

マイクロフォーカス X 線 CT による
下顎切歯根管形態の分析

西田 太郎

Analysis of Root Canal Morphology
in Mandibular Incisor
Using Micro-focus X-ray CT

Taro NISHIDA

日本歯科大学大学院生命歯学研究科歯科臨床系専攻
(指 導：勝海 一郎 教授)

The Nippon Dental University, Graduate School of Life Dentistry at Tokyo
(Director: Prof. Ichiroh KATSUUMI)

(2014 年 2 月)

マイクロフォーカス X 線 CT による 下顎切歯根管形態の分析

西田 太郎

Analysis of Root Canal Morphology in Mandibular Incisor
Using Micro-focus X-ray CT

Taro NISHIDA

緒言

根管治療が成功するためには、根管内起炎物質を確実に取り除くとともに、根管の無菌化を図り、三次元的な根管の清掃と形成、そして緊密な封鎖が必須である¹⁻⁵⁾。非外科的歯内療法成功率は、研究者によりさまざまな報告があるが、Torabinejad ら⁶⁾は 78% 程度と厳しく評価している。治療の成功率を高めるためには、熟達したテクニックは無論のこと、広範な歯内療法的知識が必要であるが、なかでも根管の形態を十分に理解していることは最も基本的な重要事項である^{1, 5-10)}。

下顎切歯は単根歯であるが、ほかの歯種と比べて根管径が細く、歯根の近遠心的な圧平による根管の分岐や狭窄、さらには根尖分岐の存在など、多様な形態を示しており、これらの解剖学的形態の複雑さは治療の予後を悪化させる要因となる^{5, 11-13)}。また、根管壁が比較的菲薄なため、過剰な根管壁の切削は歯質の脆弱化を招き、将来の歯根破折の原因となる^{14, 15)}。近年、超弾性の性質を有するニッケルチタン製のロータリーファイルが、臨床に広く使用されている。このロータリーファイルは、湾曲根管に対し優れた追従・適合性を有しており、根管壁の切削時に根管から器具の逸脱が起こりにくいとされている¹⁶⁾。しかし、回転軸を中心とした切削のため、単純な円形の拡大形態となりやすく、扁平な根管では根管の末端部や根管間のイスマスに未切削部位が残存しやすい。このような根管の解剖学的複雑さ、根管の拡大形成の難しさから、下顎切歯は治療が容易とされる単根歯の中でも、治療の成功率は低い^{2, 5, 17, 18)}。

従来、根管形態の分析にはさまざまな研究法が用いられてきたが、試料の分割^{7, 19)}や着色^{1, 9, 20)}による観察は、原形の喪失や着色の度合いにより、必ずしも正確に形態を把握しているとはいえない。また、単純 X 線撮影による観察^{5, 8, 21)}は、非破壊的に内部構造を確認できるが、三次元的な形態の把握は行えない。

近年、試料を非破壊的に三次元な観察が可能なマイクロ CT が、さまざまな分野で内部構造の観察に用いられている^{16, 22, 23)}。本装置は、コンピュータ上で任意の方向から内部構造の観察が可能なため、複雑な根管形態の観察や分析に有用である。

本研究は、この内部構造の観察に有用なマイクロ CT を用い、下顎切歯根管形態の観察と分析を行い、その詳細を明らかにすることを目的に行った。

材料および方法

1. 材 料

実験には、10%中性ホルマリン水溶液中に保存した齲蝕のない下顎切歯 50 歯を使用した。なお、ヒト抜去歯の使用に際しては、日本歯科大学生命歯学部倫理委員会の承認（NDU-T 2011-20）を得た。

2. 方 法

歯は水洗乾燥後、切縁を下方に向けて発泡スチロールブロックに植立し、試料台に固定した。マイクロ CT (ELE-SCAN, 日鉄エレクトックス) による歯の撮影は、管電圧 80kV, 管電流 70 μ A, プロジェクション 900, 積算回数 32 回, 解像度 512 \times 512 pixel の条件で行った。なお撮影は、歯全体の観察用にはスライス厚 52.9 μ mで行い、さらに、根尖側 6mm 部の詳細な観察・分析用には 21.1 μ m の厚さで撮影を行った。

連続的に断層撮影した画像は、画像処理ソフト (TRI/3D-BON, ラトックシステムエンジニアリング) により三次元構築を行い、観察・分析に供した。なお、三次元画像を分析する際、複数の根管が存在するときは、臨床的にファイルが最も挿入しやすいと思われる根管を主根管とした。

1) 歯根の幅径と扁平度および根管の走行

歯の全体撮影像を用い、根尖から 1mm ごとに歯軸と直交する断層像を 16mm の位置まで作成した。各断面位置における歯根の近遠心径と唇舌径を計測し、近遠心径を唇舌径で除して扁平度を求めた。なお、三次元画像における根管の走行を精査し、その走行を単根管, 2 根管 1 根尖孔, 2 根管 2 根尖孔の 3 種に分類した¹¹⁾。2 根管に分離した歯は、歯冠側の根管分岐位置 (Cs) と根尖孔開口部 (Af) との距離 (CsAf-L), および根尖側の合流位置 (As) と Af との距離 (AsAf-L) を計測した (Fig. 1)。

さらに、根尖からの各位置における根管数と歯根近遠心径との関係、根尖からの各位置における根管数と歯根扁平度との関係について、統計ソフトウェア (JMP11, SAS Institute, USA) を用いて Steel-Dwass の多重比較検定を行った。

2) 根管軸の走行方向

歯の全体撮影像を用い、近遠心方向からの断面像を作成し、根管軸の走行方向を調べた(Fig. 2). 根管軸の走行方向は、Mauger ら²⁴⁾の方法を参考に、髓角と根尖孔開口部を直線(L1)でつなぎ、L1を三等分する垂線(L2)を引いた。L2と根管の唇側壁面、舌側壁面の交差する点をつなぎ、その線の中点M1、M2を設定した。根管中央とみなすことのできるM1、M2を通る直線(L3)を引き、その延長線が歯冠表面と交差した位置(P)を唇側、切縁、および舌側に判定、分類した。なお、根管が複数認められる場合は、それぞれについて分析した。

3) 根管長

歯の全体撮影像を用い、唇舌および近遠心方向からの断面像を作成し、根管長を計測した。根管長は、切縁中央から髓角、根管中央部を經由し、根尖孔開口部までの長さとした。なお根管が分岐している歯は、主根管の長さを計測した。

4) 根管湾曲度

歯の全体撮影像を用い、唇舌および近遠心方向からの断面像を作成し、根管の湾曲度を測定した。湾曲度はSchneider²¹⁾の方法に準じて、根管の長軸同士がなす角度を測定した(Fig. 3)。複数の湾曲がみられる歯は、湾曲の変換点同士を結んだ直線を計測基準線として使用し、それぞれの湾曲度を記録した。

5) 根管幅径と扁平度

歯の全体撮影像を用い、根尖孔開口部から16mmの位置までの1mmごとの断面像を用い、根管の近遠心径と唇舌径を計測した。鈴木ら²⁵⁾の方法を参考に、近遠心径を唇舌径で除して根管扁平度を求めた。なお、根管が複数認められた歯では、主根管を計測した。さらに根尖孔からの各位置における根管数と近遠心径との関係について、Steel-Dwassの多重比較検定を行った。

6) 根管断面の変形

歯の全体撮影像を用い、歯根の圧平による根管断面の変形度合いを評価した。根尖孔開口部から16mmの位置まで、1mmごとの断面像を作成し、各断面像における変形状態をTable 1に基づき判定、分類した。

7) 根尖孔の開口位置

根尖部の詳細撮影像を用い、唇舌および近遠心方向からの断面像を作成した。計測はKuttler ら⁷⁾の方法に準じて、根尖から根尖孔開口部中央までの距離を計測した。また、根尖と根尖孔開口位置の関係について相関の有無を調べた。

8) 根尖部の根管形態と根尖分岐

根尖部の詳細な撮影像を用い、唇舌および近遠心方向から根尖の根管形態を評価した。Dummer ら¹⁹⁾の方法を参考に、断面像上で単一狭窄型、テーパー型、パラレル型、フレア型、根尖分岐型、複数狭窄型に分類した。

さらに根尖分岐の有無，分岐状態を調べ，根管の分岐数を記録した．また，唇舌および近遠心方向からの断面像上で，分岐開始点から根尖までの距離を測定した (Fig. 4)．

結果

1. 歯根の幅径と扁平度および根管の走行

下顎切歯における，根管の走行状態の代表像を Fig. 5 に，CsAf-L と AsAf-L の計測結果を Table 2 に示す．また，根尖からの各位置における根管数と歯根の幅径，および扁平度の測定結果を Table 3 に，根尖からの各位置における根管数と歯根の近遠心径との関係を Table 4，根管数と歯根扁平度との関係を Table 5 に示す．

根管は，50 歯中 44 歯 (88%) が単根管で最も多く，5 歯 (10%) が 2 根管 1 根尖孔，1 歯 (2%) が 2 根管 2 根尖孔であった．2 根管 2 根尖孔歯では根管間に管間側枝を認めたが，根管から歯根表面に到達する管外側枝は，全ての歯で認められなかった．なお根管の分岐は，歯根の中ほど，8～10mm で起こることがわかった．

根管数による歯根の近遠心径の差異は同じ切断位置では認められなかったが，歯冠側における唇舌径は，2 根管歯の方が大きい傾向を示した．単根管歯の歯根形態は，歯冠側ほど円形に近づくが，2 根管歯は歯冠側の歯根の扁平度が強かった．なお，同じ断面位置において単根管歯と 2 根管歯で，歯根近遠心径，扁平度に統計学的差異は認められなかった (Table 4, 5)．

2. 根管軸の走行方向

根管軸の走行方向は 53 根管中 27 根管 (50.9%) が切縁方向に，25 根管 (47.2%) が唇側，1 根管 (1.9%) が舌側方向に走行した．なお，2 根管歯において，根管軸の走行方向が異なったのは 3 歯であった．

3. 根管長

根管長は，唇舌方向からの観察では平均 19.25mm (SD:1.37)，近遠心方向からでは 19.05mm (SD:1.41) と測定方向によって差があり，根管長の最長は 22.02mm と 21.74mm，最短は 15.71mm と 15.27mm であった．

4. 根管湾曲度

根管の湾曲は，50 歯中 45 歯 (90%) で認められた．唇舌的な湾曲は 42 歯 (84%) で認められ，44 カ所の湾曲のうち，10 度未満の湾曲は 19 カ所 (43.2%)，10 度以上の湾曲は 25 カ所 (56.8%) であった．また，近遠心的な湾曲は 30 歯 (60%) で認められ，32 カ所の湾曲のうち，10 度未満の湾曲は 20 カ所 (62.5%)，10 度以上の湾曲は 12 カ所 (37.5%) であった．唇舌と近遠心からの両断面像で，湾曲

が10度未満であった歯は50歯中20歯(40%)であった。また、複数の湾曲を有する歯は、唇舌および近遠心方向からの両断面像でそれぞれ2歯(4%)あった。

5. 根管幅径と扁平度

根尖孔開口部からの各位置における根管の幅径と扁平度の測定結果をTable 6, 根尖孔からの各位置における根管数と根管の近遠心径との関係をTable 7に示す。2根管に分離した歯根の断面位置を中心として主根管の扁平度は小さくなっていたが(Table 6), 根尖孔からの同位置における単根管歯と2根管歯の根管近遠心径に差異は認められなかった(Table 7)。

6. 根管断面の変形

根尖孔開口部からの各位置における根管断面の変形度合いをTable 8に示す。根管断面の86.7%が変形のないa型, 5.9%が近遠心壁のいずれかに変形を認めるb型, 4.3%が近遠心両壁に変形を認めるc型, 0.7%が根管間にフィンが存在するd型, 2.5%が完全分離するe型を示した。

7. 根尖孔の開口位置

根尖と根尖孔の開口位置の関係をFig. 6に示す。根尖孔の開口位置は、近遠心方向からの観察では根尖に一致し開口する歯が50歯中15歯(30%), 唇側に開口する歯が29歯(58%), 舌側が6歯(12%)であった。唇舌方向からの観察では根尖に一致し開口する歯が30歯(60%), 近心が12歯(24%), 遠心が8歯(16%)であった。唇舌および近遠心の両方向からの観察で、根尖孔が根尖と一致した歯は8歯(16%)あった。

また、根尖孔の開口位置は根尖から唇側に平均0.34mm(SD:0.29), 近心に0.03mm(SD:0.49)偏位していた。なお、最大値は唇舌的には1.26mm, 近遠心的には0.93mmであった。また、根尖孔の偏位の分布について、統計的に分析したところ、分布に有意な相関は認められなかった($r=-0.119$)。

8. 根尖部の根管形態と根尖分岐

根尖部の根管形態の代表像をFig. 7に示す。近遠心方向からの観察では単一狭窄型が50歯中12歯(24%), テーパー型12歯(24%), パラレル型13歯(26%), フレア型3歯(6%), 根尖分岐型9歯(18%), 複数狭窄型1歯(2%)であった。唇舌方向からの観察では単一狭窄型が5歯(10%), テーパー型7歯(14%), パラレル型37歯(74%), フレア型1歯(2%)であった。また、唇舌および近遠心両方向からの観察でおのこの形態の一致した歯は、単一狭窄型が1歯(2%), テーパー型2歯(4%), パラレル型11歯(22%)であった。

根尖分岐は、50歯中11歯(22%)で認められ、2分岐が7歯(14%), 3分岐が3歯(6%), 5分岐したものが1歯(2%)あった(Fig. 8)。なお、根尖分岐開始点から根尖までの距離の平均は、唇舌および近遠心方向からの観察像でそれぞれ1.01mm, 1.03mmであった(Table 9)。

考察

根管治療は、根管内の起炎物質を確実に除去し、可能なかぎり細菌を抹殺したのち、根管を緊密に封鎖することによって、再度の細菌の侵入と起炎物質の蓄積を防止し、根尖歯周組織の健康を維持することを目的とする¹⁻⁵⁾。根管の拡大形成は、感染源となりうる有機成分を確実に除去するとともに、緊密な根管充填が可能なように、根管の形態を適切に整える重要な過程で、治療成功のためには根管の解剖学的形態・歯種による特徴を、十分に理解しておくことが重要である^{1, 5, 7-10)}。髓室開拡から始まり、根管の拡大形成、根管の消毒、根管充填と各治療の過程を確実に進めることによって、初めて治療は成功に導かれる。

下顎切歯は単根であるが¹²⁾、歯根は近遠心的に圧平され、それに伴い根管も扁平化して楕円形を呈し、さらに、根管の分岐やフィン、管間側枝の形成を起こす¹⁰⁻¹³⁾。根管の走行の分類には多様な方法があるが、Weine¹¹⁾は、根管と根尖孔の数を基本に分類を行っている。下顎切歯は90%以上が単根管であるとされるが、多数の根管を認めるとの報告もある^{1, 5, 8, 9, 11)}。本研究では、44歯(88%)が単根管歯であったが、2根管1根尖孔歯が5歯(10%)、2根管2根尖孔歯が1歯(2%)あった。2根管への分岐位置は、根尖孔から平均8.27mmと、歯根の中程で起きており、根管の探索は臨床的にに行いにくいものとなっている。下顎切歯の2根管歯は、通常のX線撮影を行うと、根管が唇舌的に重なるため、根管の走行状態を正確に把握することは難しく、また偏心投影を行っても限度がある¹¹⁾。このため、下顎切歯の治療に際しては、2根管歯が存在することを念頭に、根尖から8mm前後の位置で根管の探索を慎重に行うことが必要である。

また、髓室開拡後、根管の探索を適切に行うためには、下顎切歯の根管の軸方向を理解していることが重要である。根管軸は53根管中約半数の25根管(47.2%)が、唇側方向に走行していた。切歯の髓室開拡は舌面から行われるが¹³⁾、根管へのアクセスを容易にし、治療操作を行いやすくするためには、突出した根管の舌側壁を適切に削除する必要がある^{1, 5)}。Maugerら²⁴⁾は、下顎切歯の切縁ないしは唇側からの髓室開拡が根管へのアクセスを容易にするとしているが、唇側への歯質の過剰な切削は歯質の脆弱化を招き、また審美的な問題を引き起こすほか、修復操作を複雑化するため避けるべきである。なお、舌側からの開拡操作においても、微細な髓角を残存させる可能性があることが報告されており⁵⁾、髓室開拡時には注意が必要である。

舌面からの髓室開拡時に、根管軸が唇側方向に走行している場合、根管の探索のために挿入したファイルは舌側へと逆方向に向かい、根管の探索は行いにくい。髓室開拡が適切に行われているときは、唇側の髓室壁に沿って器具は根管にスムーズに挿入できるが、開拡時にステップ形成などの不備があれば器具

の挿入は障害される．また 2 根管のときは，ファイルの先端をさらに舌側に屈曲させ慎重に根管を探索しない限り，根管を見逃し治療は失敗する．

今回の実験で，管間側枝が 1 歯に認められたが，Peiris ら²⁶⁾によると若年者と高齢者ではあまりみられず，30 歳代で多く認められるとしている．また，管外側枝は，全ての歯で認められなかったが，管外側枝の少なさは下顎切歯の特徴といえるかもしれない．ファイルによる管間側枝内の直接的な機械的切削は不可能であるが，管間側枝に限らず根管が扁平化すると根管間に溝状のフィンが生じ，切削による感染源の除去が困難になるので注意が必要である．

歯の長さ（切縁から根尖）は藤田ら²⁷⁾によると下顎中切歯は 19.9mm，下顎側切歯は 21.2mm としている．今回の結果において，根管長（切縁から根尖孔開口部）は，唇舌方向からの観察では 19.25mm，近遠心方向からでは 19.05mm と，測定方向によって差異が生じたが，これは根管の湾曲に起因している．臨床における根管長の測定，特に 2 根管歯においては，ファイルを根管に挿入し実際に到達位置を確認することが重要である．

Pineda ら⁸⁾によると，根管の湾曲は 97%に認められ，85%は根尖側 1/3 で湾曲していたとしている．また Miyashita ら²⁸⁾は，下顎切歯の 3.7%の根管が直線的か 10 度未満のほとんど湾曲のないものであるとした．本研究において，唇舌的な湾曲は 42 歯(84%)で認められ，44 カ所の湾曲のうち 10 度以上の湾曲は 25 カ所(56.8%)と多くなっていたが，近遠心的な湾曲は 30 歯(60%)で，32 カ所の湾曲のうち 10 度未満の湾曲が 20 カ所(62.5%)と逆に多かった．臨床において，通常の X 線撮影では，唇舌方向の湾曲を把握することは困難であり¹¹⁾，根管の湾曲を認識せずに，剛性の強いステンレススチール製のファイルで拡大すると，根管からの器具の逸脱によるレジンやジップ，さらには根管壁穿孔などのトラブルが起こりうる²⁹⁾．このため，根管へのファイルの挿入に際して急に強い抵抗感を覚えたら，根管が湾曲しているものと考えて，ステップバック形成などの湾曲根管に対する，拡大形成法に切り替える必要がある．

Green ら³⁰⁾によると，根管の幅径は根尖孔開口部で 0.3mm 程度とされ，ほかの前歯よりも狭い．根尖孔から 1mm のところでファイルの 30～40 番程度の太さのものが最も多く，3mm 以上歯冠側では 70 番以上という報告もある²⁸⁾．本研究では，多くの歯が根尖孔開口部で，円形に近い形を示したが，根尖孔から 5mm の部位では根管は近遠心的に圧平されて楕円形を呈し，さらに上方では根管の扁平度が 2 根管歯で強かった．

近年，超弾性の性質を有し湾曲した根管にも対応が可能で，迅速な拡大形成が行えるニッケルチタン製のロータリーファイルが普及している．このニッケルチタン製ロータリーファイルによる回転切削は，切削後の根管の形が回転軸を中心とした円形になるため，扁平度の強い根管に用いた場合，根管側壁全体

にファイルを接触させることは不可能で末端部に未切削部位が残存する³¹⁾。マイクロ CT を用いた研究では、根管壁の 35% 以上に未切削部位が残存したという報告もある¹⁶⁾。下顎切歯のような扁平度の強い根管では、未切削の根管壁が残存しやすいため、次亜塩素酸ナトリウム剤を用いた残存有機物の溶解による清掃を行うなどの注意が必要である。

今回の研究に用いた下顎切歯の正確な年齢は不明であるが、根管断面に狭窄様の変形を認める歯が 14% 程観察された。これは第二象牙質の添加による歯髓腔の狭窄によるものと考えられるが¹⁰⁾、所見からはファイルの通過は十分に可能であり、通常の拡大操作で大多数の症例への対処は可能なものとする。

Vertucci¹⁾は、根尖孔開口部は下顎中切歯で 75%、下顎側切歯で 80% が側方に偏位しているとしている。Miyashita ら²⁸⁾は半数程が根尖孔と根尖が一致しており、1mm 以上偏位している歯は 1.8% であったと報告している。また、根尖と根尖孔開口部は平均 0.36mm 偏位しており、最大で 1.38mm 偏位していたとの報告もある¹⁹⁾。本研究では、唇舌および近遠心的に根尖孔と根尖の位置が一致した歯は 50 歯中 8 歯 (16%) で、根尖と根尖孔が一致しない歯が多いことが示されたが、統計分析の結果、偏位の分布に有意差は認められず、根尖孔の開口位置に一定の方向性はないことがわかった。根尖孔開口部は、歯の近心移動に伴い一定方向に移動するとされるが、今回の結果は、近心移動の少ない下顎切歯における特殊性であるものと考えられる。

Dummer ら¹⁹⁾による研究では、根尖部の根管で狭窄が認められるのは 46% 程度で、テーパ型や平行型などの形態の根管もあるとしている。また、マイクロ CT を用いた研究では、35% の根管で狭窄部が認められたとされているが²²⁾、本研究では、単一狭窄型が近遠心方向からの観察で 50 歯中 12 歯 (24%)、唇舌方向からの観察で 5 歯 (10%) と少なかった。狭窄部の形態によっては、手指の感覚により狭窄部を触知し根管長を推測することは難しく¹⁹⁾、電氣的根管長測定器や X 線撮影などによる根管長測定がより必要となる³²⁾。また、臨床において、不明瞭な根尖狭窄部は、アピカルシートの設置を難しくしており、このことから下顎切歯の治療は難度が高いものといえる。

Miyashita ら²⁸⁾は、根尖分岐は 19.7% で認められ、2 分岐の歯が 80.8%、3 分岐が 17.8%、4 分岐以上は 1.4% であったと報告している。また、De Deus³³⁾は、下顎切歯の 3.6% に根尖分岐が認められ、全て根尖側 3mm に集中していたと報告している。Kim ら³⁴⁾は、同様に根尖分岐は根尖側 3mm に 98% が集中しており、その位置で根尖切除術を行えばよいとしている。本研究の結果では、根尖側 2mm 以内にすべての根尖分岐が集中しており、根尖部の拡大形成や根管充填に支障を来すことはないものとする。

今回の研究で、下顎切歯の解剖学的形態の複雑さ、治療の難しさが改めて示

された。臨床において、通常の X 線撮影では、下顎切歯の複雑な解剖学的形態を把握することは困難である。下顎切歯においては、コーンビーム CT による根管の三次元的形態の術前の把握が不可欠であり、さらに詳細な観察が可能な、解像度の優れた機種の開発が望まれる。

結論

ヒト下顎切歯 50 歯に対して、マイクロ CT により撮影を行い、三次元画像を構築した画像の詳細な観察・分析から、以下の結論を得た。

1. 根管は、50 歯中 44 歯が単根管で、5 歯が 2 根管 1 根尖孔、1 歯が 2 根管 2 根尖孔であった。
2. 根管軸は、53 根管中 27 根管が切縁方向に、25 根管が唇側、1 根管が舌側に走行した。
3. 根管長は、唇舌方向からの観察では平均 19.25mm、近遠心方向からでは 19.05mm と、測定方向により差異がみられた。
4. 根管の唇舌的な湾曲は 42 歯でみられ、10 度未満よりも 10 度以上の強湾曲が多かった、また、近遠心的な湾曲は 30 歯でみられ、10 度以上よりも 10 度未満の弱湾曲が多かった。
5. 根尖孔からの各同位置における根管の近遠心径の比較では、単根管歯と 2 根管歯間で統計的差異はみられなかった。
6. 根尖孔からの各位置における根管の変形度合いは、86.7%が変形なし、5.9%が近遠心壁のいずれかの変形、4.3%が近遠心両壁の変形、0.7%が根管間のフィンの存在、2.5%が根管の完全分離であった。
7. 根尖孔の開口位置は、近遠心方向からの観察では根尖に一致したものが 50 歯中 15 歯、唇側開口が 29 歯、舌側開口が 6 歯で、唇舌方向からの観察では根尖に一致したものが 30 歯、近心が 12 歯、遠心が 8 歯であった。なお、根尖孔の開口位置は、根尖から唇側に平均 0.34mm、近心に 0.03mm 偏位していたが、偏位の分布に相関はなかった。
8. 根尖の根管形態は、近遠心方向からの観察では単一狭窄型が 50 歯中 12 歯、テーパ型 12 歯、パラレル型 13 歯、フレア型 3 歯、根尖分岐型 9 歯、複数狭窄型 1 歯で、唇舌方向からでは単一狭窄型が 5 歯、テーパ型 7 歯、パラレル型 37 歯、フレア型 1 歯であった。

下顎切歯は、根管軸の唇側変位による髓室開拓の行いにくさ、根管の複雑な分岐や湾曲による形態の把握や拡大形成の困難さ、明瞭な根尖狭窄部の欠如による根尖部形成の難しさなどにより、治療の難度が高いことが今回の研究により裏付けられた。臨床においては、下顎切歯の解剖学的特徴を十分に理解した上

で、コーンビーム CT を活用し慎重に治療する必要があることが再認識された。

文献

1. Vertucci FJ. Root canal anatomy of the mandibular anterior teeth. J Am Dent Assoc 1974; 89: 369-371.
2. Sjögren U, Hägglund B, Sundqvist G, Wing K. Factors affecting the long-term results of endodontic treatment. J Endod 1990; 16: 498-504.
3. Trope M. The vital tooth - its importance in the study and practice of endodontics. Endod Topics 2003; 5: 1.
4. Ricucci D, Bergenholtz G. Bacterial status in root-filled teeth exposed to the oral environment by loss of restoration and fracture or caries—a histobacteriological study of treated cases. Int Endod J 2003; 36: 787-802.
5. Vertucci FJ, Haddix JE. Tooth morphology and access cavity preparation. Hargreaves KM, Cohen S. Cohen's pathway of the pulp. 10th ed. Mosby: St. Louis, MO; 2011. 136-222.
6. Torabinejad M, Corr R, Handysides R, Shabahang S. Outcomes of nonsurgical retreatment and endodontic surgery: a systematic review. J Endod 2009; 35: 930-907.
7. Kuttler Y. Microscopic investigation of root apices. J Am Dent Assoc 1955; 50: 544-552.
8. Pineda F, Kuttler Y. Mesiodistal and buccolingual roentgenographic investigation of 7,275 root canals. Oral Surg Oral Med Oral Pathol 1972; 33: 101-110.
9. Vertucci FJ. Root canal anatomy of the human permanent teeth. Oral Surg Oral Med Oral Pathol 1984; 58: 589-599.
10. Walton RE, Vertucci FJ. Internal anatomy. Torabinejad M, Walton RE. Endodontics principles and practice. 4th ed. Saunders: St. Louis; 2009. 216-229.
11. Weine FS. Initiating endodontic treatment. Weine FS. Endodontic therapy. 6th ed. Mosby: St. Louis; 2004. 104-163.
12. Cleghorn BM, Goodacre CJ, Christie WH. Morphology of teeth and their root canal systems. Ingle JI, Bakland LK, Baumgartner JC. Ingle's endodontics. 6th ed. BC Decker: Hamilton; 2008. 151-220.
13. Johnson WT, Williamson AE. Isolation, endodontic access, and length determination. Torabinejad M, Walton RE. Endodontics principles and practice. 4th ed. Saunders: St. Louis; 2009. 230-257.
14. Trabert KC, Caput AA, Abou-Rass M. Tooth fracture—a comparison of

- endodontic and restorative treatments. *J Endod* 1978; 4: 341-345.
15. Robbins JW. Guidelines for the restoration of endodontically treated teeth. *J Am Dent Assoc* 1990; 120: 558-562.
 16. Peters OA, Schönenberger K, Laib A. Effects of four Ni-Ti preparation techniques on root canal geometry assessed by micro computed tomography. *Int Endod J* 2001; 34: 221-230.
 17. Kerekes K, Tronstad L. Long-term results of endodontic treatment performed with a standardized technique. *J Endod* 1979; 5: 83-90.
 18. Caplan DJ, Kolker J, Rivera EM, Walton RE. Relationship between number of proximal contacts and survival of root canal treated teeth. *Int Endod J* 2002; 35: 193-199.
 19. Dummer PM, McGinn JH, Rees DG. The position and topography of the apical canal constriction and apical foramen. *Int Endod J* 1984; 17: 192-198.
 20. Madeira MC, Hetem S. Incidence of bifurcations in mandibular incisors. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1973; 36: 589-591.
 21. Schneider SW. A comparison of canal preparations in straight and curved root canals. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1971; 32: 271-275.
 22. Meder-Cowherd L, Williamson AE, Johnson WT, Vasilescu D, Walton R, Qian F. Apical morphology of the palatal roots of maxillary molars by using micro-computed tomography. *J Endod* 2011; 37: 1162-1165.
 23. Yamamura B, Cox TC, Heddaya B, Flake NM, Johnson JD, Paranjpe A. Comparing canal transportation and centering ability of endosequence and vortex rotary files by using micro-computed tomography. *J Endod* 2012; 38: 1121-1125.
 24. Mauger MJ, Waite RM, Alexander JB, Schindler WG. Ideal endodontic access in mandibular incisors. *J Endod* 1999; 25: 206-207.
 25. 鈴木多恵子, 勝海一郎, 中村恭政. 扁平根管におけるラテラル・コンデンセーション法による根管充填の研究. *日歯保存誌* 1992; 35: 533-553.
 26. Peiris HR, Pitakotuwage TN, Takahashi M, Sasaki K, Kanazawa E. Root canal morphology of mandibular permanent molars at different ages. *Int Endod J* 2008; 41: 828-835.
 27. 藤田恒太郎, 桐野忠大, 山下靖雄. 歯の解剖学. 22 版. 金原出版: 東京; 1995. 47-52.
 28. Miyashita M, Kasahara E, Yasuda E, Yamamoto A, Sekizawa T. Root canal system of the mandibular incisor. *J Endod* 1997; 23: 479-484.
 29. Eldeeb ME, Boraas JC. The effect of different files on the preparation shape of severely curved canals. *Int Endod J* 1985; 18: 1-7.

30. Green D. A stereomicroscopic study of the root apices of 400 maxillary and mandibular anterior teeth. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1956; 9: 1224-1232.
31. Weiger R, ElAyouti A, Löst C. Efficiency of hand and rotary instruments in shaping oval root canals. *J Endod* 2002; 28: 580-583.
32. Fouad AF, Reid LC. Effect of using electronic apex locators on selected endodontic treatment parameters. *J Endod* 2000; 26: 364-367.
33. De Deus QD. Frequency, location, and direction of the lateral, secondary, and accessory canals. *J Endod* 1975; 1: 361-366.
34. Kim S, Pecora G, Rubinstein RA. *Color atlas of microsurgery in endodontics*. 1st ed. Saunders: Philadelphia; 2001. 85-94.

図・表および説明文

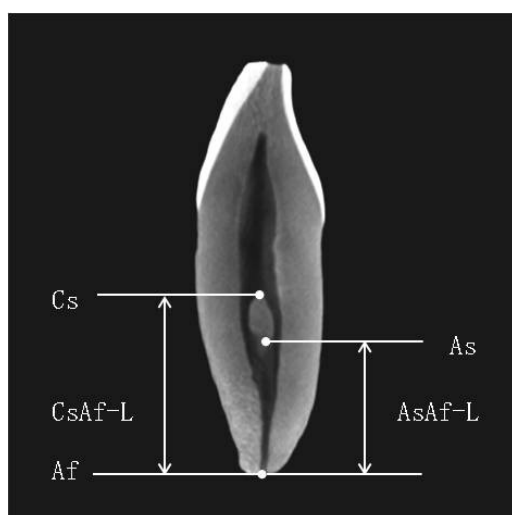


Fig. 1 Distance from coronal separation (Cs) to apical foramen (Af) (CsAf-L) and length from apical separation to Af (AsAf-L)

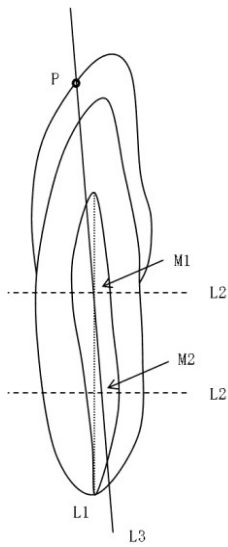


Fig. 2 Direction of root canal axis



Fig. 3 Measurement of root canal curvature (θ) (left: labio-lingual image, right: mesio-distal image)

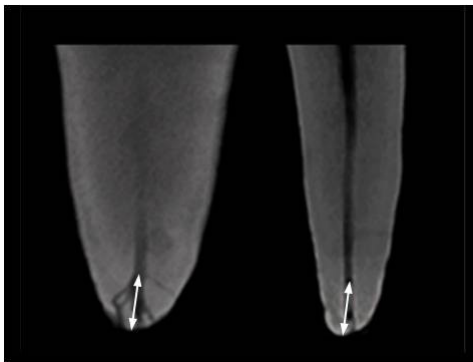


Fig.4 Analysis of apical delta (left: labio-lingual image, right: mesio-distal image)

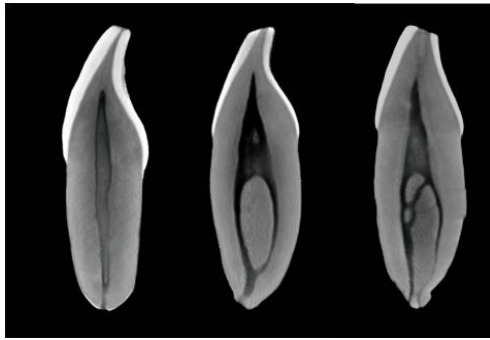


Fig.5 Root canal morphology (left: single canal, center: two canals with one apical foramen, right: two canals with two apical foramina)

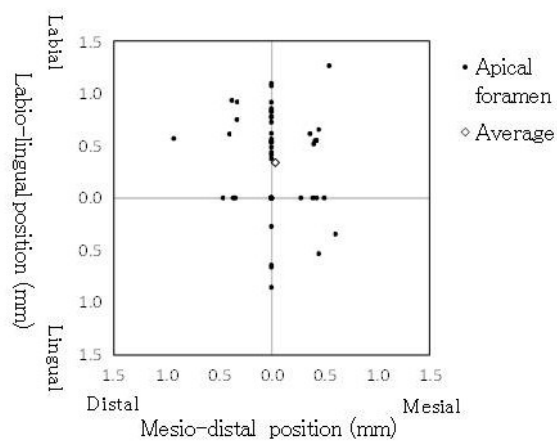


Fig. 6 Direction of apical foramen

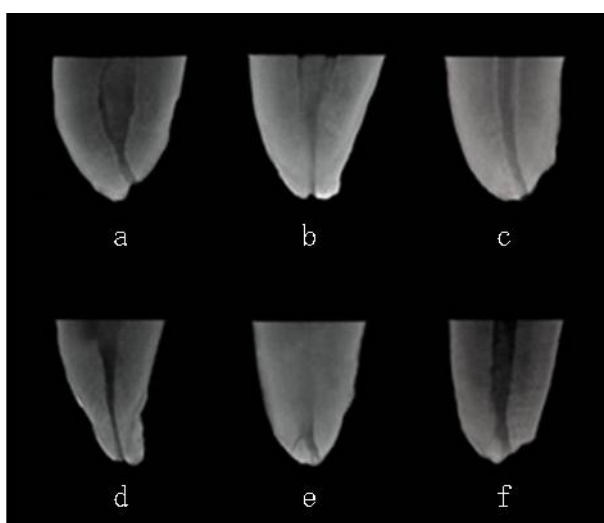


Fig. 7 Morphology of apical root canal (a: single constriction, b: tapering, c: parallel, d: flaring, e: apical delta, f: multi-constriction)

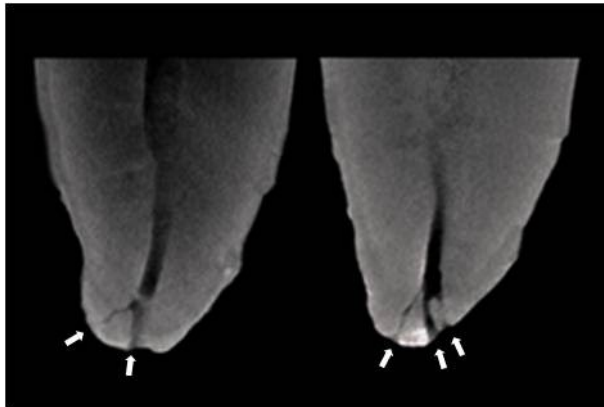


Fig. 8 Morphology of apical delta (left: two ramifications, right: three ramifications, arrow: apical foramen)

Table 1 Criteria for root canal deformation

Type a: No defect
Type b: Defect with mesial or distal wall
Type c: Defect with mesial and distal walls
Type d: Fin between two canals
Type e: Two separated canals

Table 2 CsAf-L, AsAf-L

Sample	CsAf-L(mm)	AsAf-L(mm)
3	7.69	7.28
10	8.62	5.85
13	9.56	–
20	7.60	5.97
27	9.30	2.53
32	8.14	6.71
Mean	8.49	5.67
SD	0.82	1.85

Table 3 Root width and oblateness

Position from apex (mm)		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Mesio-distal width (mm)	Single canal	1.40	1.70	1.99	2.21	2.39	2.56	2.74	2.89	3.09	3.20	3.38	3.50	3.75	4.04	4.36	4.40
	Two canals	1.38	1.65	2.01	2.24	2.45	2.57	2.73	2.92	3.00	3.11	3.27	3.40	3.53	3.71	4.03	4.45
Labio-lingual width (mm)	Single canal	2.47	3.37	3.98	4.42	4.75	5.01	5.24	5.35	5.40	5.45	5.50	5.53	5.34	5.13	4.77	4.33
	Two canals	2.29	3.27	4.16	4.68	5.16	5.54	5.83	6.02	6.12	6.15	6.06	6.02	6.14	6.09	5.68	4.97
Oblateness	Single canal	0.57	0.50	0.50	0.50	0.50	0.51	0.52	0.54	0.57	0.59	0.61	0.63	0.70	0.79	0.92	1.02
	Two canals	0.60	0.51	0.48	0.48	0.48	0.46	0.47	0.48	0.49	0.51	0.54	0.56	0.57	0.61	0.71	0.90

Table 4 Statistical results between root canal type and mesio-distal root width

[illegible]

*: $p < 0.05$, **: $p < 0.01$

Table 5 Statistical results between root canal type and root oblateness

[illegible]

*: $p < 0.05$

Table 6 Root canal width and oblateness

Position from Af(mm)		Af	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Mesio-distal width (mm)	Single canal	0.31	0.29	0.31	0.33	0.34	0.37	0.41	0.47	0.52	0.56	0.59	0.66	0.71	0.75	0.84	0.91	1.04
	Two canals	0.35	0.27	0.30	0.32	0.34	0.36	0.36	0.37	0.45	0.45	0.51	0.54	0.62	0.77	0.73	0.98	1.26
Labio-lingual width (mm)	Single canal	0.39	0.44	0.49	0.61	0.76	0.92	1.07	1.13	1.17	1.15	1.06	1.02	0.89	0.75	0.57	0.50	0.54
	Two canals	0.40	0.42	0.56	0.59	0.72	1.01	1.00	0.76	1.05	1.77	1.71	1.76	1.67	1.40	1.07	0.78	0.51
Oblateness	Single canal	0.85	0.73	0.71	0.61	0.51	0.45	0.45	0.47	0.53	0.59	0.65	0.74	0.92	1.19	1.71	2.07	2.06
	Two canals	0.91	0.73	0.63	0.57	0.53	0.40	0.45	0.66	0.56	0.34	0.32	0.33	0.37	0.56	0.71	1.31	2.65

Table 7 Statistical results between root canal type and mesio-distal root canal width

[illegible]

*: $p < 0.05$

Table 8 Root canal deformation (%)[illegible]

Table 9 Direction of apical delta from apical foramen (mm)

Sample	Mesio-distal image	Labio-lingual image
6	0.98	0.75
8	0.96	1.00
16	1.10	1.27
21	1.03	0.72
22	1.06	1.18
30	0.59	1.06
31	1.00	1.07
34	1.12	1.08
35	0.92	0.96
42	0.73	0.50
47	1.58	1.68
Mean	1.01	1.03
SD	0.25	0.31