

平成 30 年 6 月 21 日現在

機関番号：12602

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K20398

研究課題名(和文) LAIのキャビテーション作用機序の解明と新規LAIチップの臨床応用の確立

研究課題名(英文) Elucidation of the mechanism of cavitation by LAI and clinical application of new tip for LAI

研究代表者

佐竹 和久 (SATAKE, Kazuhisa)

東京医科歯科大学・歯学部・非常勤講師

研究者番号：90707259

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目的は、歯内療法における新たな根管洗浄法として考案された、レーザー照射装置を応用したLAI(Laser-Activated Irrigation)のキャビテーション作用機序を解明し、新規LAIチップの臨床応用の確立することであった。各種根管洗浄法における根尖孔外に生じる圧力について検証を行い、LAIは従来のシリンジを用いた従来の根管洗浄と比較して相対的に安全性が高く、Er:YAGレーザーを用いた根管洗浄法は将来的に有望であることが判明した。また、根管側枝の洗浄効果について、Er:YAGレーザーを用いた根管洗浄における側枝の洗浄効果が、従来の方法に比べ効果的であることが示された。

研究成果の概要(英文)：The aim of this research is to elucidate the kinetics of cavitation agitated by LAI(Laser-Activated Irrigation) and establish the clinical application of the new tips of LAI. We investigated the root canal irrigation pressure generated outside the apical foramen. It showed that LAI is relatively safer than a conventional irrigation using only syringe and the irrigation activated by Er:YAG laser will be recommended in the future. Furthermore, we found that the irrigation activated by Er:YAG laser is more effective than a conventional irrigation in the efficacy of irrigation through lateral canals.

研究分野：歯内療法学

キーワード：Er:YAGレーザー 半導体レーザー キャビテーション 根管洗浄 根管側枝 蒸気泡 高速度カメラ 圧力測定

1. 研究開始当初の背景

近年、難治性根尖性歯周炎の原因菌が *E. faecalis* であり、これを殺菌するためには、根管洗浄によって NaOCl を長時間根管内に浸透させる必要があるということが判明し、根管治療における根管洗浄の重要性が認識されるようになった。しかし、シリンジを用いた従来の根管洗浄法では根尖まで NaOCl が浸透せず、根尖まで十分に NaOCl が浸透しないと根尖側枝などに潜む感染源を除去できず、根尖性歯周炎を引き起こしてしまう。また、日本の歯科医療の現場では、十分な効果を得るための根管洗浄に時間を割けないという問題がある。

一方、Er:YAG レーザーを用いた LAI は超音波を用いた根管洗浄や従来のシリンジを用いた根管洗浄よりも根管内の根尖部削片の除去効率が有意に高かったという報告があり、根管照射用円錐型チップを用いた LAI の有効性も報告されている。そこで、レーザー照射装置の先端に装着するチップを、根管洗浄のために効率的かつ安全な形態に改良し、そのチップを用いた場合において適切な照射エネルギーと照射回数を設定することで、従来の根管洗浄と比較して根尖側枝をはじめとした複雑な根管系での根管洗浄の有効性向上と、根尖からの NaOCl 溢出を防ぐことができるといった安全性向上が期待でき、また殺菌のために長時間根管洗浄を行う必要がなく、根管洗浄のために費やす時間の圧倒的な短縮化が見込まれると考えるに至った。

2. 研究の目的

本研究の目的は、歯内療法における新たな根管洗浄法として考案された、レーザー照射装置を応用した LAI (Laser-Activated Irrigation) のキャピテーション作用機序を解明し、新規 LAI チップの臨床応用の確立することである。

3. 研究の方法

(1) 根尖孔外の圧力の測定について、従来のシリンジを用いた根管洗浄 (27G プラント針の先端を作業長より 2mm 短い位置まで挿入し、1mL の滅菌蒸留水を射出) 超音波 (Piezon Master 400, EMS, Switzerland; 最大出力) を用いた根管洗浄 (超音波チップ (#20 U-file, 松風) の先端を作業長より 2mm 短い位置まで挿入し振動)、Er:YAG レーザー (Erwin AdvErL, Morita; 30mJ, 10pps) を用いた根管洗浄 (レーザー用チップ (R200T, Morita; $\phi=200\mu\text{m}$))、半導体レーザー (Alta MLS, Dental Photonics, USA; 120 mJ, 16 pps) を用いた根管洗浄 (レーザー用チップ (DS1-200, Dental Photonics, $\phi=200\mu\text{m}$) の 4 群に対し実験を行い、比較した。

(2) 高速水流の流量分布の解明について、波長 810nm 半導体レーザー、波長 980nm 半導体レーザーを用い、異なる条件下の 4 群に対し

実験を行い、比較した。

(3) 根管側枝の洗浄効果について、LAI が根管側枝に高い清掃効果を及ぼす可能性に着目し、その作用を水酸化カルシウム材除去効果を指標として評価した。模型底部から 6 mm, 12 mm の位置に 2 つの側枝を有する J タイプ規格根管模型を模擬根管として用いた。この側枝部に水酸化カルシウム材 (カルシペック II, 日本歯科薬品) を 1.0% メチレンブルーで染色したものを満たし、LAI 群 (Er:YAG レーザー装置 (Erwin AdvErL, モリタ製作所) および付属チップ (R200T, 同) を使用し、模擬根管内に満たした蒸留水に対して 30 mJ、10 pps の出力条件で作用させた) PUI 群 (超音波装置 (Piezon Master 400, EMS, 最小設定値) を用い、超音波チップ (#15 U-file, 松風) を使用し、模擬根管内に満たした蒸留水に作用させた) CI 群 (27G 洗浄針およびシリンジを用いて、1mL の蒸留水で 20 秒間洗浄を行った) の洗浄をそれぞれ行った。各群とも根管模型の底部から 6 mm, 12 mm 手前にチップまたは洗浄針の先端を設置し、各 20 秒 \times 3 回、計 60 秒間作用させたのち、20 秒ごとに 27G 洗浄針およびシリンジを用いて蒸留水で洗浄した。実験結果は手術用顕微鏡 (OPMI Pico with MORA interface, Carl Zeiss) および医用動画記録システム (DATA Gen PRO for DENTAL, セブンスディメンジョンデザイン) にて記録し、画像解析ソフトウェア (Photoshop CS5, Adobe) を用いて、側枝における実験前後の水酸化カルシウム材の面積を計測し、側枝における水酸化カルシウム材除去率を評価した。

(4) LAI で生じる根管内での蒸気泡の数およびその速度がレーザーの照射用チップの形態が及ぼす影響を解析した。プラスチックピペットチップを模擬根管とし、蒸留水を満たした状態で Er:YAG レーザーを用い、R200T チップ (円錐状、 $200\mu\text{m}$)、R600T (円錐状、 $600\mu\text{m}$)、C600F (平坦、 $600\mu\text{m}$) を用いて、模擬根管内の蒸気泡の発生挙動をハイスピードカメラ (VW-9000、キーエンス) で照射から特定の条件下での蒸気泡の数、面積、速度を解析した。

(5) LAI で生じる根尖孔外の圧力および根管内での蒸気泡の挙動に着目し、レーザーのパルス数および照射用チップの形態が及ぼす影響を解析した。根管長 20 mm, 40 号 0.06 テーパーに調整したプラスチックピペットチップ (10 μ ロングチップ, 深江化成) を模擬根管とし、蒸留水を満たした状態で実験に供した。Er:YAG レーザー装置 (Erwin AdvErL, モリタ製作所) および付属チップを使用し、チップ先端を根管模型底部から 15 mm の位置に固定して以下の条件でレーザー照射した。

R200T チップ (円錐状、 $200\mu\text{m}$) を用いて、70 mJ および 1、10、25 pps の出力条件にて、各 20 秒間作用させた。

R200T、R600T (円錐状、 $600\mu\text{m}$)、C600F (平坦、 $600\mu\text{m}$) あるいは Brush チップ

ブ(ブラシ状)を用いて、70 mJ、25pps の条件で各 20 秒間作用させた。
根尖孔外に生じた圧力は、圧力計測装置 (AP-12S, キーエンス) をビニールチューブで模擬根管の根尖に接続し、各群 10 回ずつ計測した。また、模擬根管内の蒸気泡の発生挙動をハイスピードカメラ (VW-9000, キーエンス) で観察した。

4. 研究成果

(1) 超音波を用いた根管洗浄、Er:YAG レーザーを用いた根管洗浄、半導体レーザーを用いた根管洗浄における根尖孔外に生じる圧力は、従来のシリンジを用いた根管洗浄に比べ有意に低かったことが示された。LAI による根尖孔外への根管洗浄液の溢出の可能性はあるものの、LAI は従来のシリンジを用いた根管洗浄と比較して相対的に安全性が高く、Er:YAG レーザーおよび半導体レーザーを応用した根管洗浄は将来的に有望であると考えられる。

(2) 特定の条件下で波長 980nm 半導体レーザーを用いた照射において、波長 810nm 半導体レーザー照射よりも大きな蒸気泡が数多く観察された。

(3) チップまたは洗浄針の先端を根管模型の底部から 6 mm の位置として洗浄した場合、水酸化カルシウム材除去率は LAI 群、PUI 群が CI 群に比べ有意に高かった。一方、チップまたは洗浄針の先端を 12mm の位置に設置して洗浄した場合は、LAI 群の水酸化カルシウム材除去率は PUI 群、CI 群に比べ有意に高値であった。

(4) 特定の条件下での蒸気泡の数および速度に関してチップ間に有意差を認めなかった。また、C600F チップでは R200T および R600T チップよりも有意に面積の小さな蒸気泡を生じていた。

(5) 根尖孔外の圧力はパルス数の増加に伴い上昇し、各群間で有意差を認めた ($p < 0.05$)。また Brush チップおよび R200T は R600T と比較して根尖孔外の圧力は有意に小さかった ($p < 0.05$)。R600T と C600F で圧力に統計学的な有意差を認めなかった。ハイスピードカメラ観察では、パルス数の増加に伴い蒸気泡の数が増加した。また、R200T および Brush チップでは R600T および C600F よりも小さい蒸気泡が発生する傾向を認めた。Brush チップにおける蒸気泡はチップ先端周囲に局限していた。

(考察)

LAI は超音波洗浄同様に根管に生じる蒸気泡はその発生と消失の過程においてキャビテーション、高速の水流、衝撃波を発生させると考えられ、またその高速水流は根管壁に対する剪断応力を生じ、その剪断応力は速度に比例すると報告されている (Ahmad et al., J Endod 1987;13: 490-499)。我々の研究結果においては、蒸気泡の速度に関してチップ間に有意差を認めず、また蒸気泡の大きさは

C600F チップが最も小さかった。チップの形状は平坦なほどエネルギーの減衰が小さいと考えられ、Young-Laplace の式においては蒸気泡径が小さいほど蒸気泡内部応力が高いとされているが、照射条件によって根尖孔外へ洗浄液が溢出する可能性があり、臨床応用に際しては適切な照射条件の設定等について慎重な研究・検討を要する。

また LAI による洗浄液の根尖孔外への溢出については、シリンジ洗浄より根尖孔外に洗浄液が飛散していたという報告 (George R et al. J Endod 2008; 34: 706-708.) が見られる一方、造影剤溶液中で LAI を行った 300 症例で根尖孔外への溢出を認めなかったとの報告 (Peeters H Clin Oral Invest 2013; 17: 2105-2112.) もあり、見解の相違がみられる。我々の実験において、先端形状が同一の場合、径が大きなチップで根尖孔外の圧力が大きかったが、同一径のチップでは先端形状 (円錐型もしくは平坦) の圧力への影響はみられなかった。一方、小径のチップが束となった Brush チップでは根尖孔外の圧力が小さく蒸気泡の挙動が異なっていた。以上より、チップの形態により同一出力においても LAI の根尖孔外への溢出の可能性が異なると考えられる。また、パルス数が大きい場合など、照射条件によって根尖孔外へ洗浄液が溢出する可能性があり、これに関しても臨床応用に際しては更なる検討が必要である。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 2 件)

Yao Kanako、Satake Kazuhisa、Watanabe Satoshi、Ebihara Arata、Kobayashi Chihiro、Okiji Takashi, Effect of Laser Energy and Tip Insertion Depth on the Pressure Generated Outside the Apical Foramen During Er:YAG Laser-Activated Root Canal Irrigation, Photomedicine and Laser Surgery, 査読有, 35 巻 682 ~ 687. 2017.

渡辺 聡、高野 晃、本郷 智之、佐竹 和久、他 3 名, Er:YAG レーザーを用いた根管洗浄時に生じる根尖孔外への洗浄液の溢出量, 日本レーザー歯学会誌, 査読有, 28 巻 31 ~ 35. 2017.

[学会発表](計 13 件)

星原康宏、渡辺聡、高野晃、本郷智之、八尾香奈子、井手彩集、佐竹和久、他 1 名, Er:YAG レーザーを利用した根管洗浄:離れた位置における清掃効果, 第 147 回日本歯科保存学会学術大会, 2017.10.26, 盛岡地域交流センター

高野晃、渡辺聡、本郷智之、八尾香奈子、佐竹和久、他 1 名, Er:YAG レーザーを用いた根管洗浄時に生じる蒸気泡の挙動-チップ形

態による影響-, 第 38 回日本歯内療法学会学術大会, 2017.7.22, 東京歯科大学水道橋校舎新館

本郷智之, 八尾香奈子, 佐竹和久, 井手彩集, 渡辺聡, 興地隆史, レーザーを用いた根管洗浄時における蒸気泡の挙動, 第 23 回日本歯科医学会総会, 2016.10.22, 福岡国際会議場/福岡サンパレス

中島亜里沙, 八尾香奈子, 井手彩集, 本郷智之, 佐竹和久, 他 2 名, 新規超音波装置を用いた根管洗浄による水酸化カルシウム材除去効果, 第 37 回日本歯内療法学会学術大会, 2016.7.23, ウィンクあいち

池田翔太, 金應烈, 井手彩集, 佐竹和久, 他 2 名, コーンビームCTを用いた大臼歯の根管形態評価, 第 37 回日本歯内療法学会学術大会, 2016.7.23, ウィンクあいち

Hongo T, Watanabe S, Ide A, Satake K, Yao K, Ebihara A, Kobayashi C, Okiji T, Kinetics of Vaporized Cavitation Bubbles during Root Canal Irrigation Activated by Diode Laser, 94th General Session and Exhibition of the IADR, 2016.6.25, Seoul.

Hongo T, Watanabe S, Ide A, Satake K, Yao K, Ebihara A, Okiji T. Kinetics of Cavitation Bubbles during Diode Laser-activated Root Canal Irrigation, The 15th Congress of the World Federation for Laser Dentistry, 2016.7.17, Nagoya.

Watanabe S, Ide A, Yao K, Satake K, Hongo T, Ebihara S, Kobayashi C, Okiji T, Pressure Generated Outside the Apical Foramen During Root Canal Irrigation Activated by Lasers, Ultrasonic and Sonic Systems, The 15th Congress of the World Federation for Laser Dentistry, 2016.7.17, Nagoya.

渡辺聡, 本郷智之, 井手彩集, 佐竹和久, 他 3 名, 次亜塩素酸ナトリウムを半導体レーザーにて活性化させた根管洗浄における管側枝への軟組織溶解作用, 第 144 回日本歯科保存学会学術大会, 2016.6.9, 栃木県総合文化センター

八尾香奈子, 本郷智之, 佐竹和久, 他 4 名, Er:YAG レーザーを利用した根管洗浄の根管側枝洗浄効果, 第 143 回日本歯科保存学会学術大会, 2015.11.13, 文京シビックホール

本郷智之, 渡辺聡, 八尾香奈子, 佐竹和久, 他 3 名, 半導体レーザーを用いた根管洗浄時における蒸気泡の挙動, 第 143 回日本歯科保存学会学術大会, 2015.11.13, 文京シビックホール

Watanabe S, Yao K, Satake K, Hongo T, Ebihara A, Kobayashi C, Okiji T, Pressure generated outside the apex during root canal irrigation activated by diode laser and Er:YAG laser, The 17th JSCD/KACD Joint-Scientific Meeting, 2015.11.12, Tokyo.

渡辺聡, 佐竹和久, 他 4 名, Er:YAG レーザ

ーを外科的歯内療法に応用した症例, 第 27 回日本レーザー歯学会, 2015.6.7, 北海道自治労会館

6. 研究組織

(1) 研究代表者

佐竹 和久 (SATAKE, Kazuhisa)

東京医科歯科大学・歯学部・非常勤講師

研究者番号: 90707259