

根管治療用各種超音波チップを使用した **root canal shaping** によって生じる
スミヤー層の形態比較と除去方法の検討

日本大学大学院松戸歯学研究科歯学専攻(歯内療法学)

伊澤 真人

(指導：松島 潔 教授)

Abstract

Various types of ultrasonic tips are used with microscope to remove the debris in root canal. However, even after removal of debris under using microscope, we can not clearly see the surface condition of the root canal. The aim of this study was conducted to clarify differences in the smear layer (SL) and smear plugs (SP) formed when using an ultrasonic tip under various conditions (tip type, with/without water, and power level), and to clarify methods of removing them.

In experiment 1, sectioned human single-rooted specimens without SL and SP were divided into 12 groups based on combinations of tip type (diamond tip (DT), stainless steel tip (ST)), use/non-use of water, and power level. The ultrasonic tip was gently (5-10 g) pushed against the canal wall and cut surface of the specimens were observed by SEM, and then scored. As a result, a ST used at lowest power with water produced the least amount of smear layer. Smear plugs were frequently formed when the root canal was shaped using a DT with water. The SL and SP formation varied when using ultrasonic tips under various conditions.

In experiment 2, sectioned human single-rooted without SL and SP were used. The SL was formed by using a DT with/without water, and the SP was formed using a DT with water referring to the results of experiment 1. After shaping with the DT, the specimens were prepared using a ST with water. The specimens were observed by SEM and scored. As a result, the SL was effectively removed using the ST at low power. The SP, however, was not removed using the ST with water at any power level. It is suggested that the SL can be removed effectively using ST with water, but this approach is inadequate to remove the SP.

In experiment 3, sectioned single-rooted specimens without SL and SP were used, and divided into 2 groups. In first group, SL and SP were formed using a DT with water at power level 3. In second groups, specimens were shaped by DT with water at power level 3 for making SL and SP, and then prepared using a ST with water for reducing SL. Specimens in both groups were immersed for 2 min in 2 ml solutions of EDTA at different concentrations (1%, 5%, 10%, and 15%; pH = 7.4). The specimens were observed by SEM and scored. As a result, specimens in first group retained SL and SP even when using 15% EDTA solution. SL was not observed when using 10% and 15% EDTA solutions in second group, but SP was observed when 1% and 5% EDTA solutions were used. The optimal EDTA concentration differed according to the conditions used to form the SL and SP. In conclusion, 10% EDTA for 2 min can remove the smear layer and smear plugs when the root canal is shaped using a smooth-surface ultrasonic tip, if water is applied and the tip slightly (5–10 g) contacts the root canal wall.

緒言

近年、歯科治療用マイクロスコープの普及に伴い、歯内療法分野において、超音波器械は根管石灰化物の除去、根管拡大、根管内で破折した器具の除去など様々な処置に使用され、その使用頻度が高まってきている。(図1)¹⁾ 超音波器械は、超音波発生装置と超音波チップによって構成されており、超音波を発生させるとチップに毎秒25,000から40,000回の微細な振動が生じる。²⁾ この微細な振動は、術野の限られた根管内という環境では安全性や正確性といった面で有利であり、^{1,3)} この振動を利用することで様々な効果を得ている。たとえば、Archerら⁴⁾ は、次亜塩素酸ナトリウムを用いた根管洗浄において超音波を併用した場合、洗浄液の攪拌作用が生じ、従来の方法よりも洗浄効果が増強したと報告している。またGaffneyら⁵⁾ は、根管内で破折した器具を除去する際、超音波器械が非常に効果的であると報告している。

しかしながら、超音波チップを使用し根管象牙質を物理的に切削する場合でも、スマヤー層の生成が避けられない。スマヤー層は、象牙質を物理的に切削する場合に生成する根管表面に堆積した数 μm 程度の象牙質削片層であり、この削片が象牙細管内に侵入したものをスマヤープラグと呼ぶ。これらは、象牙質成分だけではなく歯髄組織、細菌も含まれるため、⁶⁾ スマヤー層、スマヤープラグの存在自体が感染源となるばかりか根管消毒剤の浸透を妨げ、⁷⁾ 根管壁と根管充填材の間の微小漏洩の原因になりうることを懸念される。⁸⁻¹⁰⁾ そのためスマヤー層、スマヤープラグの除去は、臨床的に非常に有意義であると一般的に考えられている。⁷⁾

超音波器械を用いた象牙質の切削は、手用切削器具によるものと比べ、短時間に大量の切削が可能である。しかし、この際摩擦熱の発生が避けられず、この発熱が周囲組織に傷害を与えたとの報告¹¹⁾ があり注意しなければならない。すなわち、非注水下における超音波を長時間使用させることは避け、注水下による冷却操作を行いながら根管象牙質を切削することが重要である。一方、マイクロスコープ下での根管治療を行う場合には、注水下で行うことでは視野の確保ができず、目的の部位を除去できない。そのため臨床の場面に応じて断続的に注水、非注水を使いわけることが必要である。

切削条件とスマヤー層との関係についてGilboeら¹²⁾ は、スマヤー層の形態が切削器具の形態、象牙質の湿潤状態によって変化すると報告しており、超音波チップの作用条件によってスマヤー層、スマヤープラグの生成に変化が生じる可能性がある。

しかしながら、現在までに様々な条件下で超音波チップを根管壁に作用させたときに生じるスマヤー層、スマヤープラグの生成に関する報告はなく、その際に生じるスマヤー層およびスマヤープラグの除去方法の検討についても報告がない。

そこで本研究は歯内療法用超音波チップを用いたroot canal shapingで生じたスマヤー層ならびにスマヤープラグ生成が各種条件下で形態的にどのように異なるかを明らかにし、洗浄方法における診療ガイドライン構築の一助とすること目的とした。

材料および方法

試料の作成

当教室に常温水中保管されていた齶蝕や歯冠修復物のない実験に適したヒト抜去単根歯 155 本を実験に供した。辻本ら¹³⁾の報告に従ってダイヤモンドディスク（以下 DD）で歯冠部をセメント-エナメル境で切断後、解剖学的根尖孔より 1 mm アンダー部までを作業長とし、NRT file (Mani 製)によって#25 まで拡大形成した。拡大形成後、歯頸部カット面と平行に 5~8 mm 幅に歯根を DD で切断し、抜去歯の長軸方向に DD で頬舌的に 2 本グループをいれ、ニッパーを使って歯を長軸方向に 2 分割した。次に、この試料を、15% EDTA 2 ml 中に 2 分間浸漬後、2.5% NaClO 5 ml、超純水(以下 PW)10 ml の順で洗浄し、滅菌ペーパーポイントを用いて乾燥した。15% EDTA は、粉末状の EDTA-2Na (和光純薬製)を PW に添加し、pH を 5N NaOH (和光純薬製)にて 7.4 に調整したものを使用した。また 2.5% NaClO は、5% NaClO (和光純薬製)を PW にて希釈して作成した。

長軸方向に 2 分割した一方の根管壁にはスミヤー層の生成を観察するために超音波チップで shaping し、もう一方はスミヤープラグを観察するために超音波用チップを作用させた面を再度長軸方向に 2 分割した。(図 2-a)

超音波チップの作用条件

超音波チップを作用させる術者は 1 人とし、試料を計量器に固定した状態で shaping 圧を 5~10g にコントロールしながら根管壁にチップを圧接し、5 秒間上下運動させた。(図 2-b) なお上下運動の速度は 1 秒間に 1 往復とした。また注水群においては注水速度を 1ml/sec とした。超音波チップ作用後は、必ず PW 10 ml で根管壁の洗浄を行い、滅菌ペーパーポイントで乾燥させた。

実験 1: 超音波チップを各種条件下で作用させた時に生じるスミヤー層、スミヤープラグの観察

超音波発生装置にはソルフィー ZX (モリタ製)を使用し、試料を出力 1, 2, 3 の 3 群に分けた。また、これらをダイヤモンドチップ(Mani 製, 超音波ダイヤモンドファイル#25, 以下 DT) (図 3-A,C), ステンレススチールチップ(Mani 製, 超音波エンドファイル#25, 以下 ST) (図 3-B,D) と作用させるチップの種類と注水の有無の条件に細分し、これらの組み合わせで計 12 グループを作成した。試料数については各種条件毎に n=5 とした。また、各種定めた条件下により根管壁に超音波チップを作用させ、コントロール群は、超音波チップを作用しなかったものを試料とした。

得られた試料を、通法に従い試料を段階的アルコール脱水、Au-Pt 蒸着操作後、走査型電子顕微鏡 (S-2150, S-2700, 日立製, 以下 SEM) にて根管象牙質表面および縦断面の観察を行った。

実験 2: ST を注水下で使用した時のスマヤー層, スマヤープラグの除去作用

実験 1 の結果から, 最もスマヤー層の生成が少なかった注水 ST 群におけるスマヤー層, スマヤープラグ除去作用について検討を行った.

Group 2-1 として, 実験 1 の結果を参考にスマヤー層のみ存在する試料を非注水, 出力 3 の条件下で DT を根管壁に作用させて作成した. さらに Group 2-2 として, スマヤー層, スマヤープラグの両方存在する試料を注水, 出力 3 の条件下で DT を根管壁に作用させて作成した. 次に, これらの試料に対して ST を注水, 出力 1, 2, 3 の条件下でそれぞれ再度根管壁を shaping し, 実験 1 と同様の方法でスマヤー層およびスマヤープラグの存在を SEM にて観察した. コントロール群は, ST を作用させないものをそれぞれコントロールとした. なお試料数は各群 n=5 とした.

実験 3: 超音波チップで生じたスマヤー層, スマヤープラグの除去に必要な至適 EDTA 濃度の検討

試料を Group 3-1, 3-2 に分け, Group 3-1 では DT を使用し注水下, 出力 3 の条件で shaping した試料をコントロールとし, Group 3-2 では DT を使用し注水下, 出力 3 の条件で shaping 後, 再度 ST を使用し注水下, 出力 1 の条件で shaping した試料をコントロールとした. これらの試料を鈴木¹⁴⁾ の報告に準じ, shaping 後それぞれ 1%, 5%, 10%, 15% EDTA (pH7.4) 溶液 2 ml 中に 120 秒間浸漬した. これらの EDTA は, 粉末状の EDTA·2Na (和光純薬製) を PW に添加し, pH を 5N NaOH (和光純薬製) にて 7.4 に調整した. その後実験 1, 2 と同様の方法でスマヤー層とスマヤープラグの存在を SEM にて確認した. なおコントロール群は PW 中に浸漬させた. 試料数は Group 3-1, 3-2 とも EDTA の濃度群毎に n=5 とした.

スマヤー層の評価

Hülsmann ら¹⁵⁾ のスコアリング評価を用いて, 事前に評価法のすり合わせを行った 5 名の評価者によってスマヤー層の表面の観察(×1000)を行い, 盲検的にスコアリング評価を行った. スコアの基準は以下の通りである.

スコア 1: スマヤー層は認めず, 象牙細管口は開口している.

スコア 2: 少量のスマヤー層が認められるが, 一部の象牙細管口は開口している.

スコア 3: 根管壁の大部分は均一なスマヤー層によって覆われているものの, わずかに象牙細管口の開口を認める.

スコア 4: 根管壁は完全に均一なスマヤー層によって覆われており, 象牙細管口の開口は認めない.

スコア 5: 不均一なスマヤー層が厚く認められ, 根管壁が完全に覆われている.

統計分析

各実験で得られたスコアを Kruskal-Wallis 分析ならび Wilcoxon 検定にて有意差 1%で統

計分析を行った。

結果

実験 1

1. 根管表面の観察

コントロール群は、象牙細管口の開口が認められスミヤー層は認められなかった。(図 4A) 非注水 DT 群は、出力に限らずチップの走行に沿ってキャタピラー構造様のスミヤー層が観察され、象牙細管口は完全にスミヤー層によって覆われていた。(図 4B-D)

非注水 ST 群では、出力に関わらず表面形態が DT 群よりもスムーズなスミヤー層が観察され、象牙細管口は完全にスミヤー層によって覆われていた。(図 4E-G)

注水 DT 群でも、非注水 DT 群と同様、キャタピラー構造様のスミヤー層が観察され、象牙細管口は、完全にスミヤー層によって覆われていた。しかしながら、非注水 DT 群よりも根管壁に堆積した象牙質削片の量は少なく観察された。(図 4H-J)

注水 ST 群では、低出力になるほどスミヤー層は少なくなり、象牙細管口の開口が観察できた。注水 ST 群において、出力 1 と出力 3, 出力 2 と出力 3 の間に有意にスコアの差を認め、低出力が高出力よりスミヤー層を形成しにくい傾向を示した。(p<0.01) また、コントロール群と他の全ての群との間に有意にスコアの差を認めた。(p<0.01)(図 5)

2. 縦断面の観察

コントロール群、非注水 DT, ST 群は、スミヤープラグが認めなかった。(図 6 A-C) 注水 DT 群では、20-35 μ m の長いスミヤープラグを認めた。注水 ST 群では、10 μ m 以下の短いスミヤープラグを認めた。(図 6D, E)

実験 2

1, Group 2-1 根管表面の観察

コントロール群は、根管表面が鱗片状のスミヤー層によって完全に覆われて観察された。(図 7A) ST を注水、出力 1, 2 条件下で作用させた群では、鱗片状のスミヤー層は認められず、部分的な象牙細管口の開口が確認された。(図 7C, D) ST を使用し注水下、出力 3 の条件で作用させた群では鱗片状のスミヤー層が観察されほとんどの象牙細管口がスミヤー層によって覆われて観察された。(図 7E) また出力の減少に伴って象牙細管口の開口が多くなった。またコントロール群と ST 作用群すべての間にスコアの有意な差が認められ、ST 作用群出力間では出力 1 と 3, 出力 2 と 3 との間にスコアの有意な差が認められた。(p<0.01) (図 8)

2, Group 2-1 縦断面の観察

コントロール群では、スミヤープラグは観察されなかった。(図 7B)

また ST 作用群では、いずれの出力においてもスミヤープラグは観察されなかった。(図 7F-H)

3. Group 2-2 根管表面の観察

コントロール群は、根管表面が鱗片状のスミヤー層によって完全に覆われて観察された。(図 9A) ST を注水, 出力 1 条件下で作用させた群では、鱗片状のスミヤー層は認められず、部分的な象牙細管口の開口が確認された。(図 9C) ST を注水, 出力 2, 3 条件下で作用させた群では鱗片状のスミヤー層が観察され、ほとんどの象牙細管口がスミヤー層によって覆われて観察された。(図 9 D,E) ST を作用させた全ての群でほとんどの象牙細管口にスミヤープラグの存在を認めた。また出力の減少に伴って象牙細管口が多く確認できるようになった。またコントロール群と ST 作用群すべての間にスコアの有意な差が認められ、ST 作用群出力間では出力 1 と 3 にスコアの有意な差が認められた。(p<0.01)(図 10)

4. Group 2-2 縦断面の観察

コントロール群で、最大 20 μm 以上のスミヤープラグが観察された。(図 9B) ST 作用群では、コントロール群と同様に、スミヤープラグの長さに出力差は認められず全ての群で最大 20 μm 以上のスミヤープラグが観察された。(図 9F-H)

実験 3

1. Group 3-1 根管表面の観察

コントロール群, 1% EDTA 作用群では、根管表面はキャタピラー構造用の大量のスミヤー層が観察され、象牙細管口の完全な閉鎖が観察された。(図 11A, B)

5%, 10%, 15% EDTA 作用群ではスミヤー層の除去が認められ、部分的な象牙細管の開口は認められた。(図 11C-E) しかし、いずれの群も、完全なスミヤー層の除去には至らなかった。

スコアは、コントロール群と 5%, 10%, 15% EDTA 作用群との間にスコアの有意な差を認めた。(p<0.01) また、EDTA の濃度上昇に伴い、スコアの減少が認められた。(図 12)

2, Group 3-1 縦断面の観察

全ての群において、根管表面にスミヤー層の残存を認め、象牙細管内には最大で 20 μm 以上のスミヤープラグの残存を認めた。(図 13)

3, Group 3-2 根管表面の観察

コントロール群, 1% EDTA 作用群では、少量のスミヤー層の残存を認め、部分的な象牙細管口の開口を認めた。(図 14A, B) 5%, 10%, 15% EDTA 作用群ではスミヤー層は完全に除去され象牙細管口の開口を認めた。(図 14 C-E) またコントロール群とすべての群において、スコアの有意な差を認め(p<0.01), 5%以上の濃度でスコアはすべて 1 となった。(図 15)

4, Group 3-2 縦断面の観察

コントロール, 1% EDTA 作用群では象牙細管内にスマヤープラグの残存が認められた. (図 16 A-C) また 5% EDTA 作用群では, 象牙細管口の開口が確認され, 根管壁より数 μm ではスマヤープラグが観察されず, その直下にスマヤープラグが観察された. 10%, 15% EDTA 作用群では, 象牙細管内にスマヤープラグは観察されず象牙細管口の開口が確認された. (図 16D, E)

考察および結論

根管系の *shaping* と *cleaning* は、根管治療にとって最も大切な手技のひとつである。スミヤー層やスミヤープラグの存在は根管洗浄剤の浸透の妨げになるばかりか⁷⁾、根管充填材と根管壁の間における微小漏洩の原因となる可能性がある。⁸⁻¹⁰⁾ 本実験では、様々な条件下において、根管壁を超音波チップで *shaping* したときに生じるスミヤー層を SEM 観察から形態評価を行い、その除去方法の検討を行った。

小塚ら¹⁶⁾ は、スミヤー層の形態は切削器具の表面形態と、切削器具の動きによって変化すると報告している。通常、ピエゾ超音波発生装置に付着した超音波チップは高速で *back-and-forth motion*, *piston-like motion* の両方またはいずれか一方を起こすとされているが、今回使用したチップの振動は、*back-and-forth motion* のみである。超音波チップによる根管壁の *shaping* は、リーマーやファイルなどの刃部での切削ではなく高速で振動するチップが根管壁を槌打的に破壊し、細かな象牙質削片を形成する。そしてこの象牙質削片が、再び超音波チップによって根管壁に圧接されスミヤー層やスミヤープラグとなったものと考えられる。そのため、実験 1 において DT, ST 群ともにチップが走行した周囲には大小様々な象牙質削片が堆積していた。しかしながら同出力、同チップ条件において注水群のスミヤー層の堆積量は、非注水のスミヤー層の堆積量よりも少ないように観察された。これは、注水することで根管表面の切削片が流され、結果としてスミヤー層としての堆積量が少なくなったためと推測された。

一方、縦断面の観察において、スミヤープラグは、注水群においてのみ観察され、注水 DT 群は注水 ST 群よりも多くのスミヤープラグが観察された。Cengiz ら¹⁷⁾ は、スミヤープラグの形成は、象牙細管と象牙質切削片の間に生じる毛細管現象が関与しているとしていると報告している。毛細管現象は、水の表面張力によって生じる現象であり、*shaping* の過程で注水を行うと象牙質切削片は水と混和され、毛細管現象によって象牙細管内に侵入がおりやすくなる。そのため、本実験の結果でも注水群のみでスミヤープラグが観察されたと考えられる。すなわち、スミヤープラグの形成には、注水の存在が関係することが示唆され、チップの表面形状もスミヤープラグの形成量に関係することが明らかとなった。また、Gilboe¹²⁾ らは、スミヤー層の厚さは切削器具の形状、象牙質の湿潤性に影響すると報告している。今回の実験では、注水 ST 群が注水 DT 群よりもスミヤー層のスコアが小さかった。これは、チップの形状の違いが影響したものと推測される。さらに注水 ST 群で超音波の出力を下げるほどスミヤー層のスコアが有意に小さくなったことから、象牙質切削量がスミヤー層形成量に大きく関与していると推測される。

手用切削器具で切削された根管象牙質にみられるスミヤープラグは、数 μm から40 μm に至ると報告されている。¹⁸⁾ 今回の実験では、スミヤープラグは、注水下の場合のみで観察され、最大は注水 DT 群の20-35 μm であった。しかし、von der Fehr ら¹⁹⁾ は、15% EDTA を5分間根管象牙質に作用させた場合、表面より約20-30 μm 脱灰されたと報告している。また Fraser²⁰⁾ は、EDTA 製剤の作用は、根管内という条件下では根尖側3分の1部分で非常に低下し、わずかなものであることを示し

ている。このことから複雑な形態を有する根管系に形成されたスマヤー層やスマヤープラグを完全に除去することは非常に困難であり、これまで多く研究者がスマヤー層を様々な方法で除去する報告をしているが²¹⁻²³⁾、未だ確立された方法はない。さらにスマヤー層の除去に使用される EDTA は、組織刺激性が強く *in vivo* で組織傷害性があるとの報告もある。²⁴⁾ そのため、15% EDTA 使用時には根尖孔外への溢出に注意しなくてはならない。

そこで実験 2 では、一度形成されたスマヤー層、スマヤープラグに再度超音波チップを作用させ EDTA などの組織刺激性の強い洗浄剤を使用せずに除去が可能かを検討した。Group 2-1 では、実験 1 の結果を参考に非注水、出力 3 条件下で DT を用い、スマヤー層のみ存在する試料を作成し、その後表面がスムーズな ST を注水下で作用させてスマヤー層の除去を試みた。根管表面の観察において、ST 作用時の出力の減少に伴いスマヤー層の除去率が高くなった。一般的に超音波チップの振動は、出力を上げると振幅が大きくなる。²⁵⁾ 本実験ではチップを根管壁に直接あてて作用させているため出力の上昇に伴い根管壁への衝突力が上昇するため、スマヤー層除去効率よりも新たな象牙質切削片を生じてしまいこのような結果になったことが考えられる。また、最も低出力であっても完全にスマヤー層の除去には至らなかった。そのため超音波と注水のみではスマヤー層の完全な除去には至らないことが本実験から明らかになった。

縦断面の観察では、注水下で ST を作用させた群においても、スマヤープラグの新たな生成は認められなかった。このことから、すでにスマヤー層が存在する根管壁に対して注水下で ST を作用させたとしても、除去したスマヤー層の断片が象牙細管内に侵入することはなく、根管壁表面の堆積したスマヤー層だけを減じることができることが明らかとなった。

また Group 2-2 は、注水、出力 3 条件下で DT を用い、スマヤー層とスマヤープラグ両方存在する試料を作成し、その後表面がスムーズな ST を注水下で作用させてスマヤー層とスマヤープラグの除去を試みた。根管表面の観察では、Group 2-1 の結果同様、ST 作用時の出力の減少に伴いスマヤー層の除去率が高くなった。しかしながら、縦断面の観察では、全ての群において最大で 20 μ m 以上のスマヤープラグが観察され、スマヤープラグの長さに変化はなく、スマヤープラグの除去効果はいずれの出力群でも差が認められなかった。この結果は、ヒトにおける象牙細管の直径は、1-3 μ m と非常に狭いため、チップの衝撃とそれに伴う水流が象牙細管内までに作用しなかったためと考えられる。つまり、一度形成されたスマヤー層は減じることができ、スマヤープラグは超音波と注水のみでは除去できず、完全な除去には低濃度のキレート剤を使用しなくてはならないことが明らかとなった。

そこで実験 3 において、超音波チップを様々な条件で使用した root canal shaping で生じたスマヤー層、スマヤープラグを除去するために必要な EDTA の適正濃度について検討を行った。EDTA の作用時間に関して、鈴木¹⁴⁾ は、K file を用いて機械的拡大をしたときに生じるスマヤー層の除去に必要な EDTA の作用時間について言及しており、15% EDTA 水溶液を 120 秒間拡大後の象牙質に作用させた時、スマヤー層の除去が可能であったことを報告している。さらに、それ以上の時間 EDTA を作用させた場合、象牙質壁面の過度の脱灰が受け始めるとも報告している。また Calt & Serper²⁶⁾ は、根管象牙質に 17% EDTA を 10 分作用させた

場合、根管象牙質表面の侵食像が見られたことを報告している。さらに多くの研究において、EDTA の作用時間が 1-5 分間で良好な洗浄効果を示したことを示している。そのため、本実験では EDTA 作用時間を 120 秒間と統一し実験を試みた。

まず、Group 3-1 では、実験 2 の結果を参考にスミヤー層、スミヤープラグが多量に存在する試料を作るため、注水、出力 3 条件下で DT を用いて **shaping** を行い、根管象牙質に対してそのまま EDTA を作用させた。表面の観察において、濃度の上昇に伴いスコアは減少するものの、鈴木¹⁴⁾ が推奨する 15%EDTA 溶液でもスミヤー層は一部残存し、縦断面での観察においてもスミヤープラグの除去には至らなかった。この理由として、超音波チップによる象牙質切削機序が従来の手用切削器具と異なるためと考えられる。超音波チップによる象牙質切削は、リーマーやファイルなどの器具とは異なり刃部によるものではなく、チップが高速で振動し、槌打的に根管象牙質へ衝突することで目標となる象牙質を切削する。すなわち、超音波チップにより生成されたスミヤー層は、生成する過程が手用切削器具で生成されたスミヤー層とは異なるため、生成量や、その性状についても異なり、鈴木¹⁴⁾ が報告する 15% EDTA 120 秒間でも除去が困難であったと推測される。また Fogel & Pashlay²⁷⁾ は、スミヤー層の存在は象牙細管内に対して洗浄液の浸透を妨げ、象牙質の浸透を 25-49% 減弱させると報告している。今回の実験においても、スミヤー層が残存した Group 3-1 すべての群において、スミヤープラグの残存が認められた。これは、EDTA の象牙細管内への浸透が根管壁に存在するスミヤー層によって妨げられたことによるものと考えられる。

Group 3-2 では、注水、出力 3 条件下で DT を用いて **shaping** を行った後、スミヤー層を減少させるために注水、出力 1 条件下で ST を用いて再度根管壁を **shaping** した根管象牙質に対して EDTA を作用させた。根管壁表面の観察において、コントロール群、1% EDTA 作用群では少量のスミヤー層の残存が認められたが、5%以上の EDTA 濃度を作用させた群においては、完全にスミヤー層の除去が確認された。しかしながら縦断面の観察においては、コントロール群、1%、5% EDTA 作用群においてスミヤープラグが観察され、スミヤープラグの除去には 10%の EDTA 濃度が必要であることが明らかとなった。

Group 3-2 においては、Group 3-1 と比較すると EDTA を作用させる前のスミヤー層の量が少なかったために、ある程度低濃度の EDTA であってもスミヤー層、スミヤープラグの除去に至ったものと考えられる。そのため、臨床の場面では、EDTA 作用前に表面のスミヤー層を ST のようなスムーズなチップを用い水洗し、EDTA を作用させる方がスミヤー層、スミヤープラグの除去が効果的に行える事が明らかとなった。

以上のことにより、各種歯内療法用超音波チップを用いた **root canal shaping** で生じるスミヤー層、スミヤープラグは、使用するチップの表面形状、出力、注水の有無などの使用する条件により生成量が異なる事が明らかとなった。また、一度生成したスミヤー層に関しては、ST のような表面形状がスムーズなチップを低出力、注水条件下で根管壁に軽度にして再度 **shaping** することで減少させることが可能であることが明らかとなった。最後に、超音波チップを用いた **root canal shaping** で生じたスミヤー層の除去に必要な EDTA 濃度は、最

最終的に使用したチップの表面性状、出力などの作用条件によって異なり、最終的に使用した条件が ST のような表面形態がスムーズなチップで注水下、低出力で根管壁に軽度に接して **shaping** した場合、スミヤー層、スミヤープラグの完全な除去には、10% EDTA 120 秒間の作用時間が必要であることが明らかとなった。

参考文献

1. Plotino G, Pameijer CH, Grande NM, Somma F. Ultrasonics in endodontics: a review of the literature. *J Endod*, 2007; 33: 81-95.
2. Stock CJR. Current status of the use of ultrasound in endodontics. *Int Dent J*, 1991; 41: 175-182.
3. de Mello Junior JE, Cunha RS, Bueno CE, Zuolo ML. Retreatment efficacy of gutta-percha removal using a clinical microscope and ultrasonic instruments: part I - an ex vivo study. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*, 2009; 108: 59-62.
4. Archer R, Reader A, Nist R, Beck M, Meyers WJ. An in vivo evaluation of the efficacy of ultrasound after step-back preparation in mandibular molars. *J Endod*, 1992; 18: 549-552.
5. Gaffney JL, Lehman JW, Miles MJ. Expanded use of the ultrasonic scaler. *J Endod*, 1981; 7: 228-229.
6. McComb D, Smith DC. A preliminary scanning electron microscopic study of root canals after endodontic procedures. *J Endod*, 1975; 1: 238-242.
7. Torabinejad M, Handysides R, Khademi AA, Bakland LK. Clinical implications of the smear layer in endodontics: a review. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*, 2002; 94: 658-666.
8. White RR, Goldman M, Lin PS. The influence of the smeared layer upon dentinal tubule penetration by endodontic filling materials. Part II. *J Endod*, 1987; 13: 369-374.
9. Economides N, Liolios E, Kolokuris I, Beltes P. Long-term evaluation of the influence of smear layer removal on the sealing ability of different sealers. *J Endod*, 1999; 25: 123-125.
10. Saunders WP, Saunders EM. The effect of smear layer upon the coronal leakage of gutta-percha fillings and a glass ionomer sealer. *Int Endod J*, 1992; 25: 245-249.
11. Gluskin AH, Ruddle CJ, Zinman EJ. Thermal injury through intraradicular heat transfer using ultrasonic devices: precautions and practical preventive strategies. *J Am Dent Assoc*, 2005; 136: 1286-1293.
12. Gilboe DB, Svare CW, Thayer KE, Drennon DG. Dentinal smearing: an investigation of the phenomenon. *J Prosthet Dent*, 1980; 44: 310-316.
13. 辻本恭久, 小塚昌宏, 一ツ子延大, 山崎宗与. NaClO と H₂O₂ 混合液のスミヤー層除去効果について. *日歯内療誌*, 1997; 18: 19-24.
14. 鈴木清和. 根管清掃に関する走査電子顕微鏡的研究—洗浄剤としてEDTAの作用時間について—. *日歯保誌*, 1980; 23: 59-67.
15. Hülsmann M, Rummelin C, Schäfers F. Root canal cleanliness after preparation with different endodontic handpieces and hand instruments: A comparative SEM investigation. *J Endod*, 1997; 23: 301-306.

16. 小塚昌宏, 三浦浩, 川本幸司, 辻本恭久, 山崎宗与. 各種ファイルによって形成された根管スマヤー層に関する研究—ポリアクリル酸の除去効果—. 日歯内療誌, 2002; 23: 106-110.
17. Cengiz T, Aktener BO, Piskin B. Effect of dentinal tubule orientation on the removal of smear layer by root canal irrigants. A scanning electron maicroscopic study. *Int Endod J*, 1990; 23: 163-171.
18. Mader CL, Baumgartner JC, Peters DD. Scanning electron microscopic investigation of the smeared layer on root canal walls. *J Endod*, 1984; 10: 477-483.
19. von der Fehr, F.R. Östby BN. Effect of EDTAC and sulfuric acid on root canal dentine. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*, 1963; 16: 199-205.
20. Fraster JG. Chelating agents: their softening effect on root canal dentin. *Oral Surg Oral med Oral Pathol*, 1974; 37: 803-811.
21. Saber Sel-D, Hashem AA. Efficacy of different final irrigation activation techniques on smear layer removal. *J Endod*, 2011; 37: 1272-1275.
22. Rödiger T, Döllmann S, Konietschke F, Drebenstedt S, Hülsmann M. Effectiveness of different irrigant agitation techniques on debris and smear layer removal in curved root canals: a scanning electron microscopy study. *J Endod*, 2010; 36: 1983-1987.
23. Cheung GS, Stock CJ. In vitro cleaning ability of root canal irrigants with and without endosonic. *Int Endod J*, 1993; 26: 334-343.
24. Sousa SM, Bramante CM, Taga EM. Biocompatibility of EDTA, EGTA and citric acid. *Braz Dent J*, 2005; 16: 3-8.
25. Ahmad M, Pitt Ford TR, Crum LA, Walton AJ. Ultrasonic debridement of root canals: acoustic cavitation and its relevance. *J Endod*, 1988; 14: 486-493.
26. Calt S, Serper A. Time-dependent effects of EDTA on dentin structures. *J Endod*, 2002; 28: 17-19.
27. Fogel HM, Pashley DH. Dentin permeability: effects of endodontic procedures on root slabs. *J Endod*, 1990; 16: 442-445.



図1. 歯科治療用マイクロスコープと超音波装置を用いた歯内療法

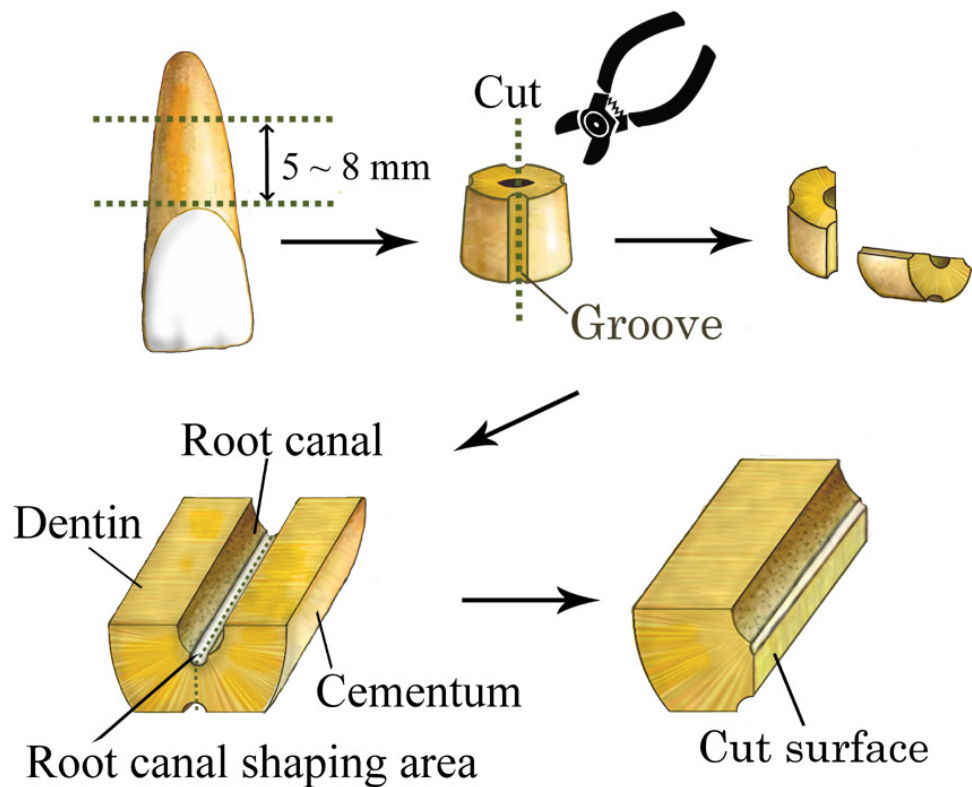


図 2-a. 試料作製模式図

DD でヒト抜去単根歯歯冠部をセメントーエナメル境で切断. 解剖学的根尖孔より 1 mm アンダー部までを作業長とし, Ni-Ti file によって #25 まで拡大形成した. 拡大形成後, 歯頸部カット面と平行に 5~8 mm 幅に歯根を DD で切断し, 抜去歯の長軸方向に DD で頬舌的に 2 本グループをいれ, ニッパーを使って歯を長軸方向に 2 分割した. この試料を, 15% EDTA 2 ml 中に 2 分間浸漬後, 2.5% NaClO 5 ml, PW 10 ml の順に洗浄し, 滅菌ペーパーポイントを用いて乾燥した. 縦断面の観察は, 超音波作用後に作用面を歯の長軸方向に再度ニッパーにて分割し, 試料とした.

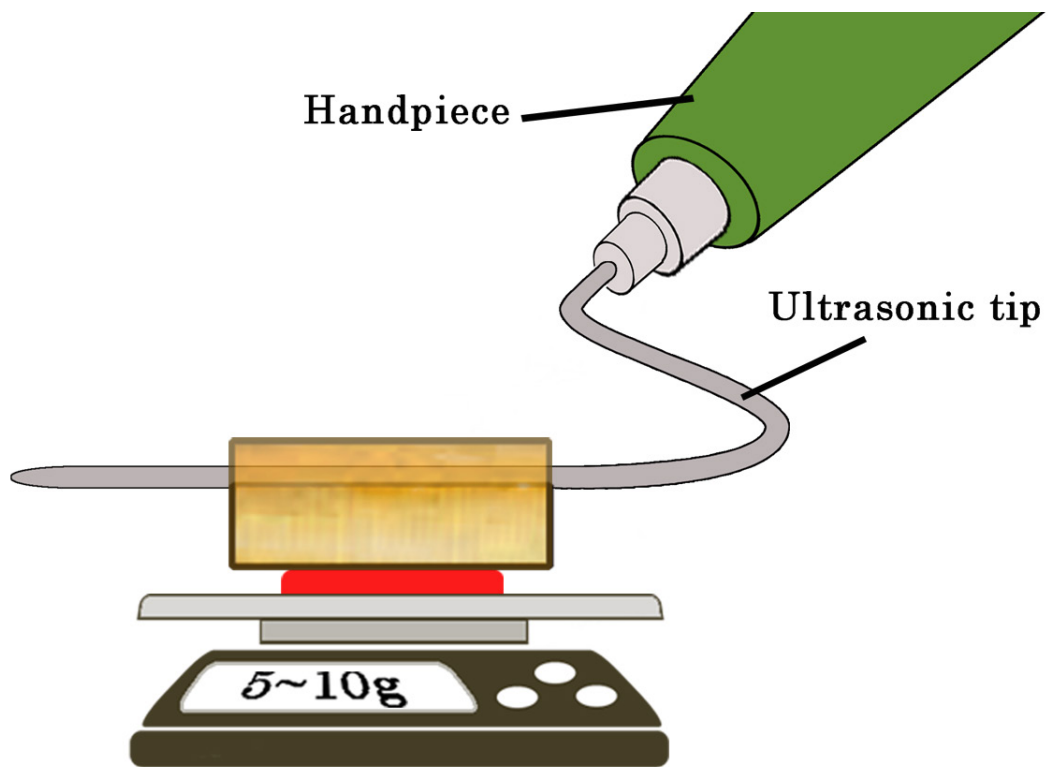


図 2-b. 超音波チップ作用方法

試料を質量計に固定し, shaping 圧を 5-10 g にコントロールし超音波チップを作用させた.

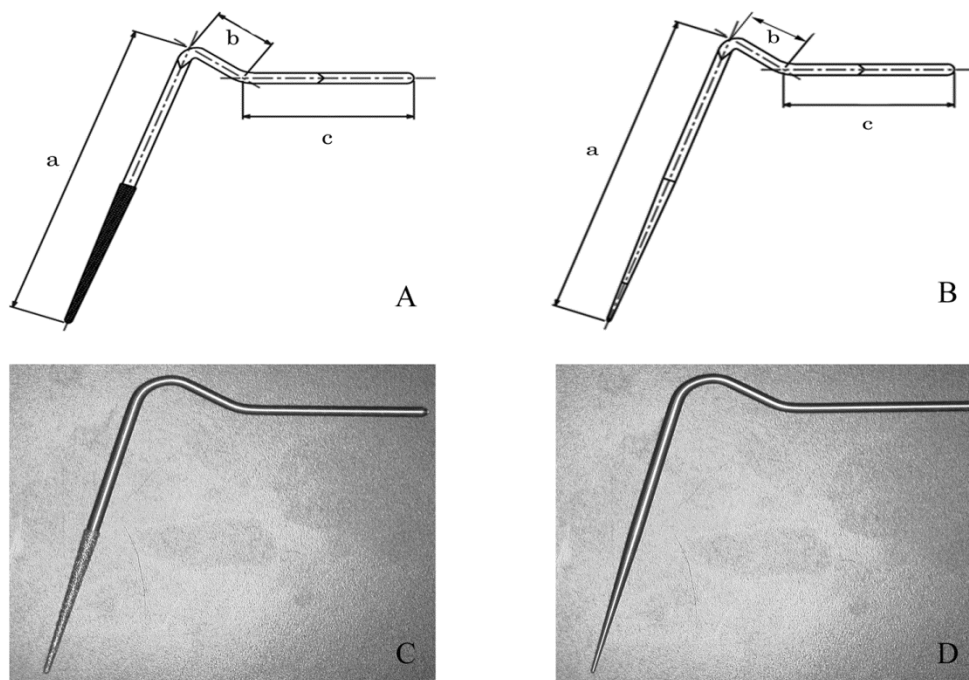


図3. ダイヤモンドチップとステンレススチールチップ

(A, C)ダイヤモンドチップ. チップ D1 直径=0.37 mm, チップテーパ=5%, a=22.0 mm, b=4.0 mm, c=10.5 mm, 電着ダイヤモンド粒子径 53-63 μm .

(B, D)ステンレススチールチップ. チップ D1 直径=0.25 mm, チップテーパ=5%, a=22.0 mm, b=4 mm, c=10.5 mm.

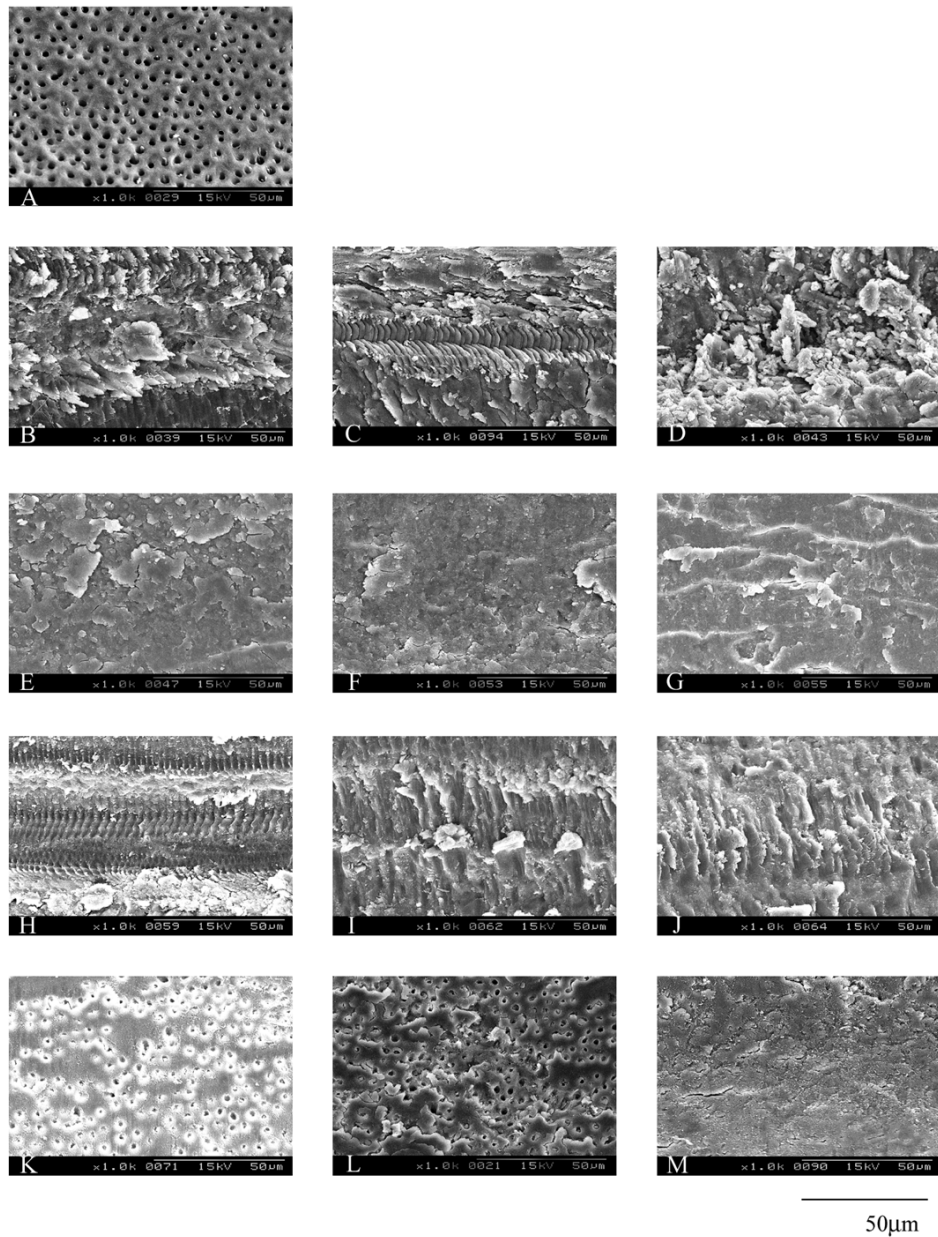


図4. 実験1 根管表面 SEM 像

(A) コントロール, (B) 非注水 DT 出力 1, (C) 非注水 DT 出力 2, (D) 非注水 DT 出力 3, (E) 非注水 ST 出力 1, (F) 非注水 ST 出力 2, (G) 非注水 ST 出力 3, (H) 注水 DT 出力 1, (I) 注水 DT 出力 2, (J) 注水 DT 出力 3, (K) 注水 ST 出力 1, (L) 注水 ST 出力 2, (M) 注水 ST 出力 3. (拡大率×1000)

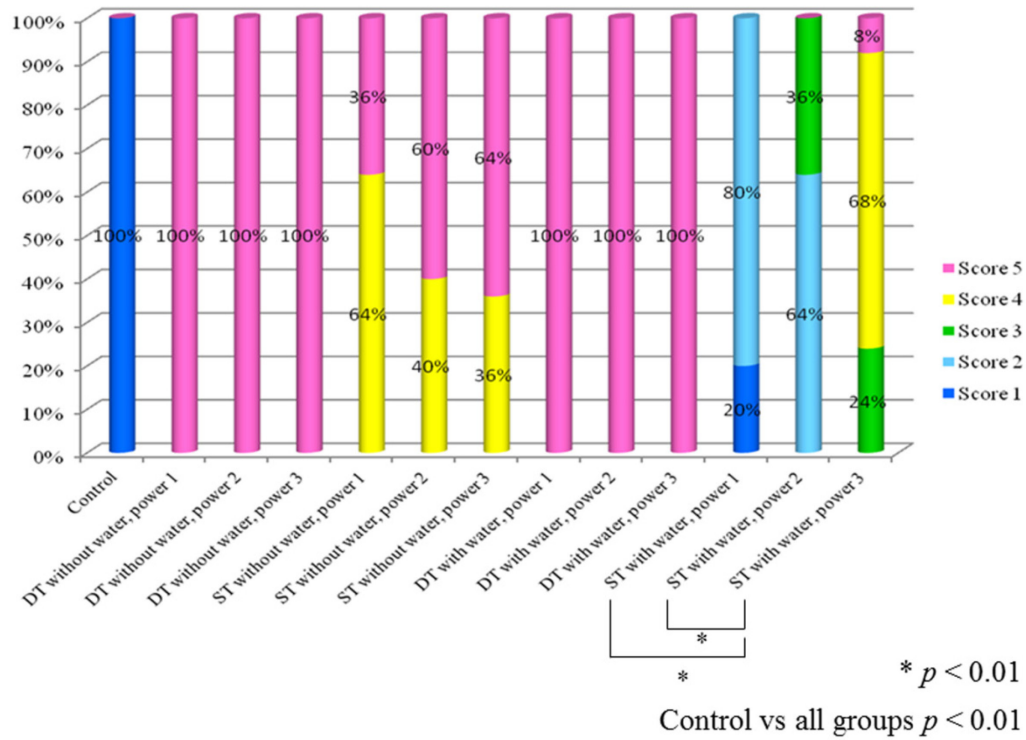


図 5. 実験 1 各条件下におけるスミヤー層のスコア

コントロール群とその他すべての群で有意差を認め、注水 ST 群では、出力 1 と出力 3、出力 2 と出力 3 の間に有意にスコアの差を認めた. ($p < 0.01$)

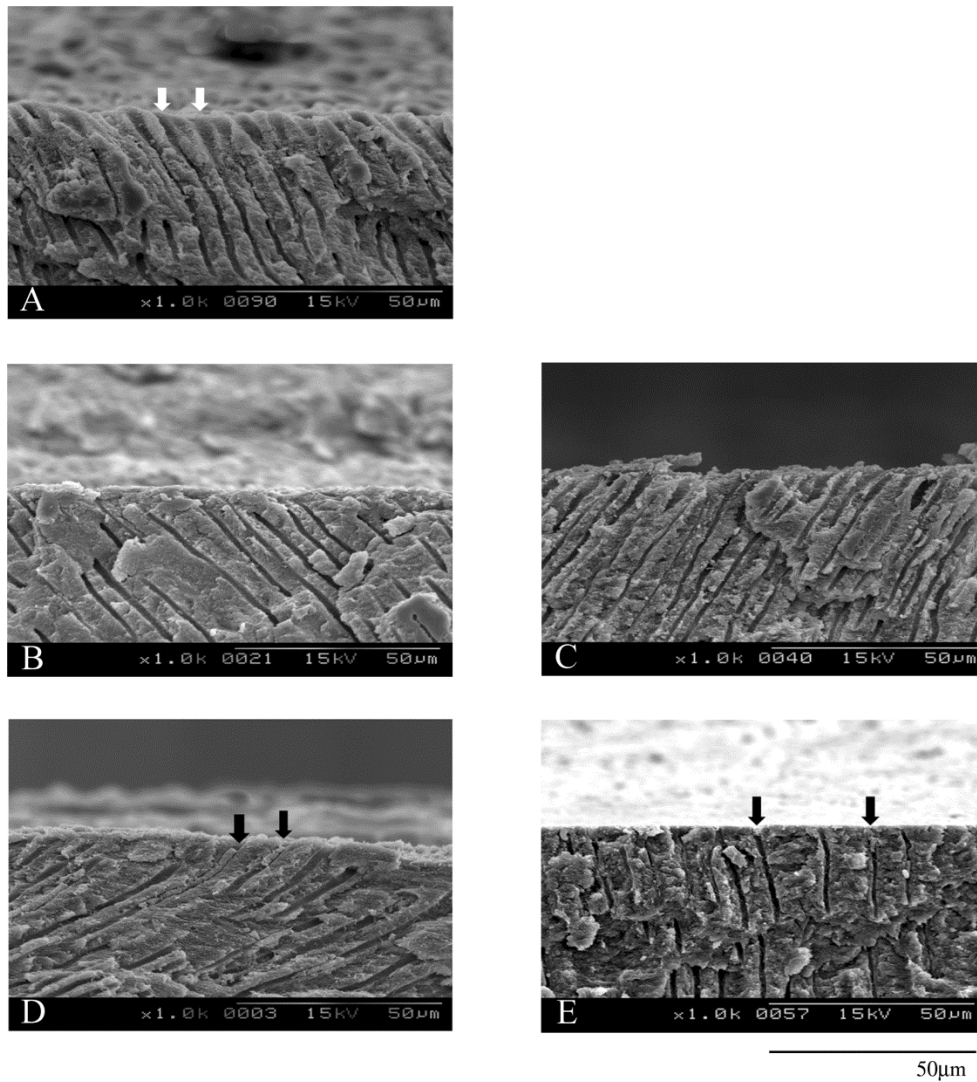


図 6. 実験 1 根管縦断面の SEM 像

(A) コントロール, (B) 非注水 DT, (C) 非注水 ST, (D) 注水 DT, (E) 注水 ST. (拡大率 ×1000) コントロール群において象牙細管口の開口が認められる. (白矢印) 注水 DT, 注水 ST 群では, スミヤープラグが認められる. (黒矢印)

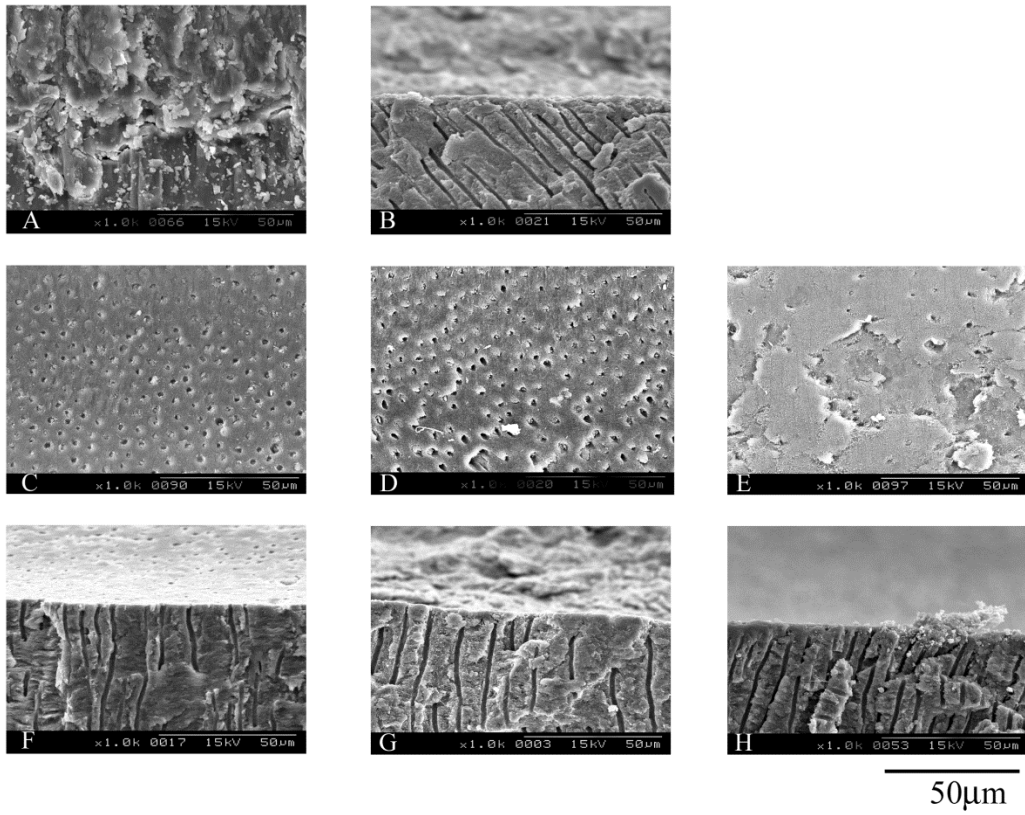


図 7. 実験 2 Group2-1 根管表面, 縦断面 SEM 像

(A, B) コントロール, (C, F) 注水 ST 出力 1, (D, G) 注水 ST 出力 2, (E, H) 注水 ST 出力 3. (拡大率×1000)

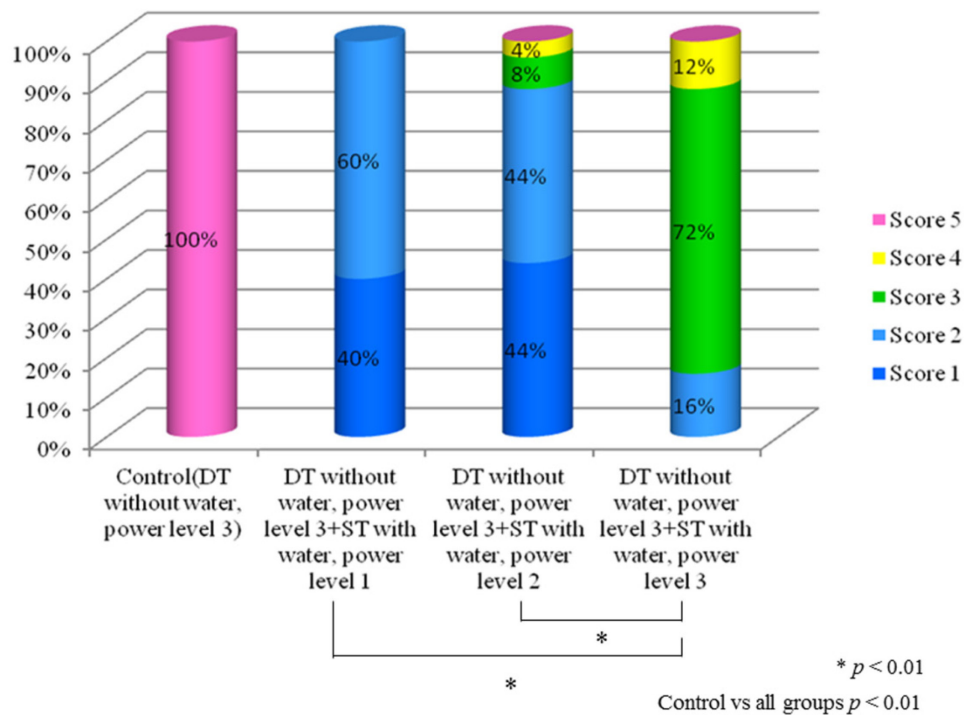


図 8. 実験 2 Group 2-1 スミヤー層スコア

コントロール群とその他すべての群でスコアの有意差を認め、注水 ST 作用群では、出力 1 と出力 3、出力 2 と出力 3 の間でスコアの有意な差を認めた。 ($p < 0.01$)

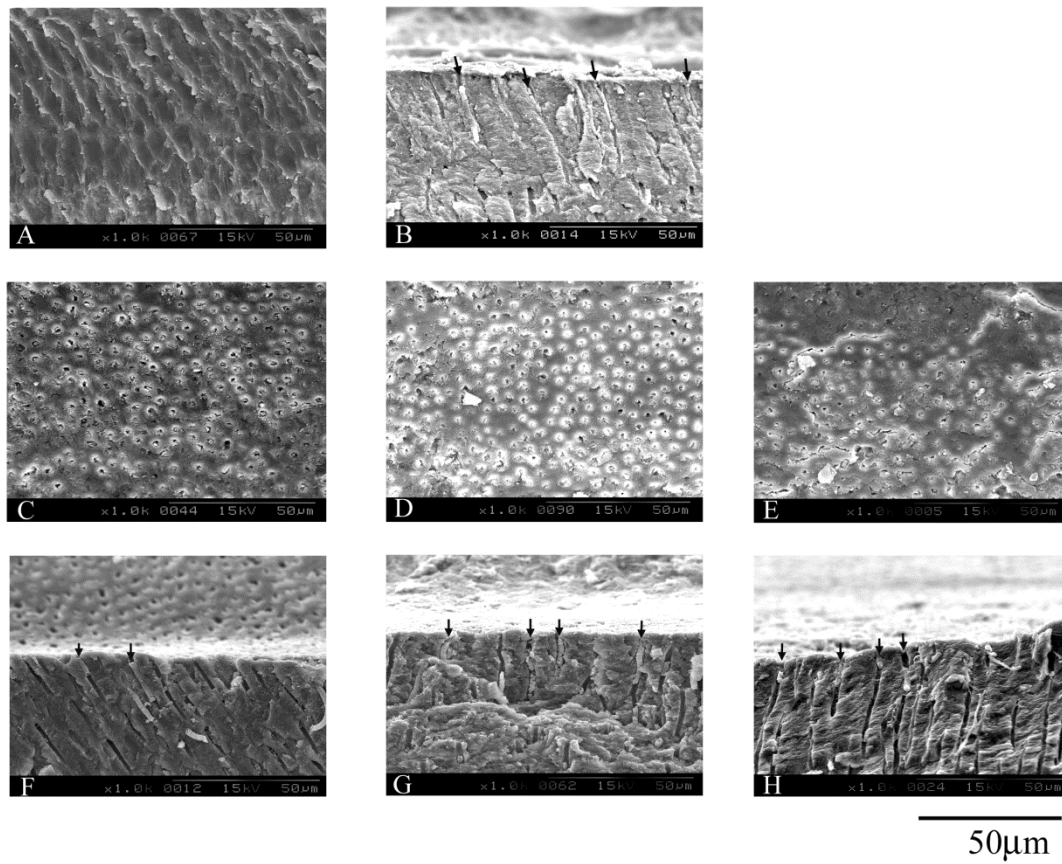


図9. 実験2 Group 2-2 根管表面, 縦断面 SEM 像

(A, B) コントロール, (C, F) 注水 ST 出力 1, (D, G) 注水 ST 出力 2, (E, H) 注水 ST 出力 3. (拡大率×1000) 象牙細管内にスマヤープラグの存在が確認される. (黒矢印)

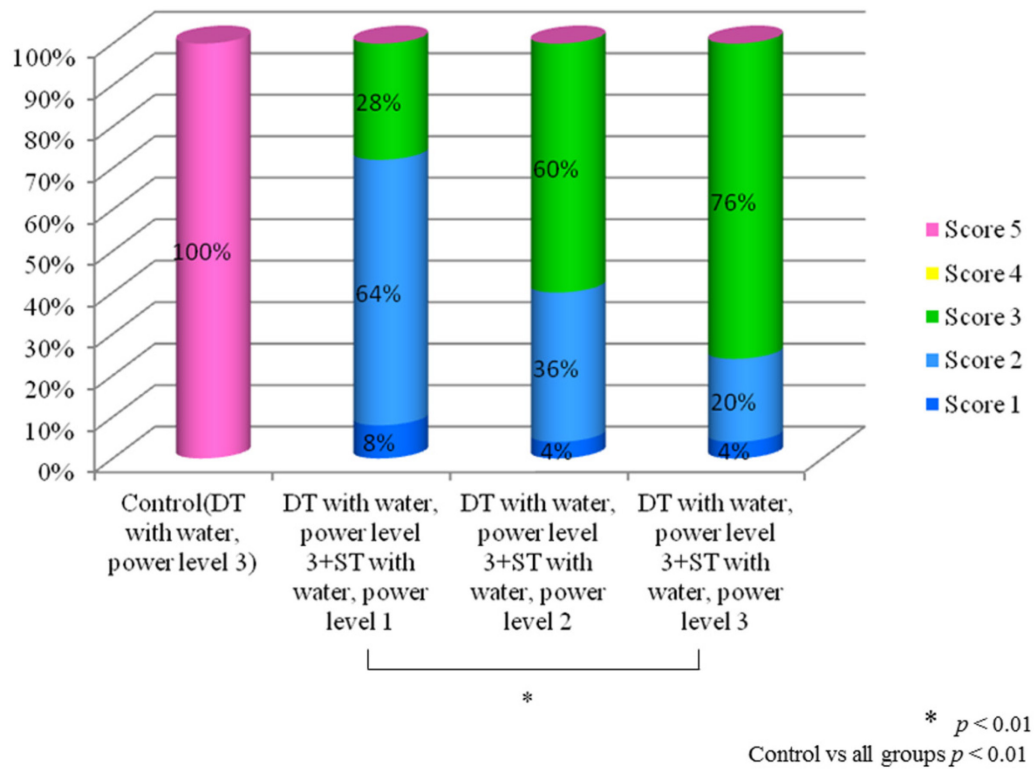


図 10. 実験 2 Group 2-2 スミヤー層スコア

コントロール群とその他すべての群でスコアの有意差を認め、注水 ST 作用群では、出力 1 と出力 3 の間でスコアの有意な差を認めた. ($p < 0.01$)

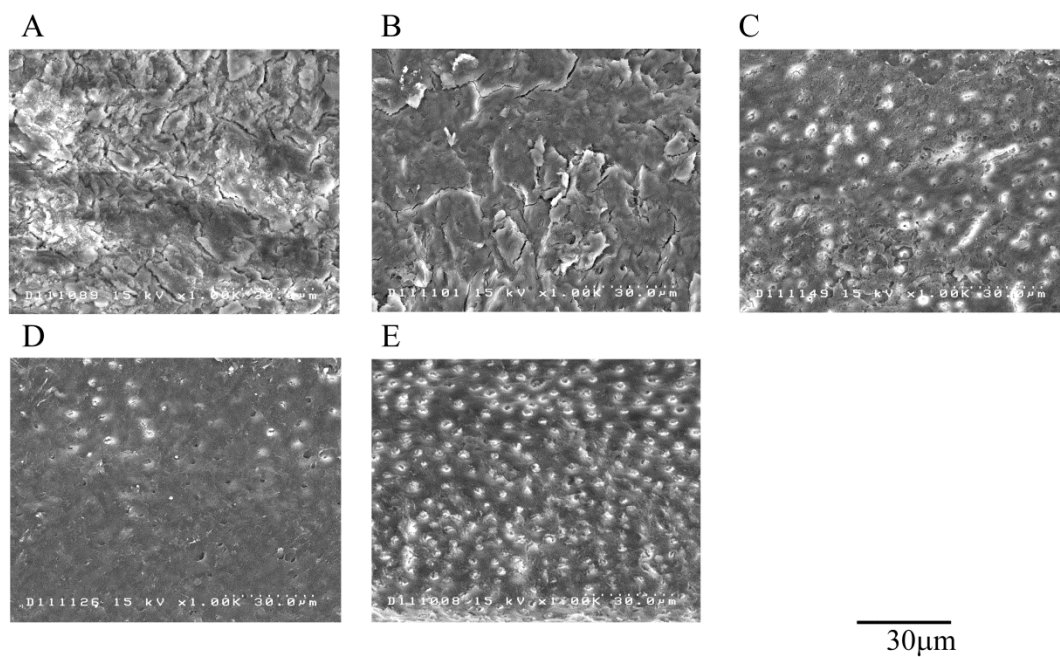


図 11. 実験 3 Group 3-1 根管表面の観察 (EDTA 作用時間: 120 秒間)

(A) コントロール, (B)1% EDTA, (C)5% EDTA, (D)10% EDTA, (E) 15% EDTA. (拡大率 ×1000)

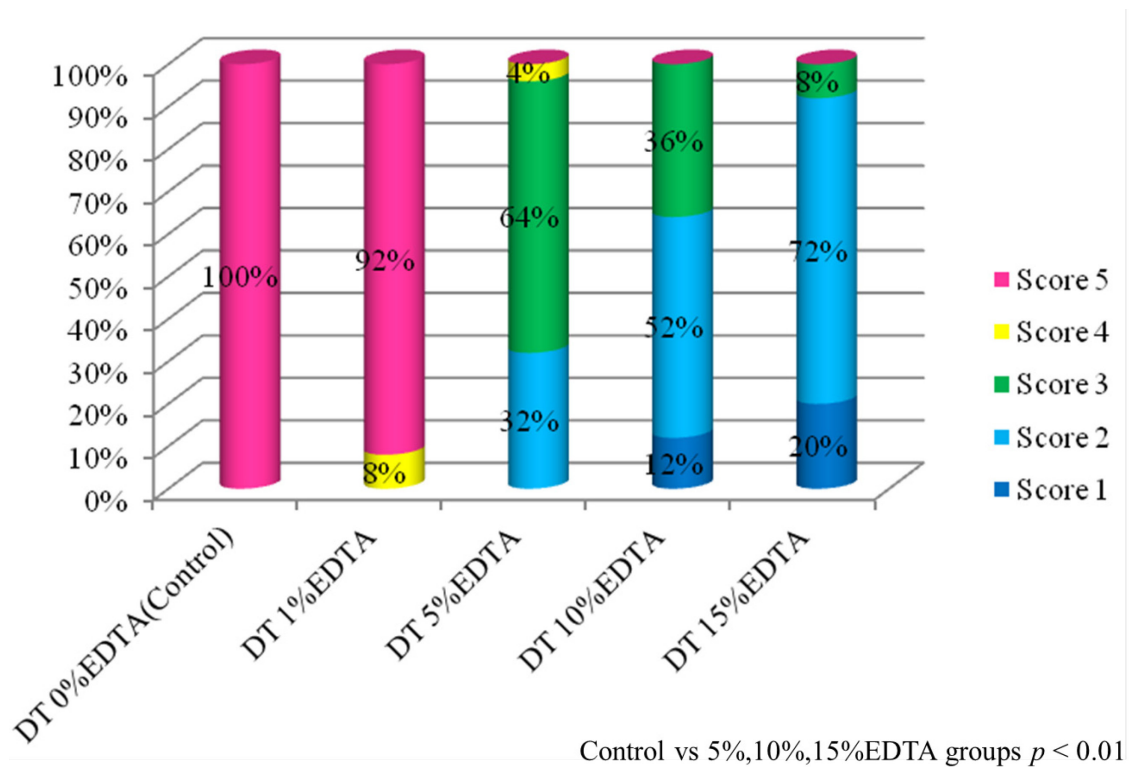


図 12. 実験 3 Group 3-1 スミヤー層スコア

コントロールと 5%, 10%, 15% EDTA 作用群の間でスコアの有意な差を認めた. ($p < 0.01$)

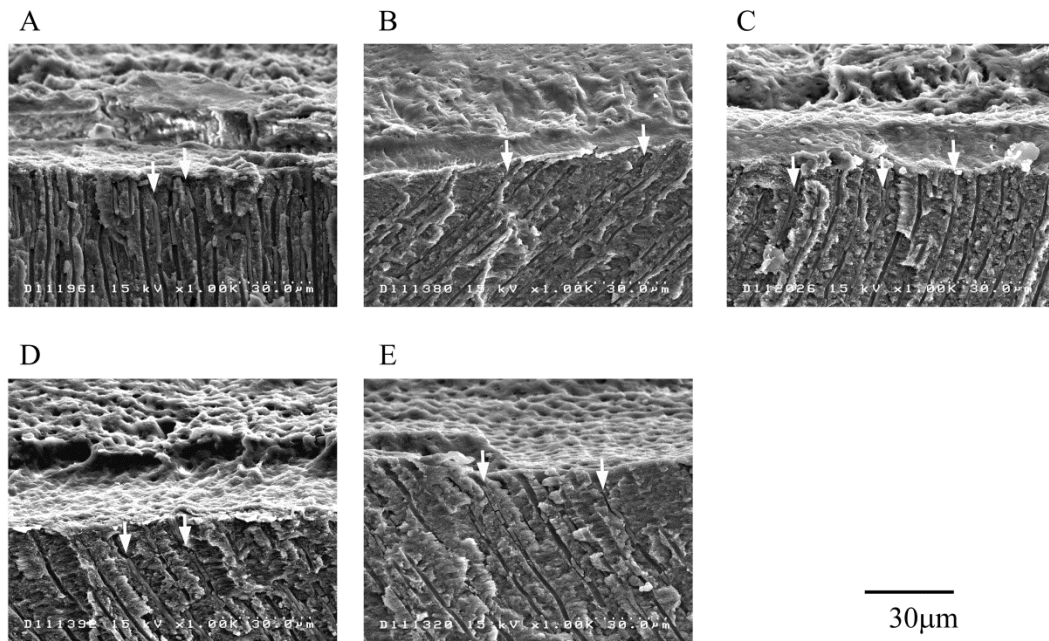


図 13. 実験 3 Group3-1 縦断面の観察 (EDTA 作用時間: 120 秒間)

(A) コントロール, (B)1% EDTA, (C)5% EDTA, (D)10% EDTA, (E) 15% EDTA. (拡大率 ×1000) 象牙細管内にスマヤープラグの存在を認める. (白矢印)

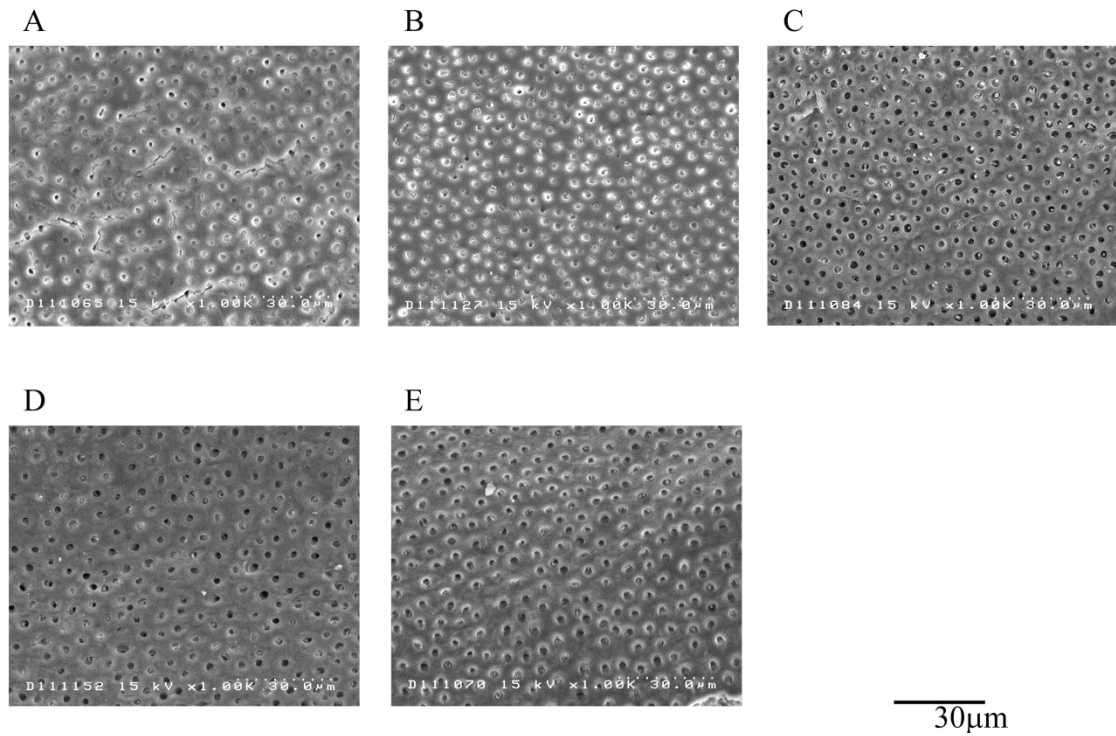


図 14. 実験 3Group3-2 根管表面の観察 (EDTA 作用時間: 120 秒間)

(A) コントロール, (B)1% EDTA, (C)5% EDTA, (D)10% EDTA, (E) 15% EDTA. (拡大率 ×1000)

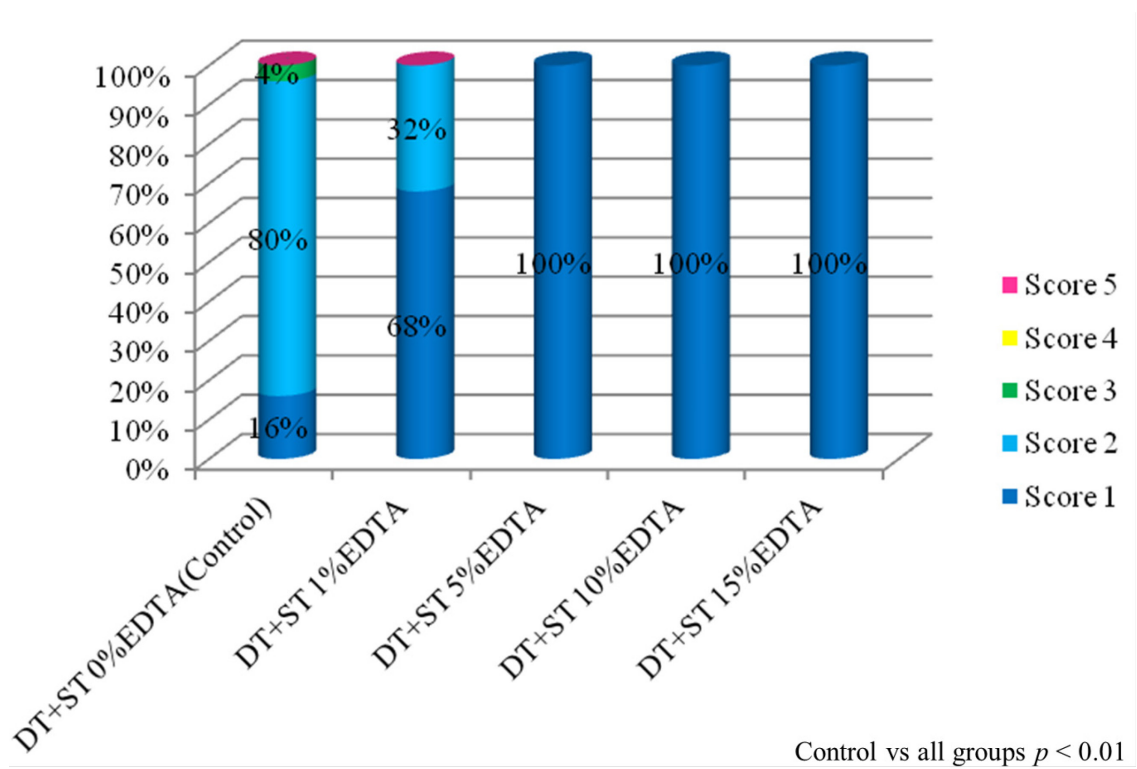


図 15. 実験 3 Group 3-2 スミヤー層スコア

コントロールと全ての実験群でスコアの有意な差を認めた. ($p < 0.01$)

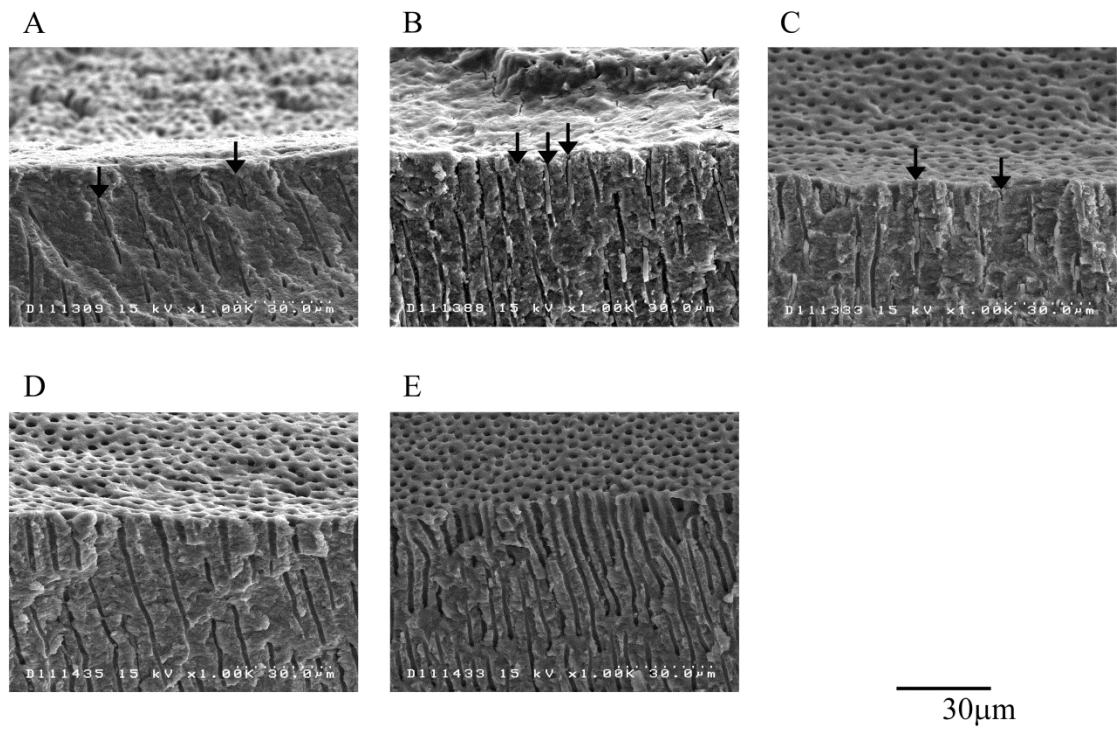


図 16. 実験 3 Group 3-2 縦断面の観察 (EDTA 作用時間: 120 秒間)

(A) コントロール, (B)1% EDTA, (C)5% EDTA, (D)10% EDTA, (E) 15% EDTA. (拡大率 ×1000) 象牙細管内にスミヤープラグの存在を認める.(黒矢印)