

原 著

三次元パノラマ X 線装置による  
上顎犬歯および小白歯の歯軸傾斜の評価

加 来 瑛 子<sup>1,2)</sup> 村 林 学<sup>1)</sup> 黒 柳 ふ み<sup>1)</sup>  
勝 又 明 敏<sup>2)</sup> 北 井 則 行<sup>1)</sup>

Evaluation of the Mesiodistal and Buccolingual Inclination Angles of Upper  
Canine and Premolar Teeth Using a 3D Panoramic Radiograph

KAKU AKIKO<sup>1,2)</sup>, MURABAYASHI MANABU<sup>1)</sup>,  
KUROYANAGI FUMI<sup>1)</sup>, KATSUMATA AKITOSHI<sup>2)</sup> and KITAI NORIYUKI<sup>1)</sup>

抄録：本研究の目的は、トモシンセシス法を応用した三次元パノラマ X 線装置で撮影した頭部人工骨ファントムの画像を用いて、三次元パノラマ X 線装置が上顎犬歯および小白歯の歯軸傾斜角度を調べる検査に適しているかどうかを検討することである。

人体と同等の X 線吸収率をもった等価材で構成された人工骨ファントムを被写体とし、画像データの記録は、三次元パノラマ X 線装置と歯科用コーンビーム CT (CBCT) を用いて行った。それぞれの画像を用いて、上顎犬歯および小白歯について、犬歯については中心歯軸を、小白歯については、頬側歯軸、中心歯軸および口蓋側歯軸を定義した。これらの歯軸について、近遠心的傾斜角度と頬舌的傾斜角度を計測した。三次元パノラマ X 線画像上では、歯根の頬舌的傾斜角度も計測した。誤差は、三次元パノラマ X 線画像による計測値から CBCT 画像による計測値を減じた値の絶対値とした。三次元パノラマ X 線画像による計測値と CBCT 画像による計測値との間に有意差があるかどうかを、統計学的に検討した。

その結果、中心歯軸の近遠心的傾斜角度については、いずれの歯においても誤差は小さく、CBCT 画像との間に有意差は認められなかった。中心歯軸の頬舌的傾斜角度については、上顎右側第一小白歯以外のいずれの歯においても誤差は大きく、CBCT 画像による計測値より有意に小さい値を示した。歯根軸の頬舌的傾斜角度について、誤差は大きく、歯根軸の頬舌的傾斜角度を調べても誤差が小さくならないことが明らかになった。

以上の結果から、本研究で用いた三次元パノラマ X 線装置は、犬歯および小白歯の近遠心的歯軸傾斜角度を調べる検査に適していることが明らかになった。

キーワード：パノラマ X 線画像、歯軸傾斜、近遠心的傾斜角度、頬舌的傾斜角度

*Abstract: The purpose of the present study was to investigate whether 3D dental panoramic radiographic equipment is appropriate for the evaluation of the tooth inclinations of canine and premolar teeth.*

*Radiographic images of a simulated or phantom human head were made using 3D panoramic radiograph equipment and CBCT. The central axis of the maxillary canine and the buccal, central, and lingual axes of premolars were defined, respectively. Regarding the tooth axes, mesiodistal and buccolingual inclination angles of upper canine and premolar teeth were measured. In the 3D panoramic radiographs, the buccolingual inclination angle of the tooth root axis was also measured. Measurement errors, i.e., differences between the 3D panoramic radiographic measurements and the CBCT measurements, were determined. Differences be-*

<sup>1)</sup>朝日大学歯学部口腔構造機能発育学講座 歯科矯正学分野

<sup>2)</sup>朝日大学歯学部口腔病態医療学講座 歯科放射線学分野  
501-0296 瑞穂市穂積1851

<sup>1)</sup>Department of Orthodontics, Division of Oral Structure, Function and Development

<sup>2)</sup>Department of Oral and Maxillofacial Radiology, Division of Oral

Pathogenesis and Disease Control

Tooth inclination Using a 3D Panoramaim Radiograph

Asahi University School of Dentistry

Hozumi 1851, Mizuho, Gifu 501-0296, Japan

(平成27年1月22日受理)

*tween the measurement values using the two modalities were analyzed statistically.*

*Errors in measurement of the mesiodistal inclination angles of the central axes of the canine and premolar teeth evaluated using the 3D panoramic radiograph were small. Significant differences were not found between the values for the 3D panoramic radiograph and the CT images. Errors in measurement of the buccolingual inclination angles of the central tooth axes on the canine and premolar teeth evaluated using the 3D panoramic radiograph were large, with the exception of the upper right first premolar tooth. Errors in measurement of the buccolingual inclination angles of the tooth root axis on the canine and premolar teeth evaluated using the 3D panoramic radiograph were large, with the exception of the upper left canine.*

*The 3D panoramic radiograph is appropriate for evaluating mesiodistal inclination of canine and premolar teeth.*

Key words: Panoramic radiograph, tooth inclination, mesiodistal inclination, buccolingual inclination

## 緒 言

矯正歯科治療の診断、治療計画の立案および治療の実践は、正常咬合に可及的に近づくようにという方針で行われている<sup>1)</sup>。歯を適切に排列し正常咬合を獲得するためには、歯軸傾斜角度を調べて隣在歯間の位置関係を知ることが重要である。正常咬合者を対象とした歯軸傾斜角度の報告<sup>2)</sup>をもとに開発されたストレートワイヤー装置<sup>3)</sup>を用いて歯を排列すると、それぞれの近遠心的歯軸は概ね平行になり、頬舌的歯軸傾斜角度は犬歯から大白歯にかけて舌側傾斜の程度が大きくなる。マルチブラケット装置を用いて矯正歯科治療を行う場合、治療開始時に、歯軸傾斜角度を考慮して各歯にブラケットを位置づける必要がある<sup>4)</sup>。装置を撤去する前には、歯軸傾斜角度を再評価した上で、歯根間の位置関係を微調整して、動的治療を終えるのが望ましい。そこで、歯軸傾斜角度を客観的・定量的に計測し、隣在歯間の位置関係を正確に知ることは、歯の排列を適切に行うために重要である。また、抜歯部位における歯根の平行性が歯列の安定性に影響を及ぼすということが知られている<sup>5, 6)</sup>。そこで、犬歯および小白歯の歯軸傾斜角を評価することは、矯正歯科治療後の安定性を考えるためにも重要である。

近遠心的歯軸傾斜を評価するためには、従来、パノラマ X 線写真が用いられてきた<sup>7-12)</sup>。しかし、従来のパノラマ X 線写真は、部位によって拡大率が異なり、画像の歪みを生じるという欠点を有していた<sup>13)</sup>。同写真を用いた角度計測項目についての研究では、特に犬歯および小白歯部で歪みが大きいとされている<sup>14)</sup>。矯正歯科専門医を評価、認定する機関 (American Board of Orthodontics) が用いている症例評価システム<sup>15)</sup>でも、犬歯と小白歯との位置関係を評価するために、従来のパノラマ X 線写真を用いることは適切でないとしている。

唇舌 (頬舌) 的歯軸傾斜については、中切歯の唇舌

的歯軸傾斜角度は側面頭部 X 線規格写真によって評価されてきた<sup>16)</sup>。しかし、犬歯および小白歯の頬舌的歯軸傾斜については検討されてこなかった。犬歯および小白歯部では、頬舌的歯軸傾斜角度の違いが近遠心的歯軸傾斜角度に影響するという報告<sup>17)</sup>も認められることから、頬舌的歯軸傾斜角度を考慮する必要があると考えられる。

歯科用コーンビーム CT (CBCT) を用いれば、口腔顎顔面形態を正確に把握することができるために、近年、近遠心的歯軸傾斜角度と唇舌・頬舌的歯軸傾斜角度を評価した報告<sup>18-20)</sup>が認められるようになった。しかし、矯正歯科治療では、歯軸傾斜をチェックするために、治療前後あるいは治療中に繰り返し撮影が必要である<sup>6, 21)</sup>。CBCT 装置は、パノラマ X 線装置と比較すると被曝線量やコストの面から、繰り返し撮影することは適切ではなく、歯軸傾斜角度を評価するための日常的な検査としては推奨されない<sup>22)</sup>。

近年、トモシンセシス法<sup>23, 24)</sup>を応用した三次元パノラマ X 線装置が新しく開発された<sup>25)</sup>。この装置は、被曝線量を抑えながら三次元位置データが得られるという特徴を有している。距離計測の精度による研究では、断層域が広く撮影時の頭位の影響が少ないことが報告されている<sup>26)</sup>。上顎前歯の歯軸傾斜角度の精度についての研究では CBCT を用いた場合と同様に正確な計測が行えることが報告されている<sup>27)</sup>。一方、従来のパノラマ X 線写真では、前歯部よりも小白歯部で歯軸傾斜角度の誤差が大きいとされている<sup>8)</sup>。そこで、三次元パノラマ X 線装置を用いれば、従来のパノラマ X 線写真と異なり、小白歯部でも精度高く角度を計測できるのではないかと考え、犬歯および小白歯部での歯軸傾斜角度を検討することとした。

本研究の目的は、トモシンセシス法を応用して新しく開発された三次元パノラマ X 線装置で撮影した頭部人工骨ファントムの画像を用いて、三次元パノラマ X 線装置が犬歯および小白歯の歯軸傾斜角度を調べる

検査に適しているかどうかを検討することである。

## 試料と方法

### 1 被写体

撮影には、人体と同等のX線吸収率をもった軟組織等価材および硬組織等価材で構成された人工骨ファントム（歯科用頭部ファントム，京都科学，京都）を用いた（図1）。

### 2 撮影方法

#### 1) 三次元パノラマX線撮影

三次元パノラマX線撮影装置（QRmaster-P，テレシステムズ，大阪）を用いて，人工骨ファントムの撮影を行った。本装置のX線管一回転中心間距離は405mm，回転中心—検出器間距離は155mmであった。撮影条件は，管電圧80kV，管電流4mAとした。頭位の位置付けとして，人工骨ファントムをフラン克福ルト平面が床面と平行で，正中矢状平面が床面に対して垂直となるようにした。次に，床面に垂直な仮想平面が上顎左側犬歯の尖頭を通るように頭部を固定し，上下顎前歯間に厚さ2.0mmのプラスチック製バイトをかませて撮影を行った。

#### 2) CBCT撮影

CBCT撮影装置（Alphard-3030，朝日レントゲン工業，京都）を用いて，人工骨ファントムの撮影を行っ

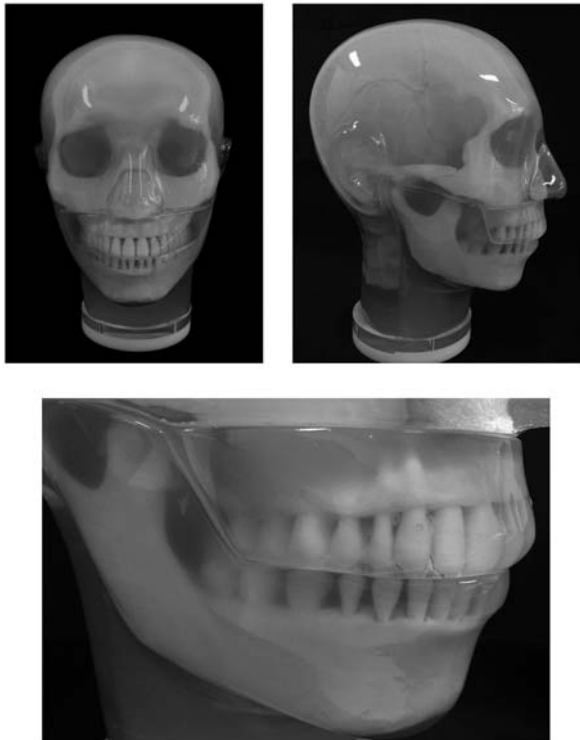


図1. 本研究で用いた人工骨ファントム

た。頭位の位置付けは，人工骨ファントムのフラン克福ルト平面を床面と平行にした。撮影条件は，管電圧80kV，管電流5mA，撮影範囲154mm×154mm，ボクセルサイズ0.3mmとした。

### 3 計測方法

#### 1) 計測点（表1，2，図2）

三次元パノラマX線画像データ上で，左右側の上顎犬歯および小臼歯について，以下のように計測点，歯軸および歯根軸を定義した。

表1. 計測点

計測点	定義
中切歯近心点	中切歯近心隣接面の最大豊隆点
第一大臼歯近心点	第一大臼歯近心隣接面の最大豊隆点
犬歯尖頭点	犬歯の尖頭に当たる点
犬歯頸部点	犬歯頸部部の近遠心的中央点
犬歯根尖点	犬歯歯根の最尖端点
犬歯近心点	犬歯近心隣接面の最大豊隆点
犬歯遠心点	犬歯遠心隣接面の最大豊隆点
第一小臼歯頰側咬頭点	第一小臼歯頰側咬頭の咬頭頂にあたる点
第一小臼歯口蓋側咬頭点	第一小臼歯口蓋側咬頭の咬頭頂にあたる点
第一小臼歯咬頭点	第一小臼歯頰側咬頭点と口蓋側咬頭点を結んだ線分の中点
第一小臼歯頸部点	第一小臼歯頸部部の近遠心的中央点
第一小臼歯頰側根尖点	第一小臼歯頰側根の最尖端点
第一小臼歯口蓋側根尖点	第一小臼歯口蓋側根の最尖端点
第一小臼歯根尖点	第一小臼歯頰側根尖点と口蓋側根尖点を結んだ線分の中点
第一小臼歯近心点	第一小臼歯近心隣接面の最大豊隆点
第一小臼歯遠心点	第一小臼歯遠心隣接面の最大豊隆点
第二小臼歯頰側咬頭点	第二小臼歯頰側咬頭の咬頭頂にあたる点
第二小臼歯口蓋側咬頭点	第二小臼歯口蓋側咬頭の咬頭頂にあたる点
第二小臼歯咬頭点	第二小臼歯頰側咬頭点と口蓋側咬頭点を結んだ線分の中点
第二小臼歯頸部点	第二小臼歯頸部部の近遠心的中央点
第二小臼歯根尖点	第二小臼歯歯根の最尖端点
第二小臼歯近心点	第二小臼歯近心隣接面の最大豊隆点
第二小臼歯遠心点	第二小臼歯遠心隣接面の最大豊隆点

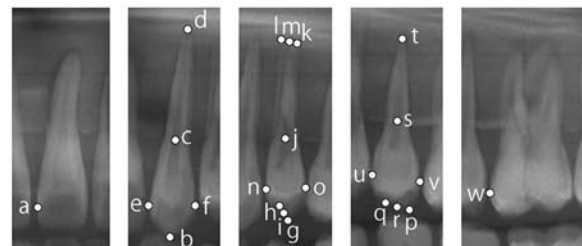


図2. 計測点

a：中切歯近心点，b：犬歯尖頭点，c：犬歯頸部点，d：犬歯根尖点，e：犬歯近心点，f：犬歯遠心点，g：第一小臼歯頰側咬頭点，h：第一小臼歯口蓋側咬頭点，i：第一小臼歯咬頭点，j：第一小臼歯頸部点，k：第一小臼歯頰側根尖点，l：第一小臼歯口蓋側根尖点，m：第一小臼歯根尖点，n：第一小臼歯近心点，o：第一小臼歯遠心点，p：第二小臼歯頰側咬頭点，q：第二小臼歯口蓋側咬頭点，r：第二小臼歯咬頭点，s：第二小臼歯頸部点，t：第二小臼歯根尖点，u：第二小臼歯近心点，v：第二小臼歯遠心点，w：第一大臼歯近心点（右側も同様に定義した。）

表 2. 歯軸および歯根軸

歯軸および歯根軸	定義
犬歯中心歯軸	犬歯尖頭点と犬歯根尖点を結んだ直線
第一小臼歯頰側歯軸	第一小臼歯頰側咬頭点と第一小臼歯頰側根尖点を結んだ直線
第一小臼歯口蓋側歯軸	第一小臼歯口蓋側咬頭点と第一小臼歯口蓋側根尖点を結んだ直線
第一小臼歯中心歯軸	第一小臼歯咬頭点と第一小臼歯根尖点を結んだ直線
第二小臼歯頰側歯軸	第二小臼歯頰側咬頭点と第二小臼歯根尖点を結んだ直線
第二小臼歯口蓋側歯軸	第二小臼歯口蓋側咬頭点と第二小臼歯根尖点を結んだ直線
第二小臼歯中心歯軸	第二小臼歯咬頭点と第二小臼歯根尖点を結んだ直線
犬歯歯根軸	犬歯頭部点と犬歯根尖点を結んだ直線
第一小臼歯歯根軸	第一小臼歯頭部点と第一小臼歯根尖点を結んだ直線
第二小臼歯歯根軸	第二小臼歯頭部点と第二小臼歯根尖点を結んだ直線

2) 基準平面 (表 3, 図 3, 4)

基準平面を以下のように定義した.

表 3. 基準平面

平面	定義
咬合平面	左右側中切歯近心点間の中点, 左側第一大臼歯近心点および右側第一大臼歯近心点を通る平面
犬歯平面	犬歯尖頭点を通り咬合平面と垂直で, 犬歯近心点と犬歯遠心点を結ぶ直線に平行な平面
第一小臼歯頰側平面	第一小臼歯頰側咬頭点を通り咬合平面と垂直で, 第一小臼歯近心点と第一小臼歯遠心点を結ぶ直線に平行な平面
第一小臼歯口蓋側平面	第一小臼歯口蓋側咬頭点を通り咬合平面と垂直で, 第一小臼歯近心点と第一小臼歯遠心点を結ぶ直線に平行な平面
第一小臼歯平面	第一小臼歯咬頭点を通り咬合平面と垂直で, 第一小臼歯近心点と第一小臼歯遠心点を結ぶ直線に平行な平面
第二小臼歯頰側平面	第二小臼歯頰側咬頭点を通り咬合平面と垂直で, 第二小臼歯近心点と第二小臼歯遠心点を結ぶ直線に平行な平面
第二小臼歯口蓋側平面	第二小臼歯口蓋側咬頭点を通り咬合平面と垂直で, 第二小臼歯近心点と第二小臼歯遠心点を結ぶ直線に平行な平面
第二小臼歯平面	第二小臼歯咬頭点を通り咬合平面と垂直で, 第二小臼歯近心点と第二小臼歯遠心点を結ぶ直線に平行な平面

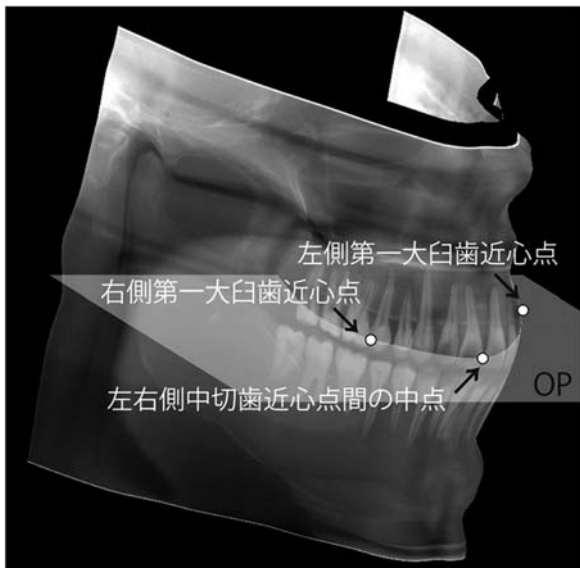


図 3. 咬合平面

OP: 咬合平面 (右側第一大臼歯近心点, 左右側中切歯近心点間の中点および左側第一大臼歯近心点を通る平面)

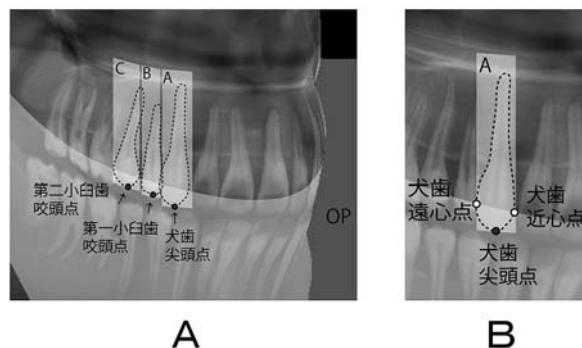


図 4. それぞれの歯に定義した平面

A.A: 犬歯平面, B: 第一小臼歯平面, C: 第二小臼歯平面, OP: 咬合平面

B. A: 犬歯平面 (犬歯尖頭点を通り咬合平面と垂直で, 犬歯近心点と犬歯遠心点を結ぶ直線に平行な平面)

3) 計測変量 (表 4 ~ 6, 図 5 ~ 7)

左右側の歯軸傾斜角度を評価するための計測変量を以下のように定義した. すなわち, 近遠心的傾斜角度 (表 4, 図 5), 頰舌的傾斜角度 (表 5, 図 6) および歯根軸頰舌的傾斜角度 (表 6, 図 7) を定義した. 近心傾斜を正の値, 遠心傾斜を負の値とした. また, 頰側傾斜を正の値, 口蓋側傾斜を負の値とした.

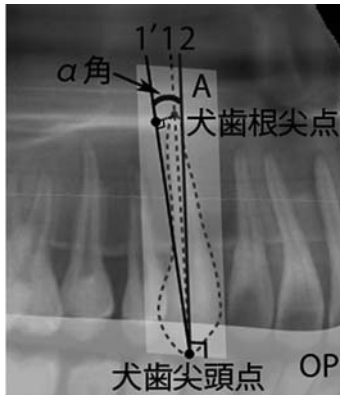
CBCT 画像についても, 同様の定義を用いて歯軸傾斜角度を評価した.

4) 計測方法

三次元パノラマ X 線撮影で得られた画像をパーソナルコンピュータ (Endeavor MR6900, セイコーエプソン, 長野)へ転送し, QRmaster-P 専用ソフトウェアを用いて, まず, 各計測点の座標を10回計測した. それぞれの計測点座標を用いて, 表計算ソフトウェア (Microsoft Excel 2010, 日本マイクロソフト, 東京)を用いて, 近遠心的傾斜角度と頰舌的傾斜角度を求めて10回の平均値を求めた. また, CBCTで得られた画像をパーソナルコンピュータ (HP Z210 Workstation, Hewlett-Packard Company, CA, USA)へ転送

表 4. 近遠心的傾斜角度

近遠心的傾斜角度	定義
犬歯中心歯軸	犬歯中心歯軸を犬歯平面に投影した直線と犬歯尖頭点を通り咬合平面に垂直な直線とのなす角度
第一小臼歯頰側歯軸	第一小臼歯頰側歯軸を第一小臼歯頰側平面に投影した直線と第一小臼歯頰側咬頭点を通り咬合平面に垂直な直線とのなす角度
第一小臼歯口蓋側歯軸	第一小臼歯口蓋側歯軸を第一小臼歯口蓋側平面に投影した直線と第一小臼歯口蓋側咬頭点を通り咬合平面に垂直な直線とのなす角度
第一小臼歯中心歯軸	第一小臼歯中心歯軸を第一小臼歯平面に投影した直線と第一小臼歯咬頭点を通り咬合平面に垂直な直線とのなす角度
第二小臼歯頰側歯軸	第二小臼歯頰側歯軸を第二小臼歯頰側平面に投影した直線と第二小臼歯頰側咬頭点を通り咬合平面に垂直な直線とのなす角度
第二小臼歯口蓋側歯軸	第二小臼歯口蓋側歯軸を第二小臼歯口蓋側平面に投影した直線と第二小臼歯口蓋側咬頭点を通り咬合平面に垂直な直線とのなす角度
第二小臼歯中心歯軸	第二小臼歯中心歯軸を第二小臼歯平面に投影した直線と第二小臼歯咬頭点を通り咬合平面に垂直な直線とのなす角度



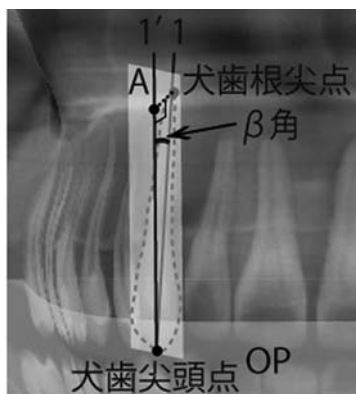
(三次元パノラマ X線画像による)

図5. 近遠心的傾斜角度

- 1 : 犬歯軸,
- 1' : 犬歯軸を犬歯平面に投影した直線,
- 2 : 犬歯根尖点を通り咬合平面に垂直な直線,
- OP : 咬合平面, A : 犬歯平面,
- α角 : 犬歯中心歯軸近遠心的傾斜角度 (1' と 2 とのなす角度) (第一小白歯, 第二小白歯についても同様に計測した.)

表5. 頬舌的傾斜角度

頬舌的傾斜角度	定義
犬歯中心歯軸	犬歯中心歯軸を犬歯平面に投影した直線と犬歯中心歯軸とのなす角度
第一小白歯頬側歯軸	第一小白歯頬側歯軸を第一小白歯頬側平面に投影した直線と第一小白歯頬側歯軸とのなす角度
第一小白歯口蓋側歯軸	第一小白歯口蓋側歯軸を第一小白歯口蓋側平面に投影した直線と第一小白歯口蓋側歯軸とのなす角度
第一小白歯中心歯軸	第一小白歯中心歯軸を第一小白歯平面に投影した直線と第一小白歯中心歯軸とのなす角度
第二小白歯頬側歯軸	第二小白歯頬側歯軸を第二小白歯頬側平面に投影した直線と第二小白歯頬側歯軸とのなす角度
第二小白歯口蓋側歯軸	第二小白歯口蓋側歯軸を第二小白歯口蓋側平面に投影した直線と第二小白歯口蓋側歯軸とのなす角度
第二小白歯中心歯軸	第二小白歯中心歯軸を第二小白歯平面に投影した直線と第二小白歯中心歯軸とのなす角度



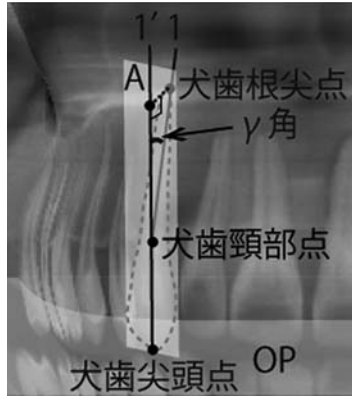
(三次元パノラマ X線画像による)

図6. 頬舌的傾斜角度

- 1 : 犬歯軸,
- 1' : 犬歯軸を犬歯平面に投影した直線,
- OP : 咬合平面, A : 犬歯平面,
- β角 : 犬歯中心歯軸頬舌的傾斜角度 (1' と 1 とのなす角度) (第一小白歯, 第二小白歯についても同様に計測した.)

表6. 歯根軸頬舌的傾斜角度

歯根軸頬舌的傾斜角度	定義
犬歯	犬歯歯根軸を犬歯平面に投影した直線と犬歯歯根軸とのなす角度
第一小白歯	第一小白歯歯根軸を第一小白歯平面に投影した直線と第一小白歯歯根軸とのなす角度
第二小白歯	第二小白歯歯根軸を第二小白歯平面に投影した直線と第二小白歯歯根軸とのなす角度



(三次元パノラマ X線画像による)

図7. 歯根軸頬舌的傾斜角度

- 1 : 犬歯歯根軸,
- 1' : 犬歯歯根軸を犬歯平面に投影した直線,
- OP : 咬合平面, A : 犬歯平面,
- γ角 : 犬歯歯根軸頬舌的傾斜角度 (1' と 1 とのなす角度) (第一小白歯, 第二小白歯についても同様に計測した.)

し, 三次元画像解析用ソフトウェア (Analyze™, Mayo Clinic and Foundation, Rochester, MN, USA) を用いて, 同様に, 近遠心的傾斜角度と頬舌的傾斜角度の計測を10回行って平均値を求めた. 三次元パノラマ X線画像の誤差は, 三次元パノラマ X線画像による計測値から CBCT 画像による計測値を減じた値の絶対値とした. 三次元パノラマ X線画像による歯根軸頬舌的傾斜角度については, CBCT 画像による頬舌的傾斜角度との差の絶対値を誤差として求めた.

#### 4 統計処理

近遠心的傾斜角度と頬舌的傾斜角度について, 三次元パノラマ X線画像による計測値と CBCT 画像による計測値との間に有意差があるかどうかを, Student's paired t-test を用いて検討した. なお, これらの算出には統計解析用ソフトウェア (SPSS14.0, IBM, NY, USA) を用い,  $P < 0.01$  を有意差ありとした.

#### 結果

犬歯の近遠心的傾斜角度について, 三次元パノラマ X線画像による計測値の誤差は, 左側  $0.79^\circ$ , 右側  $0.43^\circ$  で, CBCT 画像による計測値との間に, 有意差が認

められなかった (表7)。

小白歯の近遠心的傾斜角度に関して、三次元パノラマ X 線画像による計測値の誤差の範囲は0.03°~5.13°であった。左側第一小白歯口蓋側歯軸、右側第一小白歯口蓋側歯軸、左側第二小白歯頰側歯軸、右側第二小白歯口蓋側歯軸で、CBCT 画像による計測値との間に有意差が認められた。それ以外の歯においては、CBCT 画像による計測値との間に有意差が認められなかった (表7)。

犬歯および小白歯の近遠心的歯軸傾斜角度の左右差について、犬歯および第二小白歯頰側軸で大きかった (表8)。

犬歯の頰舌的傾斜角度について、三次元パノラマ X 線画像による計測値の誤差は、左側4.24°、右側14.29°で、CBCT 画像による計測値より有意に小さい値を示した (表9)。小白歯の頰舌的傾斜角度に関して、三次元パノラマ X 線画像による計測値の誤差の範囲は0.50°~12.30°で、左側第一小白歯口蓋側歯軸および右側第一小白歯中心歯軸で、CBCT 画像による計測値との間に有意差が認められなかった。それ以外の歯においては、CBCT 画像による計測値との間に有意差が認められた (表9)。

表7. 犬歯および小白歯の近遠心的傾斜角度

	三次元パノラマX線		CBCT		誤差(°)	有意差
	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差		
左側犬歯中心歯軸	8.48	0.81	7.69	0.95	0.79	NS
右側犬歯中心歯軸	5.85	0.68	5.42	0.90	0.43	NS
第一小白歯 (左側)						
頰側歯軸	2.64	0.92	3.16	0.88	0.52	NS
口蓋側歯軸	6.96	0.80	1.83	0.86	5.13	*
中心歯軸	3.55	0.69	2.83	0.85	0.72	NS
(右側)						
頰側歯軸	4.07	0.62	5.06	0.76	0.99	NS
口蓋側歯軸	7.60	0.62	3.46	0.47	4.14	*
中心歯軸	5.86	0.78	4.79	0.90	1.07	NS
第二小白歯 (左側)						
頰側歯軸	-2.13	0.90	-3.61	0.71	1.48	*
口蓋側歯軸	6.29	0.68	5.41	0.52	0.88	NS
中心歯軸	2.12	0.91	1.00	0.65	1.12	NS
(右側)						
頰側歯軸	2.62	0.62	2.65	0.54	0.03	NS
口蓋側歯軸	4.92	0.48	4.18	0.74	0.74	*
中心歯軸	3.49	0.60	3.35	0.57	0.14	NS

(\*P<0.01; NS,有意差なし)

表8. 犬歯および小白歯の近遠心的傾斜角度の左右差

	三次元パノラマX線	CBCT
犬歯中心歯軸	2.63	2.27
第一小白歯		
頰側歯軸	1.43	1.90
口蓋側歯軸	0.64	1.63
中心歯軸	2.31	1.96
第二小白歯		
頰側歯軸	4.75	6.26
口蓋側歯軸	1.37	1.23
中心歯軸	1.37	2.35

表9. 犬歯および小白歯の頰舌的傾斜角度

	三次元パノラマX線		CBCT		誤差(°)	有意差
	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差		
左側犬歯中心歯軸	16.03	0.47	20.27	1.01	4.24	*
右側犬歯中心歯軸	9.06	0.45	23.35	0.69	14.29	*
第一小白歯 (左側)						
頰側歯軸	8.70	0.45	17.05	0.62	8.35	*
口蓋側歯軸	11.39	0.66	10.45	1.11	0.94	NS
中心歯軸	9.60	0.52	13.99	0.72	4.39	*
(右側)						
頰側歯軸	4.09	0.57	7.48	0.88	3.39	*
口蓋側歯軸	7.78	0.72	3.63	0.50	4.15	*
中心歯軸	5.84	0.62	5.18	0.62	0.66	NS
第二小白歯 (左側)						
頰側歯軸	5.97	0.66	18.27	0.70	12.30	*
口蓋側歯軸	7.77	0.45	6.49	0.52	1.28	*
中心歯軸	5.49	0.44	10.98	0.67	5.49	*
(右側)						
頰側歯軸	2.16	0.50	13.16	0.66	11.00	*
口蓋側歯軸	4.99	0.57	4.49	0.70	0.50	*
中心歯軸	3.46	0.53	7.02	0.55	3.56	*

(\*P<0.01; NS,有意差なし)

表10. 犬歯および小白歯の頰舌的傾斜角度の左右差

	三次元パノラマX線	CBCT
犬歯中心歯軸	6.97	3.08
第一小白歯		
頰側歯軸	4.61	9.57
口蓋側歯軸	3.61	6.82
中心歯軸	3.76	8.81
第二小白歯		
頰側歯軸	3.81	5.11
口蓋側歯軸	2.78	2.00
中心歯軸	2.03	3.96

犬歯および小白歯の頰舌的歯軸傾斜角度の左右差について、いずれの歯においても大きかった (表10)。

三次元パノラマ X 線画像で歯根軸の頰舌的傾斜角度を調べた場合、三次元パノラマ X 線画像による誤差の範囲は0.45°~13.69°で、左側犬歯を除いて誤差が大きかった。すなわち、三次元パノラマ X 線画像を用いて頰舌的傾斜角度を計測する場合には、歯根軸の傾斜角度を調べても、誤差が小さくならなかった (表11)。

犬歯および小白歯の歯根軸頰舌的傾斜角度の左右差について、いずれの歯においても大きかった (表12)。

表11. 歯根軸頰舌的傾斜角度

	三次元パノラマX線		CBCT <sup>(注)</sup>		誤差(°)	有意差
	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差		
左側犬歯	19.82	0.40	20.27	1.01	0.45	NS
右側犬歯	9.66	0.44	23.35	0.69	13.69	*
左側第一小白歯	19.87	0.69	13.99	0.72	5.88	*
右側第一小白歯	15.30	0.86	5.18	0.62	10.12	*
左側第二小白歯	15.45	0.46	10.98	0.67	4.47	*
右側第二小白歯	10.90	0.69	7.02	0.55	3.88	*

(注: CBCTは歯冠-歯根軸を示す) (\*P<0.01; NS,有意差なし)

表12. 歯根軸頬舌的傾斜角度の左右差

	三次元パノラマX線	CBCT <sup>(注)</sup>
犬歯	10.16	3.08
第一小臼歯	4.57	8.81
第二小臼歯	4.55	3.96

(注: CBCTは歯冠-歯根軸を示す)

## 考 察

本研究では、犬歯および小臼歯の近遠心的歯軸傾斜角度について、それぞれの歯の尖頭点あるいは咬頭点を通り咬合平面と垂直で、近心点と遠心点を結ぶ直線に平行な平面上で計測した結果、近心傾斜を示しており、正常咬合者の口腔模型を用いた報告<sup>3)</sup>と近似した値を示した。このことから、Andrewsの定義したアンギュレーション<sup>2)</sup>と同様に、歯を正面から見た近遠心的歯軸傾斜角度を計測できたと考える。一方、頬舌的歯軸傾斜角度については、Andrewsは歯冠の傾斜を計測していたことから口蓋側傾斜を示したが、本研究では歯冠から根尖までの傾斜角度を計測していたことから頬側傾斜を示していた。

小臼歯の歯根は、二根となることもある(33%)と報告されている<sup>28)</sup>。本研究で用いたファントムの第一小臼歯は二咬頭・二根であったため、頬側咬頭頂と頬側根尖を結んだ頬側歯軸、口蓋側咬頭頂と口蓋側根尖を結んだ口蓋側歯軸、および頬舌側咬頭頂の midpoint と頬舌側根尖の midpoint を結んだ中心歯軸を定義した。第二小臼歯は二咬頭・一根であったため、頬側咬頭頂と根尖を結んだ頬側歯軸、口蓋側咬頭頂と根尖を結んだ口蓋側歯軸、および頬舌側咬頭頂の midpoint と根尖を結んだ中心歯軸を定義した。口腔模型を用いた報告<sup>2)</sup>では歯冠の頬側面から歯軸を予測していたが、歯軸は歯冠と歯根で決定されることから、本研究での歯軸の方が妥当であると考えられる。

本研究では、近遠心的歯軸傾斜角度について、犬歯、第一小臼歯、第二小臼歯のいずれの歯においても、中心歯軸で、三次元パノラマX線画像とCBCT画像による計測値との間に有意差が認められなかった。CBCT画像は口腔顎顔面形態を精度高く評価できると報告されている<sup>29,30)</sup>。そのため、本研究で用いた三次元パノラマX線画像での近遠心的歯軸傾斜角度の計測は、CBCT画像と同様に精度の高い計測が可能であると考えられた。

また、それぞれの歯の頬側面に平行な平面に歯軸を投影して近遠心的傾斜角度を計測したため、頬舌的傾斜角度の違いによって近遠心的傾斜角度が異なるという幾何学的な誤差<sup>3,17)</sup>を排除した近遠心的傾斜角度を

計測できたと考える。

本研究で用いられた三次元パノラマX線装置では、頬舌方向に重なり合った歯の位置関係を認識することが困難であったため、頬側咬頭であるか口蓋側咬頭であるか、また、頬側根尖であるか口蓋側根尖であるかの判断は厳密には不可能であり、頬側歯軸、口蓋側歯軸を計測するより、頬側咬頭頂と口蓋側咬頭頂、頬側根尖と口蓋側根尖の midpoint を用いた方が、精度がよかったと考えられる。

従来のパノラマX線画像での近遠心的傾斜角度の計測精度を調べた研究では、真の値と比較して、上顎前歯部では歯根がより近心に位置し、上顎臼歯部では歯根がより遠心に位置しており、犬歯歯根と小臼歯歯根との位置関係は実際より離れて表示されるため注意を要すると考察されている<sup>30,31)</sup>。本三次元パノラマX線画像での近遠心的歯軸傾斜角度の計測についてCBCT画像と同様に精度が高いという結果は、上顎前歯について本研究と同じ装置で調べた報告<sup>27)</sup>と同様な結果であり、本装置は前歯部だけでなく小臼歯部でも近遠心的歯軸傾斜角度を評価するために応用できることが示唆され、矯正歯科臨床に活用できると考えられた。例えば、第一小臼歯抜去症例において、抜歯空隙を閉鎖後に犬歯と第二小臼歯の歯根の平行性を調べる場合、あるいはマルチブラケット装置撤去前に歯軸傾斜角度を再評価する場合に有効であると考えられる。

従来のパノラマX線写真を用いて犬歯および小臼歯の歯根の平行性を調べた研究で、歯根の平行性と歯列安定性とは関係がないという報告が認められる<sup>32)</sup>。従来のパノラマX線写真では歯の傾斜角度を正確に評価することは困難であったため、本研究で用いた三次元パノラマX線装置を利用すれば、異なる結果が得られるかもしれない。しかし、本三次元パノラマX線装置では、頬舌方向に重なり合った歯の位置関係を判別することが困難であることから、著しい叢生が認められる症例において治療前の歯軸傾斜角度を評価するための資料として利用することは限定的と考える。

頬舌的歯軸傾斜角度について、本研究では、左側第一小臼歯口蓋側歯軸および右側第一小臼歯中心歯軸以外のいずれの歯軸においても、三次元パノラマX線画像とCBCT画像による計測値との間に有意差が認められ、頬舌的傾斜角度については、精度よく計測できないことが示唆された。これは、上顎前歯について本研究と同じ装置で調べた報告<sup>27)</sup>と同様な結果であった。本報告で頬舌的傾斜角度が精度よく計測できなかった原因として、三次元パノラマX線画像では三次元マッピングを行う際、上下顎歯の境界部は移行的

にする設定となっており、本ファントムでは、上顎右側第一小白歯以外のいずれの歯においても下顎歯との水平的な距離が大きかったため、上顎歯の画像が下顎歯の影響で後方に引っ張られたことが、頬舌の歯軸傾斜角度について有意差を認めた理由のひとつであると考えられる。

一方、三次元パノラマ X 線画像で歯根軸の頬舌的傾斜角度を調べた場合、誤差の範囲は $0.45^{\circ} \sim 13.69^{\circ}$ で、上顎左側犬歯を除いて誤差が大きかった。従来のパノラマ X 線写真では、断層面である平面に画像を投影していたため、頬舌的傾斜角度を計測することは不可能であり、頬舌的な位置関係を調べることができないことが欠点のひとつと考えられていた<sup>13)</sup>。本研究と同じ装置で調べた報告では、上顎前歯の唇舌的傾斜角度は、歯根軸傾斜角度を調べることによって計測できるとしている<sup>27)</sup>。しかし、本報告では小白歯の歯根軸傾斜角度を計測しても、誤差は小さくならなかった。この理由は、犬歯については、左右差が大きかったことから、今回用いた人工骨ファントムの左右差が考えられる。すなわち、本ファントムの上顎右側犬歯の歯根は左側と比較して長く、口蓋骨に接触しているため、口蓋骨画像の影響を受けて根尖の座標が適切に計測できない可能性がある。また、小白歯部では歯冠の頬舌的な厚みが大きいため、頬舌的な位置の認識が困難であることを特徴とする本三次元パノラマ X 線装置で、誤差が大きくなる可能性が考えられた。

以上の結果から、三次元パノラマ X 線装置は、犬歯および小白歯について、頬舌的歯軸傾斜角度を計測することは困難であるが、近遠心的歯軸傾斜角度を精度高く調べることができると考えられる。また、三次元パノラマ X 線装置の被曝線量は約 $10 \mu\text{Sv}$ と、CBCTの被曝線量の10分の1程度であることが知られている<sup>33)</sup>。これらのことから、三次元パノラマ X 線装置は、治療前後あるいは治療中に繰り返し検査が必要な矯正歯科臨床において、近遠心的歯軸傾斜を評価するのに適していることが示唆された。一方、同装置を用いた距離計測の精度についての研究では、頭位の影響が少ないことが報告されている<sup>26)</sup>。本研究はその報告とは計測方法が異なり、角度計測の精度についての報告であるため、臨床応用する場合には、頭位の変化に伴う再現性について検討する必要があると考えられる。

## 結 論

三次元パノラマ X 線撮影画像による上顎犬歯および小白歯の歯軸傾斜角度について、CBCT 画像による計測値との差を誤差として検討したところ、次のよ

うな結果が得られた。

(1) 中心歯軸の近遠心的傾斜角度の誤差は、上顎犬歯、第一小白歯、第二小白歯のいずれの歯においても小さい。

(2) 中心歯軸の頬舌的傾斜角度の誤差は、上顎右側第一小白歯以外のいずれの歯においても大きい。

(3) 歯根軸の頬舌的傾斜角度の誤差は上顎左側犬歯以外のいずれの歯においても大きい。

これらの結果から、三次元パノラマ X 線装置が犬歯および小白歯の近遠心的歯軸傾斜角度を調べる検査に適していることが明らかになった。

## 文 献

- 1) Angle EH. Classification of malocclusion. *Dent Cos.* 1899; 41: 248-264.
- 2) Andrews LF. The six keys to normal occlusion. *Am J Orthod.* 1972; 62: 296-309.
- 3) Andrews LF. The straight-wire appliance. *Br J Orthod.* 1979; 6: 125-143.
- 4) McLaughlin R, Bennett J and Trevisi H. Systemized orthodontic treatment mechanics. St. Louis: Mosby Year Book; 2001: 28-38.
- 5) Hatasaka HH. A radiographic study of roots in extraction sites. *Angle Orthod.* 1976; 46: 64-68.
- 6) Mayoral G. Treatment results with light wires studied by panoramic radiography. *Am J Orthod.* 1982; 81: 489-497.
- 7) McKee IW, Glover KE, Williamson PC, Lam EW, Heo G and Major PW. The effect of vertical and horizontal head positioning in panoramic radiography on mesiodistal tooth angulations. *Angle Orthod.* 2001; 71: 442-451.
- 8) McKee IW, Williamson PC, Lam EW, Heo G, Glover KE and Major PW. The accuracy of 4 panoramic units in the projection of mesiodistal tooth angulations. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2002; 121: 166-175.
- 9) Stramotas S, Geenty JP, Petocz P and Darendeliler MA. Accuracy of linear and angular measurements on panoramic radiographs taken at various positions in vitro. *Eur J Orthod.* 2002; 24: 43-52.
- 10) de Almeida-Pedrin RR, Pinzan A, de Almeida RR, Ursi W and de Almeida MR. Panoramic evaluation of mesiodistal axial inclinations of maxillary anterior teeth in orthodontically treated subjects. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2006; 130: 56-60.
- 11) Hardy TC, Suri L and Stark P. Influence of patient head positioning on measured axial tooth inclination in panoramic radiography. *J Orthod.* 2009; 36: 103-110.
- 12) Leuzinger M, Dudic A, Giannopoulou C and Kiliaridis S. Root-contact evaluation by panoramic radiography



- and cone-beam computed tomography of super-high resolution. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2010; 137: 389–392.
- 13) Langland OE and Langlais RP. Principles of dental imaging. 1st ed. Baltimore: Williams & Wilkins; 1997: 207–224.
  - 14) Samawi SS and Burke PH. Angular distortion in the orthopantomogram. *Br J Orthod.* 1984; 11: 100–107.
  - 15) Casco JS, Vaden JL, Kokich VG, Damone J, James RD, Cangialosi TJ, Riolo ML, Owens SE Jr and Bills ED. Objective grading system for dental casts and panoramic radiographs. American Board of Orthodontics. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1998; 114: 589–599.
  - 16) Downs WB. Variation in facial relationships: their significance in treatment and prognosis. *Am J Orthod.* 1948; 34: 812–840.
  - 17) Garcia-Figueroa MA, Raboud DW, Lam EW, Heo G and Major PW. Effect of buccolingual root angulation on the mesiodistal angulation shown on panoramic radiographs. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2008; 134: 93–99.
  - 18) Bouwens DG, Cevidanes L, Ludlow JB and Phillips C. Comparison of mesiodistal root angulation with post-treatment panoramic radiographs and cone-beam computed tomography. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2011; 139: 126–132.
  - 19) Tong H, Enciso R, Van Elslande D, Major PW and Sameshima GT. A new method to measure mesiodistal angulation and faciolingual inclination of each whole tooth with volumetric cone-beam computed tomography images. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2012; 142: 133–143.
  - 20) Tong H, Kwon D, Shi J, Sakai N, Enciso R and Sameshima GT. Mesiodistal angulation and faciolingual inclination of each whole tooth in 3-dimensional space in patients with near-normal occlusion. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2012; 141: 604–617.
  - 21) Graber TM. Panoramic radiography in orthodontic diagnosis. *Am J Orthod.* 1967; 53: 799–821.
  - 22) Silva MA, Wolf U, Heinicke F, Bumann A, Visser H and Hirsch E. Cone-beam computed tomography for routine orthodontic treatment planning: a radiation dose evaluation. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2008; 133: 640. e1 -640. e5.
  - 23) 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.
  - 24) Noujeim M, Prihoda T, McDavid WD, Ogawa K, Yamakawa T, Seki K, Okano T, Sue T and Langlais RP. Pre-clinical evaluation of a new dental panoramic radiographic system based on tomosynthesis method. *Dentomaxillofac Radiol.* 2011; 40: 42–46.
  - 25) Katsumata A, Ogawa K, Inukai K, Matsuoka M, Naganano 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.
  - 26) 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: 117–126.
  - 27) Kondou J, Murabayashi M, Kuroyanagi F, Kawabata A, Katsumata A and Kitai N. Evaluation of the mesiodistal and faciolingual inclination angles of upper anterior teeth using a 3D panoramic radiograph. *J Gifu Dent Soc.* 2013; 40: 32–38.
  - 28) Tian YY, Guo B, Zhang R, Yu X, Wang H, Hu T and Dummer PM. Root and canal morphology of maxillary first premolars in a Chinese subpopulation evaluated using cone-beam computed tomography. *Int Endod J.* 2012; 45: 996–1003.
  - 29) Citardi MJ, Herrmann B, Hollenbeak CS, Stack BC, Cooper M and Bucholz RD. Comparison of scientific calipers and computer-enabled CT review for the measurement of skull base and craniomaxillofacial dimensions. *Skull Base.* 2001; 11: 5–11.
  - 30) Peck JL, Sameshima GT, Miller A, Worth P and Hatcher DC. Mesiodistal root angulation using panoramic and cone beam CT. *Angle Orthod.* 2007; 77: 206–213.
  - 31) Owens AM and Johal A. Near-end of treatment panoramic radiograph in the assessment of mesiodistal root angulation. *Angle Orthod.* 2008; 78: 475–481.
  - 32) Chiqueto K, Janson G, de Almeida CT, Storniolo JM, Barros SE and Henriques JF. Influence of root parallelism on the stability of extraction-site closures. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2011; 139: e505–e510.
  - 33) Al-Okshi A, Nilsson M, Petersson A, Wiese M and Lindh C. Using GafChromic film to estimate the effective dose from dental cone beam CT and panoramic radiography. *Dentomaxillofac Radiol.* 2013; 42: 20120343.