

令和 2 年 6 月 24 日現在

機関番号：12602

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K17121

研究課題名(和文)新規Photodynamic-LAIの開発と挙動の解明

研究課題名(英文)Development of new Photodynamic-LAI and Elucidation of the kinetics of Photodynamic-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) 2,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目的は、コンピューター制御によるチップ先端の加工および調整を行った半導体レーザーの照射によるPDT(Photodynamic therapy)を用いることで、根管の拡大を従来よりも最小限に留めつつ、根管の無菌化を可能にするため、生体にとって安全なPhoto dynamic-LAI根管洗浄法を開発し、臨床応用を確立することであった。

PDT応用時の蒸気泡の挙動についてハイスピードカメラを用いた観察、軟組織の融解について検証を行い、Photo dynamic-LAI根管洗浄法が、従来の根管洗浄法と比較して有意に効果的であり、また安全性における検証においても相対的に安全性が高いことが示された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

近年、根管洗浄にレーザーを応用することで、より効果的かつ安全に、根管の洗浄を行う手法について研究されている。根管洗浄には主にEr:YAGレーザーが有効であるとされてきたが、レーザーの波長を変更できる新たな半導体レーザーが開発され、根管洗浄への応用が期待されている。

我々は、この新規半導体レーザーを根管洗浄に用いた場合に、どのような特徴を示すのかについて多角的に検証した。これらの検証により、新規半導体レーザーにおいても、従来の根管洗浄法と比較して、より効果的かつ安全に根管洗浄を行うことができると判明した。

この技術により治療時間の短縮化や、より確実な根管の無菌化を実現することができると期待される。

研究成果の概要(英文)：The aim of this research is to elucidate the kinetics of cavitation agitated by PDT(Photodynamic therapy) with diode laser and establish the clinical application of the Photo dynamic-LAI.

We observed the evaporation and bubbles during Photo dynamic-LAI with high-speed camera, investigated soft tissue dissolution in root canal and root canal irrigation pressure generated outside the apical foramen during Photo dynamic-LAI and conventional irrigation. It showed that Photo dynamic-LAI is more effective and safer than conventional syringe irrigation.

研究分野：歯内療法学

キーワード：半導体レーザー Er:YAG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

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

歯内療法における根管洗浄の目的は、根管内の無菌化である。しかし、微小で複雑な歯髓腔の無菌化を成功させるのは容易ではなく、特に難治性となった根尖性歯周炎の原因菌として知られる *E.faecalis* の殺菌には、NaOCl を長期間根管内に浸透させる必要があるということが判明している。一般的な臨床での根管洗浄にはシリンジを用いた NaOCl の送達が行われるが、この従来の根管洗浄法では、根管を大きく切削拡大しなければ根尖まで NaOCl を浸透させることができないため、根管拡大の際に歯質の切削を余儀なくされる。しかし、過剰な根管拡大は、抜歯の原因となる垂直性歯根破折を生じる原因と考えられ、補綴完了後の予後不良をきたす可能性がある。従って、根管拡大を最小限に抑えつつ、より効率的に NaOCl を根尖まで作用させることができ、根管の無菌化を達成できれば、根管治療後の予後成績の向上に資するものと考えられる。近年 Er:YAG レーザーを用いた LAI (Laser Activated Irrigation) は、従来のシリンジを用いた根管洗浄や超音波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の報告がある。Er:YAG レーザーは、水に吸収しやすい 2940nm という波長を特徴としており、それが根管洗浄液の activation を引き起こしていると考えられている。

Er:YAG レーザーの他にも、同様に水に吸収しやすい波長を持つ、Er,Cr:YSGG レーザー (波長 2790nm) の応用も研究されており、いくつかの国では臨床での応用が試みられている。従来、半導体レーザーは水に吸収しにくい波長を持つため、当該領域への応用は困難とされていたが、近年コンピューター制御によってチップ先端の加工および調整可能な半導体レーザー (Alta Modular Laser System) が開発された。これにより、半導体レーザーでも水に吸収しやすい波長に調節することができるようになったため、当該領域への応用が期待される。

この半導体レーザーを用いた根管洗浄が従来の根管洗浄と比較して、根尖部、根管側枝をはじめとした複雑な根管系の無菌化において、より効率的かつ安全であれば、長寿化する国民の健康に資するものと見込まれ、また根管拡大を最小限に抑えつつ、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短縮化が可能であると証明できれば、根管治療の大幅な効率化が見込まれる。

2. 研究の目的

本研究の目的は、コンピューター制御によってチップ先端の加工および調整が可能となった半導体レーザーの照射による PDT (Photodynamic therapy) を用いることで、根管内の清掃困難な部位の残存細菌や不良肉芽の処理を行い、根管の拡大を従来よりも最小限に留めつつ、レーザーを用いた根管洗浄によって根管の無菌化を可能にするための、生体により安全な Photo dynamic-LAI 根管洗浄を開発し、臨床応用を確立することである。

3. 研究の方法

(1) 新規半導体レーザーを用いた LAI で生じる根管内の蒸気泡の挙動：根管洗浄時に生じる蒸気泡の発生と動態についてハイスピードカメラ (VW-9000, キーエンス) を用いて観察を行った。根管側枝のある根管模型 21 個を使用した (Thermafил Training Bloc #1, 根尖孔 0.30mm, 0.04 テーパー, Dentsply Sirona, スイス)。根管模型の根尖孔から 6mm、12mm の位置に根管側枝が存在する。実験装置の保護のため、根管洗浄液を想定して NaOCl ではなく滅菌水を使用した。なお、水中での光の送達性は NaOCl の場合とほぼ変わらない。新規半導体レーザー (Alta MLS, Dental Photonics, USA; 2W, 45mJ, 44pps) を用い、レーザー照射用チップに加工をしていない群 (Clear 群)、レーザー照射用チップに加工を施した群 (TOP 群)、レーザー照射を行わなかった群 (対照群) の 3 群に分け、実験を行った。滅菌精製水を根管内に満たし、レーザーチップを根尖孔から 9mm の位置に挿入し、10 秒間を 1 回として、7 回の照射を行った。生じた蒸気泡をハイスピードカメラを用いて記録した。フレームレートは 1,000fps、曝露時間は 1/3,000 秒である。カメラをサンプルから 28mm の位置に水平固定し、75 倍の拡大倍率で観察した。最初の照射の瞬間を 0 秒として、0.1 秒ごと 5 秒間にかけての画像を取り込み、分析用ソフト (VW-9000 Motion Analyzer 1.4.0.0, キーエンス) で画像分析した。

(2) 新規半導体レーザーを用いた LAI による軟組織の溶解効果の検証：新規半導体レーザー (Alta MLS, Dental Photonics, USA) と加工を施した照射用チップを用いた場合のキャビテーションと水流による効果が、超音波を用いた根管洗浄やシリンジを用いた根管洗浄と比較して、軟組織の溶解を増強するかについて検証を行った。28 個のプラスチック製根管模型を用い、それらを以下の 4 群に分けた。TOP 群：半導体レーザーを 2 W, 120mJ, 16pps に設定し、DS1-200 チップを加工して用いた。根管に NaOCl を満たし、照射用チップを根尖孔から 9mm の位置に挿入して、1 回 20 秒間を 3 回 (計 60 秒間) にわたり照射した。PUI 群：超音波装置 (ENAC SE10 超音波システム, オサダ, 30kHz) と超音波チップ (SC4, オサダ) を用いた。根管に NaOCl を満たし、超音波チップを根尖孔から 9mm の位置に挿入し、超音波装置製造企業による推奨設定範囲内での最大出力 (setting: 3, 5.6W) で 1 回 20 秒間を 3 回 (計 60 秒間) にわたり作用させた。SI 群：シリンジ (ニプロシリンジ, ニプロ) および 27G (外径 0.40mm) の洗浄針 (ニプロプラント針, ニプロ) を用いて、根管洗浄を行った。洗浄針を根尖孔から 9mm の位置に挿入し、1 回 20 秒間で 1mL を注入し、それを 3 回 (計 60 秒間) 繰り返した。対照群：根管に NaOCl に満たし、60 秒間静的に作用させた。

洗浄終了後、根管を 1mL の滅菌精製水で洗浄し、ペーパーポイントを用いて乾燥させた。全て

の工程は歯科用実体顕微鏡（OPMI Pico with MORA interface, Carl Zeiss, ドイツ）を用いてデジタルビデオレコーダー（DATA Gen PRO for Dental, Seventh Dimension Design）で記録した（拡大倍率 21.3 倍）。取り込んだ画像から、溶解した軟組織の面積を洗浄の前後でソフトウェア（Photoshop CS5, Adobe, アメリカ）で比較分析した。

(3) 加工した照射用チップと新規半導体レーザーを用いた LAI による根管洗浄液の温度変化:加工した照射用チップを用いた新規半導体レーザーの照射による根管洗浄液の温度変化を検証し、洗浄効率についての調査を行った。根管側枝のある根管模型（Thermafil Training Bloc #1, 根尖孔 0.30mm, 0.04 テーパー, Dentsply Sirona, スイス）を使用した。根尖孔から 2mm, 6mm, 12mm の位置にそれぞれ K-type の熱電対(外径 0.15mm, 岡崎製作所)を設置し、根管に蒸留水を満たして、37℃ に保ったサーモスタットの箱の中で実験を行った。照射用チップは根尖孔から 10mm の位置に挿入し、20 秒間で 7 回照射を繰り返した。温度変化は記録装置（NR-1000, キーエンス）および記録計ソフトウェア(Wave Thermo 1000, キーエンス)を用いてリアルタイムに記録された。

(4) 加工した照射用チップと新規半導体レーザーを用いた LAI での根管洗浄時の根尖孔外圧力測定:根管を模したプラスチックピペットチップ（204 番, 10 µl ショートタイプ, 深江化成）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根尖孔より 2mm, 5mm, 10mm 離れた位置まで挿入し、1mL の滅菌蒸留水を注入）（SI2, SI5, SI10 群）新規半導体レーザー（Alta MLS, Dental Photonics, アメリカ; 2W, 120 mJ, 16 pps）を用いた根管洗浄(加工したレーザー用チップ(DS1-200, Dental Photonics, 外径=200 µm)(TOP2, TOP5, TOP10 群)の 6 群に対し実験を行い、比較した。

4. 研究成果

(1)ハイスピードカメラによる観察において、加工した照射用チップを用いた新規半導体レーザーの根管洗浄液への照射では、加工していない照射用チップを用いた群および対照群と比較して、発生する蒸気泡の数が有意に多く観察され、また照射から最初の蒸気泡の発生までの時間が有意に早いことが判明した。これにより、加工したチップを用いた新規半導体レーザーの照射は、蒸気泡を発生させるための根管洗浄液の瞬間的な温度上昇効率が良く、それによる根管洗浄液の対流が活性化され、より効率的で有益な根管の清掃が期待できるものと考えられる。

(2)根尖孔から 12mm の位置にある根管側枝では、TOP 群および PUI 群が他の群よりも有意に軟組織の融解面積が大きかった。しかし、根尖孔から 6mm の位置にある根管側枝では TOP 群のみが他の群よりも有意に軟組織の融解面積が大きいという結果となった。このことから、新規半導体レーザーの照射では、レーザー照射チップを根管の深いところまで挿入しなくても、根管の洗浄効率が上昇すると考えられ、弯曲した根管などの根管深部までチップの挿入が難しい症例においても適用が期待できる。

(3)加工した照射用チップを用いた新規半導体レーザーによる照射での根管洗浄液の最大温度上昇は、根尖孔から 12mm で最も大きく、次いで 6mm で大きく、各群間で有意差が認められた。根尖孔から 12mm の位置（レーザー照射用チップ先端から 2mm）ではおよそ 50℃ の温度上昇が認められた。このことから NaOCl の温度上昇による殺菌力の向上が期待できるが、歯根表面の温度上昇によっては歯根周囲組織の熱による損傷も懸念されるため、新規半導体レーザー照射の際に発生する熱に関する、安全性についての更なる研究が必要であると考えられる。

(4)SI2 群, SI5 群では他の群に比べ有意に根尖孔外における圧力が大きく、TOP 群の中では、チップの挿入深度と根尖孔外における圧力に有意な差はないことが判明した。このことから、根管洗浄において加工した照射用チップを用いた新規半導体レーザーの照射は、根尖孔近くまで洗浄針を挿入した場合の従来のシリンジを用いた根管洗浄に比べ、根尖孔外への圧力が有意に低く、相対的に安全性が高いと考えられる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Tomoyuki Hongo, Satoshi Watanabe, Kanako Yao, Kazuhisa Satake and Takashi Okiji.	4. 巻 1
2. 論文標題 Evaluation of cleaning efficacy-related properties of root canal irrigant activation using a computer-controlled hot tipped with a diode laser.	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Asian Pacific Journal of Dentistry	6. 最初と最後の頁 9~15
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 本郷 智之、渡辺 聡、高野 晃、山内 慎也、星原 康宏、八尾 香奈子、佐竹 和久、興地 隆史	4. 巻 62
2. 論文標題 半導体レーザーと光熱変換チップを用いた根管洗浄剤活性化時の根尖孔外への圧力の評価	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 日本歯科保存学雑誌	6. 最初と最後の頁 304~310
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.11471/shikahozon.62.304	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Yao Kanako, Satake Kazuhisa, Watanabe Satoshi, Ebihara Arata, Kobayashi Chihiro, Okiji Takashi	4. 巻 35
2. 論文標題 Effect of Laser Energy and Tip Insertion Depth on the Pressure Generated Outside the Apical Foramen During Er:YAG Laser-Activated Root Canal Irrigation	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Photomedicine and Laser Surgery	6. 最初と最後の頁 682~687
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1089/pho.2017.4268	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計9件（うち招待講演 0件/うち国際学会 1件）

1. 発表者名 二階堂七実、渡辺聡、藪本園子、高野晃、本郷智之、八尾香奈子、佐竹和久、興地隆史
2. 発表標題 コーンビームCTを用いた下顎小白歯の根管形態評価
3. 学会等名 第151回日本歯科保存学会学術大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 数本園子, 渡辺聡, 高野晃, 本郷智之, 八尾香奈子, 佐竹和久, 興地隆史
2. 発表標題 コーンビームCTを用いた上顎小白歯の新分類に基づく根管形態評価.
3. 学会等名 第40回日本歯内療法学会学術大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Aung S, Watanabe S, Kouno A, Hongo T, Yao K, Satake K, Okiji T
2. 発表標題 Cleaning potential beyond the ledge using Er : YAG Laser-activated irrigation A particle image velocimetry analysis.
3. 学会等名 10th Mandalay Dental Conference
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高野晃, 渡辺聡, 本郷智之, 八尾香奈子, 井手彩集, 佐竹和久, 興地隆史.
2. 発表標題 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 -チップ直径および照射エネルギーによる影響-.
3. 学会等名 第148回日本歯科保存学会学術大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 高野晃, 渡辺聡, 本郷智之, 八尾香奈子, 佐竹和久, 興地隆史.
2. 発表標題 Er:YAGレーザーを用いた根管洗浄時に生じる根尖孔外の圧力および根管内蒸気泡の挙動 -チップ直径およびチップ形態による影響-.
3. 学会等名 第30回日本レーザー歯学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Aung S, Watanabe S, Kouno A, Hongo T, Yao K, Satake K, Okiji T.
2. 発表標題 Cleaning the apical area beyond the ledge using Er:YAG laser-activated irrigation: A particle image velocimetry analysis.
3. 学会等名 第149回日本歯科保存学会学術大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 高野晃, 渡辺聡, 本郷智之, 八尾香奈子, 佐竹和久, 興地隆史.
2. 発表標題 Er:YAGレーザーを用いた根管洗浄時に生じる根尖孔外の圧力および根管内蒸気泡の挙動 -照射エネルギーによる影響-.
3. 学会等名 第149回日本歯科保存学会学術大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 高野晃, 渡辺聡, 本郷智之, 八尾香奈子, 佐竹和久, 興地隆史.
2. 発表標題 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-. 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.
3. 学会等名 第38回日本歯内療法学会学術大会、第14回日韓合同歯内療法学会学術大会併催（国際学会）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 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, 興地隆史.
2. 発表標題 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.
3. 学会等名 第147回日本歯科保存学会学術大会
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----