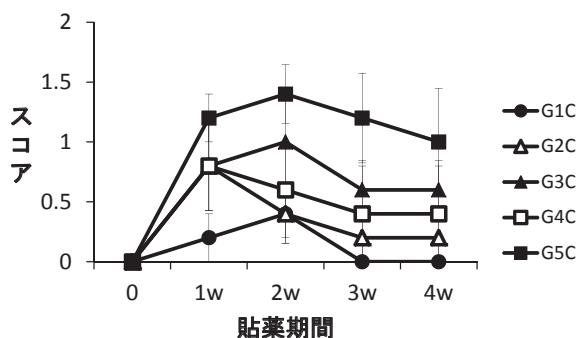


図8 永久歯歯根周囲のpH変化

縦軸は歯根周囲の水酸化物イオンの拡散の程度を示すスコア、横軸は水酸化カルシウム製剤の貼薬期間 (w: 週) を表す。1 ~ 4 wの間、G5CはG1Cと比較して有意に高いスコアを示した($p<0.05$)。また、2, 3 wでは、G5CはG2Cと比較しても有意にスコアが高かった($p<0.05$)。

平均値±S.E. ;

統計解析: Repeated-measures ANOVA, Bonferroni/Dunn,

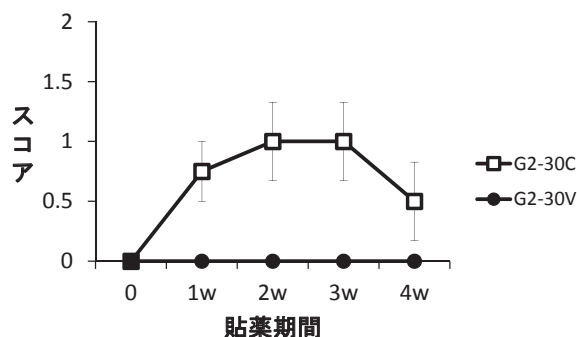


図9 乳歯歯根周囲のpH変化

縦軸は歯根周囲の水酸化物イオンの拡散の程度を示すスコア、横軸は水酸化カルシウム製剤の貼薬期間 (w: 週) を表す。1 ~ 3 wでは、G2-30CはG2-30Vと比較して有意に高いスコアを示した($p<0.01$) が、4 wでは有意差が認められなかった。平均値±S.E. ;

統計解析: Repeated-measures ANOVA, Bonferroni/Dunn,

が、G5Cのみ、すべての試料において歯根周囲のpH変化が観察された。乳歯では、G2-30Cは歯根周囲のpH変化がみられたが、G2-30VはpH変化がみられた試料はひとつも認められなかった。G2-30Cは、貼薬してから2 ~ 3 週後まではスコアが徐々に上昇し、G2-30Vと比較して有意に高いスコアを示した($p<0.01$)。4 週後においては、G2-30CとG2-30Vのスコアには有意差が認められなかった。

考 察

本研究は、根管拡大後の根管壁に形成されたスミヤー層を効果的に除去する根管洗浄法を検討し、また、水酸化カルシウム製剤貼薬後の根管内から歯根外表面の吸収窩周囲への水酸化物イオンの拡散に有効な根管洗浄法を明らかにすることを目的とし、in vitroにて実験を行った。その結果、永久歯ではEDTA単独あるいはEDTAとNaOClを併用した超音波洗浄の後に交互洗浄を行う方法が根管内壁のスミヤー層を除去し、なおかつ、外部吸収窩周囲への水酸化物イオンの拡散を促進させるのに効果的であることが示された。乳歯ではNaOCl単独での超音波洗浄後に交互洗浄を行う方法が根管象牙質にerosionを引き起こすことなくスミヤー層を除去し、水酸化物イオンの拡散にも有効であることが示された。

本研究では、永久歯は80号、乳歯は40号に根管を規格化した試料を用いて、根管内壁をSEMにて観察し、得られた電顕写真から象牙細管開口率を算出し、各種根管洗浄法の洗浄効果の比較検討を行った。永久歯では根中央部および根尖部ともに、EDTA単独あるいはEDTAとNaOClを併用した超音波洗浄の後に交互洗浄を行う方法は、交互洗浄のみの方法あるいはNaOCl単独での超音波洗浄後に交互洗浄を行う方法と比較して、有意に高い象牙細管開口率を示した。これまで、多くの研究者が洗浄効果の高い根管洗浄法を模索し、報告がされている⁸⁻¹⁷⁾。現在のところ、最終

洗浄としてEDTAのようなキレート剤とNaOClを用いることが、スミヤー層を構成する無機質と有機質の両方を除去するとして推奨されている¹⁸⁾。しかし、薬剤の種類、濃度、pH、量、作用時間によっては根管象牙質のerosionを引き起こす恐れがあると指摘されている¹⁵⁾。本研究では、5% EDTA単独あるいは5% NaOClと併用して45秒間の超音波洗浄後に交互洗浄を行ったところ、スミヤー層は効果的に除去され、なおかつ根管象牙質のerosionはみられなかった。これらの報告と本研究の結果から、EDTA単独あるいはEDTAとNaOClを併用し超音波洗浄後に交互洗浄を行う方法は、永久歯において、スミヤー層の除去効果が期待できるとともに安全に使用できることが示唆された。

永久歯根尖部は根中央部と比較し、どの洗浄法においても象牙細管の開口率は低い値を示した。この理由としては以下の2点が考えられる。1点目の理由として、複雑な形態を呈する解剖学的特徴が挙げられる。根尖狭窄部においては、ファイルによる機械的清掃に限界があり、また、洗浄剤を還流させることで得られる化学的清掃効果も低いと考えられる。2点目の理由としては、根尖部の根管象牙質における象牙細管の密度や直径、象牙質の石灰化度などの組織学的特徴が挙げられる。Whittakerら³⁰⁾は、根管象牙質を歯頸側から根尖側へ5ブロックに分け、象牙細管の数を計測した。その結果、単位面積あたりの象牙細管の数は、歯頸側から根尖側に行くにつれ、次第に減少傾向を示したと報告している。また、Marionら³¹⁾は、根管象牙質を歯頸側1/3、中央部1/3、根尖側1/3の3ブロックに分け、象牙細管の直径を計測した。彼らによると、歯頸側1/3および中央部1/3の象牙細管の直径は1.5～2 μm 、根尖部1/3では1 μm だったと報告している。歯根象牙質のSEM観察により根管の石灰化度を調べたVasiliadisら³²⁾は、根尖部は根中央部よりも高度に石灰化していると述べている。以上の理由から、根中央部に比較し根尖部は各種根管洗浄法の影響を受けにくいことが推測される。

EDTAとNaOClを併用して超音波洗浄を行ったグループでは、薬剤の使用順序が洗浄効果に与える影響を検討した。その結果、永久歯の根中央部と根尖部において、薬剤の使用順序によって象牙細管開口率に差がみられた。根中央部では、先にEDTAによる超音波洗浄を行ったのちにNaOClによる超音波洗浄を行う方法が象牙細管の開口に最も有効であった。一方、根尖部ではNaOClの後にEDTAを作用させたグループが最も象牙細管開口率が高く、また、EDTAの後にNaOClを作用させたグループとさせなかったグループとでは有意差が認められなかった。この理由としては、根尖部の根管象牙質は高度に石灰化し無機質に富んでいる³³⁾ため、EDTAを作用させた根管壁に対してNaOClを作用させても洗浄効果がなかったと考えられる。逆に、NaOClを作用させた後にEDTAを作用させると、EDTAを単独で作用させたグループよりも象牙細管開口率が高かつ

たことから、根尖部のような狭窄した部分では、NaOClはEDTAの洗浄効果を高めるための前処理剤のような働きをしていると推測できる。この点に関しては、今後の更なる検討が必要と思われる。

乳歯の根管治療は、彎曲した乳歯歯根形態や薄い歯根歯質、生理的歯根吸収と永久歯への交換といった理由から、十分な根管拡大・清掃を行うことが難しい。拡大・清掃後の乳歯の根管壁がどのような状態にあるかSEMを用いて観察すると、根管壁はスミヤー層で覆われ、交互洗浄では除去されず、超音波洗浄を行っても完全には除去されなかった³⁴⁾。本研究では、乳歯根中央部において、NaOClを根管内にみだし30秒間超音波洗浄を行う方法が根管内壁のスミヤー層を除去するのに効果的であった。交互洗浄のみでは、スミヤー層を除去することはできなかった。NaOClを用いて45秒間超音波洗浄を行ったグループは、30秒間行ったグループと比較してスミヤー層の除去効果は同程度であり、象牙細管開口率にも有意差が認められなかった。EDTAとNaOClを併用して超音波洗浄を行ったグループでは、スミヤー層の除去と象牙細管の開口に優れている反面、象牙細管開口部の開大や管間象牙質の脱灰といった根管象牙質へのerosionがみられ、作用時間が長くなるほどerosionの程度は強くなった。これらの点から、乳歯は永久歯と比較して薬剤に対する反応がはやいことが示唆される。乳歯は永久歯に比べて歯根歯質が薄いので、根管象牙質へのerosionは歯根の物理的性質の低下を招く恐れがあり、臨床的に好ましくないと考えられる。乳歯根中央部は、永久歯根中央部と比較し、NaOCl単独で超音波洗浄を行うことによって効果的にスミヤー層が除去された。これは、永久歯と比較して乳歯の石灰化度が低く³⁵⁾、スミヤー層を構成している成分に有機質が多く含まれているため、NaOClの作用を強く受けたと考えられる。また、機械的清掃がされていない根管壁で象牙細管が開口している部位がみられたことから、ファイリングが困難な部位に対する効果的な洗浄法になりうると考えられる。乳歯根尖部では、各種根管洗浄法の洗浄効果は根中央部と同様の傾向を示したが、どの洗浄法においても象牙細管開口率は根中央部よりも低い値を示した。以上の報告と本研究の結果から、乳歯の根管洗浄においては、薬剤の選択とその作用時間には留意が必要であることが示唆された。

さらに、本研究では、永久歯において、各種根管洗浄法による水酸化物イオンの外部吸収窩周囲への拡散の比較検討を行った。EDTAによる超音波洗浄ののちNaOClによる超音波洗浄を行ったグループは、1週後以降、交互洗浄のみのグループと比較して有意に歯根周囲への水酸化物イオンの拡散が促進され、2週後、3週後においてはNaOCl単独で超音波洗浄を行ったグループと比較しても有意に水酸化物イオンの拡散が促進されていた。Foster²³⁾は、水酸化カルシウムを貼薬した歯を10mlの生食中に浸漬し、歯根

周囲のpHとカルシウムイオンを計測した。彼らは、17% EDTA 10mlの後に5.25% NaOClで根管洗浄を行い、根管内壁のスミヤー層を除去すると、歯根周囲のpHとカルシウムイオン濃度の上昇が促進されたと述べている。また、Saifら²⁷⁾は、17% EDTA 3mlのち6% NaOCl10mlで根管洗浄を行うと、歯根周囲への水酸化物イオンの拡散が促進されたと報告した。根管洗浄法に超音波を用いたZampronioら²⁸⁾は、EDTAを用いて超音波洗浄を行うと根管壁のスミヤー層が除去され、根管壁への水酸化物イオンとカルシウムイオンの浸透が促進されたと報告した。これらの報告と本研究の結果から、根管内壁のスミヤー層が除去され、象牙細管が開口することによって、歯根象牙質の透過性が上昇し、水酸化物イオンの根管内から歯根外表面への拡散を促進することが示唆される。

乳歯の歯根における水酸化物イオンの拡散を調べた実験はこれまでのところほとんど行われていない。本実験では、乳歯の根管壁のSEM観察より、EDTAを作用させたグループでは過度の脱灰が起きていた。交互洗浄のみのグループおよびNaOClによる15秒間の超音波洗浄後に交互洗浄を行ったグループではスミヤー層の除去が不十分であった。それに反して、NaOClによる30秒間の超音波洗浄後に交互洗浄を行ったグループは、スミヤー層が除去され根管象牙質のerosionがみられなかった。また、NaOClによる45秒間の超音波洗浄後に交互洗浄を行ったグループと同程度の洗浄効果が得られた。そこで、本研究では、NaOClによる30秒間の超音波洗浄後に交互洗浄を行った乳歯において、ビタベックスを貼薬したグループとカルシベックスを貼薬したグループに分類し、水酸化物イオンの拡散を比較した。その結果、ビタベックスを貼薬したグループでは歯根周囲への水酸化物イオンの拡散は全くみられなかった。一方、カルシベックスを貼薬したグループでは、水酸化物イオンの拡散がみられ、1週後、2週後、3週後ではビタベックスと比較して有意に歯根周囲のアルカリ性を促した。これは、カルシベックスは親水性であるため寒天への拡散が起きやすかったためだと考えられる。ビタベックスを貼薬したグループで水酸化物イオンの拡散がみられなかったのは、溶媒がシリコンオイルであるため、寒天への拡散が起きにくかったと考えられる²⁶⁾。Blanscetら³⁶⁾は、寒天培地を用いて、水酸化カルシウムを含む根管貼薬剤の違いによる細菌の発育阻止領域を比較し、ビタベックスの阻止領域が最も小さかったと報告した。その理由として、彼らは、溶媒が疎水性であるために溶液中の水酸化物イオンの導電率が低い点を挙げている。以上から、水酸化物イオンの拡散が、貼薬する水酸化カルシウム製剤の種類によって違いがあることが示された。

本実験の4週間の観察期間では、歯根周囲のアルカリ性変化は外部吸収窩周囲だけでみとめられた。八巻ら²⁵⁾は、根管に水酸化カルシウムを貼薬した歯根をpH指示薬の添

加された寒天中に植立し、貼薬方法の差による歯根周囲のpHの経時変化を観察した。彼らは、歯根表面のセメント質を除去せずに実験を行い、その結果、根管内に水酸化カルシウムを緊密に充填しても、根尖孔以外の歯根表面からは歯周組織のpHに影響をほとんど与えなかったと報告した。Tronstadら¹⁾は、水酸化カルシウムを4週間根管充填したサルの歯および歯周組織の凍結標本作製し、pH指示薬を用いて組織のpHを測定した。彼らによると、水酸化カルシウムを根管充填した歯根のpHは、根管内では12.2以上、根管側の象牙質では8.0~11.1、外側の象牙質ではpH7.4~9.6であった。セメント質と歯根膜のpHは6.4~7.0を示し、生活歯と同じ値だったが、歯根外部吸収により象牙質が露出した部分のpHは8~10を示した。以上の報告と本研究の結果から、外部吸収歯に対し水酸化カルシウム製剤の根管貼薬を行うと、歯根表面の象牙質が露出した面とその周囲に局所的に水酸化物イオンが拡散し、それにより治癒プロセスが働くことが推測された。本研究では、抜去歯と寒天を用いて、できるだけ臨床に近い条件に設定した上で実験を行った。今後は、実際のpHを直接測定する方法を考案し、in vivoでの実験を視野に入れるなど、更なる検討が必要と思われる。

本研究から、永久歯ではEDTA単独あるいはEDTAとNaOClを併用して超音波洗浄を行う方法が、乳歯ではNaOCl単独で超音波洗浄を行う方法が、根管壁のスミヤー層を効果的に除去し、それにより、水酸化物イオンの外部吸収窩周囲への拡散を促進させることが示唆された。

結 論

本研究は、永久歯および乳歯において、根管壁のスミヤー層除去に有効な根管洗浄法を検討するとともに、歯根の外部吸収窩周囲への水酸化物イオンの拡散に効果的な根管治療法を明らかにすることを目的とした。

その結果、永久歯ではEDTA単独あるいはEDTAとNaOClを併用して超音波洗浄を行う方法が、根管壁のスミヤー層を効果的に除去し、それにより、水酸化物イオンの外部吸収窩周囲への拡散を促進させることが示唆された。乳歯ではNaOCl単独での超音波洗浄後に交互洗浄を行う方法が根管象牙質にerosionを引き起こすことなくスミヤー層を除去し、水酸化物イオンの拡散にも有効であることが示された。

謝 辞

稿を終えるにあたり、御指導頂きました八若保孝教授、吉原俊博准教授に心よりの感謝を申し上げますとともに、口腔機能学講座小児・障害者歯科学教室の諸先生方に深く御礼申し上げます。

本研究の一部は、科学研究費補助金、基盤研究(C) (一般) (課題番号22592276)、全国小児歯科開業医会研究助成金

の補助により行った。

参 考 文 献

- 1) Tronstad L, Andreasen JO, Hasselgren G, Kristerson L, Riis I: pH changes in dental tissues after root canal filling with calcium hydroxide. *J Endod*, 7 : 17-21, 1981.
- 2) Lengheden A, Blomlöf L, and Lindskog S: Effect of delayed calcium hydroxide treatment on periodontal healing in contaminated replanted teeth. *Scand J Dent Res*, 99 : 147-153, 1991.
- 3) American Association of Endodontists Recommended Guidelines. Treatment of the avulsed permanent tooth. *Dent Clin North Am*, 39 : 221-225, 1995.
- 4) Fuss Z, Tsesis I, Lin S: Root resorption--diagnosis, classification and treatment choices based on stimulation factors. *Dent Traumatol*, 19 : 175-182, 2003.
- 5) McComb D, Smith DC: A preliminary scanning electron microscopic study of root canals after endodontic procedures. *J Endod*, 1 : 238-242, 1975.
- 6) Mader CL, Baumgartner JC, Peters DD: Scanning electron microscopic investigation of the smeared layer on root canal walls. *J Endod*, 10 : 477-483, 1984.
- 7) Fogel HM, Pashley DH: Dentin permeability: Effects of endodontic procedures on root slabs. *J Endod*, 16 : 442-445, 1990.
- 8) Yamada RS, Armas A, Goldman M, Lin PS: A scanning electron microscopic comparison of a high volume final flush with several irrigating solutions: Part 3. *J Endod*, 9 : 137-142, 1983.
- 9) Rome WJ, Doran JE, Walker WA 3rd: The effectiveness of Gly-Oxide and sodium hypochlorite in preventing smear layer formation. *J Endod*, 11 : 281-288, 1985.
- 10) Baumgartner JC, Mader CL: A scanning electron microscopic evaluation of four root canal irrigation regimens. *J Endod*, 13 : 147-157, 1987.
- 11) Calt S, Serper A: Time-dependent effects of EDTA on dentin structures. *J Endod*, 28 : 17-19, 2002.
- 12) Torabinejad M, Cho Y, Khademi AA, Bakland LK, Shabahang S: The effect of various concentrations of sodium hypochlorite on the ability of MTAD to remove the smear layer. *J Endod*, 29 : 233-239, 2003.
- 13) Qing Y, Akita Y, Kawano S, Kawazu S, Yoshida T, Sekine I: Cleaning efficacy and dentin micro-hardness after root canal irrigation with a strong acid electrolytic water. *J Endod*, 32 : 1102-1106, 2006.
- 14) Lui JN, Kuah HG, Chen NN: Effect of EDTA with and without surfactants or ultrasonics on removal of smear layer. *J Endod*, 33 : 472-475, 2007.
- 15) Sen BH, Ertürk O, Pişkin B: The effect of different concentrations of EDTA on instrumented root canal walls. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*, 108 : 622-627, 2009.
- 16) Zhang K, Tay FR, Kim YK, Mitchell JK, Kim JR, Carrilho M, Pashley DH, Ling JQ: The effect of initial irrigation with two different sodium hypochlorite concentrations on the erosion of instrumented radicular dentin. *Dent Mater*, 26 : 514-523, 2010.
- 17) Prado M, Gusman H, Gomes BP, Simão RA: Scanning electron microscopic investigation of the effectiveness of phosphoric acid in smear layer removal when compared with EDTA and citric acid. *J Endod*, 37 : 255-258, 2011.
- 18) Hülsmann M, Heckendorff M, Lennon A: Chelating agents in root canal treatment: mode of action and indications for their use. *Int Endod J*, 36 : 810-830, 2003.
- 19) Zehnder M: Root canal irrigants. *J Endod*, 32 : 389-398, 2006.
- 20) Haapasalo M, Shen Y, Qian W, Gao Y: Irrigation in endodontics. *Dent Clin North Am*, 54 : 291-312, 2010.
- 21) Fuss Z, Szajkis S, Tagger M: Tubular permeability to calcium hydroxide and to bleaching agents. *J Endod*, 15 : 362-364, 1989.
- 22) Calt S, Serper A, Özçelik B, Dalat MD: pH changes and calcium ion diffusion from calcium hydroxide dressing materials through root dentin. *J Endod*, 25 : 329-331, 1999.
- 23) Foster KH, Kulild JC, Weller RN: Effect of smear layer removal on the diffusion of calcium hydroxide through radicular dentin. *J Endod*, 19 : 136-140, 1993.
- 24) Nerwich A, Figdor D, Messer HH: pH changes in root dentin over a 4-week period following root canal dressing with calcium hydroxide. *J Endod*, 19 : 302-306, 1993.
- 25) 八巻恵子：水酸化カルシウム貼薬による歯根周囲のpH変化と臨床応用に関する研究。日歯保誌，36：147-157，1993。
- 26) 和達礼子，菊地和泉，荒木孝二，須田英明：根管貼薬した各種水酸化カルシウム剤中の水酸化物イオンの拡散動態について。歯薬療法，21：20-27，2002。
- 27) Saif S, Carey CM, Tordik PA, McClanahan SB: Effect of irrigants and cementum injury on diffusion of hydroxyl ions through the dentinal tubules. *J Endod*, 34 : 50-52, 2008.

- 28) Zampronio CF, Sivieri-Araújo G, Bonetti-Filho I, Berbert FL: pH changes after manual or ultrasonic instrumentation and smear layer removal with EDTA or ultrasonic. *Dent Traumatol*, 24 : 542-545, 2008.
- 29) Hansen SW, Marshall JG, Sedgley CM: Comparison of intracanal EndoSequence Root Repair Material and ProRoot MTA to induce pH changes in simulated root resorption defects over 4 weeks in matched pairs of human teeth. *J Endod*, 37 : 502-506, 2011.
- 30) Whittaker DK, Kneale MJ: The dentine-predentine interface in human teeth. A scanning electron microscope study. *Br Dent J*, 146 : 43-46, 1979.
- 31) Marion D, Jean A, Hamel H, Kerebel LM, Kerebel B: Scanning electron microscopic study of odontoblasts and circumpulpal dentin in a human tooth. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*, 72 : 473-478, 1991.
- 32) Vasiliadis L, Darling AI, Levers BG: The histology of sclerotic human root dentine. *Arch Oral Biol*, 28 : 693-700, 1983.
- 33) Antonio Nanci: *Dentin-Pulp Complex*. 稲毛稔彦訳, Antonio Nanci 編, Ten Cate 口腔組織学 原著第6版, 192-199, 医歯薬出版, 東京, 2006.
- 34) 岩浅幸子, 今西秀明, 西野瑞穂: 乳歯の根管清掃に関する走査型電子顕微鏡的検索. *小児歯誌*, 21 : 651-655, 1983.
- 35) 明坂年隆: 歯の組織. 柳澤孝彰ほか著, 歯の発生・組織・病変, 91, 医歯薬出版, 東京, 2000.
- 36) Blanscet ML, Tordik PA, Goodell GG: An agar diffusion comparison of the antimicrobial effect of calcium hydroxide at five different concentrations with three different vehicles. *J Endod*, 34 : 1246-1248, 2008.

ORIGINAL

The Differential Effects of the Endodontic Irrigation on the Diffusion of Hydroxyl Ions after Root Canal Dressing with Calcium Hydroxide

Yuki Toyota, Toshihiro Yoshihara and Yasutaka Yawaka

ABSTRACT : The purpose of the present study was to evaluate the influence of endodontic irrigation associated with the smear layer removal and hydroxyl ion diffusion through the dentin of extracted human teeth. Permanent and primary teeth were instrumented and randomly divided into groups (permanent teeth: G1, G2, G3, G4, G5, primary teeth: G1, G2, G2-30, G2-15, G5, G5-30, G5-15) according to the final irrigating regimes: G1- alternate irrigations (5%NaOCl, 31%H₂O₂) ; G2, G2-30, G2-15- 5% NaOCl with ultrasonic; G3- 5% EDTA with ultrasonic; G4- 5% NaOCl with ultrasonic followed by 5% EDTA with ultrasonic; G5, G5-30, G5-15- 5% EDTA with ultrasonic followed by 5% NaOCl with ultrasonic. Ultrasonic irrigation time periods were of 45 seconds (G2, G3, G4, G5), 30 seconds (G2-30, G5-30) and 15 seconds (G2-15, G5-15). Firstly, some specimens were prepared and the root canal wall was observed by means of scanning electron microscopy. The percentage of opened dental tubules was used to evaluate the images. Secondly, the diffusion of hydroxyl ion was measured in simulated outer surface resorptive defects of root after intracanal placement of calcium hydroxide dressing materials. The color change of agar containing phenolphthalein, which turns red above pH 8.5 was considered to be the index of hydroxyl ion diffusion. The results were statistically analyzed using one-way factorial ANOVA and multiple comparison tests, repeated-measures ANOVA. Our results showed that EDTA with ultrasonic or combination of EDTA and NaOCl with ultrasonic were effective in removing the smear layer on permanent teeth, NaOCl with ultrasonic is effective on primary teeth. Furthermore smear layer removal facilitated hydroxide ion diffused from the root canal to the root surface cavity.

Key Words : endodontic irrigation, smear layer, calcium hydroxide dressing materials, hydroxyl ion diffusion, root resorption