

原 著

二等分面法による前歯の等長撮影の再現性

前 川 明 之 吉 田 洋 康 飯 田 幸 弘
福 井 達 真 西 山 航 勝 又 明 敏

Reproducibility of measuring tooth length using the bisecting-angle technique

MAEKAWA AKIYUKI, YOSHIDA HIROYASU, IIDA YUKIHIRO,
FUKUI TATSUMASA, NISHIYAMA WATARU, KATSUMATA AKITOSHI

目的：二等分面法は多くの成書において標準的な口内法撮影とされている。その特徴は、理論上、歯の実長と等しい画像が得られることにある。しかし、歯列の大きさや形態、術者の技能、使用する装置器具が様々である状況のもと、二等分法で撮影された画像が個々の歯に対する等長撮影となっているかに関しては、あまり検討されていない。我々は、二等分面法による歯の等長撮影がどの程度の誤差を生じるかを検討した。

方法：人工骨入り口内法撮影ファントム3体の上下顎前歯部を、我々の施設で行っている10枚法全顎撮影に準じて、撮影者A（歯科放射線臨床経験3年）、および撮影者B（歯科放射線臨床経験30年）が撮影した。撮影は、インジケータを用いた状態、および用いない状態で実施した。検出系は、イメージングプレート方式のデジタルシステムおよびナンバー2サイズのIPを使用し、付属のソフトウェアで歯の長さを計測した。撮影と計測は、日を変え5回行い、ファントムのCT画像より計測した歯の長さを基準とした誤差率を求めて検討した。

結果：口内法画像より計測した歯の長さの誤差率は、3体のファントムを総合して0.0%~35.4%、平均で8.2%であった。誤差率の平均が最も大きかったのは、撮影者Aがインジケータを用いないで撮影した場合（10.1%）であった。撮影者Bがインジケータを使用して撮影を行った場合は9.0%であった。撮影者Bがインジケータを用いないで撮影した画像と撮影者Aがインジケータを用いて撮影した画像の誤差率は、ほぼ同等（7.3%）であった。

考察：今回の結果より、全体平均の誤差率では初心者インジケータ使用により、誤差率の減少が認められたが、熟練者ではインジケータなしの方が、誤差率が少ない結果となった。これは、熟練者の方がより細かい位置づけが可能で、インジケータでは細かい位置づけが困難と考えられる。

結論：二等分面法は、撮影者の臨床経験やインジケータの有無にかかわらず、歯の長さに関して平均で8.2%の誤差率をとまうことがわかった。

キーワード：二等分面法、インジケータ、誤差率、経験

Objective: The bisecting-angle technique is accepted as the standard method for intraoral radiography in textbooks. It is characterized by its ability to consistently measure the length of teeth radiographically. Although it is theoretically possible to achieve this, it is often difficult in practice because of variations in the size and form of the dentition, the examiner's skill and the kind of X-ray unit being used. It is not established whether the bisecting-angle technique is able to consistently measure the length of teeth radiographically. In this study, we considered a range of errors in the bisecting-angle technique.

Methods: We used three phantom heads with artificial bones. Radiographs were taken of the incisors and canines in the maxilla and mandible. Radiographs were taken using the bisecting-angle technique by oral radiologist A (with 3 years' experience) and oral radiologist B (with 30 years' experience). Both

radiologists took radiographs using the indicator and the normal technique. Size 2 imaging plates were used for radiography using a digital imaging system. The length of the teeth was measured using an application attached to the imaging system. The teeth were radiographed and measured five times on different days. The average values and errors were compared between samples, and the length was calculated using computed tomography.

Results: The images were used to measure the length of the teeth of the three phantoms, and the average error was 0.0~35.4% (avg 8.2%). The largest average error was in the radiographs taken by oral radiologist A without the indicator (10.1%). And the oral radiologist B with the indicator was 9.0%. The average error of oral radiologist B without the indicator and oral radiologist A with the indicator were almost the same (7.3%).

Discussion: In this study, use of the indicator decreased errors in the less experienced radiologist. However, the error of the more experienced radiologist without the indicator was lower than when using the indicator. This suggests that the indicator limited the skill of the experienced oral radiologist.

Conclusion: The bisecting-angle technique resulted in a 10% error when measuring the length of the tooth, irrespective of the clinical experience of the oral radiologist or the use of an indicator.

Key words: bisecting-angle technique, indicator, average error, experience

緒言

歯のX線撮影の歴史は古く、Wilhelm Conrad RöntgenによってX線が発見された翌1897年には二等分面法の原型となる歯のX線撮影法に関する報告がされている¹⁾。また、同時期に歯の実長を知るために根管内に鉛線を挿入してX線撮影をおこない、根尖の位置を知る方法まで紹介されている。口内法撮影の術式に関して、1904年にはPriceが二等分面法について²⁾、1920年にMcCormackが平行法について³⁾、1925年にRaperが隣接面カリエスの診断を目的に咬翼法について発表している⁴⁾。二等分面法は、歯の長軸（以下、歯軸とする）とフィルム、イメージングプレートあるいは個体半導体検出器（これらを以下、検出器とする）のなす角度に仮想二等分面を設定し、この仮想二等分面に垂直にX線を投影する撮影法である。現在、多くの成書において標準的な口内法撮影の術式とされている^{5,6)}。二等分面法の特徴は、理論上、歯の実長と等しい画像が得られることにあり、等長法とも呼ばれている。しかし、実際には撮影者の技術や使用する機材の性能、あるいは口の大きさや歯並びなどの患者側の要因により、臨床現場では投影された画像の歯根長が極端に短い、あるいは長い二等分面法の画像にしばしば遭遇する。歯科治療において病変の状態を把握するためには、治療すべき患歯の全体像を表わすX線像が求められる。特に根管治療や根管充填においては、X線像で歯根の形態と長さを把握することは不可欠であり、二等分面法以外には適切なX線撮影方法が存在しなかったこともあり、二等分面法が使われ続けてきた現状がある。

100年以上の歴史を持つ二等分面法であるが、旧来のフィルムを用いたアナログ撮影時代には、撮影された画像が真の等長撮影となっているかに関して、あまり検討されていなかった^{7,8)}。その理由のひとつは、画像の精度を確認するためには、基準となる歯の実長を知るために被写体の歯を抜いてノギスなどで計測する必要があったことである。また、フィルムを用いた口内法撮影では30×40mmの小さなフィルムの上で歯の長さを測る作業が必要のため、計測結果に大きな誤差を生じる事も予想され、日常歯科臨床で実行するのが難しい点も問題であった。

近年の歯科のX線検査はコンピュータ技術の進歩に伴い格段の飛躍を遂げている。歯科用コーンビームCT（以下、CBCTとする）は、高い空間分解能と計測精度を持つことが数多く報告されている⁹⁻¹¹⁾。デジタルX線撮影システムでは、ソフトウェア上で画像を拡大表示したうえ、長さや角度の計測を簡単におこなえるようになった¹²⁻¹⁵⁾。

そこで本研究は、デジタル口内法撮影システムを用いて乾燥頭蓋骨入り口内法撮影ファントムを撮影し、CT画像から求めた被写体の歯の実長を基準として二等分面法による歯の等長撮影の再現性について検討することを目的とした。

材料と方法

1) 二等分面法撮影と計測

乾燥頭蓋骨入り歯科X線撮影ファントム（RINN 54-6002、東洋メディック株式会社、東京）3体を被写体とした（図1）。ファントムは歯学部学生の口内

法撮影実習に用いているもので、欠損や補綴治療の痕跡がない永久歯列とシリコン製の舌や軟組織形態を備えている(図2)。各ファントムの歯列の形態や大きさは生体と同様に様々である。

口内法X線撮影装置はショートコーンタイプ口内法撮影装置(ALULA, 朝日レントゲン工業, 京都)を用いた。撮影条件は、管電圧60kV, 電流10mAとし、照射時間は部位により調節した。検出器として、標準型(ISO規格 ナンバー2サイズ)のイメージングプレート(Imaging Plate, 以後IPと略す)を使用して、デジタル口内法撮影システム(VISTASCAN, DURRDENTAL, Bietigheim-Bissingen, Germany)により画像を取得した(図3)。

撮影は、撮影者A(臨床経験5年, 歯科放射線科所属3年目の初心者), および撮影者B(臨床経験30年, 歯科放射線科所属30年のベテラン)が実施した。撮影したのは上顎の右側犬歯部, 正中, 左側犬歯部, および下顎の右側犬歯部, 正中, 左側犬歯部の合計6部位である。撮影法として、IPを患者の手指を模した器具(直径20mmのプラスチック玉)で保持した通常撮影, および検出器の保持と二等分面法撮影のX線入射方向の指示を目的とした撮影インジケータ(撮影用インジケータ CID III, 阪神技術研究所, 西宮)を使用した撮影(以後インジケータ撮影と呼ぶ)を実施した(図4)。

IP読み取り装置で取得した画像は、デジタル口内法撮影システム附属のソフトウェア(TROPHY Windows, Trophy Radiologie, Chester, USA)で表示し、長さ計測ツールで歯冠の近心端と遠心端とを結んだ中点と根尖を結んだ線の長さを3回計測して平均値を求め、歯の長さとした。なお、撮影者AとBによる二等分面法撮影と計測は、一週間以上の間隔をあけて5回実施した。



図1：被写体ファントムの外観
向かって左から、ファントム1, ファントム2, ファントム3

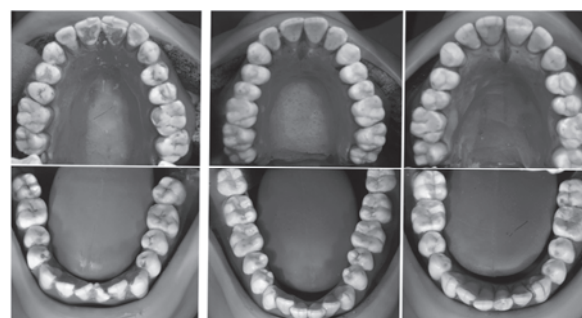


図2：被写体ファントムの口腔内
向かって左から、ファントム1, ファントム2, ファントム3

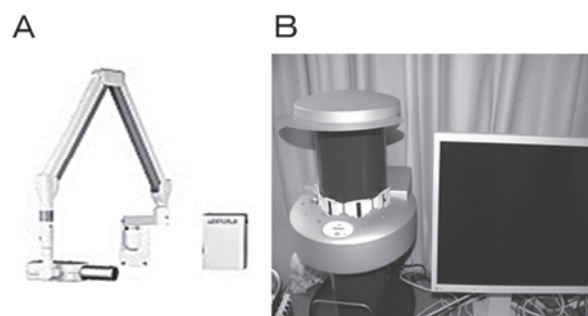


図3：口腔内撮影装置(A), IP読み取り装置(B)

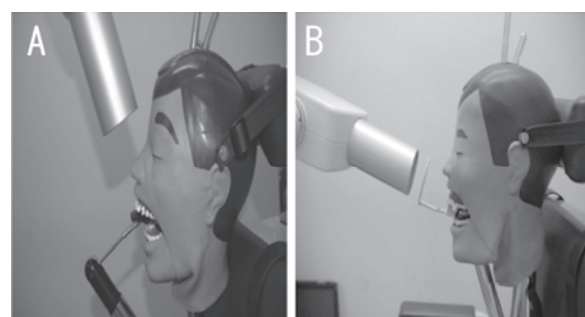


図4：ファントム上顎前歯の通常撮影(A),
インジケータによる撮影(B)

2) CT撮影と計測

全身用多列検出器CT(SOMATOM Emotion6 SIEMENS, Munich, Germany)にてファントムの撮影をおこなった。撮影条件は患者顎顔面の撮影に準じて管電圧125kV, 電流40mAとした。撮影範囲(Field of view, FOV)やテーブル移動速度は、可能な限り詳細な画像を得られる設定とし、画素(ボクセル)サイズ0.3mmのDICOM画像シリーズデータ(ボリューム画像データ)を作成して保存した。CT装置から取得したDICOM形式画像データをコンピュータ(MacBookPro, アップルコンピュータ, Cupertino, USA)に読み込み、画像解析ソフト

トウエア (OsiriX, The OsiriX Foundation, Geneva, Switzerland) にて表示した。多断面再構築 (Multi Planner Reconstruction, MPR) 画像モードで歯の長軸に沿った矢状断面像を作成して歯の長さを3回計測し、平均値を採用した (図5)。

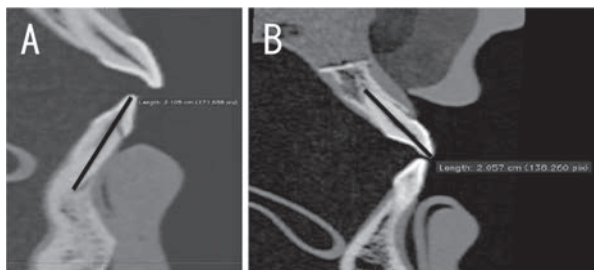


図5：ファントム上顎前歯 MPR 画像の計測
A：上顎前歯 長さの計測 (黒線)
B：下顎前歯 長さの計測 (黒線)

3) データ解析

X線像から計測した歯の長さから、CT画像より計測した歯の長さを基準値として、以下により二等分面法で撮影したX線像の誤差率を求めた。

$$\text{誤差率} = | (\text{二等分面法計測値} - \text{基準値}) / \text{基準値} |$$

統計解析ソフトウェア (SPSS, Ver19, IBM, Armonk, USA) を用い、2名の撮影者の間、3体のファントムの間、インジケータの有無、および上下顎の間で誤差率を比較した。まず、各カテゴリーにおける誤差率の正規性を Shapiro-Wilk 検定で確認し、データが正規分布に従わないものとしてノンパラメトリックな手法である Kruskal-Wallis 検定で有意差の有無を調べた。有意差が認められる群間の多重比較には Tukey の方法を用いた。有意水準はすべての検定で 5% とした。

結 果

ファントム1に対する二等分面法撮影の歯種別の誤差率と口内法X線像を示す。上顎歯の二等分面法撮影の誤差率は最小0.9%～最大22.9%、平均6.5%で、最小の誤差率は撮影者Bがインジケータを用いたもの、最大の誤差率は撮影者Aがインジケータを用いないものであった (図6-1, 2)。

下顎の誤差率は最小1.0%～最大15.2%、平均6.9%で、最小の誤差率は撮影者Bがインジケータを用いたもの、最大の誤差率は撮影者Aがインジケータを用いたものであった。

ファントム2の歯種別誤差率と口内法X線像を示す。ファントム2上顎の誤差率は最小0.6%～最大31.2%、平均12.0%で、最小の誤差率は撮影者Bがインジケータを用いなかったもの、最大の誤差率は撮影者Aがインジケータを用いないものであった。下顎の誤差率は最小0.3%～最大35.4%、平均11.9%で、最小の誤差率は撮影者Bがインジケータを用いなかったもの、最大の誤差率は撮影者Bがインジケータを用いたものであった (図7-1, 2)。

ファントム3の歯種別誤差率と口内法X線像を示す。誤差率は最小0.0%～最大15.6%、平均約7.2%で、最小の誤差率は撮影者Aがインジケータを用いたもの、最大の誤差率は撮影者Aがインジケータを用いないものであった。下顎の誤差率は最小0.2%～最大16.9%、平均5.7%で、最小の誤差率は撮影者Aがインジケータを用いたもの、最大の誤差率は撮影者Bがインジケータを用いないものであった (図8-1, 2)。

3体のファントムを総合した二等分面法撮影による歯の長さの誤差率の撮影者・撮影方法による差を示す。ファントム3体を総合した誤差率は、最小0.0%、最大35.4%、平均8.2%であった。インジケータを用いた撮影の平均誤差率は、臨床経験の短い撮影者Aが7.9%、臨床経験の長い撮影者Bが9.0%であった。同様に、インジケータを用いない通常撮影の誤差率は、撮影者Aが10.1%、撮影者Bが6.7%であった。撮影者AとB間、およびインジケータの使用と不使用の誤差率の間に有意差を認めなかった (図9)。

ファントム3体の誤差率は、ファントム1が6.9%、2が12.0%、3が6.4%であり、ファントム2の誤差率がファントム1および3と比較して有意に大きくなっていた。ファントム1と3の誤差率の間には有意差を認めなかった (図10)。

撮影部位を上下顎で分けた誤差率を示す。上顎の平均誤差率は8.6%、下顎の誤差率は8.3%であり、上下顎の間に有意差を認めなかった (図11)。

考 察

歯科のX線撮影に関する成書が著されたのは、照内昇による「歯科レントゲン学」で、1916年のこととされている¹⁶⁾。歯科放射線に関する欧米の成書の多くも、ほぼ同じ時期に出版されている¹⁷⁾。上記の「歯科レントゲン学」を参照する事はできなかったが、照内により後年に刊行された「レントゲン歯科学」¹⁸⁾では、歯とフィルムが平行に位置づけられない場合に歯と等しい長さの画像を得る方法として二等分面撮影が紹介されている。その撮影術式に関する解説は詳細であり、

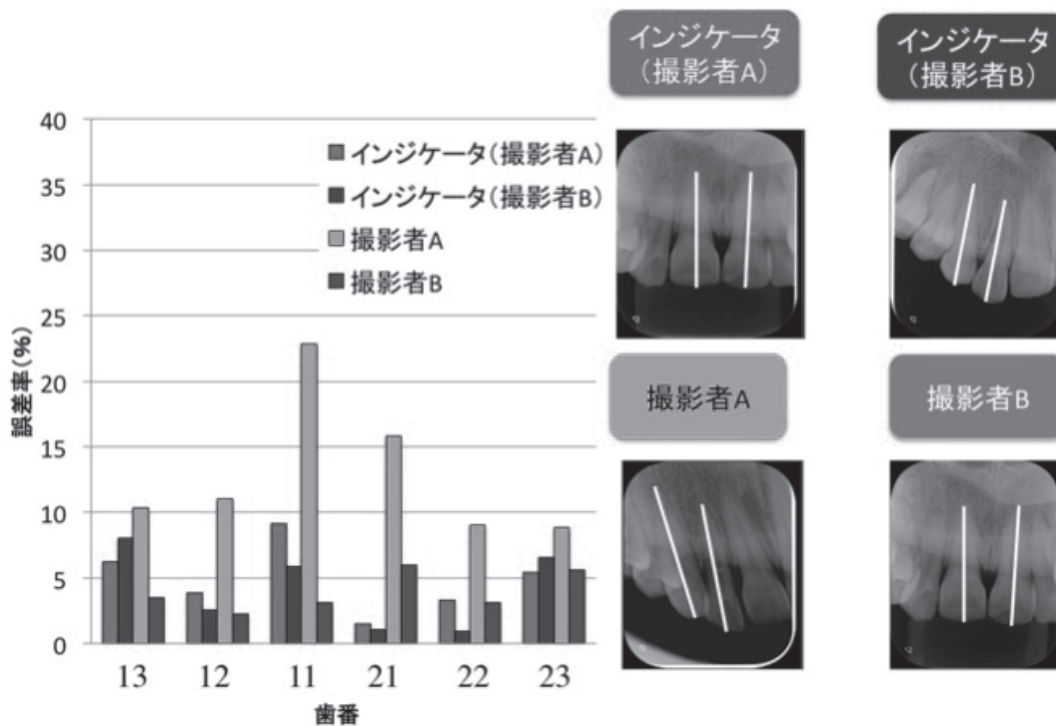


図6：ファントム1の誤差率
6-1：上顎誤差率

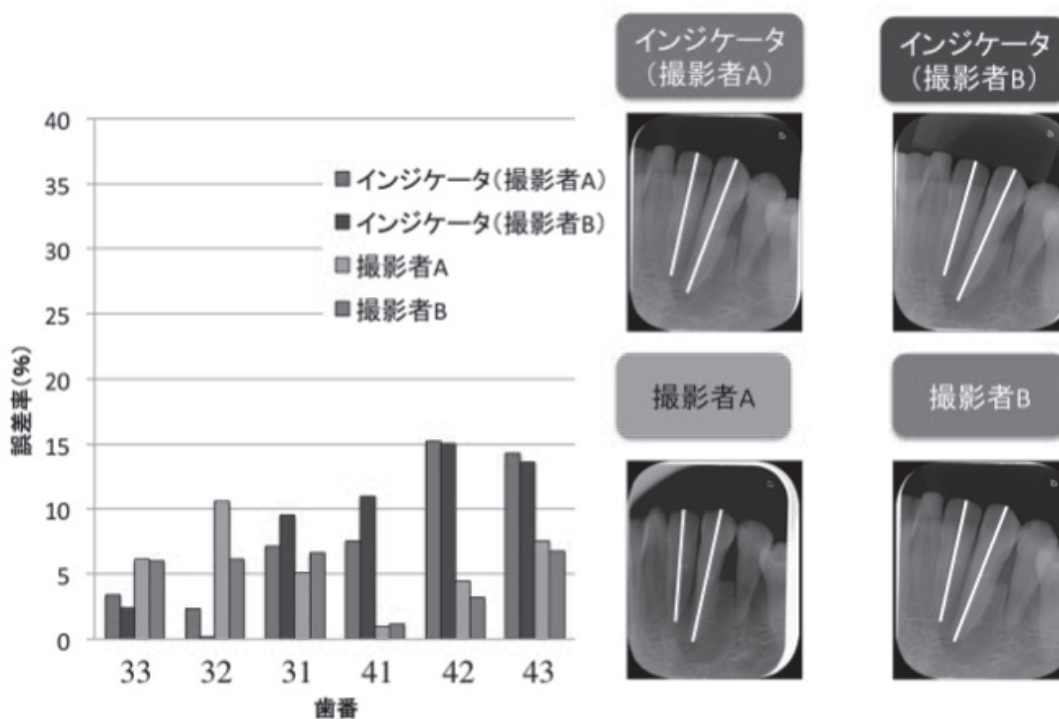


図6：ファントム1の誤差率
6-2：下顎誤差率

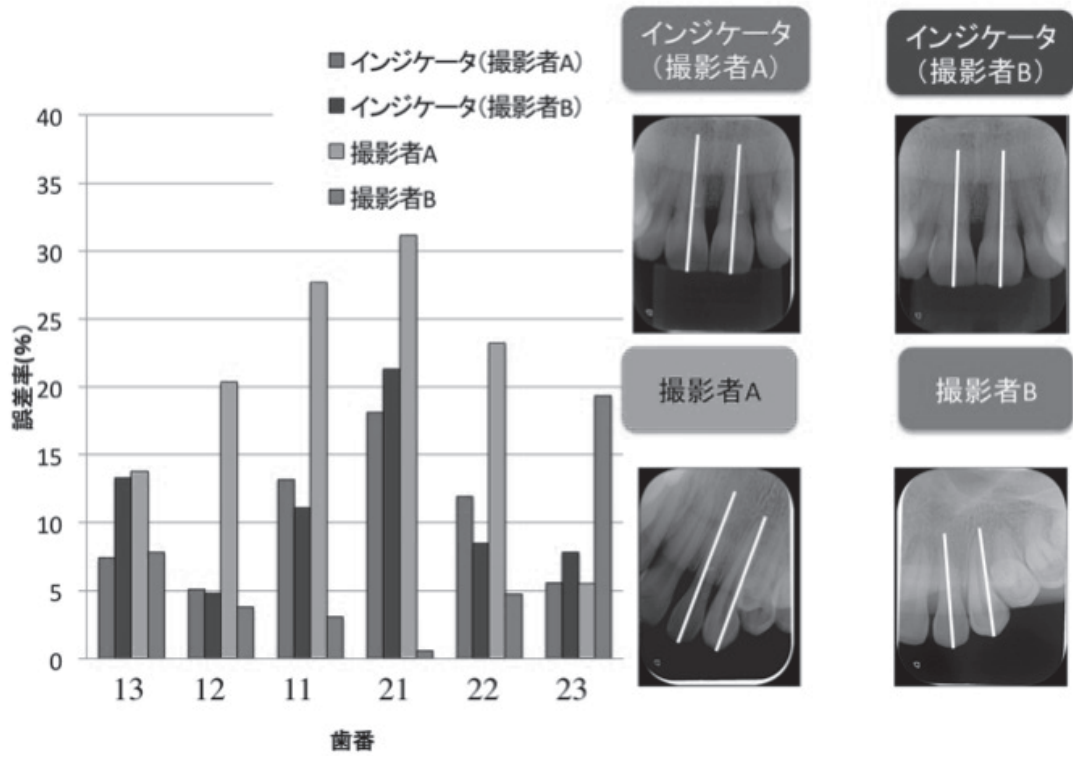


図7：ファントム2の誤差率
7-1：上顎誤差率

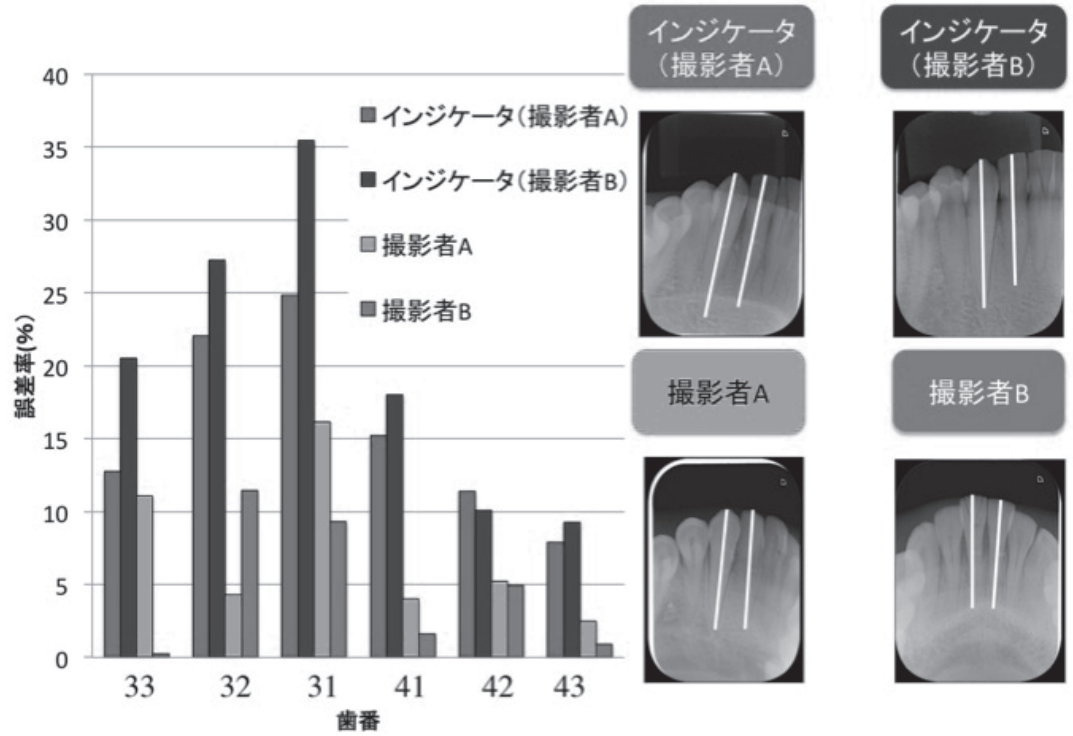


図7：ファントム2の誤差率
7-2：下顎誤差率

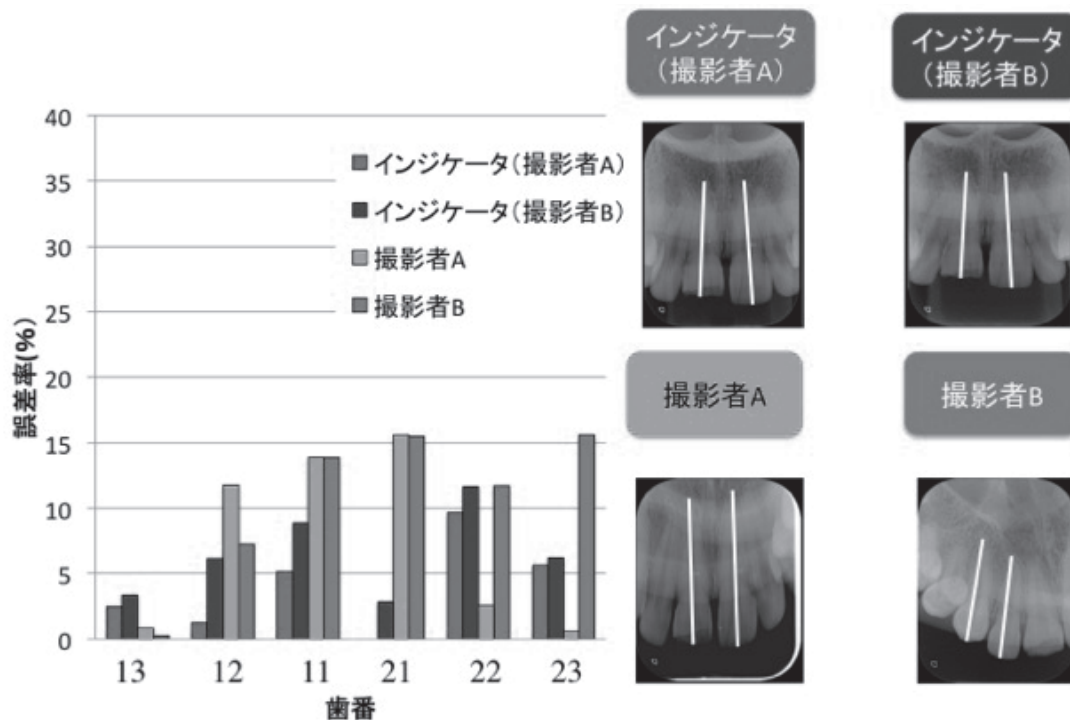


図8：ファントム3の誤差率
8-1：上顎誤差率

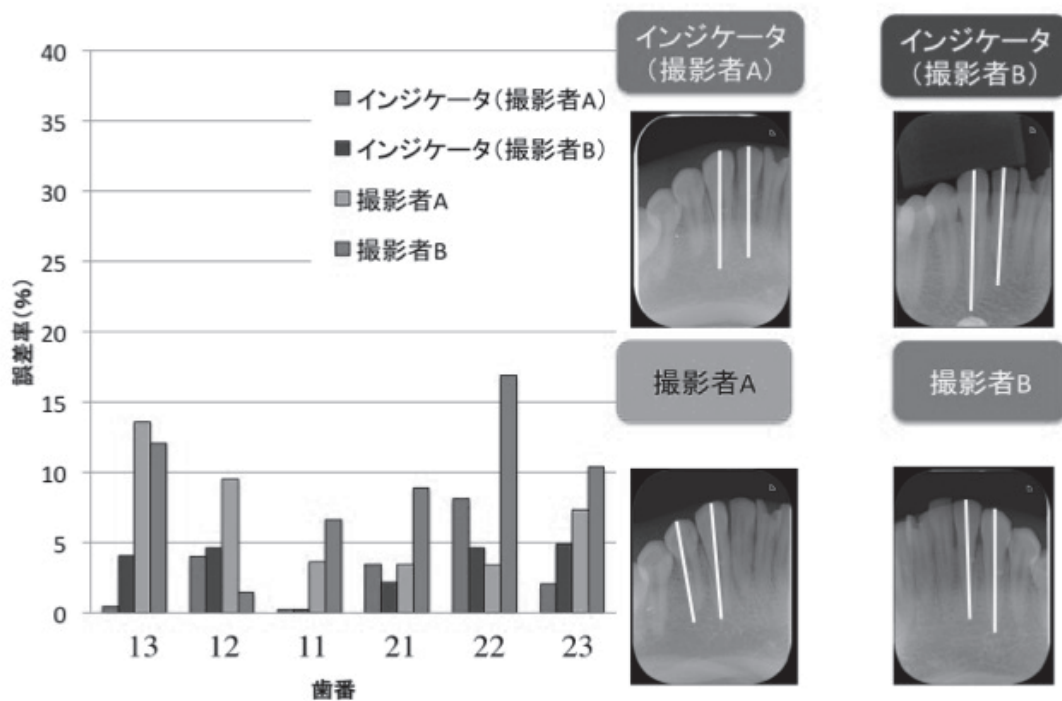


図8：ファントム3の誤差率
8-2：下顎誤差率

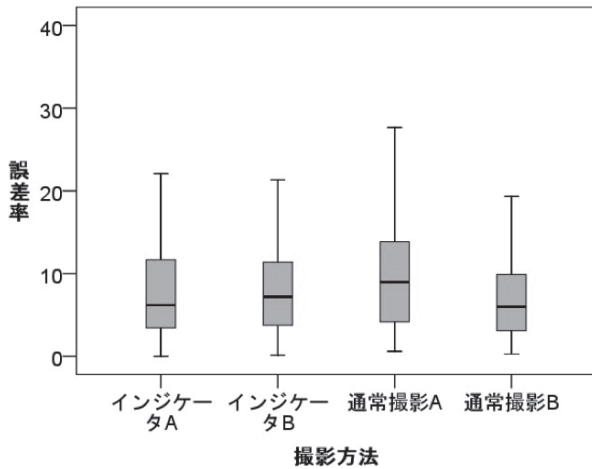


図9：撮影者と撮影方法による誤差率の差異

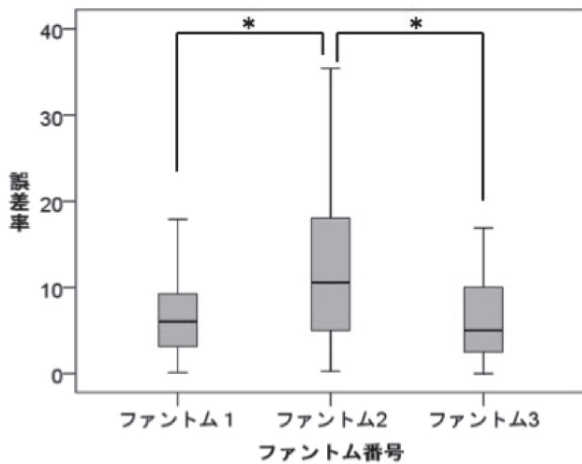


図10：ファントムによる誤差率の差異

* <0.05で有意差が認められた

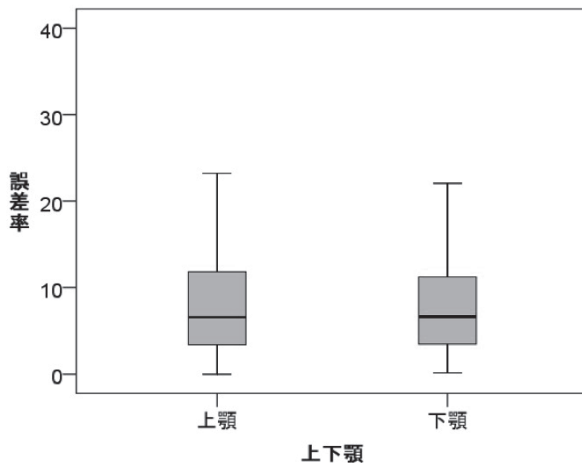


図11：撮影部位（上下顎）による誤差率の差異

往時から歯の等長撮影がいかに重要視されていたのを知ることができる。歯とフィルムを平行に位置付ける平行法撮影に関する記述もあるが、二等分面法ほど詳細に解説されていない。

平行法で撮影する場合、口腔内で歯軸と平行にフィルムを保持するための器具が必要となる。口腔内でのフィルムの保持とX線管球位置付け指示を目的とした撮影補助インジケータは、これまでに幾種類も考案されている^{7,19-21)}。欧米では平行法撮影のためのインジケータが用いられる事が多いが、口蓋の浅い東洋人で平行法撮影をおこなうと、患者に苦痛を与えたり検出器が口腔内に納まらずに歯の全体像が撮影されなかったりすることになる²²⁾。このため、日本では二等分面法の検出器位置付けとX線入射方向にあわせて設計されたインジケータが好まれている。本研究で用いたインジケータも二等分面法撮影の幾何学的要件が満たされるよう設計されたものである。フィルムを用いた口内法X線写真における研究ではあるが、Bhakdinaronkら⁷⁾は、複数の術式で撮影された多数の生体口内法X線写真で歯の長さをノギスで計測し、撮影後に抜去された歯の実長を同じくノギスで計測して画像の精度を検査している。彼らが検討した撮影術式は、インジケータを用いた平行法撮影、インジケータを用いた二等分面法撮影、および指でフィルムを保持した二等分面法撮影である。結果として、平行法撮影の精度が高い傾向が認められたが、指でフィルムを保持した二等分面法撮影を含めて、歯の長さ計測の精度に撮影術式による有意差はなかったと報告している。フィルム撮影とデジタル撮影の違いがあるものの、Bhakdinaronkら⁷⁾の報告は本研究の結果と符合するものであり、インジケータの使用は歯の等長撮影の精度向上には役立たないものと思われる。本研究の結果、統計的な有意差は認められなかったものの、臨床経験の短い撮影者Aではインジケータ使用により誤差率が低下する傾向が、臨床経験の長い撮影者Bではむしろ誤差率が上昇する傾向を示していた。これは、後述する歯列の大きさや形状の個人差が関係するものと考えられる。すなわち、患者個々の歯列にはインジケータに適合するものと不適合なものがあり、これが撮影精度に影響するためではないかと思われる。

しかし、口腔内に指を入れて検出器を保持するたびに吐き気を覚える患者や検出器の当たる口腔内に疼痛を訴える患者は少なくない。このような患者の苦痛の軽減と誤った位置や方向からX線を照射することによる撮影失敗の抑止という効果を考えると、インジケータの使用そのものは引き続き推奨されるべきであろう。誉田ら²³⁾は、二等分面法で撮影されたX線ファイル

ムを Wuehrmann の評価基準²⁴⁾により検討し、部分的なコーンカットや根尖がフィルムに収まらなかったX線写真を「失敗」と判定すると、10枚法全顎撮影において患者一人あたり4枚の失敗が生じると報告している。これに対して三好ら²⁵⁾は、インジケータの使用により撮影失敗が減少する事を報告しており、再撮影の防止もインジケータの重要な利点と思われる。

口内法X線撮影を可能な限り精密に撮影する方法として規格撮影と呼ばれるものがある^{26,27)}。歯列咬合面をモデリングコンパウンド等で印象した治具を口内法撮影インジケータに取り付け、いつでも同じ位置で精密な口内法撮影ができるように考案されたものである。主な用途は歯槽骨の細かい骨梁形態を解析したり、歯周病の治療による歯槽骨レベルの変化を検討したりすることにある。献体から摘出した歯列や抜去歯を被写体とし、規格撮影と同様にX線管、被写体および検出器を精密に位置づけて撮影した実験²⁸⁻³²⁾においては、歯槽骨レベルの計測だけでなく歯の等長撮影に関しても、非常に高い精度が得られることが報告されている。しかし口内法の規格撮影は日常臨床で実行するには手間がかかるうえに患者の苦痛も小さくない。また、複数回の口内法撮影において骨の変化を評価する目的には有用性が高いと思われるが、歯の長さ計測を繰り返しておこなうケースは生じにくく、日常歯科臨床における有用性は低いと思われる。

歯科X線撮影のデジタル化は1990年代から始まっており、デジタル口内法撮影による歯の長さの計測精度についても検討されている^{13-15,33,34)}。デジタル口内法撮影システムが実用化された当初は、デジタル画像の画素サイズは0.05mm程度でありフィルムの銀塩粒子の細かさには到底及ばないことから、細かい病変の診断能および計測精度の低下が心配された。しかし、諸家が検討した結果として、デジタル画像の精度はフィルムと同等かそれ以上であることが報告されている³³⁾。これには、画像を自由に拡大して観察できるので歯の長さの計測ポイントを正確に設定可能、あるいは画像の明るさやコントラストをコンピュータモニタ上で自由に調節可能といったデジタル画像の利点に関係しているものと考えられる。さらに、口内法撮影フィルムのパッケージは柔らかくて容易に曲げられるのに対して、デジタル撮影のIPや半導体検出器は硬くて曲がらないという特性がある。口内法画像の精度を考える場合、検出器が歯列に沿って彎曲するほうが被写体と検出器が密着して画質が向上するという考え方が可能な反面、検出器が硬くて曲がらないほうが二等分面法の原理に忠実な歯の等長撮影ができることも考えられる。本研究において渉猟した限りでは、検出器の曲がりか

た、あるいは歪みと歯の等長撮影の精度を検討した先行研究はなく、今後の研究課題になるとと思われる。

歯の長さ計測に影響する被写体の要素としては患者の歯列形態や歯軸の傾斜が考えられる。本研究では、上顎と下顎の間には歯の長さ計測の誤差率に有意差を認めなかったが、ファントムの個体間では有意差が認められた。これは、被写体歯列の大きさや形態が口内法撮影の精度に大きく影響することを示唆するものと考えられる。実際、本研究の結果で誤差率が高くなっていたファントム2は、図2に示すようにファントム1および3と比較して狭い歯列弓を持ち、歯軸の傾斜も他のファントムとは異なるであろうことが肉眼的に観察できる。歯列の大きさや形態、あるいは歯軸の傾斜の個人差がどの程度口内法撮影の精度に影響するのかは、生体の画像も含めて今後の検討課題としたい。

CT画像による三次元計測が高い精度を持つことは原理的に間違いなく、インプラントの術前検査のみならず歯の長さ計測や歯槽骨形態の精査においても有用性が高いことが報告されている^{8-11,35,36)}。また、近年普及が著しい歯科用CBCTは患者の被曝線量が小さいことを特徴としており、歯の長さを求めるためにCBCTを撮影することも現実的な選択ではあると思われる。しかし、被曝線量が低いとは言っても口内法数枚分の被曝は避けられない。さらに、照射野(撮影範囲)が大きくなると被曝線量も顕著に増加することから³⁷⁾、慎重に利用されるべきである。また、3次元CT画像から歯の長さを求めるためには、本研究でおこなった様に、計測する歯の歯軸に沿ったMPR画像をていねいに作製する必要がある。撮影された画像のまま歯の長さが計測可能なX線撮影と比較してどちらが便利であるかは見解が分かれるところであろう。

被曝線量が低いこと、および撮影時に患者口腔内に検出器を入れる苦痛を与えないことを目指すならばパノラマX線撮影が最も優れている³⁸⁾。しかし、スリット状のX線束で顎骨をスキャンする撮影原理から、パノラマX線画像の拡大率は撮影部位ならびに垂直方向と水平方向で大きく異なり³⁹⁾、歯の長さなどを計測する用途には適していないとされてきた。これに対して新しく開発された高感度の個体半導体検出器と画像構築ソフトウェア技術により、正確な距離計測が可能なパノラマX線システムも登場している⁴⁰⁻⁴²⁾。すなわち、高感度の検出器から毎秒数百フレームの速度で出力された3000枚ほどの短冊型のフレーム画像データをトモシンセシス法という画像再構築技術で処理したパノラマ画像では、画像を明瞭に観察できる「断層域」の深さを任意に変更して被写体顎骨と同じ座標を持つ三次元空間上にマッピングすることが可能である。このパ

ノラマ画像三次元マッピング法における距離計測では三次元空間座標の値を基に距離を算出するため、画像の拡大率に影響されずに正確な距離を求める事ができる。パノラマ画像三次元マッピング法の画像と二等分面法の精度比較も今後の研究テーマになると考える。

結 論

デジタル二等分面法による口内法撮影の精度について、CT画像より取得した歯の実長を基準として検討した結果、歯の等長撮影の誤差に関して以下の項目が示唆された。

- 1) 撮影補助インジケータの有無に影響されない。
- 2) 撮影者の臨床経験に影響されない。
- 3) 被写体歯列の形態や大きさに影響される。
- 4) 撮影者の臨床経験やインジケータの有無にかかわらず平均で8.2%の誤差を伴う。

文 献

- 1) Catching BH. Roentgen X-ray finds a missing tooth. *Dent Rev.* 1897; 2: 22-23.
- 2) Price WA. The technique necessary for making a good skiagraph. *Dent Items Interest.* 1904; 26: 161-171.
- 3) McCormack FW. A plea for standardized oral radiography. *J Dent Res.* 1920; 11: 467-501.
- 4) Raper HR. Practical clinical preventions dentistry based upon periodic roentgen-ray examinations. *J Am Dent Assoc.* 1925; 12: 1084-1100.
- 5) 岡野友宏, 小林 馨, 有地榮一朗 編. 歯科放射線学 第5版. 東京. 医歯薬出版株式会社, 2013: 97-120.
- 6) 佐野 司 編. 歯科放射線学マニュアル. 東京. 南山堂. 2006: 26-30.
- 7) Bhakdinaronk A and Manson-Hing LR. Effect of radiographic technique upon prediction of tooth length in intraoral radiography. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1981; 51: 100-107.
- 8) 勝又明敏. 歯科CTの過去, 現在, 未来. *日口外誌.* 2013; 58: 706-717.
- 9) Mozzo P, Procacci C, Tacconi A, Martini PT and Andreis IA. A new volumetric CT machine for dental imaging based on the cone-beam technique: preliminary results. *Eur Radiol.* 1998; 8: 1558-1564.
- 10) Arai Y, Tammisalo E, Iwai K, Hashimoto K and Shinoda K. Development of a compact computed tomographic apparatus for dental use. *Dentomaxillofac Radiol.* 1999; 28: 245-248.
- 11) Watanabe H, Wagatsuma T, Nomura Y, Honda E and Kurabayashi T. Spatial resolution of FineCube, a newly developed cone-beam computed tomography system. *Oral radiology.* 2010; 26: 56-60.
- 12) 有地榮一郎, 勝又明敏, 小林 馨, 櫻井 孝, 藤田廣志,

本田和也 編. デジタルデンティストリー 医療情報とデジタル画像 超入門. 東京. 永末書店. 2015.

- 13) Woolhiser GA, Brand JW, Hoen MM, Geist JR, Pikula AA and Pink FE. Accuracy of film-based, digital, and enhanced digital images for endodontic length determination. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2005; 99: 499-504.
- 14) Athar A, Angelopoulos C, Katz JO, Williams KB and Spencer P. Radiographic endodontic working length estimation: comparison of three digital image receptors. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2008; 106: 604-608.
- 15) Kal BI, Baksi BG, Dündar N and Sen BH. Effect of various digital processing algorithms on the measurement accuracy of endodontic file length. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2007; 103: 280-284.
- 16) 三崎鈔郎. わが国歯科放射線学のあけぼの. 歯科放射線. 1996; 36: 191-8.
- 17) Langland OE and Langlais RP. Early pioneers of oral and maxillofacial radiology. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 1995; 80: 496-511.
- 18) 照内 昇. レントゲン歯科学. 東京. 河合商店. 1940: 84-160.
- 19) Rudolph DJ and White SC. Film-holding instruments for intraoral subtraction radiography. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1988; 65: 767-72.
- 20) 岩野 孝, 丹羽克味, 金井良維, 赤間 力. 主放射線方向指示を兼ねたフィルムホルダーの試作. 歯科放射線. 1977; 17: 32-35.
- 21) Mamoun JS. Assembly and clinical use of the XCP dental x-ray film holder and orientation devices in dentistry. *Dent Assist.* 2011; 80: 8-14.
- 22) 島野達也, 照井光治, 大坊元二, 菅野忠夫, 古川久美子, 柳沢 融, 松枝恭俊, 小笠原幸三郎, 水口 博, 米内 正, 佐々木統, 杉江恒人, 水川 洸. 上顎大白歯部の口内法撮影に関する幾何学的検討. 歯科放射線. 1973; 13: 153-165.
- 23) 誉田栄一, 芝崎初江, 佐々木武仁. 二等分法撮影による全顎口内法X線写真(10枚法)の失敗頻度の客観的評価. 歯科放射線. 1990; 30: 145-151.
- 24) Wuehrmann AH. Evaluation criteria for intraoral radiographic film quality. *JADA.* 1974; 89: 345-352.
- 25) 三好慶信, 木原卓司, 今井一彦, 都橋伸江. 撮影用Cone Indicatorの臨床評価. 歯科放射線. 1971; 11: 123-124.
- 26) 川崎 仁. 口内法X線規格撮影とその臨床応用. 歯科放射線. 1962; 3: 7-13.
- 27) 相沢幸一, 三箇善雄, 中島孝和, 真保 極. 吾々の考案した口内X線規格写真の撮影. 歯科放射線. 1962; 3: 18-23.
- 28) 高木 仁. 口内法X線撮影におけるX線入射角度の

- 骨梁パターンにおよぼす影響について. 歯科放射線. 1984; 24: 48-62.
- 29) Hishikawa T, Izumi M, Naitoh M, Furukawa M, Yoshinari N, Kawase H, Matsuoka M, Noguchi T and Arijii E. The effect of horizontal X-ray beam angulation on the detection of furcation defects of mandibular first molars in intraoral radiography. *Dentomaxillofac Radiol.* 2010; 39: 85-90.
- 30) Li G, Engström PE, Nasström K, Lü ZY, Sanderink G and Welander U. Marginal bone levels measured in film and digital radiographs corrected for attenuation and visual response: an in vivo study. *Dentomaxillofac Radiol.* 2007; 36: 7-11.
- 31) Sheaffer JC, Eleazer PD, Scheetz JP, Clark SJ and Farman AG. Endodontic measurement accuracy and perceived radiograph quality: effects of film speed and density. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2003; 96: 441-448.
- 32) Larheim TA and Eggen S. Determination of tooth length with a standardized paralleling technique and calibrated radiographic measuring film. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1979; 48: 374-378.
- 33) Basso MD, Jeremias F, Cordeiro RC and Santos-Pinto L. Digital radiography for determination of primary tooth length: in vivo and ex vivo studies. *Scientific World Journal.* 2015; 939045-939046.
- 34) Santos-Pinto L, Cordeiro Rde C, Zuanon AC, Basso MD and Gonçalves MA. Primary tooth length determination in direct digital radiography: an in vivo study. *Pediatr Dent.* 2007; 29: 470-474.
- 35) Sherrard JF, Rossouw PE, Benson BW, Carrillo R and Buschang PH. Accuracy and reliability of tooth and root lengths measured on cone-beam computed tomographs. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2010; 137: 100-108.
- 36) Bagis N, Kolsuz ME, Kursun S and Orhan K. Comparison of intraoral radiography and cone-beam computed tomography for the detection of periodontal defects: an in vitro study. *BMC Oral Health.* 2015; 15: 64-65.
- 37) 岡野恒一, 松尾綾江, 後藤賢一, 横井みどり, 蛭川亜紀子, 奥村信次, 小山修司. 2種類の歯科用コーンビームCTの吸収線量と実効線量に関する検討. 日放技学雑誌. 2012; 68: 216-225.
- 38) 勝又明敏. パノラマX線撮影のルネサンスをめざして. 岐歯学誌. 2012; 38: 117-128.
- 39) 犬飼啓介, 飯田幸弘, 勝又明敏, 永原國央. デジタルパノラマX線画像の拡大率を評価できる特殊ファントムの開発. 歯科放射線, 2012; 52: 47-60.
- 40) Ogawa K, Langlais RP, McDavid WD, Noujeim M, Seki K, Okano T, Yamakawa T and Sue T. Development of a new dental panoramic radiographic system based on a tomosynthesis method. *Dentomaxillofac Radiol.* 2010; 39: 47-53.
- 41) Katsumata A, Ogawa K, Inukai K, Matsuoka M, Nagano T, Nagaoka H and Yamakawa T. Initial evaluation of linear and spatially oriented planar images from a new dental panoramic system based on tomosynthesis. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2011; 112: 375-382.
- 42) Kitai N, Mukai Y, Murabayashi M, Kawabata A, Washino K, Matsuoka M, Shimizu I and Katsumata A. Measurement accuracy with a new dental panoramic radiographic technique based on tomosynthesis. *Angle Orthod.* 2013; 83: 117-12

