

ステップバック法におけるステンレス  
スチールファイルの回転角度の効果

奥羽大学大学院歯学研究科歯内・歯周病学専攻

東 春生

(指導教員：高 橋 慶 壮)

The Effect of Rotation Angles of Stainless Steel File  
in Step-Back Preparation

Department of Endodontics and Periodontics,  
Ohu University, Graduate School of Dentistry

Haruo AZUMA

( Director : Keiso Takahashi)

## **Abstract**

Step-back preparation (SBP) has been widely used, however, the scientific base for this has not been established. Recently, the outcome of various root canal preparation has been evaluated by using micro CT and the scientific base became improved. The aims of this study were to build up experimental system to evaluate possible factors for making optimal root canal preparation with micro CT and to investigate the effect of rotation angles of stainless steel (SS) files in the SBP.

Forty-nine maxillary canine made with resin imitated from natural tooth were used in this experiment. The samples were prepared with SBP into 5 different rotation angles ( $15^{\circ}$ ,  $30^{\circ}$ ,  $60^{\circ}$ ,  $90^{\circ}$  and  $180^{\circ}$ ) by using SS file ( $n=7$ ). Both JH Endo system and Ni-Ti rotary system (Reciproc<sup>®</sup>) have been used as controls. The 3-D root canal morphology of the samples was photographed both before and after instrumentation with micro CT. The digital images of the root canals from apical foramen to 4 mm coronal site was superimposed and then evaluated using computer software. The distance of transportation of prepared root canal and the volume of prepared root canal inner walls were calculated from the data of pre- and post-instrumentation images.

The distance of transportation of prepared root canal from apical foramen to 4 mm coronal site was significantly longer in the 5 SBP groups than 2 control groups and tended to positively correlate to the degree of rotation angles. The volume of prepared root canal inner walls were significantly higher in the 5 SBP groups than 2 controls and tended to positively correlate to the degree of rotation angles. From the horizontal images, the possibly optimal rotation angle were both 30° and 60° to maintain the original shape of the canal. The preparation time was significantly longer in the 5 SBP groups than 2 controls.

This study shows the effectiveness of our experimental system to examine root canal preparation scientifically and the optimal rotation angles of SS files in SBP is around 30° to 60°.

## 和 文 抄 録

ステップバック（SB）法は広く普及しているが，科学的な評価はほとんどされていない。近年，様々な根管形成の結果がマイクロCTで評価され，その科学的基盤が改善されてきた。本研究の目的は，最適な根管形成を行うために関与し得る要因をマイクロCTを用いて評価するための実験系を確立し，SB法においてステンレススチール（SS）ファイルの回転角度が及ぼす効果を調べることである。

49本の上顎犬歯を鋳型にした樹脂製の透明根管模型を用いた。試料はKファイルの回転角度（15°，30°，60°，90°，180°）に応じて5つに分類し，SB法で根管形成を行った（n=7）。JH Endo systemとNi-Tiロータリーシステム（以下，Reciproc®）を対照群とした（各n=7）。試料の根管形成前後における3次元根管形態をマイクロCTで撮影した。根尖孔から4 mm歯冠側までの部位を撮影した根管形成前後の画像はコンピュータ上で重ね合わせ，画像解析ソフトを使用し評価した。トランスポーターションの距離と根管内壁の切削量は根管形成前後のデータを元に計測した。

トランスポーターションの距離は対照2群に比較してSB5群で長く，SB5群間においてSSファイル回転角度が大きくなるにつれて長くなる傾向を示した。根管内壁の切削量はSB5群に比較して対照2群で少なく，SB5群間においてファイル回転角度が大きい程多かった。水平断面像の解析から本来の根管形態を保持するために最適と思われるファイル回転角度は30°および60°であった。根管形成時間では対照2群に比較してSB5群で有意に長かった。

本研究により構築された実験系が根管形成を科学的に評価するために有効であること，およびSB法における最適なSSファイル回転角度は $30^{\circ}\sim 60^{\circ}$ 付近であることを示した。



## 緒 言

根尖病変は根管系に生息する複数の嫌気性細菌からなるバイオフィルムおよびそれら由来の産生物質に対する炎症および免疫応答の特徴から説明されている<sup>1)</sup>。根尖性歯周炎に対する基本的な治療概念は「cleaning, shaping, filling」と報告されており<sup>2)</sup>、今後も変わることはないであろう。根管治療の目的は根管内の感染源や汚染物質を除去し、3次元的に緊密な根管充填を行うことであり、根管形成はそれらを達成するために不可欠な治療ステップである<sup>3)</sup>。理想的な根管形成とは、根管系本来の形態を保持し、拡大形成後の根尖孔のトランスポートーションを最小限に留め、根管口から根尖孔まで根管に連続的なテーパーを付与することと定義して問題はないであろう。

これまでにステンレススチールファイル(以下、SSファイル)を用いた根管形成法が数多く報告されている<sup>2, 4~12)</sup>。Ingle<sup>4)</sup>は規格化ファイルを用いた根管形成法を提言し、根管形成の失敗を減少させた。Clem<sup>5)</sup>のstep preparation後にMullaneyら<sup>6)</sup>が報告したステップバック

(SB)法は、日本の歯学教育において広く普及している方法であり、彎曲根管に対して根尖側から歯冠側方向へ向かって細いファイルから順次太いファイルへと交換しながら根管を拡大形成する。一方、Weineらは彎曲根管を10人の術者が各々の手法で根管形成した際、試料のほとんどに根管外彎側の過剰な切削および根管の直線化を認めたと報告した<sup>7)</sup>。過剰な根管内壁の切削や穿孔、ジップ、レッジあるいは根管の直線化が生じれば長期的には疾患の再発や歯根破折を生じ得る。トランスポートーションやレッジの存在する患歯はそれらが存在しない患歯に比較して予後成績が有意に低い<sup>13)</sup>。歯内療法の治療概念<sup>2)</sup>

は明確であっても，複雑な根管系に生息する細菌を機械的および化学的に清掃する際に，根管系の過剰な切削によるトラブル，たとえば穿孔，根尖孔の破壊，根管のトランスポートーションおよび根尖孔の目詰まりといった医原病を生じたケースをしばしば経験する。これは約半世紀前に欧米で報告された術式の科学的評価が十分でないにもかかわらず，日本では無批判的に受け入れられ，しかも不正確に伝授されてきたことによると考えられる。

SSファイルを用いた根管形成においてreamingやturn & pull運動の回転運動を過剰に行った場合，根管内壁が過剰に切削されて根管本来の形態を逸脱する可能性がある。とりわけ，彎曲根管の根尖部付近においてその傾向が強い<sup>3, 7)</sup>。根管本来の形態を保持した根管形成を行おうとすれば，彎曲根管形成時にSSファイル操作の回転角度を制御し，根管内壁の過剰な切削を防止することが重要と考えられる。ステップバック法ではSSファイル操作の回転角度は90°以下と報告されているが<sup>5)</sup>，回転角度を設定した根拠は何も示されておらず，ファイルの破折防止を目的とした設定と推測される。

JH Endo system（以下，JH法）は，平井によって根管本来の形態を保持した根管形成を行うことを目的に考案された術式である<sup>14, 15)</sup>。SB法やその他の術式と比較して，根管内壁の過剰切削を防止するためにSSファイルの号数ごとの回転角度を固定し，彎曲根管の形態を保持したまま根管に適度なフレアーを付与することを可能にする術式である。すなわち，しなり度の高い<sup>15)</sup> Kファイル(VDW GmbH, Germany)を用いて根管内壁を過剰に切削しないようにファイル操作時の回転トルクが11 gf・cmになる回転角度を設定することで根管形成中の過剰切削，レジおよび根管の直線化を防止している。SB法にお

いても根管形成中に根管内壁を過剰に切削しないようなKファイル操作時の回転角度を明らかにすることは根管治療の質の向上に有益である。

1990年以降、Ni-Tiロータリーシステムが改良され彎曲根管への追従性の改善<sup>16~23)</sup>、従来のSSファイルより根管形成にかかる作業時間の短縮、術者の疲労の軽減<sup>9~18)</sup>がなされた。1本のNi-Tiファイルで根管形成を完了するReciproc® (VDW GmbH, Munich, Germany)はNi-Tiファイル刃部を改良し、正逆回転の往復運動（レシプロ運動、時計回りに30°、反時計回りに150°）により根管形成中のファイルの破断を減少させることが報告されている<sup>18,24)</sup>。このファイルの回転運動はRoaneらが報告したBalanced force techniqueにおける手用ファイルの回転操作に類似している<sup>25)</sup>。

根管形成の研究は、デンタルエックス線写真を使用した2次元的评价からマイクロCTを用いた3次元的评价に代わってきた<sup>26)</sup>。マイクロCTが開発される前には、根管形成前後の根管形態を水平断面で観察するために試料を切断していた<sup>27)</sup>。Petersら<sup>26)</sup>は上顎大臼歯の根管形態、根管の体積や表面積についてマイクロCT解析したところ、2次元エックス線写真よりも詳細に複雑な根管形態が解析可能であったと報告し、その後も複雑な形状をした根管の形態の観察、種々のファイルの根管形成能の比較、とりわけ、トランスポーターション量や根管内壁の切削量の評価にマイクロCTが用いられるようになった<sup>26,28-32)</sup>。しかも、デジタルデータに変換することでコンピューターソフトを用いて正確な計測が可能なため、根管形成の科学はマイクロCT解析によって飛躍的に進むことが期待される。



本研究の目的は、根管形成をマイクロCTを用いて3次元的に評価する実験系を構築し、SB法で根管形成を行う際にファイルの回転角度が根管形成に及ぼす効果を評価することである。

## 材料および方法

### 1. 模型の作製

天然歯を鋳型にして作製した上顎犬歯の透明根管模型（NISSIN社、京都）49本を試料に用いた（図1）。透明根管模型の咬合面からタービンとカーバイドバーを用い髓腔開拡を行い、ダイヤモンドポイント（JH01）を用い天蓋除去をJH Endo system<sup>14, 15)</sup>に従って行った。#10のKファイル（ジッペラー社、VDW GmbH, Germany）の先端を模型の根尖孔まで穿通させ、歯冠の尖頭から根尖までを根管長（27.5 mm）に設定した。

### 2. 根管形成ファイル操作時の回転角度

臨床経験10年の歯科医師1名（HA）が全ての根管形成を行った。SB法によるファイル操作時の回転角度を15°、30°、60°、90°および180°群（各n=7）に設定した。模型の基底結節部に線を15°～180°を示す位置に明示した。模型の基底結節から時計回りに各回転角度の位置を（分度器を使用）定め、印を付けた。Kファイル（針部全長31 mm）にラバーストッパーを装着し、Kファイル操作時の回転角度を明視化した（図2）。根管形成法はKファイルを用いたSB法<sup>6)</sup>を選択した。ファイル操作はturn & pull運動を選択した。#10～60のKファイルにあらかじめ模型の彎曲を参考にプレカーブをつけた上で根尖孔を#15で穿通後、根尖孔から1 mm歯冠側で#20～35までアピカルシートを形成した。作業長が1 mm短くなる

ごとにファイル号数を上げていき#60まで根管を拡大形成した。Kファイルを交換するごとにプラスチックシリンジ（テルモ，東京）に注入した水（1 ml）で根管洗浄し，根尖孔部に滞留した切削片を除去するために再帰ファイリング<sup>15)</sup>を行った。#60までのSB形成終了後#35のKファイルで根管内壁をスムーズにするためファイリングした。

対照群としてJH法<sup>14, 15)</sup>（各n=7）およびNi-Tiファイル（Reciproc<sup>®</sup> R25）を使用した根管形成をマニュアルに従って行った（各n=7）。JH法は根管中央部付近においてJHエンドバー（カボデンタルシステムズジャパン，東京）を使用し，根尖部付近はKファイルを用い，根尖孔を#15で穿通して拡大形成し，根尖孔から1 mm歯冠側に#40のアピカルシートを形成し，#45がアピカルシートの1 mm歯冠側に到達することを確認して終了した。Kファイルを交換するごとに#25のKファイル（マニー社，宇都宮）をルーティ<sup>®</sup>（ヨシダ，東京）に装着し根管洗浄および全周ファイリングを同時に行った。次の号数に移るごとに#15のKファイルで再帰ファイリングを行った。Reciproc<sup>®</sup>は専用のエンジンX-smart plus（Dentsply, York, PA, USA）にReciproc<sup>®</sup> R25を装着し，ファイルが根尖孔に到達した位置まで自動回転往復運動（時計回りに30°，反時計回りに150°）で根管形成を行った。根管形成終了後，根管洗浄しエアーシリンジで乾燥した。

### 3. 根管形成時間

各回転5群および対照2群の根管形成開始から終了までの所要時間をストップウォッチで計測した。

### 4. マイクロCTの撮影条件

予備実験から非破壊構造解析装置(TOSCANER-FTC32251 mhd, Hitachi, JAPAN) (以下, マイクロCT) の撮影条件を, 管電圧110kV, 管電流110  $\mu$ A, ビュー数600, 積算枚数10枚, I.I.サイズ 6 inch, スライス厚 0.066 mm, スライスピッチ0.040 mm, 解像度1024\*1024, および, 断面 1画素サイズ0.0429 mmに設定した。40 $\mu$ m単位の解析が可能になった。

## 5. マイクロCTデータからデジタル画像への変換

ラウンドバーをエンジンに取り付けてあらかじめ各透明根管模型の表面に5箇所のディンプルを付与した。根管形成前後の透明根管模型をマイクロCTで撮影した。マイクロCTで撮影した模型のDICOMをマイクロCT画像解析ソフト(Simpleware ScanIP)(Synopsis, CA, USA))によってコンピュータ上に変換し, 透明根管模型の3次元的形態を作成した。あらかじめ模型に付与した5つのディンプルを根管形成前後の3次元的な位置決めの指標としてそれを根管形成前後の透明根管模型の3次元画像を重ね合わせた。歯軸に対して垂直な水平断面を根尖孔から1, 2, 3 および4 mm歯冠側を計測箇所に設定して根管形成前後の形態変化を観察し, 歯軸に対して垂直な水平断面における2次元的な根管形成前後の根管の中心2点間の距離をトランスポートーションの距離として計測した<sup>33)</sup>。根尖孔から4 mm歯冠側の根管形成前後の根管内壁の体積の差を切削量として計測した。

## 6. 根管形成前後の水平断面における根管の形態変化

根管形成前後における根尖孔から1, 2, 3および4 mm歯冠側の歯軸に対して垂直な水平断面画像の形態変化を観察した。画像処理ソフトを用い根管形成前後の中心2点間を計測した。根尖孔, 根尖孔から 1, 2, 3および4 mm



歯冠側に水平断面画像における根管形成前後の根管の中心2点間距離を測定した。

#### 7. 根管形成前後の根管内壁の切削量

根尖孔から4 mm歯冠側における根管形成前後の根管内壁の切削量を計測した。

#### 8. 統計処理

根管形成前後の根管の中心2点間距離, 根管内壁の切削量および根管形成所要時間の比較に関して, Repeated Measures ANOVAで多群解析を行った。

### 結 果

#### 1. 根管形成前後の形態変化

唇側面観より15°, 30°および60°回転群に比較して, 90°および180°回転群では, 根管形成前後の形態変化が大きかった。すなわち外彎および内彎側が過剰に切削されていた。回転角度の上昇につれて外彎部の形態変化も大きくなった(図3~7)。JHおよびReciproc®群では明らかな形態変化は認められなかった(図8, 9)。

水平断面画像解析では根管形成前の根管形態(緑色)に形成後の形態(赤色)を重ね合わせて表示した(図3~9)。赤色の部位は根管形成によって切削された根管内壁部を示す。90°および180°回転群では外彎側が大きく過剰に切削されていた(図6, 7)。とりわけ, 180°回転群で根尖孔部における根管内壁の切削が顕著であった(図7)。30°および60°回転群において根尖孔から1, 2 mm歯冠側で根管の内壁全周が均等に切削されていた(図4, 5)。一方, 対照群のJHおよびReciproc®



群では根管内壁の過剰な切削は見られず，根管内壁が比較的均等に切削されていた（図8，9）。

## 2. 根管形成前後における根管の中心2点間距離

各回転5群の水平断面画像解析における根管形成前後の根管の中心2点間距離は根尖孔から4 mm歯冠側において回転角度に比例し増加する傾向を示した（図10～14）。とりわけ，90°および180°回転群では根管の中心2点間距離が有意に高かった。対照群のJHおよびReciproc®群では中心2点間距離が各回転5群に比較して有意に低く，各回転5群の中で最小値を示した15°回転群と同等あるいは低い値を示した（図10～14）。

## 3. 根管形成前後の根管内壁の切削量

各回転5群における根管内壁の切削量は回転角度の上昇につれて増加した（図15）。JHおよびReciproc®群で各回転5群に比較して有意に低かった（ $p<0.05$ ）。60°，90°および180°回転群はJH群，Reciproc®群，15°および30°回転群に比較して切削量が有意に高かった（ $p<0.05$ ）（図15）。

## 4. 根管形成時間

根管形成にかかる平均の作業時間は，各回転5群（平均13分）は対照2群に比較して有意に長かった（ $p<0.01$ ）。JH群（平均5分）はReciproc®群（平均23秒）に比較して所要時間が有意に長かった（ $p<0.01$ ）（図16）。Reciproc®群が最短であった。回転5群間において15°および30°回転群の所要時間は60°～180°回転群と比較して長い傾向にあった。

## 考 察

SB法においてSSファイルの回転角度の違いが根管形成に及ぼす影響を評価するために，上顎犬歯を鋳型にして

作製した透明模型を諸条件下で根管形成し，根管形態の変化をマイクロCT解析した。その結果，90°以上の回転角度では根管内壁を過剰に切削して根管のトランスポートーション量が上昇すること，根管本来の形態を保持するための根管形成を行う上で最適なファイルの回転角度は30°～60°であることが示唆された。

回転5群の根管形成ではファイルの回転角度が小さいほど根管形成前後の形態変化および根管内壁の切削量が少ない傾向にあった（図3～9，15）。水平断面画像解析では根管形成前の根管形態（緑色）に形成後の形態（赤色）を重ね合わせて表示しており（図3～9），赤色の部位は根管形成によって切削された根管内壁部を示す。もっとも，根管形成前後の根管内壁の切削量が40 μm以下の場合，色の変化は生じないため，赤色が見られない部分は根管形成後にファイルが根管内壁に接触していないか切削量が40 μm以下と解釈できる。根尖孔から2 mm歯冠側の水平断面像における根管形成前後の変化（図4，5）から30°あるいは60°回転群が根管本来の形態を保持した根管形成を行うために最適であることが示唆された。60°回転群は30°回転群に比べ根尖孔の外彎部の切削量が多いものの根管全周を切削していることから根管の形態を保持し比較的均等に根管全周を切削できると考えられた（図5）。根管内壁全周を均等に拡大形成できれば理想的だが，根管の形態が多様であるため個々の患歯で実行することは現時点では困難であり，次亜塩素酸ナトリウム溶液による化学的清掃を併用した現在の治療体系は適切といえる。

本研究では根管形成前後の根管の中心2点間距離をもって根管のトランスポートーション量として表示した（図10～14）。根尖孔から2 mm歯冠側までの範囲で90°

および180°回転群のトランスポートーション量は15°～60°回転群と比較して大きく、水平断面画像における根管形成前後の形態変化から外彎部が多く切削されていた(図3～7, 10～12)。根尖孔部において180°回転群のトランスポートーション量は平均0.129 mmであった(図7, 10)。Wuらは彎曲根管根尖孔部のトランスポートーション量が0.3 mm以上の場合、根尖孔部が外彎側方向に拡大されるため側方加圧根管充填時に空隙を生じて根尖孔の封鎖が困難であるとともに内彎側に残存する壊死した歯髄組織や細菌によって根尖孔外へ再感染するとした<sup>34)</sup>。しかし、0.3 mm以下であれば問題が生じないという科学的根拠は無く、根尖孔のトランスポートーションは可及的に小さいことが望まれる。また、根尖孔の破壊やトランスポートーションは根尖孔にマイクロクラックを引き起こす可能性がある<sup>35)</sup>。Wuらはメルファー社のKファイルを使用したが高圧度が高い<sup>15)</sup> ジッペラー社のKファイルを使用しており、根尖孔のトランスポートーション量を評価する際、ファイル間のflexibilityの違いが根管形成へ及ぼす影響についても検討を加える必要がある。さらに、異なる歯種の根管についても研究を進展させる必要がある。

本研究では、JH法およびReciproc®R25による根管形成の2つを対照群にした。JH法では根尖孔から4 mm 歯冠側の範囲において根管形成前後のトランスポートーション量は15°および30°回転群と同等か、もしくは低い傾向を認めた(図10～14)。JH法ではアピカルシートの根管形成時に根管の過剰な切削を防止することを目的にファイル号数が上がるごとにファイルの回転角度を30°(#15～30)から18°(#35), 12°(#40), 10°(#45), 4°(#50) および3°(#55)に下げるため<sup>15)</sup>トランスポートーション量が



低かったと考えられた。JH 群では水平断面画像（図 8）において根尖孔から 0～4 mm の位置で根管内壁全周がほぼ均等に切削されており 30°回転群および Reciproc®群と類似した結果であった（図 4, 8, 9）。本研究結果から JH 法は、SB 法に比較して根管本来の形態を逸脱しない根管形成であり、第 4 世代の Ni-Ti システムである Reciproc®と同程度にトランスポーテーションを低く抑えることが可能な術式であることが示唆された（図 8, 9）。

Reciproc® R25 群では回転 5 群と比較してトランスポーテーション量が少なく、根管本来の形態をほぼ保持しており、過去の報告と類似した結果であった<sup>24)</sup>。一方、根管内壁の切削量に関しては Reciproc® R25 群は平均 0.08 mm<sup>3</sup>と回転 5 群の根管内壁の切削量より少なかった（図 15）。本実験条件下では、ブラッシング運動<sup>36)</sup>を行っておらず Reciproc®を根管内へ挿入して上下動のみで根管形成した。根管内壁を切削する機会が少ないことおよび SS ファイルと比較して根管内壁の切削能が低いこと<sup>19)</sup>が回転 5 群に比較して切削量が低かった要因と考えられた。本実験では、上下動のみで根管形成を行ったが、ファイルを根管内壁に押し付けながら切削するブラッシング運動で全周ファイリングを行えば、根管形成の様態は変わったであろう。Ni-Ti ロータリーシステムを使用する際には根管内壁の切削面積が低いことを勘案し、anti-curvature filing の要領で根管形成を行うことで根管内壁の切削量および接触面積が上がるであろう。

SB5 群は対照 2 群（JH および Reciproc®群）に比較して根管形成時間が有意に長かった（図 16）。一方、SB 5 群間に有意差はなかったが、15°および 30°回転群で根管形成時間が長い傾向にあった。ファイルの回転角度が小さい分、ファイルによる根管内壁の切削能が低く、その分フ



ファイルを挿入する回数が増え、切削片がアピカルシートから根尖孔までの空間に滞留し根尖孔が詰まりやすくなり、再帰ファイリング時の操作時間も長くなったと考えられる。根管形成の際、複数のファイルを使用したJHおよび回転5群より Reciproc<sup>®</sup>群の根管形成時間は著しく短かった（図16）。この結果はSSファイルと比較してNi-Tiロータリーシステムを用いた根管形成時間が短いことを示した過去の報告<sup>19, 28)</sup>と同様であった。JH法は回転5群に比較して根管形成時間が有意に短かった（図16）。JH法ではアピカルシート歯冠側の根管洗浄と4隅角ファイリングをルーティ<sup>®</sup>（ヨシダ，東京）を用いて同時に行う。根尖孔部からアピカルシートに滞留する切削片を再帰ファイリングで浮き上がらせ効果的に除去できること、およびステップバック形成を行わないため使用するKファイルの本数が少ないこと、さらに根管形態を保持して根管内壁を過剰に切削していないことが根管形成時間の短い理由であろう。医原病が多くみられる根管治療の質を向上させるには、JH法のように根尖孔を壊さない、根管を過剰に切削しない術式を習得することが必須である。

手用SSファイルを用いた根管形成法においてturn & pull運動の回転角度に関するコンセンサスは得られていない。本研究結果から30°～60°回転群における根管の形態変化が小さかったことから、ファイル操作時の回転角度を制御することは根管系本来の形態を保持した根管形成を行うために不可欠と考えられる。このことは根管形成時の根管の直線化、レッジやトランスポートーションを防止するために有益な情報になる。手用SSファイルを用いた根管治療の質の担保には科学的に立証された理論に基づくファイル操作のトレーニングが不可欠である。透明模型を用いた根管形成をマイクロCT解析する本実験系を利

用すれば，歯科医師ごとの根管形成の「癖」が客観的に評価できるため各自の技術向上に活用できる。

## 結 論

根管形成を3次元的に正確に評価できる実験系を確立した。ステップバック法で彎曲根管の形成を行う際には，ファイルの回転角度を $30^{\circ}$ ～ $60^{\circ}$ に制御することでトランスポートーションが低く抑えられ，さらに根管内壁を均等に切削できる可能性が示唆された。

本論文において開示すべき利益相反はない。

## 謝 辞

本研究を遂行するにあたり，マイクロCT解析の御指導を頂いた福島県ハイテクプラザ（郡山市）技術開発部工業材料科，矢内誠人氏および五十嵐雄大氏に感謝致します。

本論文の要旨は，第145回日本歯科保存学会学術大会（平成28年10月27日，松本市）および第62回奥羽大学歯学会（平成28年11月12日，郡山市）にて発表した。

## 文 献

- 1) Takahashi, K. : Microbiological, pathological, inflammatory immunological and molecular biological aspects of periradicular disease. *Int Endod J.* 31 ; 311-325 1998.
- 2) Schilder, H. : Cleaning and shaping the root canal. *Dent. Clin North Am.* 18 ; 269-96 1974.
- 3) Peters, O. A. : Current challenges and concepts in the preparation of root canal systems : a review. *J Endod.* 30 ; 559-567 2004.
- 4) Ingle, J. I. : A standardized endodontic technique utilizing newly designed instruments and filling materials. *Oral Surge Oral Med Oral Pathol.* 14 ; 83-91 1961.
- 5) Clem, W. H. : Endodontics: the adolescent patient. *Dent. Clin North Am.* 13; 483-486 1969.
- 6) Mullaney, T. P. : Instrument of finely curved canals. *Dent. Clin North Am.* 23 ; 575-592 1979.
- 7) Weine ,F. S., Kelly, R. F., Lio, P. J. : The effect of preparation procedures on original canal shape and apical foramen shape. *J Endod.* 1 ; 255-262 1975.
- 8) Goerig, L. A. C., Michelich, R. J., Schultz, C. H. H. : Instrumentation of root canals in molar using the step-down technique. *J Endod.* 8 ; 550-554 1982.
- 9) Ingle, J. I. : Endodontic cavity preparation. *Endodontics* (Ed., Beveridge, E. E.) 2nd Ed. ; 164-215 Lea & Febiger Philadelphia 1976.
- 10) Grossman, L.I. : Preparation of the root canal. *Endodontic Practice* (Ed., Suzuki, K.) 10th ed. ; 181-211 Lea & Febiger Philadelphia 1978.



- 11) John, D., Roan, G. : Cleaning and shaping the root canal system.  
Path way of the Pulp (Ed., Cohen, S., Burns, R. C) 6th Ed. ;  
179-218 Mosby-Year Book St Louis 1994.
- 12) Harty, F. J. : Preparation of the root canal system. Harty's  
Endodontics in Clinical Practice (Ed., Pitt Ford, T.R.) 4th Ed. ;  
81-105 Wright Oxford 1997.
- 13) Gorni, F. G. M., Gagliani, M. M. : The outcome of endodontic  
retreatment : a 2-yr follow-up. J Endod. 30 ; 1-4 2004.
- 14) 平井 順 : 根管形成の効率化 JHエンダーの開発から臨床応  
用まで. 日歯内療誌 6 ; 88-93 1985.
- 15) 平井 順, 高橋慶壮 : 臨床歯内療法学 -JHエンドシステムを用  
いて-. ; 86-87 クインテッセンス出版 東京 2005.
- 16) 武藤徳子, 川島英里子, 下島かおり, 石井信之 : 往復運動機能  
によるシングルNi-Tiロータリーファイルの根管切削評価  
-WaveOne と Reciprocの切削特性-. 日歯保存誌 56 ; 610-616  
2013.
- 17) 日向 剛, 重谷佳見, 吉羽邦彦, 興地隆史 : ニッケルチタン  
ファイル Reciprocの湾曲根管切削特性. 日歯保存誌 55 ;  
381-388 2012.
- 18) Gianluca, P., Alessio, G. R., Nicola, M. G. Luca, T., Gianluca,  
G. : Cutting efficiency of Reciproc and WaveOne reciprocating  
instruments. J Endod. 40 ; 1228-1230 2014.
- 19) Yin, X., Cheung, G. S., Zhang, C., Masuda, Y. M., Kimura, Y.,  
Matsumoto, K. : Micro-computed tomographic comparison of  
nickel-titanium rotary versus traditional instruments in C-shaped  
root canal system. J Endod. 36 ; 708-712 2010.
- 20) Jardine, S. J., Gulabivala, K. : An in vitro comparison of canal  
preparation using two automated rotary nickel-titanium  
instrumentation techniques. Int Endod J. 33 ; 381-391 2000.



- 21) Hülsmann, M., Gressmann, G., Schäfers, F. : A comparative study of root canal preparation using FlexMaster and HERO 642 rotary Ni-Ti instruments. *Int Endod J.* 36 ; 358-366 2003.
- 22) Park, H. : A comparison of Greater Taper files, ProFiles, and stainless steel files to shape curved root canals. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 91; 715-718 2001.
- 23) Versümer, J., Hülsmann, M., Schäfers, F.: A comparative study of root canal preparation using ProFile.04 and Lightspeed rotary Ni-Ti instruments. *Int Endod J.* 35 ; 37-46 2002.
- 24) 田中美香, 武藤徳子, 下島かおり, 富永尚宏, 石井信之 : シングルNi-Tiロータリーファイルによる湾曲根管形成の評価 - 根管湾曲度と根管壁変位量の相関関係- : *日歯保存誌* 57 ; 502-509 2014.
- 25) Roane, J. B., Sabala, C. L., Duncanson, M. G. : The “balanced force” concept for instrumentation of curved canals. *J Endod.* 11 ; 203-211 1985.
- 26) Peters, O. A., Laib, A., Rügsegger, P., Barbakow, F. : Three-dimensional analysis of root canal geometry by high-resolution computed tomography. *J. Dent. Res.* 79 ; 1405-1409 2000.
- 27) Bramante, C. M., Berbert, A., Borges, R. P. : A methodology for evaluation of root canal instrumentation. *J Endod.* 13 ; 243-245 1987.
- 28) Gambill, J. M., Alder, M., del Rio, C. E. : Comparison of nickel-titanium and stainless steel hand-file instrumentation using computed tomography. *J Endod.* 22 ; 369-375 1996.
- 29) Versiani, M. A., Leoni, G. B., Steier, L., De-Deus, G., Tassani, S., Pécora, J. D., de Sousa-Neto, M. D. : Micro-computed tomography study of oval-shaped canals prepared with the

- self-adjusting file, Reciproc, WaveOne, and ProTaper universal systems. J Endod. 39 ; 1060-1066 2013.
- 30) Paqué, F., Zehnder, M., De-Deus, G. : Microtomography-based comparison of reciprocating single-file F2 ProTaper technique versus rotary full sequence. J Endod. 37 ; 1394-1397 2011.
  - 31) Zhao, D., Shen, Y., Peng, B., Haapasalo, M. : Micro-computed tomography evaluation of the preparation of mesiobuccal root canals in maxillary first molars with Hyflex CM, Twisted Files, and K3 instruments. J Endod. 39 ; 385-388 2013.
  - 32) Hwang, Y-H., Bae, K-S., Baek, S-H., Kum, K-Y., Lee, W., Shon, W-J., Chang, S. W. : Shaping ability of the conventional nickel-titanium and reciprocating nickel-titanium file systems : a comparative study using micro-computed tomography. J Endod. 40 ; 1186-1189 2014.
  - 33) Junaid, A., Freire, L. G., Bueno, C. E. D. S., Mello, I., Cunha. R. S. : Influence of single-file endodontics on apical transportation in curved root canals1 : an *ex vivo* micro-computed tomographic study. J Endod. 40 ; 717-720 2014.
  - 34) Wu, M-K., Fan, B., Wesselink, P. R. : Leakage along apical root fillings in curved root canals. Part I : effects of apical transportation on seal of root fillings. J Endod. 26 ; 210-216 2000.
  - 35) Adorno, C. G., Yoshioka, T., Suda, H. : The effect of root preparation technique and instrumentation length on the development of apical root cracks. J Endod. 35 ; 389-392 2009.
  - 36) Alattar, S., Nehme, W., Diemer, F., Naaman, A. : The influence of brushing motion on the cutting behavior of 3 reciprocating files in oval-shaped canal. J Endod. 41 ; 703-709 2015.

## 図表の説明

図1. 使用した透明根管模型およびマイクロCT画像

本研究で使用した上顎犬歯を鋳型にした透明根管模型（唇側面観：左図，根尖孔から4 mm歯冠側までにおける水平断面：右図）

図2. 回転角度の設定

模型の基底結節を0°に定め，黒線で印を付けた（矢印青）。基底結節から時計回りに計測する回転角度（15°～180°）の位置を（分度器を使用）定め，黒線で印を付けた（黒線）。根管形成中におけるKファイル操作時の回転角度を明視化するためラバーストッパーに黒線で印をつけた（矢印赤）。図は根管形成時の回転角度30°の場合を示す。

図3. 15°回転群における根管形成前後の画像

根管形成前後の根管内壁の形態変化を観察した。  
上図：根尖孔から根尖側1/3までの根管全体像（唇側面観（緑：形成前 赤：形成後））。下図：根尖孔から0，1，2，3 および4 mm歯冠側の位置で観察した水平断面画像（緑：形成前 赤：形成後 左が内彎側，右が外彎側，上が口蓋側および下が唇側）。

図4. 30°回転群における根管形成前後の画像

図 5. 60°回転群における根管形成前後の画像

図 6. 90°回転群における根管形成前後の画像

図 7. 180°回転群における根管形成前後の画像

図 8. JH Endo System群における根管形成前後の画像

図 9. Reciproc<sup>®</sup> R25群における根管形成前後の画像

図 10. 根尖孔における根管形成前後の根管の中心 2 点間距離の比較

縦軸の単位：距離（mm），各群間の有意差の有無を表に示す。

図 11. 根尖孔から 1 mm 歯冠側における根管形成前後の根管の中心 2 点間距離の比較

図 12. 根尖孔から 2 mm 歯冠側における根管形成前後の根管の中心 2 点間距離の比較

図 13. 根尖孔から 3 mm 歯冠側における根管形成前後の根管の中心 2 点間距離の比較

図 14. 根尖孔から 4 mm 歯冠側における根管形成前後の中心 2 点間距離の比較



図15. 根尖孔から4 mm歯冠側までの根管形成前後の根管  
内壁の切削量の比較

縦軸の単位：切削量（ $\text{mm}^3$ ），各群間の有意差の有無  
を表に示す。

図16. 根管形成所要時間の比較

縦軸の単位：時間（sec），各群間の有意差の有無を  
表に示す。

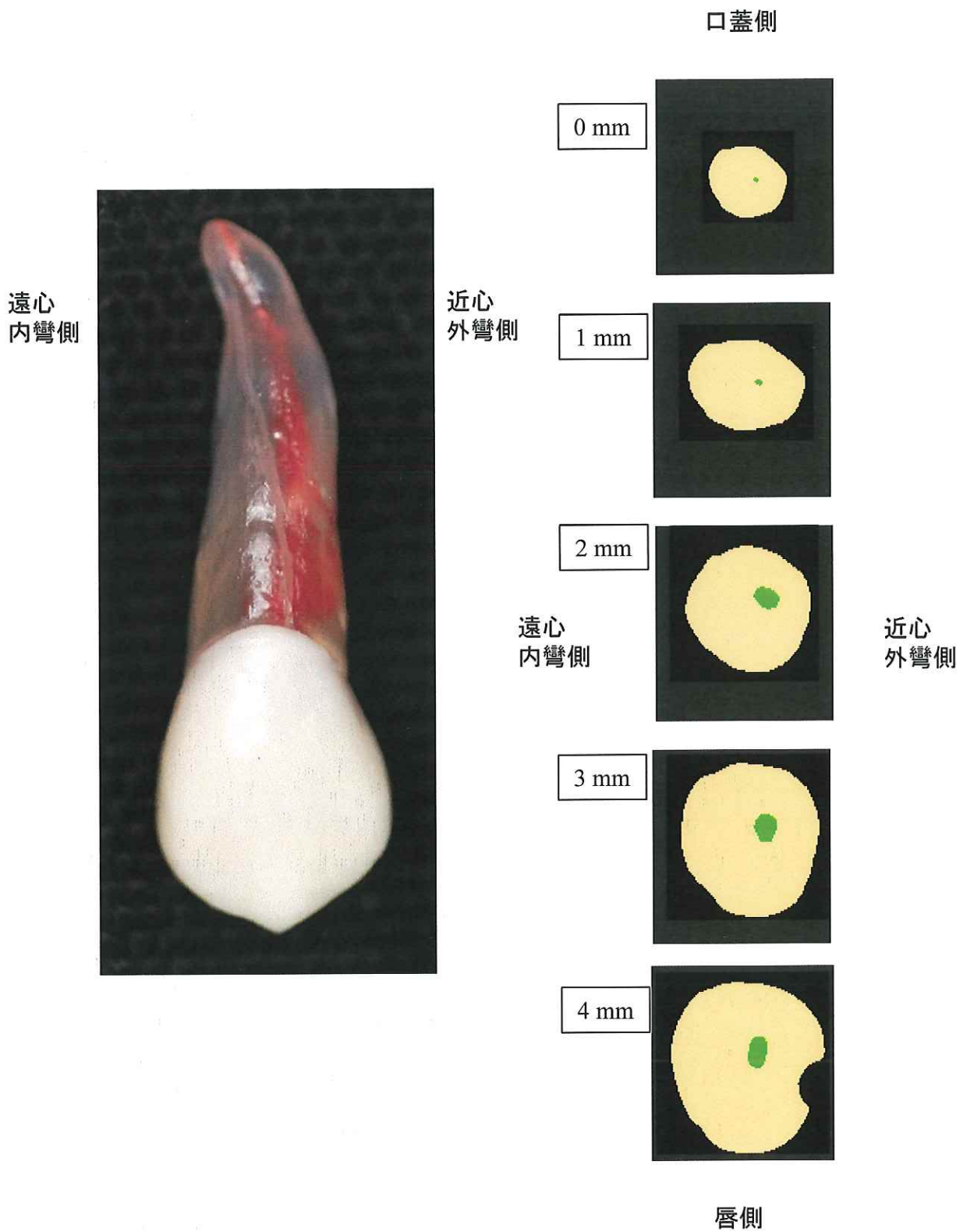


図 1 透明根管模型およびCBCT画像

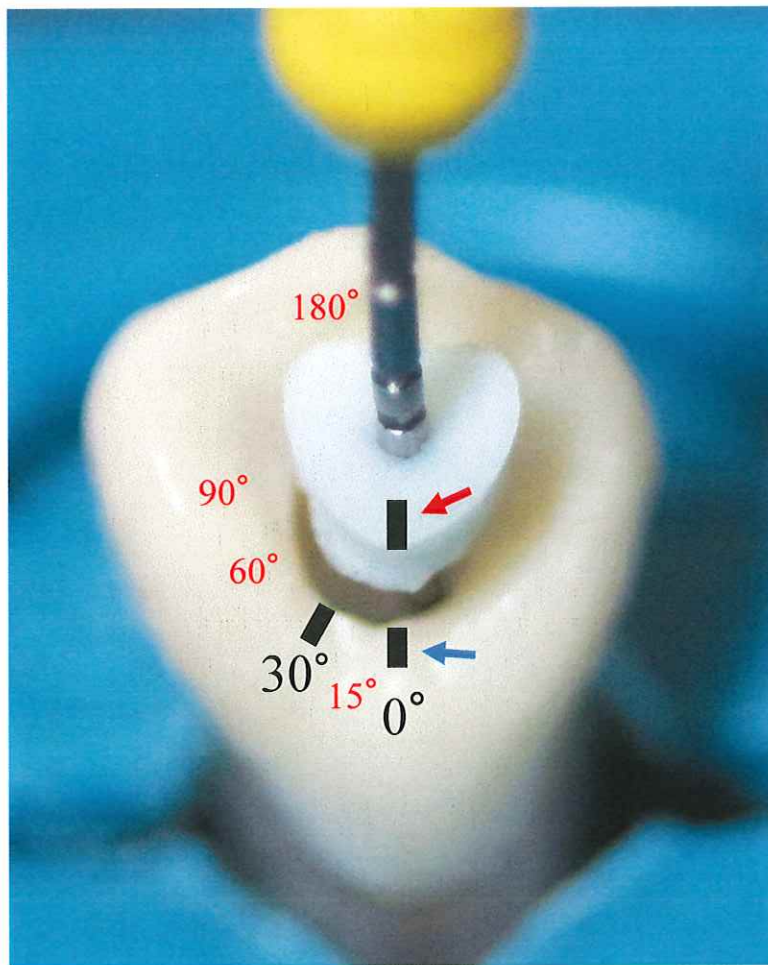
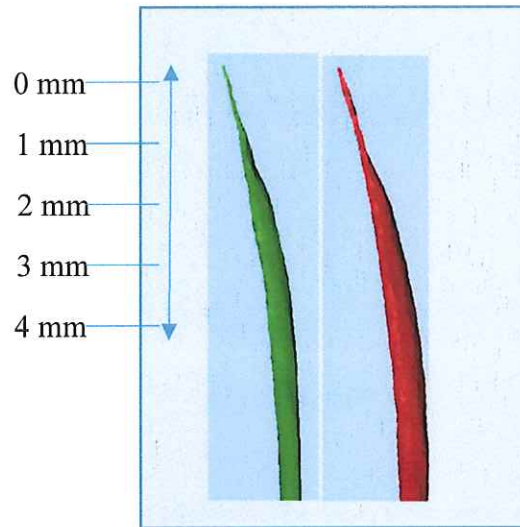


図 2 回転角度の設定



## 唇側面観



## 水平断面

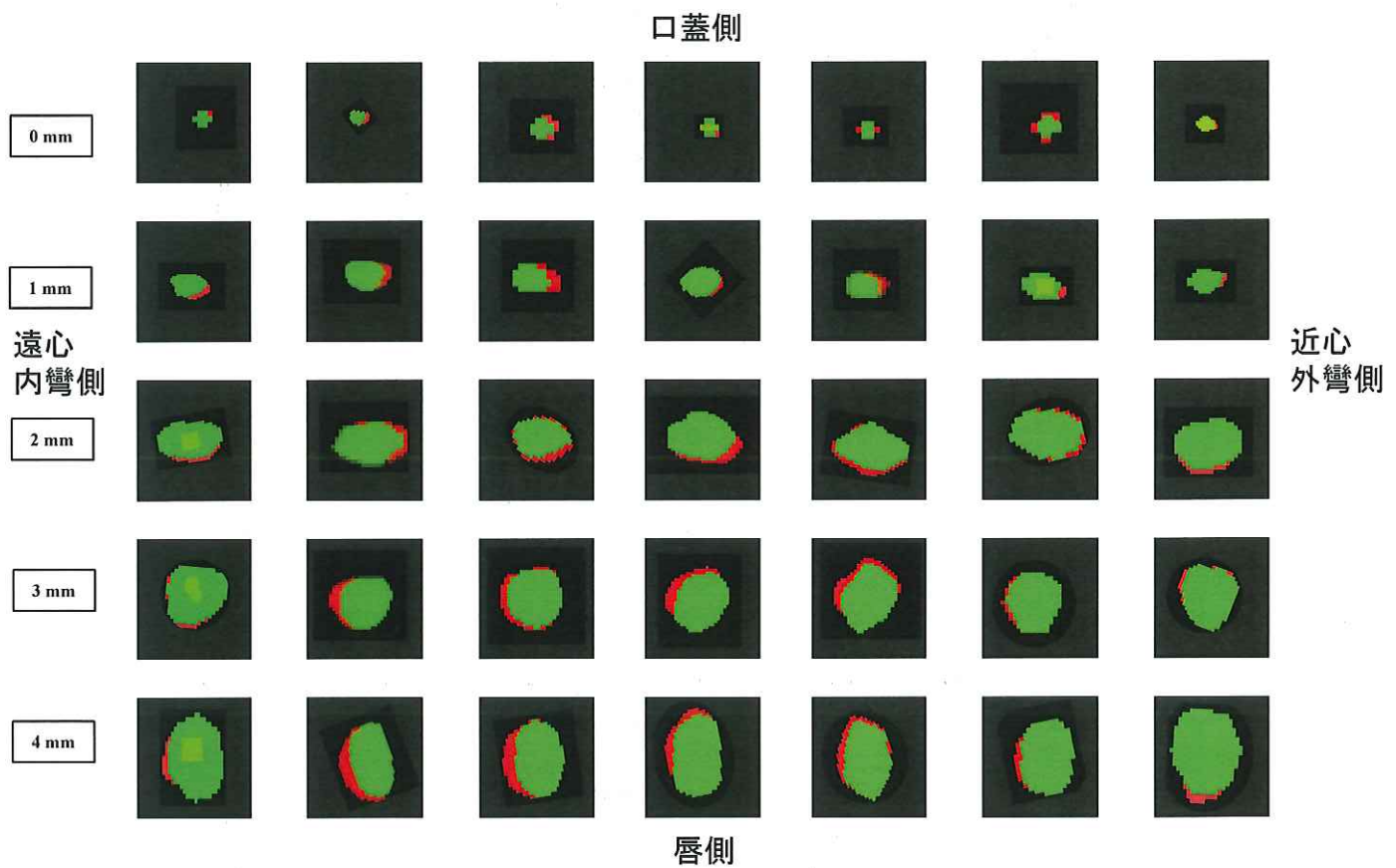
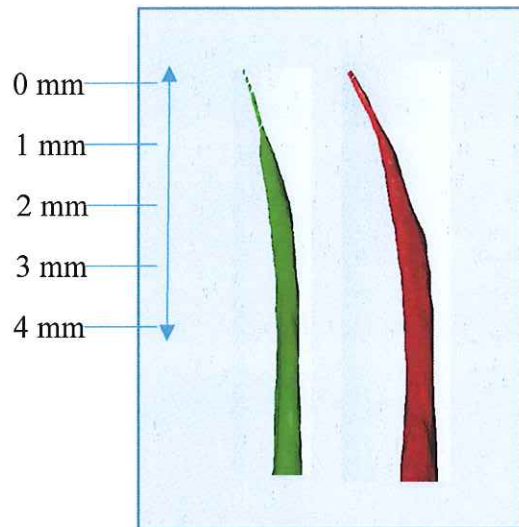


図 3 15° 回転群における根管形成前後のCBCT画像  
緑: 形成前 赤: 形成後

## 唇側面観



## 水平断面

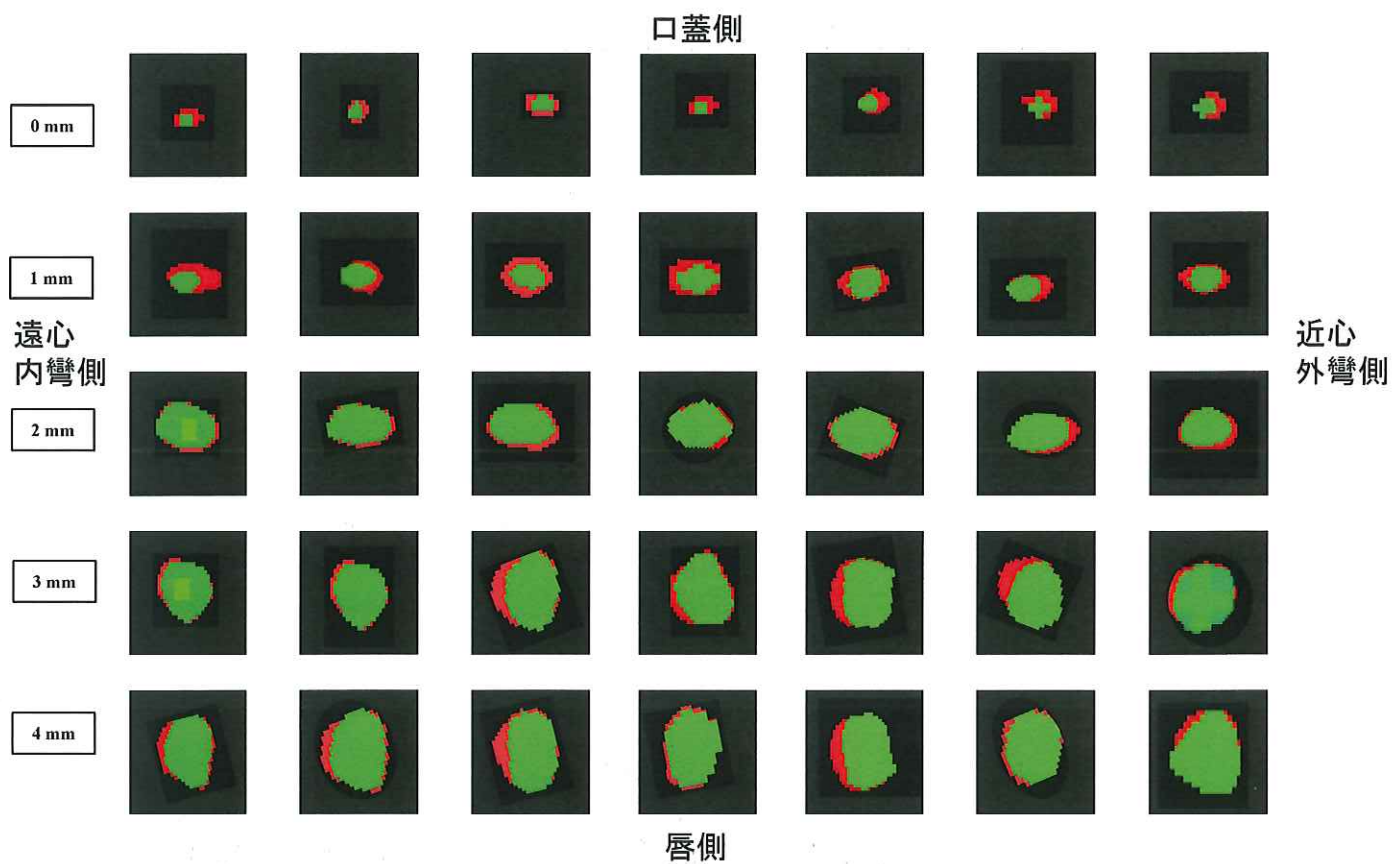
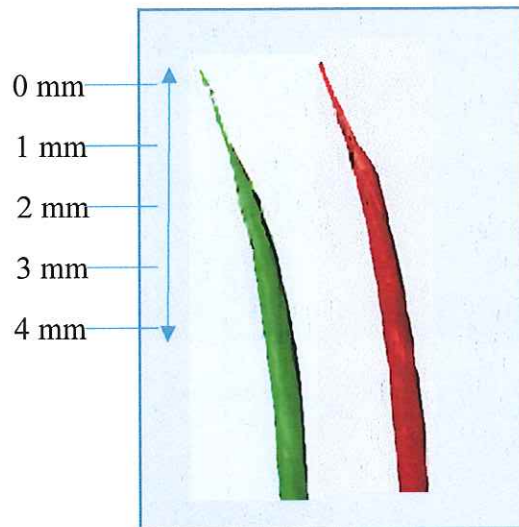


図 4 30° 回転群における根管形成前後のCBCT画像  
緑：形成前 赤：形成後

## 唇側面観



## 水平断面

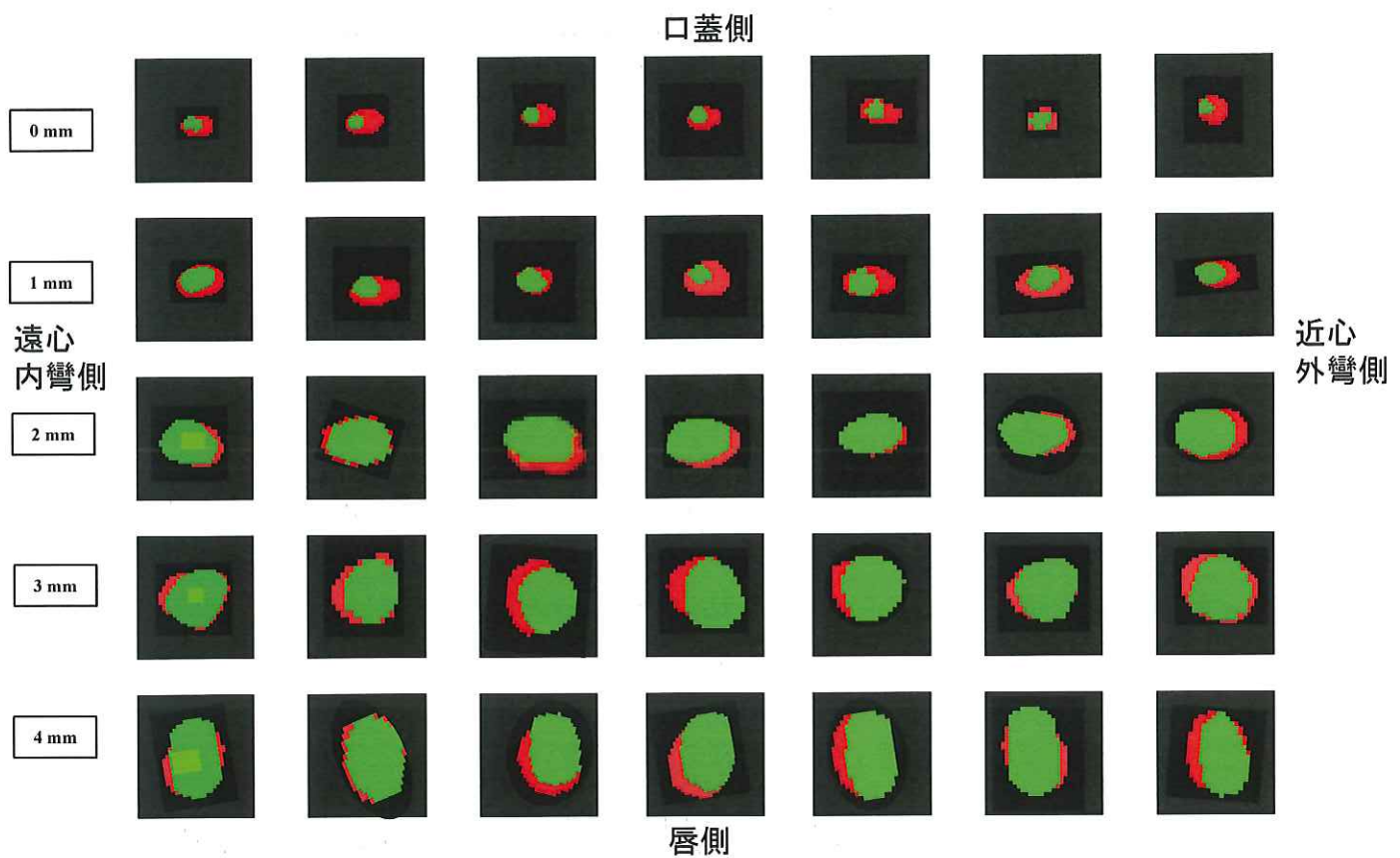
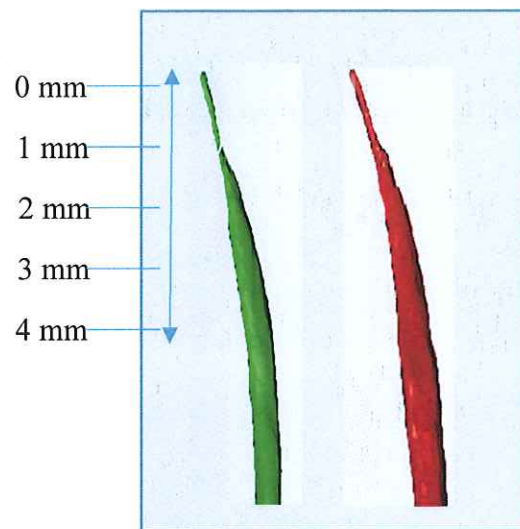


図 5 60° 回転群における根管形成前後のCBCT画像  
緑: 形成前 赤: 形成後



## 唇側面観



## 水平断面

口蓋側

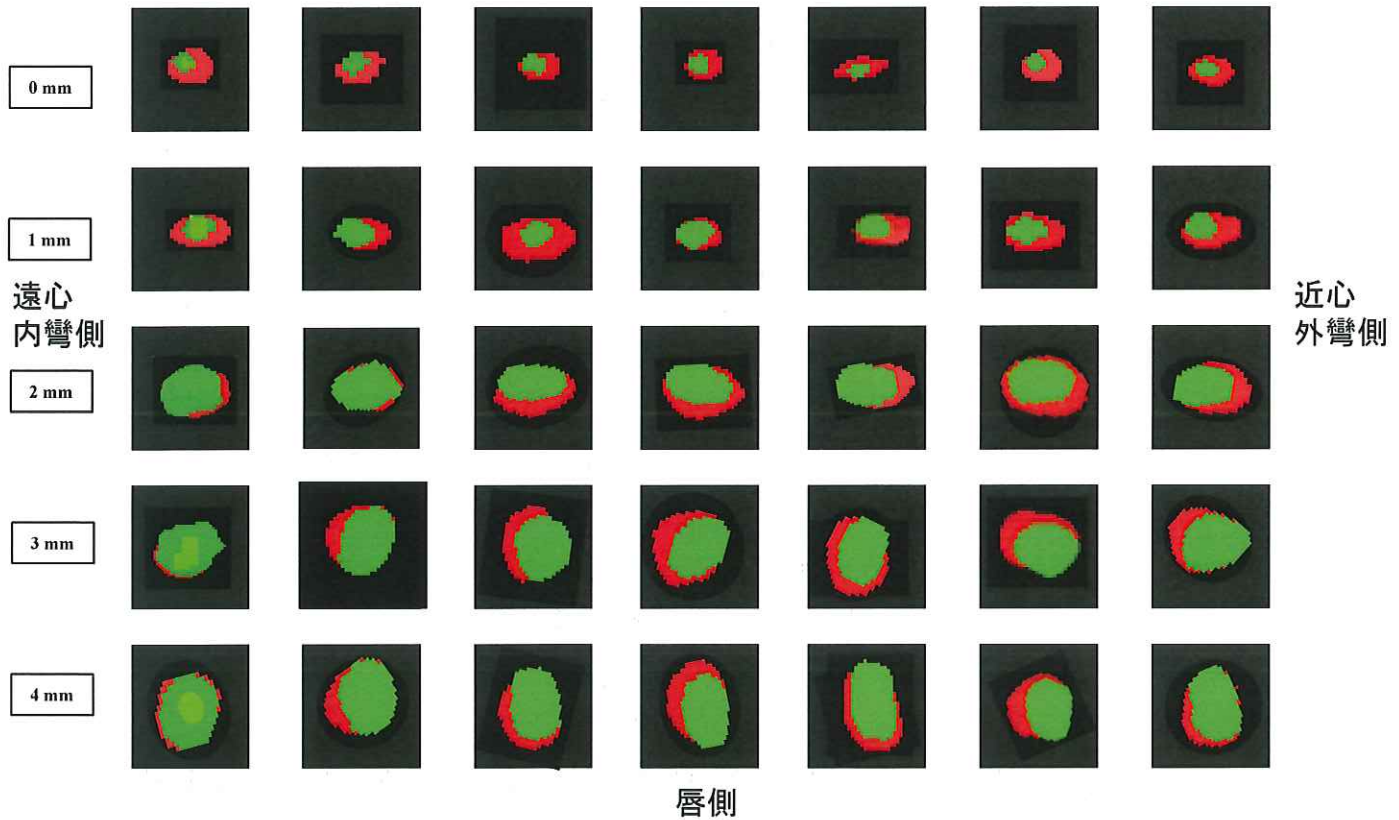
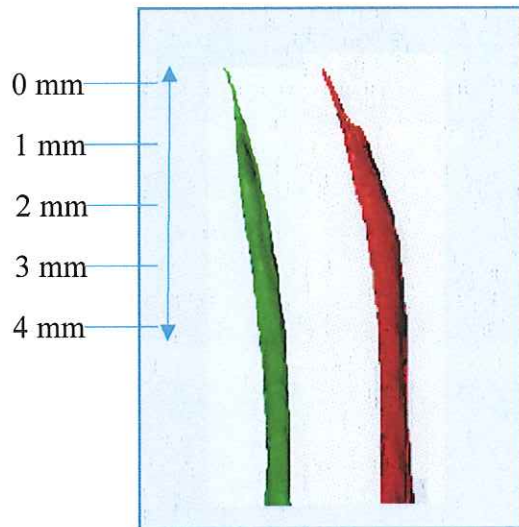


図 6 90° 回転群における根管形成前後のCBCT画像  
緑: 形成前 赤: 形成後

## 唇側面観



## 水平断面

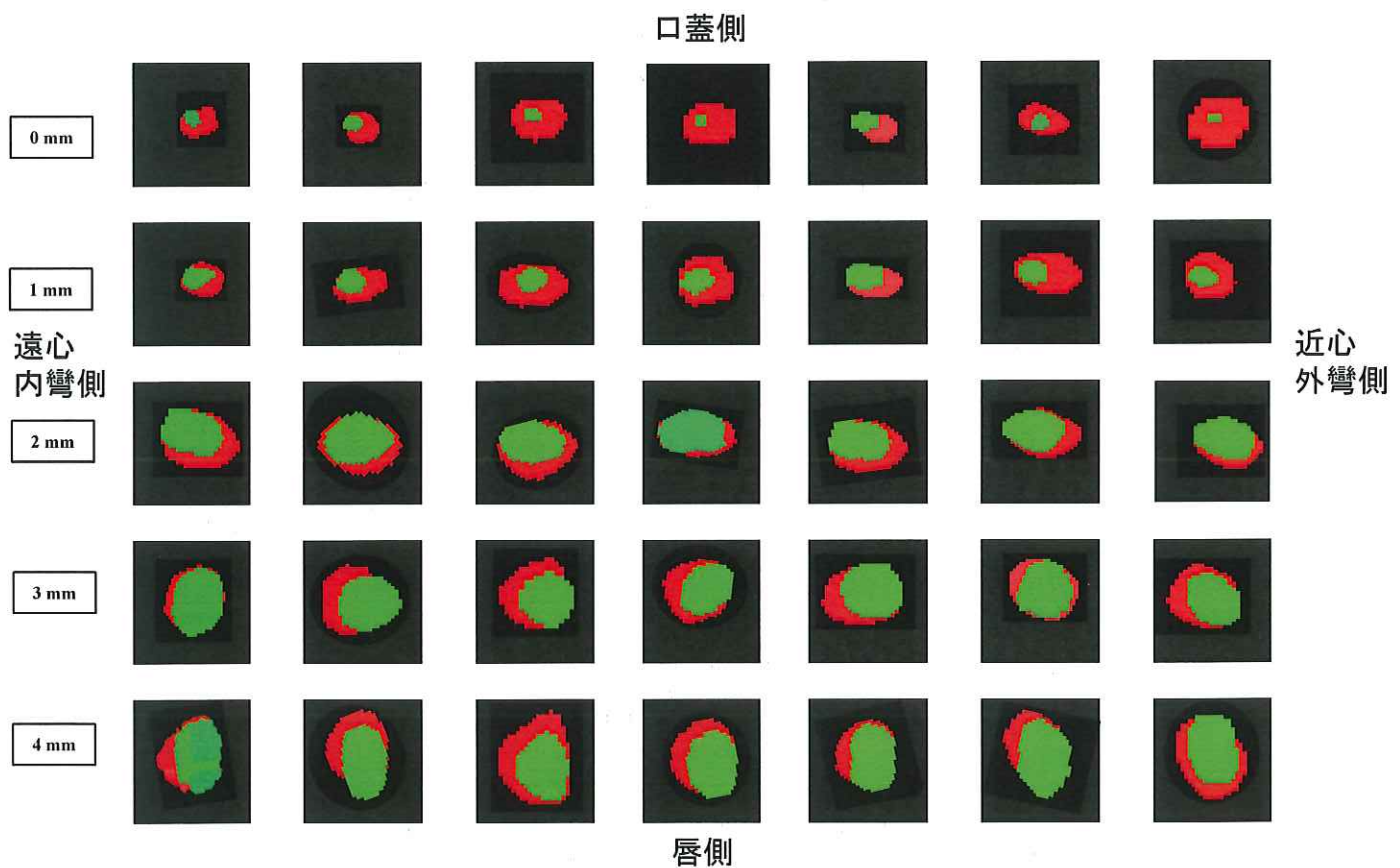
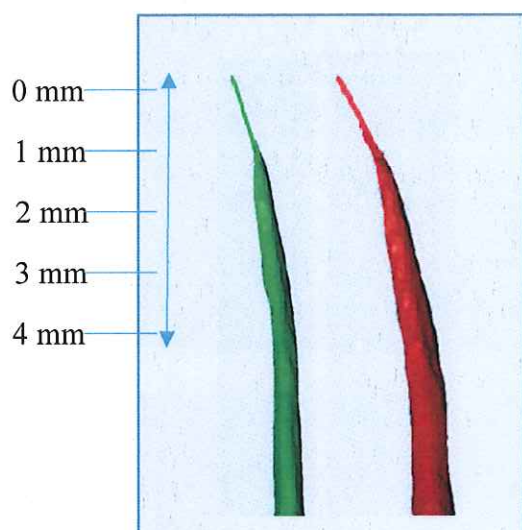


図 7 180° 回転群における根管形成前後のCBCT画像  
緑: 形成前 赤: 形成後

## 唇側面観



## 水平断面

口蓋側

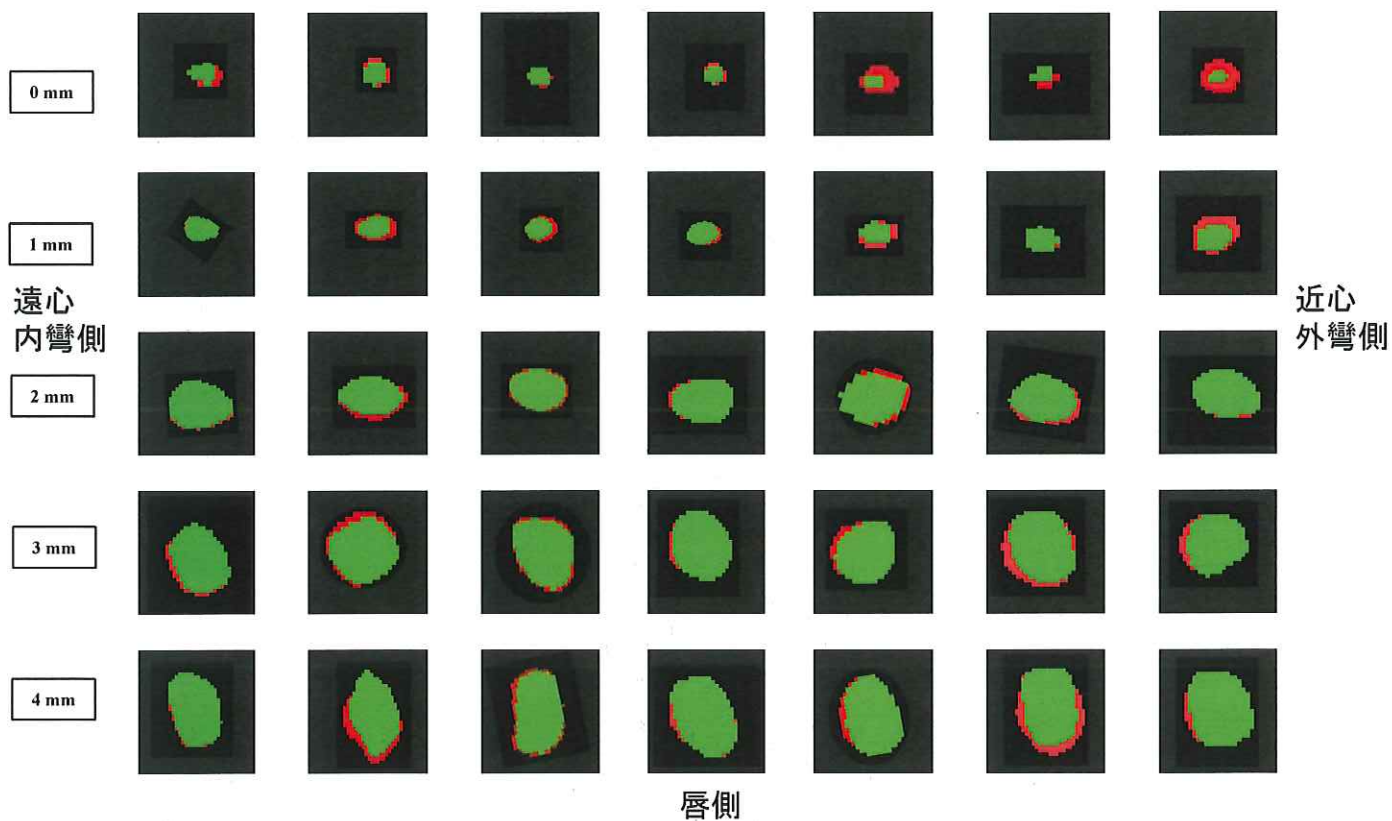
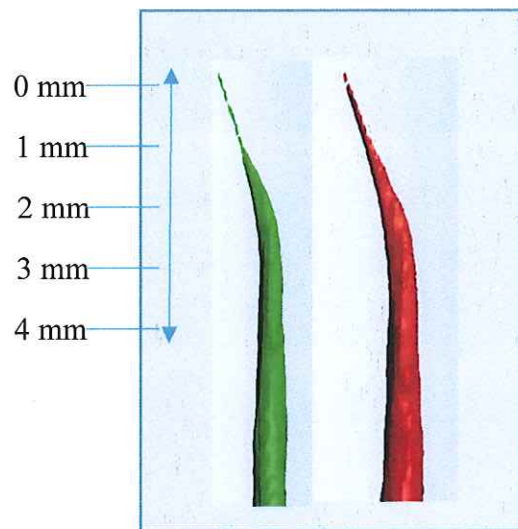


図 8 JH Endo System 群における根管形成前後の  
CBCT画像 緑:形成前 赤:形成後



## 唇側面観



## 水平断面

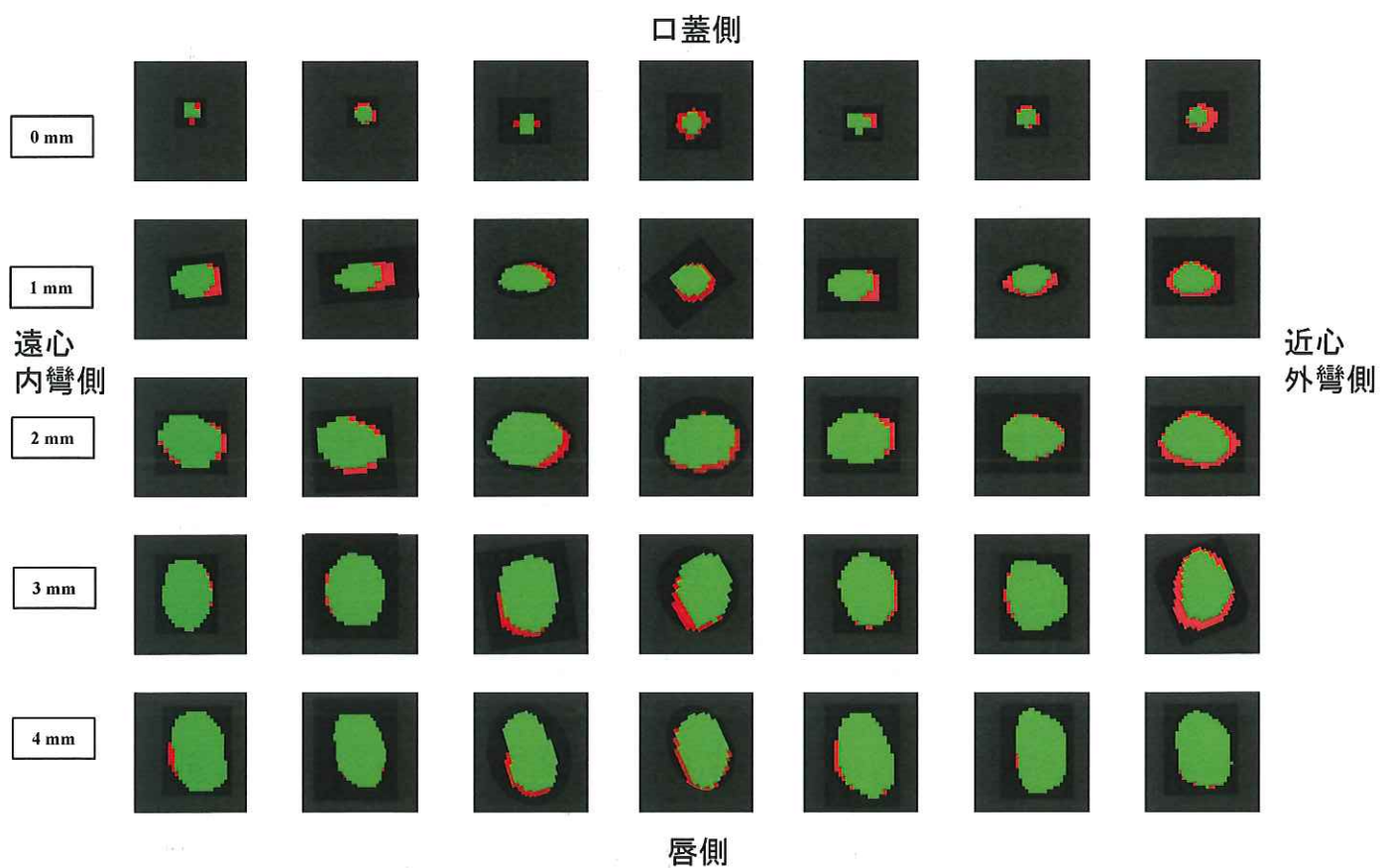
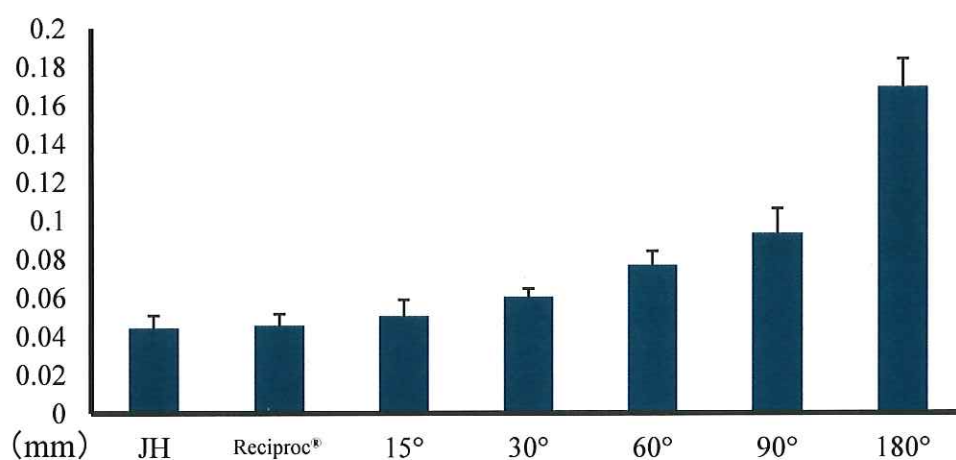


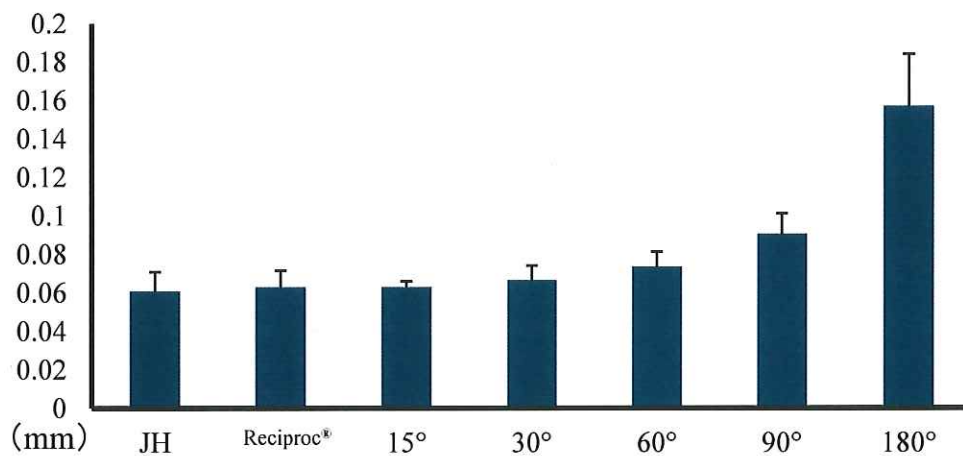
図 9 Reciproc® R25群における根管形成前後の  
CBCT画像 緑:形成前 赤:形成後



	JH	Reciproc®	15°	30°	60°	90°	180°
180°	*	*	*	*	*	*	
90°	*	*	*	*	*		
60°	*	*	*	*			
30°							
15°							
Reciproc®							
JH							

\* p<0.05

**図 10**  
根尖孔における根管形成前後の根管の  
中心2点間距離の比較

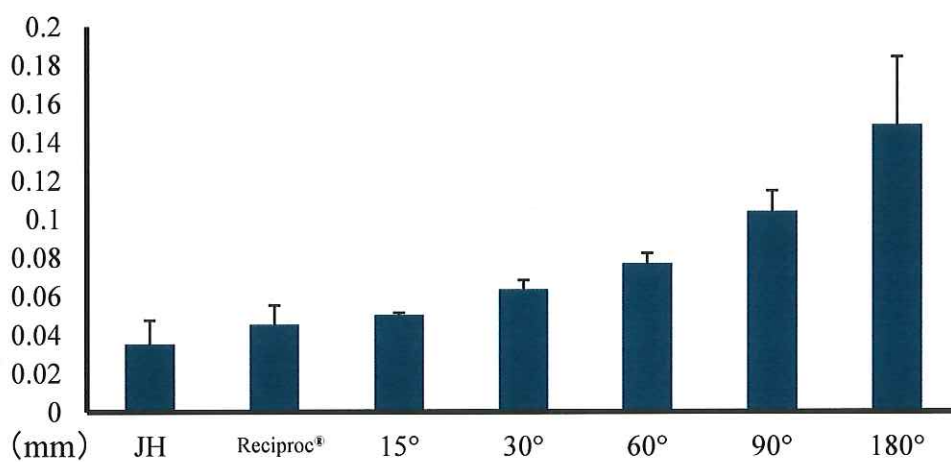


	JH	Reciproc®	15°	30°	60°	90°	180°
180°	*	*	*	*	*	*	
90°	*	*	*	*	*		
60°							
30°							
15°							
Reciproc®							
JH							

\* p<0.05

**図 11**  
根尖孔から1 mm歯冠側における根管形成前後の根管の  
中心2点間距離の比較

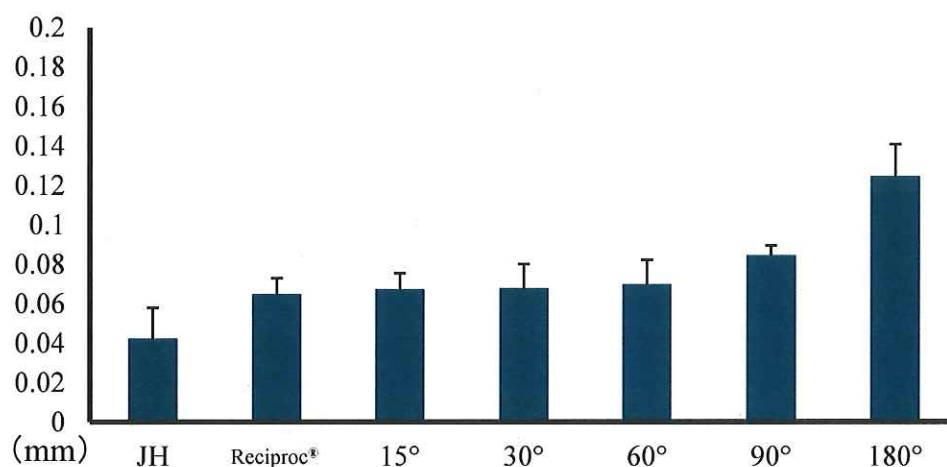




	JH	Reciproc®	15°	30°	60°	90°	180°
180°	*	*	*	*	*	*	
90°	*	*	*	*	*		
60°	*	*	*	*			
30°							
15°							
Reciproc®							
JH							

\* p<0.05

**図 12**  
根尖孔から2 mm歯冠側における根管形成前後の根管の  
中心2点間距離の比較

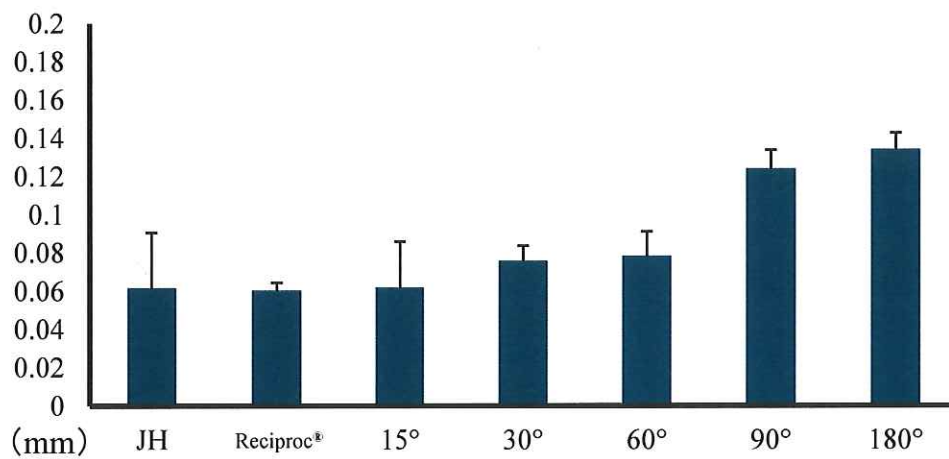


	JH	Reciproc®	15°	30°	60°	90°	180°
180°	*	*					
90°	*	*					
60°	*						
30°	*						
15°							
Reciproc®							
JH							

\* p<0.05

図 13

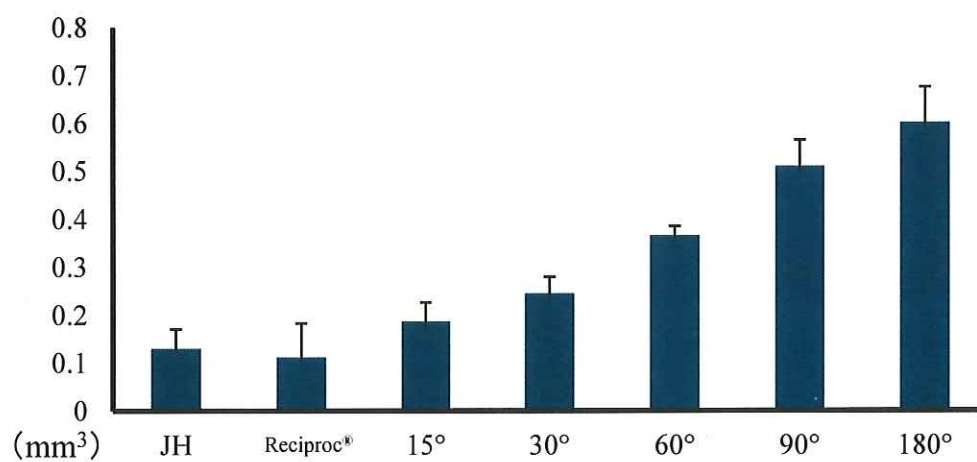
根尖孔から3 mm歯冠側における根管形成前後の根管の中心2点間距離の比較



	JH	Reciproc®	15°	30°	60°	90°	180°
180°	*	*	*				
90°	*	*	*				
60°							
30°							
15°							
Reciproc®							
JH							

\* p<0.05

**図 14**  
根尖孔から4 mm 歯冠側における根管形成前後の根管の  
中心2点間距離の比較

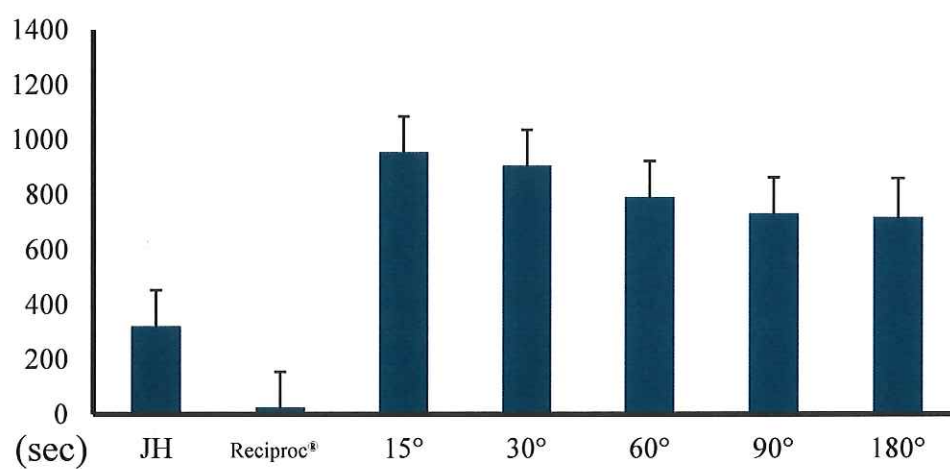


	JH	Reciproc®	15°	30°	60°	90°	180°
180°	*	*	*	*	*	*	
90°	*	*	*	*	*		
60°	*	*	*	*			
30°							
15°							
Reciproc®							
JH							

\* p<0.05

**図 15**  
 根尖孔から4 mm上方までの根管形成前後の  
 根管内壁の切削量の比較





	JH	Reciproc®	15°	30°	60°	90°	180°
180°							
90°							
60°							
30°							
15°							
Reciproc®			*	*	*	*	*
JH		*	*	*	*	*	*

\* p<0.01

図 16  
根管形成所要時間の比較