Er:YAG レーザーを用いた根管洗浄法の根管壁への影響

平井千香子¹⁾ 松本妃可²⁾ 木原智子³⁾
佐藤浩美⁴⁾ 稲本京子⁵⁾ 吉嶺嘉人³⁾

¹⁾ 平井歯科ちかデンタルクリニック

²⁾ 九州大学病院歯内治療科

³⁾ 九州大学大学院歯学研究院口腔機能修復学講座歯科保存学研究分野

⁴⁾ ひろみ歯科クリニック

⁵⁾ 愛知学院大学歯学部歯内治療学講座

(受付：2015年9月9日，受理：2016年3月25日)

The Effects of Er:YAG Laser-activated Irrigation on the Root Canal Wall

Chikako HIRAI¹⁾, Himeka MATSUMOTO²⁾, Tomoko KIHARA³⁾

Hiromi SATO⁴⁾, Kyoko INAMOTO⁵⁾ and Yoshito YOSHIMINE³⁾

¹⁾ Hirai Chika Dental Clinic

²⁾ Department of Endodontology, Kyushu University Hospital

³⁾ Department of Endodontology and Operative Dentistry, Division of Oral Rehabilitation,
Faculty of Dental Science, Kyushu University

⁴⁾ Hiromi Dental Clinic

⁵⁾ Department of Endodontics, School of Dentistry, Aichi Gakuin University

(Received: September 9, 2015, Accepted for Publication: March 25, 2016)

Abstract: The aim of this study was to compare the efficacy of three irrigation techniques: laser-activated irrigation, ultrasonic irrigation, and conventional syringe irrigation, in removing debris and smear layer from the root canal wall. Bovine root dentin was used. The canal surface was ground with a carbide bar to make a smear layer. Thereafter, the specimens were set at an apical area of the simulated root canal model. As irrigation solution, sodium hypochlorite and EDTA were used in this order. By scanning electron microscopy, laser-activated irrigation and ultrasonic irrigation samples showed effective smear layer removal and open dentinal tubules. In contrast, smear plugs and debris remained in the syringe irrigation samples. In conclusion, irrigant activation using laser and ultrasonic devices might contribute to root canal cleanliness.

(J. Jpn. Soc. Laser Dent. 27 : 13 ~ 18, 2016 Reprint requests to Dr. YOSHIMINE)

Key words = Er:YAG Laser, Root Canal Irrigation, Smear Layer, Scanning Electron Microscope

キーワード = Er:YAG レーザー，根管洗浄，スミヤー層，走査電子顕微鏡

緒 言

根管系を可及的に清掃することは，歯内療法を成功に導くための重要な要素の一つである。根管を機械的に拡大すると根管壁と器具の接触部には，有機物，無機物，壊死物質，微生物などから成るスミヤー層が形成される^{1,2)}。この層の残存は，根管貼薬剤や根管充填材（シーラー）の象牙細管内への浸透を妨げ，更には根管充填後の封鎖性を損

なうことに繋がる可能性が指摘されている³⁻⁶⁾。

根管内のデブリを除去する目的で，各種の根管洗浄液が使用されているが，有機質溶解作用と抗菌作用に優れた次亜塩素酸ナトリウム溶液（NaOCl）が頻用されている。また，スミヤー層を取り除くためには，キレート剤である EDTA 製剤の併用が推奨されている^{2,7)}。

根管の清掃には洗浄液が根管壁と効率的に接触することが重要であるが，一般的に用いられているシリンジ法は側

図1 ウシ前歯歯根と根管模型
ウシ前歯歯根 (a) から採取した象牙質片 (高さ 3 mm) を根管模型 (b) に装着し、洗浄液の漏洩を防ぐために周囲を光重合型レジンとマニキュアで封鎖した (c)。

枝、根尖分岐、フィンなどの複雑な解剖学的構造が存在する根尖側 1/3 領域の洗浄効果が不十分であると言われている⁸⁾。このため、シリンジ法の他に超音波法⁹⁻¹¹⁾、音波法¹²⁾、陰圧法¹³⁾などさまざまな根管洗浄法が提唱されており、更に、近年では根管洗浄のための新しい方法としてレーザー応用の可能性が報告されている¹⁴⁻¹⁷⁾。

根管洗浄効果に関する *in vitro* 研究においては、一般的にはヒトの抜去歯が使用されているが、倫理的な問題に加えて、う蝕に罹患していない健全歯が抜去される機会が減少しているために、均一な条件の試料を揃えることは益々困難になっている¹⁸⁾。ヒトとウシの象牙質では微細構造の類似性が高いとの報告があることより¹⁸⁻²²⁾、ウシの歯をヒトの代替材料として用いた研究が多い²³⁻²⁵⁾。

そこで本研究では、ウシの歯根象牙質片を装着した根管模型を用いて、Er:YAG レーザー、超音波およびシリンジを用いた各洗浄法の根管壁清掃効果を走査電子顕微鏡にて観察、比較した。

材料および方法

1. 実験モデル

抜歯後に凍結保存したウシ前歯の歯根象牙質を実験に用いた。根尖側 1/3 から採取し分割した象牙質片 (高さ 3 mm) を、根尖相当部に装着できるプラスチック製根管模型 (長さ 20mm、底部の直径 1.5mm、テーパ 12%) を作製した。各象牙質片の根管壁面の表層をカーボランダムポイントで切削してスミヤー層を形成した後、象牙質片を根管模型に装着して、洗浄液の漏洩を防ぐために隙間を光重合型歯肉保護レジン (ガンダム: Confi-dental Prod-

ucts) とマニキュアで封鎖した (図 1)。

2. 根管洗浄

洗浄液として、3～6% 次亜塩素酸ナトリウム溶液 (アンチホルミン: 日本歯科薬品) と 3% EDTA 製剤 (スメアクリン: 日本歯科薬品) をこの順序で用いた。洗浄液間の相互作用を抑えるために、両者での洗浄の間に 3ml の蒸留水でシリンジ洗浄を行った。根管洗浄には、レーザー法、シリンジ法および超音波法を用いた ($n = 5$)。

1) レーザー法: 波長 $2.94\mu\text{m}$ の Er:YAG レーザー (Erwin AdvErl: モリタ製作所) と先端角 84° でコア径 $300\mu\text{m}$ の石英ファイバーチップ (R300T: モリタ製作所) を使用した (図 2)。根管模型内に洗浄液を入れた状態で底部から 15mm の位置にチップ先端を静置し、レーザー照射は表示出力 30mJ (先端出力 13mJ)、繰り返し速度 20 pps (pulse per second)、注水・エア無しの設定で 30 秒間行った。なお、照射を開始する前にパワーメータ (Lab-Max-TOP: Coherent) を用いて、先端出力が一定になるように出力エネルギーの補正を行った。

2) シリンジ法: 3ml の洗浄液を 25G 洗浄針 (ルートクリンニードル: 日本歯科薬品) を装着したシリンジ (テルモシリンジ: TERUMO) に入れ、根管模型中央部に挿入して上下に約 5mm 移動させながら 0.3ml/s の流量で根管洗浄を行った。

3) 超音波法: 根管模型内に洗浄液を入れた状態で、超音波装置 (Varios 350: Nakanishi) に装着した #15 U-ファイル (Nakanishi) の先端を根管底部から 1mm の位置に静止させ、低出力 (Endo モード・パワー 1) で 30 秒間洗浄した。

図 2 円錐型チップ (R300T, コア径: 300 μm)
レーザー洗浄法には, 先端角 84°でコア径 300 μm の石英ファイバーチップを使用した。

コントロール ($n = 2$) として, スミヤー層の形成後に洗浄操作を行っていない試料を用いた。

3. 走査電子顕微鏡観察

洗浄後の試料は蒸留水で洗った後, 自然乾燥し金パラジウム蒸着を施して Scanning electron microscope (以下 SEM と略す) (JEM-5400LV: JOEL) (加速電圧 10kV) による観察を行った。

結 果

図 3 に洗浄前と各洗浄法で洗浄した後の根管壁の代表的な SEM 像を示す。洗浄操作を行っていないコントロール群では, 根管壁表層にデブリが残存し, 象牙細管はスミヤー層で封鎖されていた (図 3a, b)。レーザー洗浄後の試料では, スミヤー層が消失し象牙細管は開口しており, 開口部の辺縁は明瞭に観察された (図 3c, d)。一方, シリンジ法では, 象牙細管にはスミヤープラグが残存し象牙細管の開口状態は不明瞭であった (図 3e, f)。また, 超音波法ではレーザー法と同様に, スミヤー層は消失し象牙細管は開口していた (図 3g, h)。

考 察

ヒトの歯の代替材料として, さまざまな動物の歯を応用した研究が報告されている¹⁸⁾。他の哺乳類の歯はヒトの歯に類似しており, 特にウシの歯は入手が容易でう蝕が無く, 操作を加えやすい大きさを有するために, 各種研究に広く使われている^{26, 27)}。ヒトとウシの象牙質の構造を顕微鏡レベルで比較した研究^{18, 25, 28-30)}も多くみられ, 例えば,

Camargo ら¹⁸⁾は SEM 観察において, 象牙細管の数に関してはウシの方が多いが, 直径に関しては両者の間に統計学的有意差はなかったと報告している。また, Schilke ら³¹⁾はウシの象牙細管の直径と数はヒトとの間で有意差はなかったと述べている。これらの報告に基づいて, 本研究ではウシの歯をヒトの歯の代替材料として選択した。

洗浄液の使用順序に関しては, EDTA を先に用いて無機質を分解・除去した後に, 残存する有機質成分を NaOCl で除去する方法を推奨する報告³⁰⁻³²⁾がみられる。一方, Qian ら³³⁾は EDTA での脱灰後に NaOCl を最終洗浄液として用いた場合, 過剰な dentin erosion に繋がる危険性を *in vitro* 研究において指摘している。このため, 本研究においては NaOCl, EDTA の順序で洗浄操作を行った。

根管壁の機械的拡大後に, 根管壁に形成されるスミヤー層には, 細菌が含まれる可能性があり根管の無菌化の妨げになっている³⁴⁾。また, この層を除去することで, 象牙質の透過性が高まり³⁵⁾, 根管貼薬剤が効果的に作用する可能性が報告されている³⁶⁾。更に, 側枝や象牙細管内への根管充填用シーラーの浸透性を高める効果も期待できる^{37, 38)}。

Er:YAG, Er,Cr:YSGG などの Er 系レーザーを用いた洗浄法において, 根尖から離れた髓腔に相当するスペースを洗浄液の貯留槽として用い, 円錐型チップ先端をこの位置に設置してレーザー照射を行う方法は PIPS (photon-induced photoacoustic streaming) 法として報告されている³⁹⁻⁴²⁾。円錐型チップが使用される理由の一つとしては, 平坦型チップと比較して前方への気泡の成長が少なく根尖孔からの押し出しの危険性が少ない点が挙げられる⁴³⁾。

本研究においては, 円錐型チップ先端を根管底部から 15mm の位置において洗浄を行ったが, 30 秒間の照射で根管壁の清掃性に関して良好な結果が得られた。チップ先端を根尖から離して設置した場合でも洗浄効果が生じる理由としては, レーザー照射によって誘発される蒸気泡の急激な膨張・収縮とその後のキャビテーション気泡の発生・消滅が周囲の水を移動させ, 連続的な圧力波となって伝播することがその一因であると考えられている⁴³⁾。超音波法による根管洗浄においても, レーザー法と同様に良好な清掃効果がみられたが, 根尖近くまで超音波チップを挿入する必要がある, 湾曲根管や狭小根管では根管壁がチップの振動によって切削される危険性があるため応用可能な症例は限られる。また, シリンジ法では根尖側における気泡の形成, いわゆるベーパーロック現象^{44, 45)}の影響で, 根管壁と洗浄液が十分に接触できないために, 根尖側 1/3 における洗浄効果が低くなりやすいことが指摘されている。このように, Er:YAG レーザーのパルス照射を応用した新しいレーザー法は, 従来の手法では清掃が困難な根管においても効果的な洗浄作用が期待できると考えられる。

図3 洗浄前後のSEM像

a, b: 洗浄前, c, d: レーザー洗浄, e, f: シリンジ洗浄, g, h: 超音波洗浄

a, c, e, g: Bar = 30 μ m b, d, f, h: Bar = 10 μ m

洗浄前の根管壁 (a, b) はスミヤー層で覆われ、象牙細管は観察されない。レーザー法 (c, d) と超音波法 (g, h) では、スミヤー層が消失し象牙細管は明瞭に開口している。シリンジ法 (e, f) では、象牙細管にはスミヤープラグが残存し開口状態は不明瞭である。

結 論

ウシの歯根象牙質片を装着した根管模型を用いて、Er:YAG レーザーによる洗浄法が根管壁の清掃性に及ぼす効果を走査電子顕微鏡で評価した結果、以下のような結論を得た。

1. レーザー法と超音波法は、シリンジ法よりも優れた洗浄効果を有している。

2. レーザー法においては、チップ先端を根尖から離れた位置に設置しても根尖領域において十分な洗浄効果が期待できる。

文 献

- Mancini M, Cerroni L, Iorio, L, et al: Smear layer removal and canal cleanliness using different irrigation systems (EndoActivator, EndoVac, and passive ultrasonic irrigation): Field emission scanning electron microscopic evaluation in an in vitro study. *J Endod*, 39 : 1456-1460, 2013.
- Peters OA, Barbakow F: Effects of irrigation on debris and smear layer on canal walls prepared by two rotary techniques: a scanning electron microscopic study. *J Endod*, 26 : 6-10, 2000.
- Orstavik D, Haapasalo M: Disinfection by endodontic irrigants and dressings of experimentally infected dentinal tubules. *Endod Dent Traumatol*, 6 : 142-149, 1990.
- White RR, Goldman M, Lin PS: The influence of the smeared layer upon dentinal tubule penetration by endodontic filling materials. Part II. *J Endod*, 13 : 369-374, 1987.
- Kennedy WA, Walker WA, Gough RW: Smear layer removal effects on apical leakage. *J Endod*, 12 : 21-27, 1986.
- 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*, 25 : 245-249, 1992.
- Ciucchi B, Khattabi M, Holz J: The effectiveness of different endodontic irrigation procedures on the removal of the smear layer: a scanning electron microscopic study. *Int Endod J*, 22 : 21-28, 1989.
- Villas-Bôas MH, Bernardineli N, Cavenago BC, et al: Micro-computed tomography study of the internal anatomy of mesial root canals of mandibular molars. *J Endod*, 37 : 1682-1686, 2011.
- Gu LS, Kim JR, Ling J, et al: Review of Contemporary Irrigant Agitation Techniques and Devices. *J Endod*, 35 : 791-804, 2009.
- Weller RN, Brady JM, Bernier WE: Efficacy of ultrasonic cleaning. *J Endod*, 6 : 740-743, 1980.
- Ahmad M, Pitt Ford TR, Crum LA, et al: Ultrasonic debridement of root canals: Acoustic cavitation and its relevance. *Int Endod J*, 42 : 391-398, 2009.
- De Gregorio C, Estevez R, Cisneros R, et al: Effect of EDTA, Sonic, and Ultrasonic Activation on the Penetration of Sodium Hypochlorite into Simulated Lateral Canals: An In Vitro Study. *J Endod*, 35 : 891-895, 2009.
- Nielsen BA, Craig Baumgartner J: Comparison of the EndoVac system to needle irrigation of root canals. *J Endod*, 33 : 611-615, 2007.
- Meire MA, De Prieck K, Coenye T, et al: Effectiveness of different laser systems to kill *Enterococcus faecalis* in aqueous suspension and in an infected tooth model. *Int Endod J*, 42 : 351-359, 2009.
- De Moor RJ, Blanken J, Meire M, et al: Laser induced explosive vapor and cavitation resulting in effective irrigation of the root canal. Part 2: evaluation of the efficacy. *Lasers Surg Med*, 41 : 520-523, 2009.
- Groot SD, Verhaagen B, Versluis M, et al: Laser-activated irrigation within root canals: cleaning efficacy and flow visualization. *Int Endod J*, 42 : 1077-1083, 2009.
- Blanken J, De Moor RJG, Meire M, et al: Laser induced explosive vapor and cavitation resulting in effective irrigation of the root canal. Part 1: A visualization study. *Lasers in Surgery and Medicine*, 41 : 514-519, 2009.
- Camargo CHR, Siviero M, Camargo SEA, et al: Topographical, Diametral, and Quantitative Analysis of Dentin Tubules in the Root Canals of Human and Bovine Teeth. *J Endod*, 33 : 422-426, 2007.
- Schmalz G, Hiller KA, Nunez LJ, et al: Permeability characteristics of bovine and human dentin under different pretreatment conditions. *J Endod*, 27 : 23-30, 2001.
- Carrigan P, Morse D, Furst M: A Scanning Electron Microscopic Evaluation of Human Dentinal Tubules According to Age and Location. *J Endod*, 10 : 359-363, 1984.
- Tagami J, Tao L, Pashley DH, et al: The permeability of dentine from bovine incisors in vitro. *Arch Oral Biol*, 34 : 773-777, 1989.
- Schilke R, Lisson JA, Bauss O, et al: Comparison of the number and diameter of dentinal tubules in human and bovine dentine by scanning electron microscopic investigation. *Arch Oral Biol*, 45 : 355-361, 2000.
- De Bruyne MA, De Bruyne RJ, De Moor RJ: Capillary flow porometry to assess the seal provided by root-end filling materials in a standardized and reproducible way. *J Endod*, 32 : 206-209, 2006.
- De Oliveira DP, de Almeida Gomes BPF, Augusto Zaia A, et al: In Vitro Assessment of a Gel Base Containing 2% Chlorhexidine as a Sodium Perborate's Vehicle for Intracoronary Bleaching of Discolored Teeth. *J Endod*, 32 : 672-674, 2006.
- Oliveira DP, Gomes BP, Zaia AA, et al: In vitro assessment of a gel base containing 2% chlorhexidine as a sodium perborate's vehicle for intracoronary bleaching of discolored teeth. *J Endod*, 32 : 672-674, 2006.
- De Bruyne MAA, De Bruyn RJE, De Moor RJG: Capillary flow porometry to assess the seal provided by root-end filling materials in a standardized and reproducible way. *J Endod*, 32 : 206-209, 2006.
- Oliveira DP, Gomes BP, Zaia AA, et al: In vitro assessment of a gel base containing 2% chlorhexidine as a sodium perborate's vehicle for intracoronary bleaching of discolored teeth. *J Endod*, 32 : 672-674, 2006.
- Schmalz G1, Hiller KA, Nunez LJ, et al: Permeability characteristics of bovine and human dentin under different pretreatment conditions. *J Endod*, 27 : 23-30, 2001.
- Carrigan PJ, Morse DR, Furst ML, et al: A scanning electron microscopic evaluation of human dentinal tubules according to age and location. *J Endod*, 10 : 359-363, 1984.
- Goldman M, Goldman LB, Cavaleri R, et al: The efficacy of several endodontic irrigating solutions: a scanning electron microscopic study: part 2. *J Endod*, 8 : 487-492, 1982.
- Craig Baumgartner J, Mader CL: A scanning electron microscopic evaluation of four root canal irrigation regimens. *J Endod*, 13 : 147-157, 1987.
- Abbott PV, Heijkoop PS, Cardaci SC, et al: An SEM study of the effects of different irrigation sequences and ultrasonics. *Int Endod J*, 24 : 308-316, 1991.
- Qian W, Shen Y, Haapasalo M: Quantitative analysis of the

- effect of irrigant solution sequences on dentin erosion. *J Endod*, 37 : 1437-1441, 2011.
- 34) Berutti E, Marini R, Angeretti A: Penetration ability of different irrigants into dentinal tubules. *J Endod*, 23 : 725-727, 1997.
- 35) Pashley DH, Michelich V, Kehl T: Dentin permeability: effects of smear layer removal. *J Prosth Dent*, 46 : 531-537, 1981.
- 36) Ørstavik D, Haapasalo M: Disinfection by endodontic irrigants, and dressings of experimentally infected dentinal tubules. *Endod Dent Traumatol*, 6 : 142-149, 1990.
- 37) Gutiérrez JH, Herrera VR, Berg EH, et al: The risk of intentional dissolution of the smear layer after mechanical preparation of root canals. *Oral Surg Oral Med Oral Path*, 70 : 96-108, 1990.
- 38) Lloyd A, Thompson J, Gutmann JL, et al: Sealability of the Trifecta technique in the presence or absence of a smear layer. *Int Endod J*, 28 : 35-40, 1995.
- 39) Zhu X, Yin X, Chang JW, et al: Comparison of the antibacterial effect and smear layer removal using photon-initiated photoacoustic streaming aided irrigation versus a conventional irrigation in single-rooted canals: an in vitro study. *Photomed Laser Surg*, 31 : 371-377, 2013.
- 40) Arslan H, Capar ID, Saygili G, et al: Effect of photon-initiated photoacoustic streaming on removal of apically placed dentinal debris. *Int Endod J*, 47 : 1072-1077, 2014.
- 41) Al Shahrani M, DiVito E, Hughes CV, et al: Enhanced removal of *Enterococcus faecalis* biofilms in the root canal using sodium hypochlorite plus photon-induced photoacoustic streaming: an in vitro study. *Photomed Laser Surg*, 32 : 260-266, 2014.
- 42) Olivi G, DiVito E, Peters O, et al: Disinfection efficacy of photon-induced photoacoustic streaming on root canals infected with *Enterococcus faecalis*: an ex vivo study. *J Am Dent Assoc*, 145 : 843-848, 2014.
- 43) 吉嶺嘉人, 松本妃可, 佐藤浩美, 他 : Er:YAG レーザーを用いた根管洗浄効果に関する研究 第1報 高速度カメラによるレーザー誘発気泡の観察. *日レ歯誌*, 21 : 78-82, 2010.
- 44) Tay FR, Gu LS, Schoeffel GJ, et al: Effect of vapor lock on root canal debridement by using a side-vented needle for positive-pressure irrigant delivery. *J Endod*, 36 : 745-750, 2010.
- 45) Vera J, Arias A, Romero M: Dynamic movement of intracanal gas bubbles during cleaning and shaping procedures: the effect of maintaining apical patency on their presence in the middle and cervical thirds of human root canals-an in vivo study. *J Endod*, 38 : 200-203, 2012.