

令和 5 年 6 月 21 日現在

機関番号：12602

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2022

課題番号：20K18498

研究課題名（和文）自動根管形成・応力解析装置によるNiTiファイルの形成動作と応力発生の規格化解析

研究課題名（英文）Effect of instrumentation of nickel-titanium rotary instrument on stress analyzing using automated root canal instrumentation and torque/force analyzing device

研究代表者

牧 圭一郎 (Maki, Keiichiro)

東京医科歯科大学・東京医科歯科大学病院・助教

研究者番号：80868274

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は自作型自動根管形成・応力解析装置を用いて、根管形成時のパラメーターが根管形成能および形成中に生じる応力に与える影響について解析をすることを目的としている。代表的な研究としては、根管形成時の根尖方向の荷重の影響を解析したもので、荷重が大きい場合、根管追従性が向上するが生じるトルクの値には影響を与えなかったことが示された。本研究は日本歯科保存学会2020年度秋季学術大会にてポスター発表を行い、優秀ポスター賞を受賞した。その後Maki, et.al. Materials, 2022, 2724として論文報告まで行っている。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究はニッケルチタン製ロータリーファイルの操作方法に焦点をあてた研究である。自作型自動根管形成・応力解析装置を用いて臨床の状況を再現しながら規格化した根管形成が可能であることが本研究の強みであり、本研究の結果は臨床に直接反映させることが可能であると考えられる。適切な操作方法のパラメーターを示すことで、器具破折や治療のエラーを減少させることができると考えられ、非常に有用な研究内容であると考えられる。

研究成果の概要（英文）：The aim of this study was to detect the effect of shaping properties of nickel-titanium rotary instruments on shaping ability and stress generation using automated root canal instrumentation and torque/force analyzing device. A representative study was focused on downward-load during instrumentation. In this study, high downward-load lead to better centering ability and limited torque value. We had presentation in Japanese conservative conference in 2020 and got award of best poster presentation. In 2022, this study have already published in Materials.

研究分野：歯内療法

キーワード：ニッケルチタンロータリーファイル 根管追従性 垂直荷重 トルク 自作型自動根管形成・応力解析装置 器具破折

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

根管治療における根管内の無菌化を図る過程の中で、機械的清掃は極めて重要な要素と位置付けられる。従来のステンレススチール製手用ファイルでは、彎曲根管で本来の根管形態からの逸脱が生じやすいことが問題視されているが¹⁾、近年では高い柔軟性とエンジン駆動を特徴とするニッケルチタン製ロータリーファイル (NiTi ファイル) が数多く開発されており、根管追従性や切削効率の向上が期待されている²⁾。実際、術者が NiTi ファイル未経験であっても、ステンレススチール製手用ファイルと比較して NiTi ファイルが、根管追従性の向上や形成時間の短縮、また形成中のエラーの発生頻度が低下することを申請者らは確認している³⁾。しかし、NiTi ファイルのさまざまな操作パラメーター (上下動速度、挿入圧など) に関する客観的指標は乏しく、これが根管の逸脱や根管内器具破折等の人為的エラーの一因であることは否定できない。すなわち、各種の操作パラメーターを客観的に解析し、臨床的に適切な指標を示すことには多大な意義が認められるものの、この方面の解析は今なお不十分である。

一方、NiTi ファイルの破折様式は回転疲労破折とねじり破折の2種類に分類される⁴⁾。回転疲労破折は、彎曲根管内で回転を続けた結果、伸展と圧縮が繰り返され破折に至る現象である。また、ねじり破折は回転中の過大なトルク発生で生じる。これらの現象を回避して安全性を向上させることは NiTi ファイルを用いた根管形成の喫緊の課題と捉えられており、そのための方策の一つとして、回転様式を往復回転運動として過大なトルク発生を防ぐ機構が開発されている⁵⁾。実際、この種の機構に対応した製品が過度の応力を発生させず良好な根管追従性を示す可能性を申請者らも確認している⁶⁾。ところが、非切削方向回転による切削効率低下を最低限としつつ、ねじり応力の発生防止が可能な往復回転様式 (回転角度、回転速度など) については、多大な検討の余地が残されている。

- 1) Ebihara A, Yahata Y, Miyara K, *et.al.* Int Endod J 2011;44:843-9.
- 2) Cheung GS, Liu CS. J Endod 2009;35:938-43.
- 3) 牧圭一郎, 海老原新, 中務太郎ほか 日歯内療誌 2019;第40巻,第3号:179-85.
- 4) Bergmans L, Van Cleynenbreugel J, Wevers M, *et.al.* Am J Dent 2001;14:324-33.
- 5) Ahn SY, Kim HC, Kim E. J Endod 2016;42:1009-17.
- 6) Maki K, Ebihara A, Kimura S, *et.al.* Dent Mater J, in press.

2. 研究の目的

根管形成中の人為的エラー (根管の逸脱や根管内器具破折等) の発生を最小限とすることは、歯内治療の良好な予後を得るために極めて重要である。根拠に基づく適切な形成操作の実施により、人為的エラーの発生を抑えることが可能と思われる。申請者はこのような観点から、NiTi ファイルの操作パラメーターが応力発生や根管追従性に及ぼす影響に着目して解析を重ねており、所属研究室にて開発された自作型自動根管形成・応力解析装置⁷⁾ (図1) を改良し、NiTi ファイルの上下動速度が根管追従性および垂直荷重、トルクに影響を与えることを見出し報告した⁸⁾。

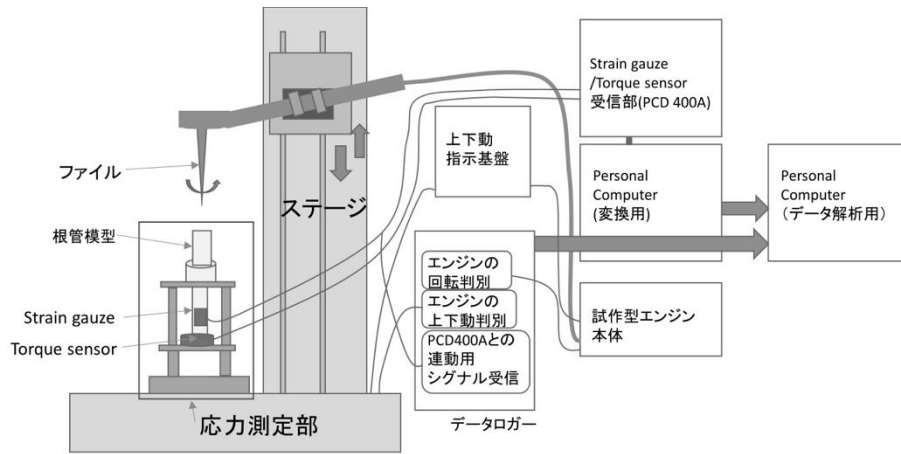


図1 自作型自動根管形成・応力解析装置の構成

自作型自動根管形成・応力解析装置では、形成中の垂直荷重およびトルクの値をリアルタイムで記録できる。また、ステージの上下動速度の調整により、ペッキングモーションなどの操作方法の再現が可能である。さらにトルク値と上下動操作を連動させることにより、負荷を感知した時に NiTi ファイルを引き上げる動作も再現可能である。装着するエンジン・ハンドピースを変更することにより様々な回転様式での形成が可能である。

本研究課題は、本装置にさらなる改良を加えつつ、根管形成における各種力学的因子の客観的評価を目指すものである。すなわち、従来解析が困難であった形成操作に係る各種パラメーターの客観的評価を行う点で、高い独自性や創造性を備えたものである。

解析すべき因子の組み合わせは極めて多彩であるが、本申請では、刃部形態、材質あるいは駆動様式の異なる代表的な器具を被験ファイルとして選択し、上下動速度、挿入圧などの操作パラメーターと各種回転様式(トルクリバース、トルク依存型往復回転、時間依存型往復回転)に焦点を絞り、これらが NiTi ファイルの根管追従性および、形成中の垂直荷重、トルクに及ぼす影響を解析することを具体的な目的とする。その結果、NiTi ファイルを用いた根管形成の安全性や効率に関わる多くの新知見の蓄積が期待される。

7) Tokita D, Ebihara A, Miyara K, *et.al.* J Endod 2017;43:1337-42.

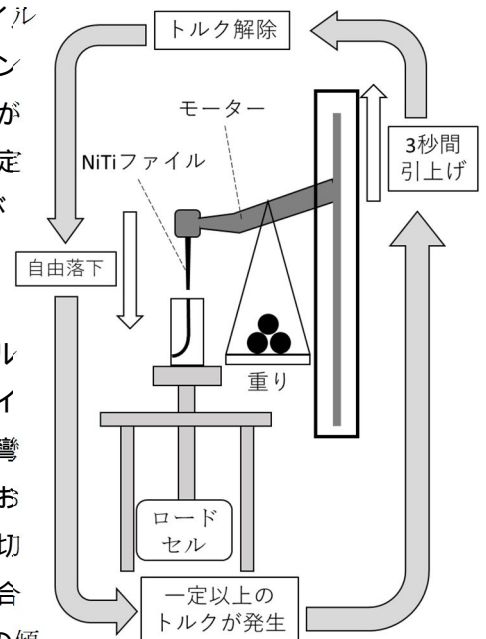
8) Maki K, Ebihara A, Kimura S, *et.al.* J Endod 2019;45:68-72.

3. 研究の方法

本研究課題は以下の2つのプロジェクトで構成される。各プロジェクトとも規格化された再現性の高い評価が可能であり、それらのデータを蓄積することで、NiTi ファイルの根管追従性および生じる応力との関係の詳細な評価が可能となると考える。

(1) NiTi ファイルの挿入圧がファイルの根管追従性と形成中の応力に及ぼす影響の解析

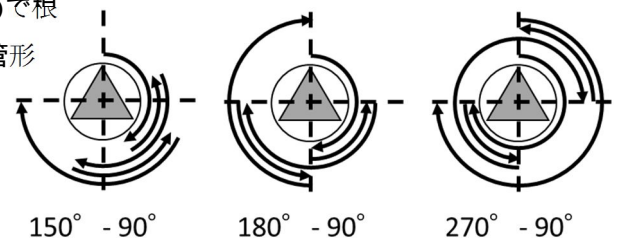
自作型自動根管形成・応力解析装置を改造し、装着したNiTi ファイルが自由落下できる状態で装置に重りを乗せることにより挿入圧をコントロールする。挿入圧は 100g、200g、300g とし、一定以上のトルクが模型にかかった時点で 3 秒間引上げ、トルクが解除された後、再度一定の挿入圧で形成を行う（右図）。彎曲した根管を有する抜去歯および彎曲根管模型に対して、Hyflex EDM (Colten)、ProTaper NEXT (Dentsply Sirona)、Bortex Blue (Dentsply Sirona)、WaveOne Gold (Dentsply Sirona)、Reciproc Blue (VDW) の 5 種類の NiTi ファイル（先端径は #25 で統一）で根管形成を行い、形成前後の根管形態をマイクロ CT で撮影し、根管追従性を Centering Ratio $\{(\text{外彎切削量} - \text{内彎切削量}) \div \text{形成後の根管の直径}\}$ で評価する。また形成中の垂直荷重およびトルクを計測し、それぞれ正負領域（根尖側方向/歯冠側方向、切削方向/非切削方向）の最大値を求める。ファイルの破折が生じた場合は、金属破断面を走査電子顕微鏡で観察する。挿入圧に応じた結果の傾向を評価することで、各々の NiTi ファイルの適切な操作方法を比較検討する。



(2) 異なる角度の往復回転運動が根管追従性および形成中の応力におよぼす影響の解析

異なる角度(右図)の往復回転運動(正回転が切削方向)で根管形成ができるようエンジンを改造し、これを自動根管形成・応力解析装置に装着して根管形成を行う。

挿入圧はプロジェクト 1 で得られた適正值を用い、トルク設定値は使用する NiTi ファイルの推奨値とする。正回転で使用する 3 種の NiTi ファイル (Hyflex EDM、ProTaper NEXT、Bortex Blue) で彎曲根管を有する抜去歯および彎曲根管模型を形成する。



対照として WaveOne Gold、Reciproc Blue を製造者推奨の往復回転運動で用いる。プロジェクト 1 と同様に、Centering Ratio、垂直荷重、トルクおよび破断面の評価を行う。NiTi ファイルの機械的性質や抜去歯根管の彎曲の程度によって、適した回転角度が異なることが想定されるため、これらに応じた適正な往復回転運動様式を提案する。

4 . 研究成果

(1)の研究に関しては一部使用する NiTi ファイルの種類を変更し、実験は完了している。具体的には過去の報告 (Maki, et.al. 2020.) にて使用した ProTaper NEXT に追加して、ProTaper Gold (Dentsply Sirona)、ProTaper Universal (Dentsply Sirona)を用いて実験を行い、現在学会発表準備中である。今後海外学会発表を行った後に国際ジャーナルに投稿予定である。NiTi ファイルの形成方法の指標化については過去に同様の報告はない。本研究では、NiTi ファイルの種類に応じた適切な形成方法の指標を示すことができる報告であり、初学者が根管形成を行うにあたっての指標として非常に有用であると考えられる。

(2)の研究に関しても一部実験条件の変更を行った。ProTaper Universal および ProTaper Gold を用いて異なる回転角度が根管形成に与える影響についての解析を行い、日本歯科保存学会 2022 年度春季学術大会(第 156 回) にてポスター発表を行った。その後、Materials 15 巻 6850 頁に Effect of Rotational Modes on Torque Force Generation and Canal Centering Ability during Rotary Root Canal Instrumentation with Differently Heat-Treated Nickel-Titanium

Instruments として論文発表を行った。NiTi ファイルの根管形成中の根管内器具破折は、治療を複雑化させるエラーの一つである。本研究では、往復回転で NiTi ファイルを使用することが有用であることを一部示しており、臨床応用することで根管内器具破折のリスクを低減させることができる非常に有用な報告であると考えられる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計10件（うち査読付論文 10件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Kyaw Moe S., Ebihara Arata, Maki Keiichiro, Kimura Shunsuke, Nakatsukasa Taro, Htun Pyae H., Thu Myint, Omori Satoshi, Okiji Takashi	4. 巻 55
2. 論文標題 Effect of kinematics on the torque/force generation, surface characteristics, and shaping ability of a nickel titanium rotary glide path instrument: An <i>ex vivo</i> study	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 International Endodontic Journal	6. 最初と最後の頁 531 ~ 543
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/iej.13718	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 -
1. 著者名 Nakatsukasa Taro, Ebihara Arata, Kyaw Moe Sandar, Omori Satoshi, Unno Hayate, Kimura Shunsuke, Maki Keiichiro, Okiji Takashi	4. 巻 12
2. 論文標題 Impact of Radial Lands on the Reduction of Torque/Force Generation of a Heat-Treated Nickel-Titanium Rotary Instrument	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Applied Sciences	6. 最初と最後の頁 2620 ~ 2620
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/app12052620	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 -
1. 著者名 NAKATSUKASA Taro, EBIHARA Arata, KIMURA Shunsuke, MAKI Keiichiro, NISHIJO Miki, TOKITA Daisuke, OKIJI Takashi	4. 巻 40
2. 論文標題 Comparative evaluation of mechanical properties and shaping performance of heat-treated nickel titanium rotary instruments used in the single-length technique	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Dental Materials Journal	6. 最初と最後の頁 743 ~ 749
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.4012/dmj.2020-255	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 -
1. 著者名 Thu Myint, Ebihara Arata, Maki Keiichiro, Nishijo Miki, Kimura Shunsuke, Nakatsukasa Taro, Kyaw Moe Sandar, Okiji Takashi	4. 巻 22
2. 論文標題 Effect of different axial speed patterns on cyclic fatigue resistance of rotary nickel-titanium instruments	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 BMC Oral Health	6. 最初と最後の頁 617
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1186/s12903-022-02639-8	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 -

1. 著者名 Unno Hayate, Ebihara Arata, Hirano Keiko, Kasuga Yuka, Omori Satoshi, Nakatsukasa Taro, Kimura Shunsuke, Maki Keiichiro, Okiji Takashi	4. 巻 15
2. 論文標題 Mechanical Properties and Root Canal Shaping Ability of a Nickel?Titanium Rotary System for Minimally Invasive Endodontic Treatment: A Comparative In Vitro Study	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Materials	6. 最初と最後の頁 7929
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/ma15227929	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 -

1. 著者名 Omori Satoshi, Ebihara Arata, Hirano Keiko, Kasuga Yuka, Unno Hayate, Nakatsukasa Taro, Kimura Shunsuke, Maki Keiichiro, Hanawa Takao, Okiji Takashi	4. 巻 15
2. 論文標題 Effect of Rotational Modes on Torque/Force Generation and Canal Centering Ability during Rotary Root Canal Instrumentation with Differently Heat-Treated Nickel?Titanium Instruments	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Materials	6. 最初と最後の頁 6850
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/ma15196850	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 -

1. 著者名 Maki Keiichiro, Ebihara Arata, Unno Hayate, Omori Satoshi, Nakatsukasa Taro, Kimura Shunsuke, Okiji Takashi	4. 巻 15
2. 論文標題 Effect of Different Downward Loads on Canal Centering Ability, Vertical Force, and Torque Generation during Nickel?Titanium Rotary Instrumentation	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Materials	6. 最初と最後の頁 2724
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/ma15082724	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 -

1. 著者名 Kyaw M. S., Ebihara A., Kasuga Y., Maki K., Kimura S., Htun P. H., Nakatsukasa T., Okiji T.	4. 巻 54
2. 論文標題 Influence of rotational speed on torque/force generation and shaping ability during root canal instrumentation of extracted teeth with continuous rotation and optimum torque reverse motion	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 International Endodontic Journal	6. 最初と最後の頁 1614 ~ 1622
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/iej.13485	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 -

1. 著者名 Htun Pyae Hein, Ebihara Arata, Maki Keiichiro, Kimura Shunsuke, Nishijo Miki, Kyaw Moe Sandar, Okiji Takashi	4. 巻 47
2. 論文標題 Comparison of Torque, Screw-in Force, and Shaping Ability of Glide Path Instruments in Continuous Rotation and Optimum Glide Path Motion	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Endodontics	6. 最初と最後の頁 94 ~ 99
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.joen.2020.09.013	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 -

1. 著者名 牧圭一郎, 海老原新, 大森智史, 雲野颯, 中務太郎, 木村俊介, 興地隆史	4. 巻 42
2. 論文標題 各種ニッケルチタン製ロータリーファイルの湾曲根管形成能 歯学部卒前学生による形成の評価	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 日本歯内療法学会雑誌	6. 最初と最後の頁 91-97
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12件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 大森智史, 牧圭一郎, 木村俊介, 中務太郎, 雲野颯, 春日柚香, 平野恵子, 海老原新, 興地隆史
2. 発表標題 ニッケルチタン製ロータリーファイルによる根管形成で生じる応力および根管形成能に及ぼす各種回転様式の影響
3. 学会等名 日本歯科保存学会2022年度春季学術大会(第156回)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 雲野颯, 海老原新, 平野恵子, 春日柚香, 大森智史, 牧圭一郎, 木村俊介, 興地隆史
2. 発表標題 ニッケルチタン製ロータリーファイルTruNatomyによる根管形成: 応力発生およびアピカルトランスポートの評価
3. 学会等名 日本歯科保存学会2022年度春季学術大会(第156回)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Moe Sandar Kyaw, 牧圭一郎, 木村俊介, Myint Thu, 海老原新, 興地隆史
2. 発表標題 Effect of Root Canal Curvature Location and Preset Torque Settings on Torque/Force Generation and Shaping Ability of Nickel Titanium Rotary Glide Path Instrument
3. 学会等名 日本歯科保存学会2022年度春季学術大会(第156回)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Myint Thu, 海老原新, Moe Sandar Kyaw, 大森智史, 牧圭一郎, 木村俊介, 雲野颯, 興地隆史
2. 発表標題 Influence of Different Kinematics on Stationary and Dynamic Torque/Screw-in Force Generation during Nickel-titanium Rotary Instrumentation
3. 学会等名 第43回日本歯内療法学会学術大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 平野恵子, 木村俊介, 牧圭一郎, 雲野颯, 大森智史, 春日柚香, 海老原新, 興地隆史
2. 発表標題 ニッケルチタン製ロータリーファイル XP-endo Shaperの上下動振幅が根管形成中の応力と根管形成能に与える影響
3. 学会等名 日本歯科保存学会2022年度秋季学術大会(第157回)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Moe Sandar Kyaw, Keiichiro Maki, Shunsuke Kimura, Myint Thu, Satoshi Omori, Arata Ebihara, Takashi Okiji
2. 発表標題 Effect of Root canal curvature location and preset torque settings on torque/force generation and shaping ability of nickel titanium rotary glide path instrument
3. 学会等名 日本歯科保存学会2022年度秋季学術大会(第157回)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 春日柚香, 木村俊介, 牧圭一郎, 中務太郎, 雲野颯, 大森智史, 海老原新, 興地隆史
2. 発表標題 熱処理加工されたニッケルチタンファイルの回転疲労耐性及び曲げ特性
3. 学会等名 日本歯科保存学会2021年度春季学術大会(第154回)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Moe Sandar Kyaw, 牧圭一郎, 木村俊介, Myint Thu, 大森智史, 海老原新, 興地隆史
2. 発表標題 Effect of Kinematics on the Surface Characteristics, Torque/Force Generation, and Shaping Ability of a Nickel Titanium Rotary Glide Path Instrument
3. 学会等名 日本歯科保存学会2021年度秋季学術大会(第155回)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Myint Thu, 海老原新, Moe Sandar Kyaw, 春日柚香, 牧圭一郎, 大森智史, 木村俊介, 西条美紀, 興地隆史
2. 発表標題 Dynamic Torque and Screw-in Force of Glide Path Instruments in Different Canal Configurations
3. 学会等名 日本歯科保存学会2021年度秋季学術大会(第155回)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 牧圭一郎, 海老原新, 春日柚香, 大森智史, 雲野颯, 中務太郎, 木村俊介, 興地隆史
2. 発表標題 ニッケルチタン製ロータリーファイル形成時の根尖方向荷重の違いが、根管追従性、根管形成中の応力、形成時間に与える影響
3. 学会等名 日本歯科保存学会2020年度秋季学術大会(第153回)
4. 発表年 2020年~2021年

1. 発表者名 大森智史、牧圭一郎、木村俊介、中務太郎、雲野颯、西条美紀、海老原新、興地隆史
2. 発表標題 ニッケルチタン製ロータリーファイルによる根管形成で生じる応力に及ぼす各種回転様式の影響
3. 学会等名 日本歯科保存学会2020年度秋季学術大会（第153回）
4. 発表年 2020年～2021年

1. 発表者名 Moe Sandar Kyaw, 牧圭一郎, 木村俊介, Pyae Hein Htun, 海老原新, 興地隆史
2. 発表標題 連続回転あるいはOTRモーション時の回転速度が応力発生・形成能に与える影響
3. 学会等名 日本歯科保存学会2020年度秋季学術大会(第153回)
4. 発表年 2020年～2021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

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関