



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	根管内からの機械的および化学的拡大が4-META/MMA-TBB レジンによる垂直歯根破折間隙の封鎖性に及ぼす効果
Author(s)	西尾, 啓英; 菅谷, 勉; 川浪, 雅光
Citation	北海道歯学雑誌, 35(2), 101-111
Issue Date	2015-03
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/58235
Type	journal article
File Information	35-02-2nishio.pdf



原 著

根管内からの機械的および化学的拡大が4-META/MMA-TBB レジンによる垂直歯根破折間隙の封鎖性に及ぼす効果

西尾 啓英 菅谷 勉 川浪 雅光

抄 録：垂直歯根破折に対する保存治療の基本は、破折間隙を接着し、封鎖することである。超音波エンドファイルを用い、根管内から破折線を切削すると、破折間隙の封鎖性は向上するが、過剰切削や切削不足が生じることが課題である。一方、化学的な根管壁の溶解によって、機械的拡大が困難な部位の根管拡大が可能であるので、本研究では破折間隙の切削と化学的拡大を併用することで、接着後の封鎖性が向上するかを検討した。

実験1. ヒト抜去歯から厚さ1mmの象牙質片を作製して破折、復位固定した。破折間隙に対して、処理群は10%クエン酸/3%塩化第二鉄溶液（10-3溶液）5分、10%次亜塩素酸ナトリウム溶液（NC）2分の処理を1回あるいは3回行った。未処理群では破折間隙の処理は行わなかった。3群ともスーパーボンドで破折間隙を接着し、色素侵入試験を行うとともに破折間隙幅を計測した。その結果、間隙幅は3回処理群が他の2群より有意に広く（ $p<0.05$ ）、色素侵入率は3回処理群が他の2群より有意に小さかった（ $p<0.05$ ）。

実験2. ヒト抜去歯を垂直破折させて復位固定し、破折間隙に対して以下の処置を行った。①未処理群：処理なし。②形成群：ソルフィーZXのオートストップ値を1.0に設定して超音波エンドファイルで破折間隙を切削。③化学的拡大群：10-3溶液5分、NC2分の処理を3回。④併用群：②の後に③の処理。4群ともスーパーボンドで破折間隙を接着後、色素侵入試験を行った。その結果、併用群においては歯根表面に切削が達している試料はなく、その色素侵入率は他の3群と比較して有意に小さかった（ $p<0.05$ ）。

以上の結果から、超音波エンドファイルによる破折間隙の切削と化学的な拡大を併用することは、過剰な切削を防止して封鎖性を向上するのに有効である。

キーワード：垂直歯根破折、口腔内接着法、封鎖性

緒 言

平成17年の調査では、日本人の抜歯原因は11%が歯根破折であり、年間約160万本が破折によって失われていると推計されている¹⁾。さらに、歯根破折は辺縁性歯周炎や根尖性歯周炎と類似した病態を示すことが多いため²⁻⁴⁾、誤診されている症例も少なくないと考えられ、抜歯原因に占める歯根破折の割合はさらに多いのが実態ではないと思われる。また、定期的にメンテナンスされている患者が歯を失う原因としては、歯根破折が最も多いという報告^{5,6)}もあることから、歯根破折の治療法を確立することは、歯の保存のためにはきわめて重要な課題と考えられる。

垂直歯根破折後に生じる歯周組織の炎症の原因は、初期には破折間隙の細菌汚染が主体であることが、実験的に垂直破折させて病理組織学的に評価した実験で明らかとなり^{7,8)}、治療の基本は破折間隙の汚染を除去して封鎖する

ことであることが解明された。その具体的手法としては、大きく分けると2つの方法が検討されてきた。すなわち、破折歯根を一旦抜歯し、口腔外で汚染を除去し、接着後に再植する方法⁸⁻¹⁴⁾と、非外科的に根管内から破折間隙の汚染を除去して接着する方法^{8, 13, 16-18)}である。

抜歯して口腔外で接着し再植する方法は、動物実験による病理組織学的な研究において炎症や歯根吸収がなく良好な治療状態を示すことが報告されている^{16, 17)}。また、臨床成績においてもprobing depthや骨吸収の改善が多くの症例で得られたと報告されている^{13, 14, 17)}。しかし、この方法は侵襲が大きく、抜歯時に歯根が破折したり、歯根膜を損傷して術後に根吸収が生じたりするなど、症例によっては適応が難しく、治療に伴うリスクは高いと言える。一方、根管内から非外科的に破折間隙の封鎖を行う口腔内接着法は、動物実験では歯根膜に炎症が残り、歯槽骨吸収も認められ¹⁵⁻¹⁷⁾、臨床的にもprobing depthや骨吸収の改善

が不十分な症例が多いと報告されている^{15,17)}。この原因は、根管内から処置する場合には破折間隙の清掃や封鎖が不確実になるためと考えられており^{13,15-17)}、口腔内接着法の治療成績を向上させるためには、破折間隙内の感染を歯根表面に達するまで確実に除去して接着、封鎖することが必要と思われる。しかし、感染菌質除去のための切削が過剰になり破折間隙幅が広がると、浸出液、血液や肉芽組織が破折間隙内に侵入して、その後の清掃や接着を障害するとともに、歯周組織に接する接着性レジンセメントの幅が広がることで、ポケット上皮の下方増殖を引き起こしやすくなる¹⁹⁾。

川端ら¹⁸⁾は、電気的根管長測定器で破折間隙と歯周組織とのインピーダンスを計測しながら超音波エンドファイルを用いて破折間隙の切削を行うことで、破折間隙の過剰な切削を防止でき、破折間隙の封鎖性も向上することを報告している。しかし、過剰な切削を避けようとするわずかに切削不足になる場合があり、切削不足を回避しようすると過剰切削が多くなることも報告されており¹⁸⁾、このようなばらつきを改善することが確実な臨床成績を得るためには重要な課題と考えられる。一方、本間ら²⁰⁾は、象牙質面を10%クエン酸3%塩化第二鉄溶液で5分間処理すると、象牙質が処理面から $22.8 \pm 4.7 \mu\text{m}$ 溶解され、さらに10%次亜塩素酸ナトリウム溶液や芳香族スルフィン酸塩で処理することにより、未処理の象牙質と差のない引っ張り強さと色素侵入率を示し、機械的な拡大が困難な部位に対して化学的に根管拡大できる可能性を報告している。

そこで、インピーダンスを計測しながら過剰切削にならないように破折間隙を切削し、その後に切削不足になっている破折間隙を化学的に拡大することで、過剰に切削することなく高い封鎖性が確実に得られると考え、本研究ではまず実験1として化学的処理による破折間隙の拡大量と封鎖性を検討した。次に、実験2では実験1の結果をもとに、垂直破折歯根モデルを用いて、化学的拡大のみを行った場合、インピーダンスを計測しながら超音波エンドファイルで破折間隙の切削のみを行った場合、その両者を併用した場合の封鎖性について色素侵入率を指標に評価した。

材 料 と 方 法

実験1. 化学的処理による破折間隙の拡大量と封鎖性の検討

1) 破折間隙モデルの作製

ヒト抜去歯10本の歯冠を切除し、歯根中央部から約 $10.0 \times 10.0 \times 1.2 \text{mm}$ の象牙質片をタービンとダイヤモンドポイント（ダイヤモンドポイントFG/C102R、株式会社松風、京都）を用いて30個作製し、マイセルとマレットで歯軸方向に2分割した。分割した象牙質片を元の位置に復位し、離開しないように最歯冠側と最根尖側の約2mmをクリアフィルメガボンド（クラレノリタケデンタル株式会社、東京）を用いて、メーカーの指示通りプライミング、ボンディ

ング、光照射して接着、固定し、破折間隙モデルとした（図1）。破折片の復位、固定は、破折面にプライマーやボンディング材が付着しないようにマイクロスコープ（Mani Scope Z、マニー株式会社、栃木）下で注意深く行った。

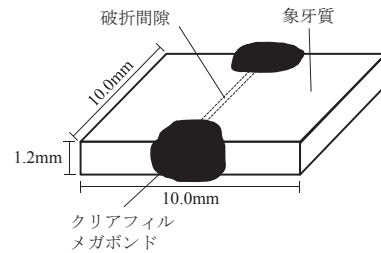


図1. 実験1. 破折間隙モデルの模式図

2) 破折間隙の処理方法

作製した破折間隙モデルを10個ずつ3群に分け、根管側から破折間隙に以下の処理を行った。①未処理群：破折間隙の処理を行わなかった。②1回処理群：10%クエン酸3%塩化第二鉄溶液（表面処理材グリーン、サンメディカル株式会社、滋賀、以下10-3溶液）を破折間隙に滴下し、5分後に水洗、エアブロー後、10%次亜塩素酸ナトリウム溶液（ネオクリーナー「セキネ」、ネオ製薬工業株式会社、東京、以下NC）を滴下し、2分後に水洗、エアブロー後、芳香族スルフィン酸塩（アクセル、サンメディカル株式会社、以下アクセル）を滴下し、10秒後に水洗、エアブローした。③3回処理群：1回処理群と同様に10-3溶液5分、水洗、乾燥、NC2分の処理を3回繰り返し、アクセル処理を行った。その後、3群とも根管側から10-3溶液を破折間隙に滴下し、10秒後に水洗、エアブロー後、4-META/MMA-TBBレジン（スーパーボンド混和ラジオペーク、サンメディカル株式会社、以下SB）をメーカー指示に従って、ポリマー粉末1杯、モノマー液4滴、カタリスト1滴の割合で混和し、根管側から破折間隙上に滴下した。

3) 色素侵入試験

37℃湿度100%中で24時間保存し、0.5%塩基性フクシン水溶液に24時間浸漬、エポキシ樹脂（スペシフィックスー20、丸本ストルアス株式会社、東京）で包埋後、歯軸に対して垂直に精密切断機（ISOMET LOW SPEED SAW, BUEHLER, USA, 以下ISOMET）で切断した。切断部位は試料の中央部と両側に1.5mm離れた部位、および最歯冠側と最根尖側のクリアフィルメガボンドで固定した位置の合計5カ所とした（図2）。切断した試料を光学顕微鏡（Olympus BX50、オリンパス光学工業、東京）で撮影し、画像解析ソフトImage J（フリーウェア、USA）を用いて次の計測を行った。①試料の厚さ、②破折間隙幅、③化学的拡大幅、④SB流入率、⑤色素侵入率（図3）。破折間隙幅は根管側部と歯根表面部、試料中央部の3カ所を計測し、

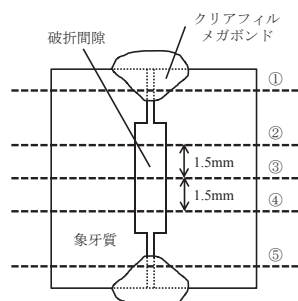


図2. 実験1. 処理面(根管側)から見た切断部の模式図
②～④: 間隙部の切断部位 ①, ⑤: 固定部の切断部位

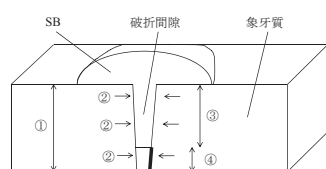


図3. 実験1. 計測項目

①試料厚さ ②破折間隙 ③SB流入距離 ④色素侵入距離

破折間隙の化学的拡大率は、化学的拡大の影響を受けなかった最歯冠側と最根尖側の接着部の破折間隙幅と、化学的拡大を行った中央部の破折間隙幅の差から求めた。SB流入率はSB流入距離/試料の厚さ×100、色素侵入率は色素侵入距離/試料の厚さ×100とし、色素侵入距離は光学顕微鏡下で40倍にて観察を行い、破折間隙に色素が見られた位置から最歯根表面側までの距離とした。

統計処理には統計解析ソフトSPSS II for Windows (IBM, 東京)を用いて、Kruskal-Wallis test, Mann-Whitney U test, Bonferroni/Dunnの多重比較を有意水準5%で行った。

4) 走査型電子顕微鏡観察

色素侵入試験後の試料を自然乾燥し、イオンスパッター(E-1030, 日立製作所, 東京)を用いて120秒間白金-パラジウム蒸着し、走査型電子顕微鏡(S-4000, 日立製作所)で加速電圧10kVにて観察した。

実験2. 機械的切削と化学的拡大が破折間隙のSBによる封鎖性に及ぼす影響

1) 垂直破折歯根モデルの作製

ヒト抜去単根歯20本の歯冠を切除し、根管をピーソリマー(#1～#3, マニー株式会社)でフレアーに形成した後、即時重合レジン(トレーレジンII, 株式会社松風)に歯根を埋植しジグを作製した。レジン硬化後に歯根を取り出し、光ファイバーポスト(i-TFCファイバー, 直径0.9mm, サンメディカル株式会社)とコンポジットレジン(ポストレジン, サンメディカル株式会社)を用い、分離材(スーパーボンドセップ, サンメディカル株式会社)を根管壁に塗布して直接法でポストを作製した。ポストを撤

去してマイセルとマレットで歯根を歯軸方向に2分割し、分離材を十分に水洗した後、分割した歯根を復位、整復して最歯冠側と最根尖側をスーパーボンド(筆積みクリア, サンメディカル株式会社)で接着し、固定した。その後レジン製ジグ内にアルギン酸塩印象材(アルフレックス, 株式会社ニッシン, 京都)を填入し、歯根を埋植した。

2) 垂直破折歯根の処理方法

作製した垂直破折歯根モデルを5歯ずつ4群に分け、各歯2本の破折線に対して以下の処理をそれぞれ行った。①未処理群: 破折線の処理を行わなかった。②形成群: 電氣的根管長測定器内蔵超音波装置(ソルフィーZX, 株式会社モリタ製作所)の電極を歯根周囲のアルジネート印象材に接続、メーター指示値が一定の値に達すると超音波振動が停止するアピカルストップ値を1.0に設定し、超音波エンドファイルシングル(マニー株式会社)を用いて、マイクロスコプ(Mani Scope Z)下で根管内から破折線を切削した。③化学的拡大群: 根管内に10-3溶液を満たして#15のKファイルで攪拌し、5分間静置、鈍針(30G, ジェイ・エム・エス, 東京)を取り付けたスリーウェイシリンジで根管を十分に水洗、乾燥後、根管内にNCを満たして同様に攪拌し、2分間静置、水洗、乾燥した。この処理を3回繰り返した。④併用群: 形成群の処理の後に化学的拡大群の処理を行った。

3) 破折間隙の接着方法

根管と破折間隙をアクセルで満たし、10秒後に水洗、乾燥、10-3溶液を満たして10秒後に水洗、乾燥を行った。乾燥は鈍針を取り付けたスリーウェイシリンジで十分に行い、SBをメーカー指定に従ってポリマー粉末1杯、モノマー4滴、キャタリスト1滴の割合で混和し、シリンジを用いて根管内に満たし、破折前にあらかじめ直接法で作製しておいたポストを挿入、接着した。

4) 色素侵入試験

37℃湿度100%中で24時間保存し、0.5%塩基性フクシン水溶液に24時間浸漬、エポキシ樹脂で包埋後、歯軸に対して垂直にISOMETで切断した。歯根のほぼ中央部と1.5mm離れた部位の計3か所の切断面を光学顕微鏡で撮影し、画像解析ソフトImage Jを用いて計測を行った。計測項目は①根管壁の厚さ、②SB流入率、③色素侵入率、④未切削距離とした(図4)。色素侵入率は色素侵入距離/根管壁の厚さ×100、SB流入率はSB流入距離/根管壁の厚さ×100とし、未切削距離は超音波エンドファイルで切削した最歯根表面側から歯根表面までの距離とした。統計処理には統計解析ソフトSPSS II for Windowsを用いて、②と③にはKruskal-Wallis test, Mann-Whitney U test, Bonferroni/Dunnの多重比較を行い、①と④にはTukey's testを有意水準5%で行った。

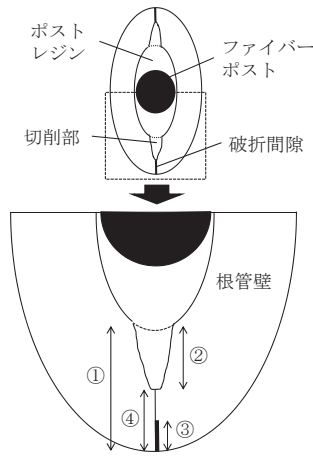


図4. 実験2. 計測項目

- ①根管壁厚さ ②SB流入距離 ③色素侵入距離
④未切削距離

5) 走査型電子顕微鏡観察

色素侵入試験後の試料の一部を自然乾燥後、イオンスパッターを用いて120秒間白金-パラジウム蒸着し、走査型電子顕微鏡で加速電圧10kVにて、破折間隙内のレジンと歯質との界面を観察した。

結 果

実験1. 化学的処理による破折間隙の拡大量と封鎖性の検討

試料の厚さは未処理群、1回処理群、3回処理群でそれぞれ $1154.3 \pm 188.7\mu\text{m}$ (中央値 $\pm$ 四分位偏差), $1376 \pm 228.3\mu\text{m}$, $1103.4 \pm 297.0\mu\text{m}$ であり、3群間に有意差は認められなかった ($p > 0.05$)。また、化学的処理の影響を受けなかった最歯冠側、最根尖側の破折間隙幅は未処理群が $14.5 \pm 5.1\mu\text{m}$, $9.7 \pm 1.5\mu\text{m}$, 1回処理群が $43.7 \pm 40.0\mu\text{m}$, $45.3 \pm 32.9\mu\text{m}$, 3回処理群が $13.4 \pm 14.2\mu\text{m}$, $8.4 \pm 6.8\mu\text{m}$ であり、3群間に有意差はなかった ($p > 0.05$)。

化学的拡大による拡大幅は1回処理群、3回処理群でそれぞれ $14.4 \pm 13.3\mu\text{m}$, $53.8 \pm 31.7\mu\text{m}$ であり、3回処理群は1回処理群と比較して有意に大きかった ($p < 0.05$) (図5)。

SB流入率は未処理群、1回処理群、3回処理群でそれ

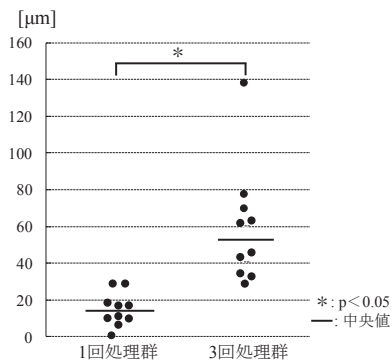


図5. 実験1. 拡大幅

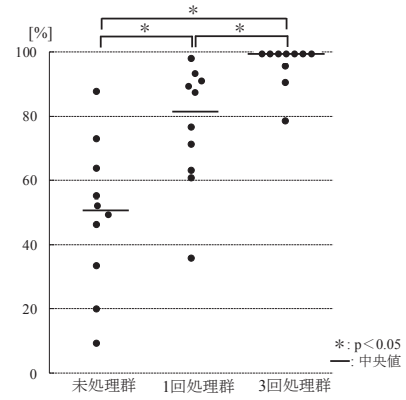


図6. 実験1. SB流入率

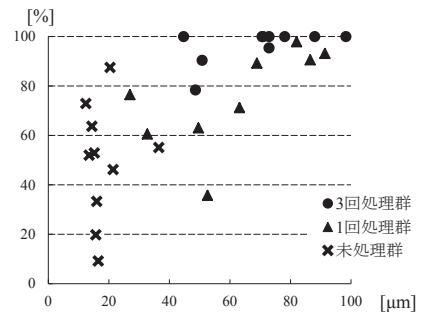


図7. 実験1. 破折間隙幅とSB流入率の関係

ぞれ $52.5 \pm 25.0\%$, $82.9 \pm 26.3\%$, $100.0 \pm 3.4\%$ であり、3回処理群は他の2群と比較し有意に高く、1回処理群は未処理群と比較して有意に高かった ($p < 0.05$) (図6)。間隙幅とSB流入率の関係をみると、間隙幅が約 $70\mu\text{m}$ を超えた試料では処理回数によらず90%以上のSB侵入率であった (図7)。色素侵入率は未処理群、1回処理群、3回処理群でそれぞれ $46.2 \pm 26.3\%$, $22.1 \pm 20.9\%$, $10.4 \pm 3.8\%$ であり、3回処理群は他の2群と比較して有意に低く、1回処理群は未処理群と比較して有意に低かった ($p < 0.05$) (図8, 9)。

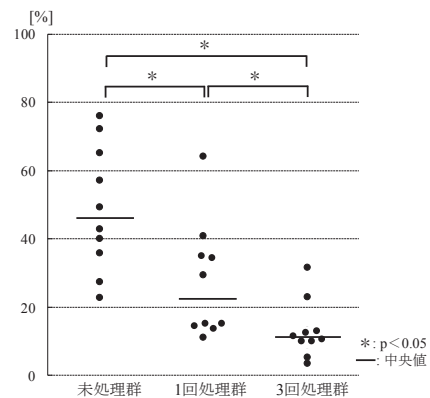


図8. 実験1. 色素侵入率

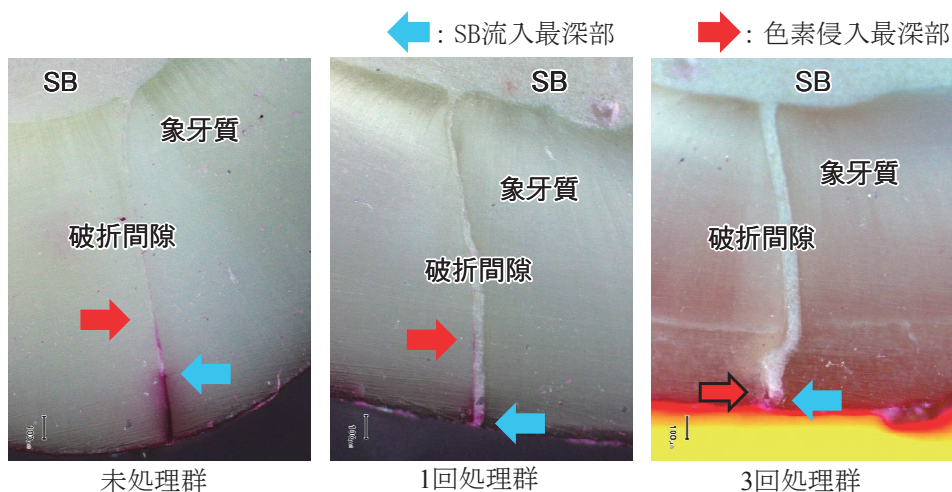


図9. 実験1. 色素侵入試験

未処理群：SBが歯根表面側まで流入せず，色素の侵入を認める。

1回処理群：SBが歯根表面側まで流入しているが，SBと象牙質の界面に色素の侵入を認める。

3回処理群：SBは歯根表面側まで流入しており，色素の侵入もほとんど認めない。

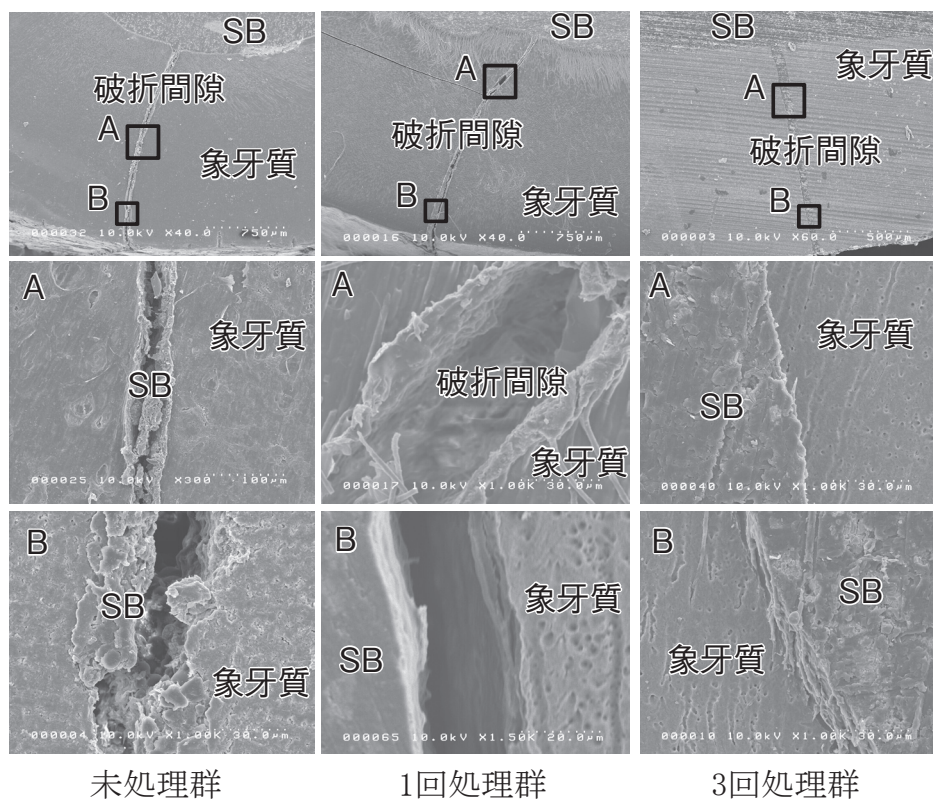


図10. 実験1. 破折間隙のSEM像

未処理群：破折間隙内にSBが見られる部位でも間隙を多く認める。

1回処理群：破折間隙内に流入したSBと象牙質の間に間隙を認める。

3回処理群：歯根表面側までSBが流入しており，象牙質との間に間隙は認めない。

走査型電子顕微鏡観察では，未処理群は破折間隙に流入したSBが歯根表面まで達していない標本も多く，さらに象牙質との間に間隙が生じている部分が多かった。1回処理群は，未処理群と比較してSBの流入は良好であったが，

象牙質とSBとの間に間隙が認められる標本が多かった。一方，3回処理群は破折間隙内に流入したSBは歯根表面に達して，象牙質との間に間隙が見られない標本が多かった（図10）。

実験2. 機械的切削と化学的拡大が破折間隙のSBによる封鎖性に及ぼす影響

根管壁厚さは未処理群, 化学的拡大群, 形成群, 併用群でそれぞれ $1233.3 \pm 616.8\mu\text{m}$ (中央値 $\pm$ 四分位偏差), $995.0 \pm 383.6\mu\text{m}$, $1033.8 \pm 205.3\mu\text{m}$, $1106.8 \pm 272.9\mu\text{m}$ であり, 各群間に有意差は認められなかった ($p > 0.05$). SB流入率は未処理群, 化学的拡大群, 形成群, 併用群でそれぞれ $65.4 \pm 61.8\%$, $95.1 \pm 11.7\%$, $84.2 \pm 13.2\%$, $95.7 \pm 4.2\%$ であり, 各群の間に有意差は認められなかった ($p > 0.05$) (図11). 色素侵入率は未処理群, 化学的拡大群, 形成群, 併用群でそれぞれ $35.6 \pm 46.9\%$, $16.8 \pm$

9.3% , $12.7 \pm 10.5\%$, $5.7 \pm 3.0\%$ であり, 併用群がほかの群と比較して有意に小さかった ($p < 0.05$) (図12, 13). 未切削距離は形成群, 併用群でそれぞれ $321.1 \pm 189.7\mu\text{m}$, $298.0 \pm 363.0\mu\text{m}$ で両群の間に有意差は認められず, $0\mu\text{m}$ すなわち歯根表面まで切削された標本はなかった (図14). 未切削距離と色素侵入率との関係を見ると, 未切削距離が $200\mu\text{m}$ 以下であれば形成群でも併用群でも色素侵入率は 10% 以下であった (図15). 間隙幅と色素侵入率の関係では, 破折間隙幅が $100\mu\text{m}$ を超えると色素侵入率は 10% 以下となったが, $50\mu\text{m}$ 以下になると色素侵入率が高くなる傾向が見られた (図16).

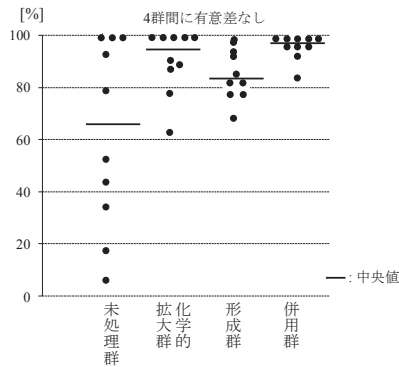


図11. 実験2. SB流入率

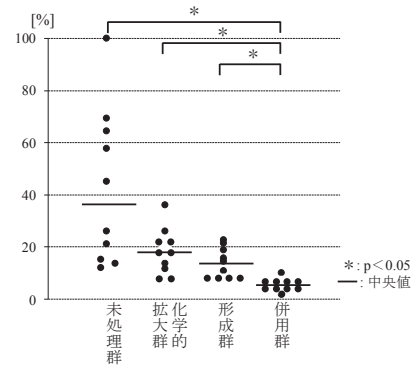


図12. 実験2. 色素侵入率

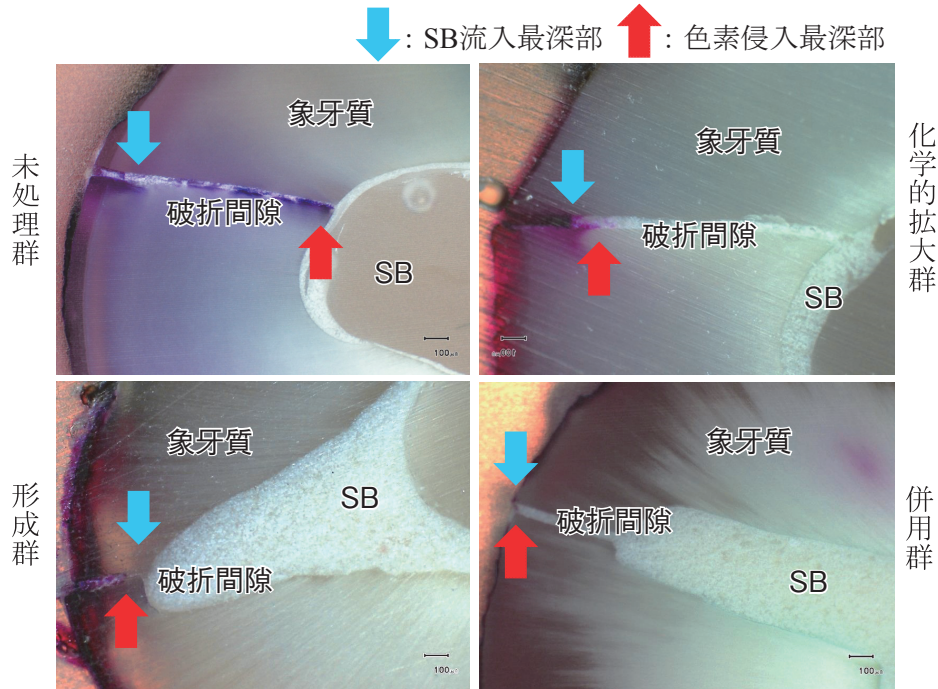


図13. 実験2. 色素侵入試験

未処理群: 破折間隙内へのSBの流入は少なく, 根管側で色素の侵入を認める。
化学的拡大群: SB流入最深部からやや根管側に色素が侵入している。
形成群: 未切削部にSBは流入しておらず, 同部には色素の侵入を認める。
併用群: 歯根表面までSBが流入しており, 色素の侵入もほとんど認めない。

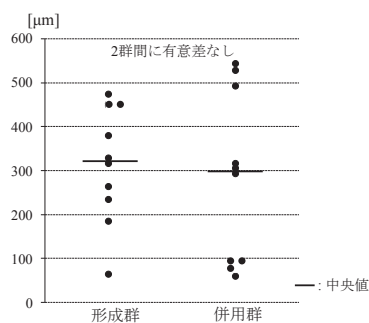


図14. 実験2. 未切削距離

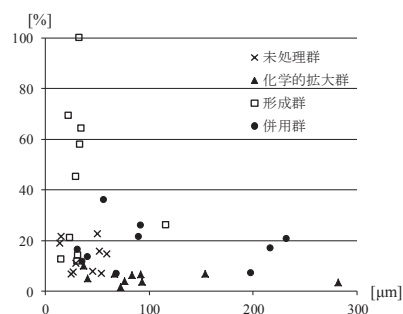


図16. 実験2. 破折間隙幅と色素侵入率の関係

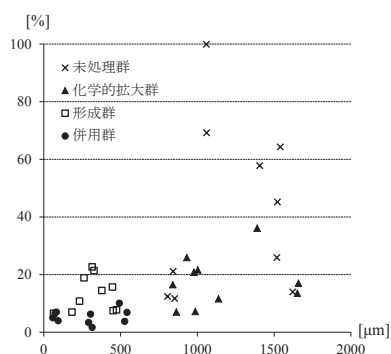


図15. 実験2. 未切削距離と色素侵入率の関係

走査型電子顕微鏡観察では、未処理群は破折間隙内に流入したSBが歯根表面に達していない標本が多く、SBが流

入していても象牙質との間には多くの標本で間隙が観察された。化学的拡大群は破折間隙内に流入したSBがほとんどの標本で歯根表面に達していたが、歯根表面近くではSBと象牙質の間に間隙が生じている標本がいくつか観察された。形成群では、歯根表面側の未切削部位でSBと象牙質の間に間隙が見られる標本があったが、併用群では間隙が見られる標本はわずかであった（図17）。

考 察

実験1で、試料の厚さは約1.2mmとした。これは川端ら¹⁸⁾の実験で、アピカルストップの設定を1.0とすると過剰切削を防ぐことができるが、最大で0.6mm程度の切削不足が生じる可能性があり、未切削部分の化学的拡大の効果を調べるためには1.2mm程度の厚さが適当と考えたため

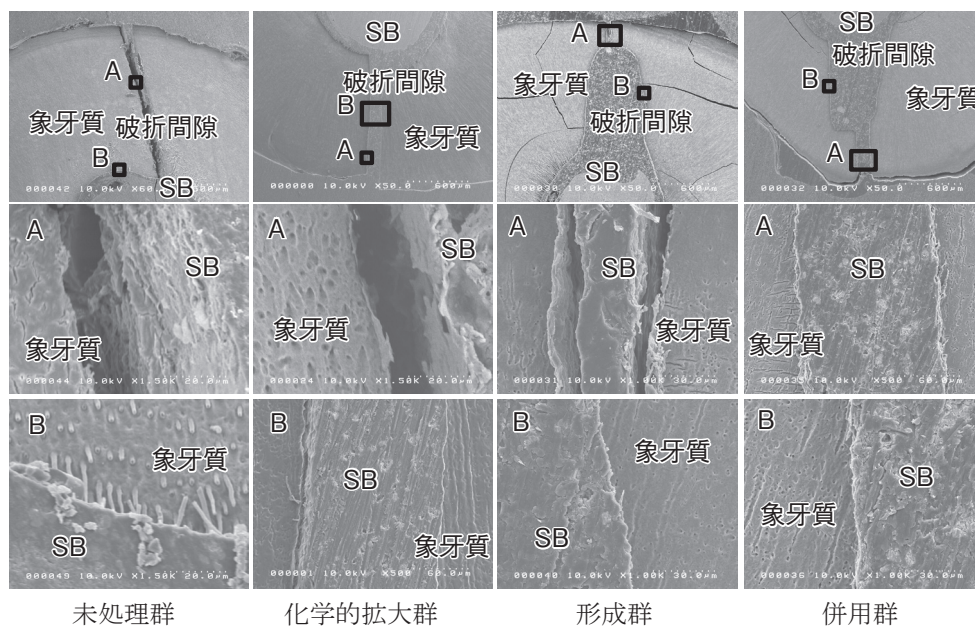


図17. 実験2. 破折間隙のSEM像

未切削群：破折間隙内へのSBの流入は少なく、SBと象牙質の間に間隙を認める。根管壁ではSBと象牙質の界面にレジントグを認める。

化学的拡大群：破折間隙内中央部付近ではSBと象牙質の間に間隙は認めないが、歯根表面側では間隙を認める。

形成群：切削部の象牙質とSBの間に間隙は認めないが、未切削部では間隙を認める。

併用群：切削部と未切削部どちらもSBと象牙質の間に間隙は認めない。

ある。試料の厚さを計測した結果、いずれも1.2mm程度で3群間に有意差がなかったことから、3群とも概ね適切な試料の厚みで実験できたと考えられる。また、化学的に拡大していない部分の破折間隙幅は、10~100 μ mであった。これは、歯科用マイクロスコープを用いて20倍で観察しても破折線として認識されるのみで間隙は見えないものから、肉眼では間隙は見えないが歯科用マイクロスコープでは見える程度までであり、臨床的にみられる垂直歯根破折をシミュレートした実験としては、適切な間隙幅であったと考えられる。化学的に拡大されていない部分の間隙幅を3群間で比較すると、1回処理群が他の2群に比較してやや広がったが有意差はなく、両群とも破折間隙幅と化学的拡大量との間に関連性は見られなかったことから、破折間隙の幅のばらつきは実験結果に影響を及ぼさなかったと考えられた。

化学的拡大幅(図5)は、クリアフィルメガボンドが破折間隙内に流れ込んで接着し、化学的拡大が行われなかった最歯冠側和最根尖側の破折間隙の平均と、処理後の中央部の破折間隙幅の差から計算した。その結果、1回処理群では $14.4 \pm 13.3\mu\text{m}$ 、3回処理群では $53.8 \pm 31.7\mu\text{m}$ となった。本間ら¹⁷⁾によると、象牙質は10-3溶液5分、NC2分の処理で平均22.7 μ m溶解されたと報告されているが、本実験ではやや少ない溶解量となった。これは、本間らの実験では根管壁を被験面としており象牙細管と垂直な面での実験であったが、本実験では破折間隙の処理であり象牙細管と平行に近い面で被験面への象牙細管の露出面積が大きく、管周象牙質は管間象牙質より酸に対する溶解性が低いとされていること²¹⁾が影響したと思われる。

SB流入率(図6)は未処理群では低く、化学的拡大を行うと向上し、とくに3回処理群では90%以上の流入率を示した標本が90%、100%を示した標本も70%に認められた。これは、間隙幅が狭いとSBの流入は困難であるが、10-3溶液やNCは狭い間隙にも流入して化学的に拡大可能であり、SBの流入スペースを確保するために化学的拡大が有効であることを示している。また、化学的処理の回数によらず、間隙幅が70 μ mを超えると概ね90%以上のSB流入率が得られた(図7)ことから、間隙幅が狭い場合には70 μ m程度まで拡大することが、SBを流入させるためには必要であると考えられた。

色素侵入率(図8)は3回処理群が他の2群に比較して有意に低く、3回処理群はSEMで歯根表面近くまでSBと象牙質が隙間なく接している標本が多かった(図10)。しかし、SBが流入していた部位でも一部には色素が侵入しており(図9)、SEMでも間隙がみられる部位が見られた。これは、試料が厚くなると歯面処理や水洗、乾燥などが不完全となり、SBが流入しても十分に接着が得られなかったためではないかと思われる。したがって、10-3溶液とNCによる化学的拡大は、破折間隙が狭い場合にはSBの流

入率を高めて封鎖性を向上させる効果が認められたが、根管壁の厚みが1.2mm以上ある場合には、歯根表面まで接着して封鎖するには確実性が不十分と考えられた。

そこで実験2では超音波装置を用いた機械的切削を併用することとし、さらに水洗や乾燥などが十分に行えるかは封鎖性に影響する可能性があることから、臨床をシミュレートした垂直破折歯根モデルを用いて根管内から処置を行った。

形成群と併用群の超音波装置による機械的切削は、根管長測定器を内蔵し、超音波チップ先端と歯根膜とのインピーダンスの相対値が一定に達したときに超音波振動が停止するアピカルストップシステムを用いて行った。アピカルストップ値は、川端ら¹⁸⁾の実験から切削過剰にならない1.0に設定した。その結果、歯根表面まで切削された標本はなく、破折間隙の未切削距離(図14)は形成群、併用群でそれぞれ $321.1 \pm 189.7\mu\text{m}$ 、 $298.0 \pm 363.0\mu\text{m}$ であった。この結果は、川端ら¹⁸⁾の報告と概ね一致しており、臨床的に歯根膜側へ突き出すことなく安全に切削可能な設定として適切な値であったと考えられた。一方、化学的拡大は、実験1の結果から破折間隙が狭い場合でも十分な効果が発揮できる3回とした。

実験2の結果、形成群でも併用群でも、未切削距離が200 μ m程度までであれば高い封鎖性が得られた(図15)。実験1では未処理群でも300 μ m程度はSBが侵入して色素侵入を阻止でき、3回処理群では1.2mm程度までSBが流入して封鎖可能であったことから(図6、8)、実験1と2ではSBが流入して封鎖可能な距離に相違が生じたことになる。これは、実験1が平坦な象牙質面であったのに対して、実験2は臨床をシミュレートして根管モデルで行ったため、歯面処理、水洗、乾燥などが不十分になりやすかったためと思われる。

一方、化学的拡大群、形成群、併用群の3群間でSB流入率(図11)に有意差はなかったが、色素侵入率(図12)は併用群が有意に低かった。これは、実験1と同様に根管壁が厚く破折間隙が狭い場合には、歯根表面側までの歯面処理や水洗、乾燥が不十分になりやすく、SBが流入しても十分に接着しなくなる部分が生じるためと思われる。また、間隙幅と色素侵入率の関係(図16)をみると、化学的拡大群、形成群、併用群のいずれでも、間隙幅が100 μ m以上であれば色素侵入率はいずれも10%以下と低かったことから、100 μ m以上の間隙がある場合には機械的にも化学的にも破折間隙の拡大は必要ないと思われる。また、未処理群と形成群で破折間隙幅が概ね50 μ m以下になると、色素侵入率が高くなったことから、SBが流入し良好な接着状態を得るためには100 μ m程度の間隙幅を確保することが望ましいと考えられた。一方、超音波装置を用いた機械的切削後に化学的拡大を行った併用群では、色素侵入率はすべての試料で10%以下となったことから、超音波による機械

的切削後に化学的拡大を併用することは、確実に封鎖するために効果的な方法であったと考えられた。

以上から、垂直破折歯根の治療を根管内から行うためには、破折間隙の幅が $100\mu\text{m}$ 以下の場合には、ソルフィーZXに接続した超音波エンドファイルでアピカルストップ値を1.0に設定して破折間隙を切削し、10-3溶液5分、NC 2分の処理を3回行ってから根管内と破折間隙をSBで接着することで、高い封鎖性が得られると思われる。また破折間隙が $100\mu\text{m}$ 以上ある場合でも、CT等で根管壁の厚みを臨床的に知ることができなければ、同様に根管壁をソルフィーZXで切削してから接着するのが確実な方法と考えられる。一方、歯根破折後時間が経過して破折間隙に細菌が増殖している場合には、破折間隙を拡大するだけでなく細菌も取り除くことが必要であり、このような場合の効果については今後さらに検討が必要である。また、化学的拡大は象牙質の構造に変化を及ぼして、接着耐久性に影響する可能性がある²²⁻²⁶⁾ことから、水や血清に長期間浸漬して接着耐久性を検討していくことが必要である。

結 論

垂直歯根破折の破折間隙に対し、根管内から電氣的根管長測定器内蔵型超音波装置による機械的切削と化学的拡大を行った後、スーパーボンドで接着した場合の封鎖性について色素侵入距離を指標に評価した結果、以下の結論を得た。

1. 破折間隙モデルにおいて、垂直破折歯根の破折間隙を10-3溶液5分、NC 2分の処理を3回繰り返すことで、間隙幅が $53.8 \pm 31.7\mu\text{m}$ 拡大された。
2. 臨床をシミュレートした垂直破折歯根モデルにおいて、電氣的根管長測定器内蔵型超音波エンドファイルを用いてインピーダンスを測定しながら破折間隙を切削するとともに、10-3溶液とNCによる化学的拡大を併用することにより、破折間隙接着後の封鎖性が向上した。

参 考 文 献

- 1) 安藤雄一, 和田 潤, 森田 学, 青山 旬, 増井峰夫: 永久歯の抜歯原因調査報告書. 財団法人8020推進財団, 2005.
- 2) Hiatt WH: Incomplete crown-root fracture in pulpal-periodontal disease. J Periodontol 44 : 369-79, 1973.
- 3) Polson AM: Periodontal destruction associated with vertical root fracture. J Periodontol 48 : 27-32, 1977.
- 4) Meister F Jr, Lommel TJ, Gerstein H: Diagnosis and possible causes of vertical root fractures. Oral Surg Oral Med Oral Pathol 49 : 243-53, 1980.
- 5) Axelsson P, Nystrom B, Lindhe J: The long-term effect of a plaque control program on tooth mortality, caries and periodontal disease in adults. Result after

30 years of maintenance. J Clin Periodontol 31 : 749-757, 2004.

- 6) Sekihara T, Fukuda H, Shinsho F: A study on the risk of tooth loss among individuals receiving longterm maintenance care at a dental clinic. 日歯医療管理誌 40 : 317-331, 2006.
- 7) 木村喜芳, 菅谷 勉, 加藤 熙: 垂直歯根破折に伴う歯周組織破壊の病理組織学的研究. 日歯周誌 42 : 255-266, 2000.
- 8) 菅谷 勉, 田中佐織, 宮治裕史, 富田真人, 長谷川有紀子, 川村直人, 田中裕子, 元木洋史, 中塚 愛, 川浪雅光, 加藤 熙, 佐野英彦, Sharanbir K. Sidhu : 垂直歯根破折の接着治療. 歯医学誌 26 : 47-51, 2007.
- 9) 眞坂信夫: 垂直破折歯の接着保存-接着修復保存症例の長期臨床経過. 接着歯学 13 : 156-170, 1995.
- 10) 野口裕史, 菅谷 勉, 加藤 熙: 縦破折した歯根の接着による治療法, 第2報 接着性レジンセメントで接着・再植した場合の組織学的検討. 日歯保存誌 40 : 1453-1460, 1997.
- 11) 眞坂信夫, 小幡宏一: 破折歯への対応(その1). 垂直破折歯に対する接着保存法. 日歯医師会誌 50 : 6-13, 1998.
- 12) 加藤 熙, 菅谷 勉, 川浪雅光, 大森幹朗, 野口裕史, 奥村健仁, 二宮 昭, 木村喜芳, 山本俊樹: 歯の意図的再植法の成功率向上と適応症の拡大に関する研究. 歯医学誌 20 : 69-79, 2001.
- 13) Sugaya T, Kawanami M, Noguti H, Kato H, Masaka N: Periodontal healing after bonding treatment of vertical root fracture. Dent Traumatol 17 : 174-179, 2001.
- 14) Hayashi M, Kinomoto Y, Takeshige F, Ebisu S: Prognosis of intentional replantation of vertically fractured roots reconstructed with dentin-bonded resin. J Endod 30 : 145-148, 2004.
- 15) 菅谷 勉, 加藤 熙: 垂直破折歯根の接着治療法の成績と予後不良症例への対策法. 歯科臨床研究 2 : 32-42, 2005.
- 16) 富田真人, 菅谷 勉, 川浪雅光: 垂直歯根破折に口腔内接着法と口腔外接着・再植法を行った場合の歯周組織の治療. 日歯保存誌 45 : 787-796, 2002.
- 17) 菅谷 勉, 加藤 熙: 垂直破折歯根の接着治療法の病理組織学的研究と臨床成績. 歯科臨床研究 1 : 8-17, 2004.
- 18) 川端伸也, 菅谷 勉, 川浪雅光: 電氣的根管長測定器を応用した垂直歯根破折面の超音波切削が間隙封鎖性向上に及ぼす効果. 北海道歯誌 33 : 53-61, 2013.
- 19) 元木洋史, 菅谷 勉, 川浪雅光: 垂直歯根破折の治療

- 後に歯周組織に接するレジンの幅が上皮の根尖側移動に及ぼす影響. 日歯保存誌 48 : 733-742, 2005.
- 20) 本間啓史, 菅谷 勉, 川浪雅光: 化学的根管拡大後にスーパーボンド根充シーラーを用いた根管充填の封鎖性. 北海道歯学雑誌 33 : 72-81, 2013.
- 21) Shellis RP., A scanning electron-microscopic study of solubility variations in human enamel and dentine. Arch Oral Biol 41 : 473-84, 1996.
- 22) 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.
- 23) 清村正弥, 阿部義人, 中林宣男: 4-META/MMATBB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.
- 24) 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.
- 25) 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.
- 26) 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.

ORIGINAL

The effect of combination of mechanical and chemical enlargement through the root canal on sealability of vertical root fracture gap using 4-META/MMA-TBB resin

Takahide Nishio, Tsutomu Sugaya and Masamitsu Kawanami

ABSTRACT : The basic conservative treatment of a vertical root fracture is bonding and sealing the gap of the root fracture. It is difficult to seal the gap completely from the root canal side. Grinding the gap wall using an ultrasonic endodontic file from the root canal side improves sealability of the gap. However, there may be excessive and insufficient grinding. It is possible that dissolving the root canal wall with 10% citric acid 3% ferric chloride solutions (10-3) and 10% sodium hypochlorite (NC) enlarge a region that is difficult for mechanical expansion. The purpose of this study was to evaluate the sealability after enlarging the gap of a root fracture with a chemical method and together with an ultrasonic endodontic filing and chemical agents. In the first experiment, 1 millimeter thick dentin pieces were cut out from extracted human teeth, fractured in the direction of tooth axis, restored to the original position, and held. The gaps were treated by 10-3 for five minutes and NC for two minutes one time (one time group), three times (three time group) and no time (control group). In all groups, gaps were bonded using 4META/MMA-TBB resin (Super Bond) to seal the fractured gaps. All pieces were then tested by dye penetration tests and the gaps were microscopically measured. In the second experiment, extracted human teeth were fractured vertically and restored. The gaps were treated by the following methods. 1) not treated (control group), 2) ground from the root canal wall side with an ultrasonic endodontic file, until the Root ZX reading showed 1.0 (grinding group), 3) treated by 10-3 for 5 minutes and NC for 2 minutes three times (chemical group), 4) treated by 3rd method after grinding by 4th method (combination group). In all groups, gaps were sealed using Super Bond, tested by dye leakage tests, and microscopically measured. In the first experiment, enlarged width was significantly larger in the three times group than in the control and one time group. The rate of dye penetration was significantly smaller in the three times group than in the control and one time group. In the second experiment, the rate of dye penetration was significantly statistically smaller in the combination group than the other groups. These findings indicate that the combination of a chemical method and a mechanical method with the ultrasonic endodontic file in the gap of root fractures is effective to enhance the sealability of the fractured gap while preventing over grinding.

Key Words : vertical root fracture, intra-oral bonding treatment, sealability