

セファログラムとCT画像上の上顎骨厚の関係性 —アンカースクリュー術前診査にセファログラムを活かす—

安楽真梨子¹ 内田靖紀^{1,2} 稲葉瑞樹^{1,2} 納村泰弘^{1,2}
大熊理沙子^{1,3} 笹川剛志^{1,3} 仮谷仁志^{1,3} 米山敏弘^{1,3} 本吉満^{1,2}

¹ 日本大学歯学部歯科矯正学講座

² 日本大学歯学部総合歯学研究所臨床研究部門

³ 日本大学大学院歯学研究科口腔構造機能学分野

要旨

【目的】 歯科矯正用アンカースクリューの植立のための歯科用コーンビームCT（以下CBCT）画像を用いた診査は、患者に対する放射線被曝量が多いという問題がある。術前でパノラマやデンタルX線写真から歯根間距離、セファログラムから口蓋部骨厚の大きな情報は得られるが、アンカースクリューの初期安定性に影響するとされる植立部周囲の皮質骨厚については情報が得られない。そこで本研究は、セファログラム上における骨厚とCBCT画像上の骨厚との関係を調査し、被曝量の少ないセファログラムからCBCTでの骨厚評価に相当する情報を得ることが可能か否かを検討することを目的とした。

【材料および方法】 矯正歯科治療を希望して本学付属歯科病院に来院した永久歯列の患者で、診断を目的として正面・側面セファログラムおよびCBCTを撮影した40名（女性30名、男性10名、平均年齢26.0 ± 9.43歳）を対象とした。セファログラムから口蓋部の種々の骨厚を、またCBCT画像から口蓋部骨厚および頬側歯槽部皮質骨厚を計測し、両者の計測値間の関係性についてPearsonの相関係数を求めることによって検討した。

【結果および考察】 側面セファログラム上の4-5間、5-6間、6-7間の口蓋部皮質骨厚および5-6間、6-7間の口蓋部骨厚に比較して、CBCT上の同部位皮質骨厚および同部位骨厚がそれぞれ大きい値を示した。正面セファログラム上の口蓋部骨厚とCBCT画像上の口蓋部骨厚との関係については、6-7間においてのみ両者の口蓋傍正中中部骨厚間に正の相関関係がみられたことから、正面セファログラム上に投影される口蓋傍正中中部骨厚は、口蓋の後方部である大白歯部の骨厚を反映している可能性がある。側面セファログラム上の白歯部の口蓋部骨厚はCBCT画像上の同部位計測値との間に強い正の相関を示したことから、側面セファログラムは口蓋部の骨厚の概略的な診査を行うことができ、アンカースクリュー植立のための有用な情報として利用できる可能性があると考えられる。

【結論】 アンカースクリュー植立部位の術前診査にセファログラムを用いる際、正面セファログラムにおいては口蓋傍正中中部が、側面セファログラムにおいては小白歯・大白歯部に相当する口蓋正中領域が骨厚の目安となると考えられる。

キーワード： アンカースクリュー、口蓋骨厚、皮質骨厚、セファログラム、CBCT

Relationship between cephalogram and CT images of maxillary bone thickness - The using cephalogram in the diagnosis of anchor screw surgery -

Mariko Anraku¹, Yasuki Uchida^{1,2}, Mizuki Inaba^{1,2}, Yasuhiro Namura^{1,2}, Risako Okuma^{1,3},
Tsuayoshi Sasagawa^{1,3}, Hitoshi Kariya^{1,3}, Toshihiro Yoneyama^{1,3}, Mitsuru Motoyoshi^{1,2}

¹ Department of Orthodontics, Nihon University School of Dentistry

² Division of Clinical Research, Dental Research Center, Nihon University School of Dentistry

³ Division of Oral Structural and Functional Biology, Nihon University Graduate School of Dentistry

Abstract

【Purpose】 Although dental cone-beam computed tomography (CBCT) imaging has been used to inform the placement of orthodontic anchoring screws (OAS), there is concern regarding excessive radiation exposure for patients. Preoperative evaluation via panoramic or dental radiographs provides simple information about the inter-root distance, while evaluation via cephalograms provides basic information about palatal bone thickness. However, these techniques cannot provide information such as the cortical bone thickness of the placement site, which affects the initial stability of OAS. Therefore, the purpose of this study was to compare cephalograms and CBCT images in terms of the detection of various bone thicknesses, and to examine whether cephalograms, which carry low radiation exposure, can provide bone thickness information that is equivalent to CBCT for OAS placement.

【Materials and Methods】 We included 40 patients with permanent dentition who had undergone postero-anterior (PA) and lateral cephalograms as well as CBCT imaging for diagnostic purposes. We measured various bone thicknesses in the palatal region from cephalograms and those in the palatal and buccal alveolar regions from CBCT images.

【Results and Discussion】 The cortical bone thickness and bone thicknesses between the first and second premolars, second premolar and first molar, and first and second molars on the CBCT images were larger than those in the same areas on the lateral cephalograms. Regarding the relationship between the thicknesses of the palatal region on the PA cephalogram and those on the CBCT images, we observed a positive correlation in the thickness of the paramedian palatal suture region between the first and second molars only. This suggests that the thickness of the paramedian palatal suture region, projected on PA cephalograms, may reflect the thickness of the molar region in the posterior palate. The palatal bone thickness in the premolar and molar regions on the lateral cephalogram was strongly and positively correlated with the measurements of the same region on the CBCT images. This suggests that lateral cephalograms can provide a provisional measure of palatal bone thickness and that they may be useful for OAS placement.

【Conclusion】 When using cephalograms during preoperative examinations of placement sites for palatal OAS, the paramedian suture region in PA cephalograms and the median palatal region corresponding to the premolar and molar areas in lateral cephalograms may lead the estimations of bone thickness.

Keywords: orthodontic anchoring screw (OAS), palatal bone thickness, cortical bone thickness, cephalograms, cone-beam computed tomography (CBCT)

(受付：令和5年4月10日)

責任著者連絡先：内田靖紀

日本大学歯学部歯科矯正学講座

〒101-8310 東京都千代田区神田駿河台1-8-13

TEL：03-3219-8105

FAX：03-3219-8365

E-mail：uchida.yasuki@nihon-u.ac.jp

緒 言

歯科矯正用アンカースクリュー（以下スクリュー）の植立には、術前および術後の画像診査が不可欠であり、臨床において歯科用コーンビーム CT（以下 CBCT）画像を応用した診査が多用されている¹⁻¹¹⁾。特に、スクリュー植立の術前診査の項目に関して、歯根間距離は植立時の隣接歯根への損傷に影響すること^{1,3-5,11)}や、皮質骨厚はスクリューの安定性にかかわる重要な因子の一つであること^{5,6,11)}、さらに骨形態^{7,8)}やスクリューからの牽引方向など^{8,9)}、CBCT 画像の解析がスクリュー植立成功率の向上に大きく貢献し有用であることが示されている。

一方、CBCT 画像診断について、患者が受ける放射線被曝量の問題¹²⁻¹⁴⁾や顎変形症等の保険診療においては診査への適用に制限があり、スクリュー植立前後の慣例的な診査として応用することが困難であるという問題が存在する。そのため、一般歯科診療で広く用いられているパノラマ X 線写真やデンタル X 線写真、矯正歯科診療において標準的に撮影される頭部 X 線規格写真（以下セファログラム）の二次元情報から、スクリュー植立に関する情報を得ることができれば臨床上極めて有用である。

ところが、パノラマ X 線写真やデンタル X 線写真、セファログラムから歯根間距離や口蓋正中部骨厚の概略的な情報が得られるが、スクリュー植立深度や植立部位の皮質骨厚がどのくらいかについては詳細な情報を得ることは困難である。そのため、これらの二次元 X 線画像と CBCT 画像の両方から得られる計測データを比較して関係性を検討することによって、被曝量の少ない従来の二次元 X 線画像からスクリューの植立領域の皮質骨厚を含む骨厚の傾向を推測することが可能となれば、その有効性は高いと思われる。また、骨格型の違いによっても骨厚に差異が認められることが報告されており¹⁵⁻¹⁸⁾、二次元 X 線画像から得られる骨格型の傾向と CBCT 画像からの情報との関係性を併せて検討することで、CBCT 画像に依存することなく安定的なスクリュー植立の可否についてより予見性の高い診査が可能となると考えられる。

そこで本研究は、正面および側面セファログラム上で計測を行った種々の骨厚および従来のセファロ計測項目と、CBCT 画像上で計測した骨厚との関係性について調査し、植立部位の皮質骨厚評価に相当する情報を得ることが可能であるか否かについて検討することを目的とした。

材料および方法

1. 対象

日本大学歯学部付属歯科病院歯科矯正科へ矯正歯科治療を目的として受診した永久歯列の患者で、初診時の診査目的にて正面および側面セファログラムと歯科用 CBCT 画像を撮影した者のうち、除外基準として①矯正

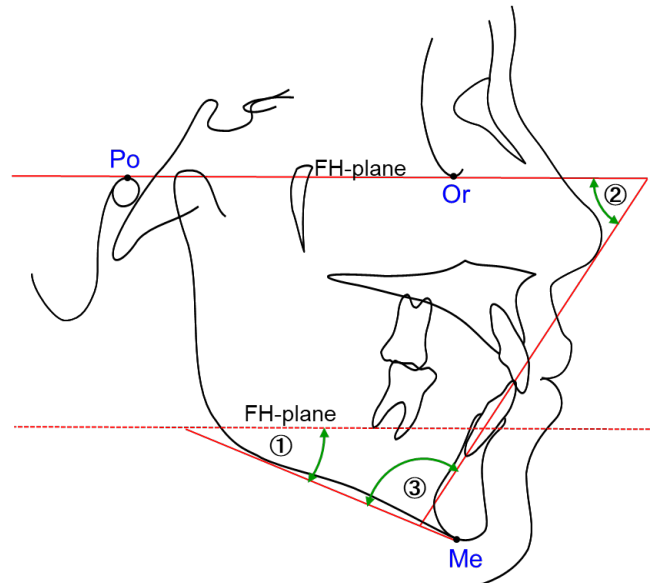


図1 Tweed法に準じた計測項目
① FMA, ② FMIA, ③ IMPA。

歯科治療の既往がある者、②唇顎口蓋裂の既往がある者、③上下顎骨に外傷または骨病変の既往がある者、④智歯以外の欠損歯を有する者、⑤側方歯に著しい左右差がある者、を除いた40名（女性30名、男性10名、平均年齢 26.0 ± 9.43 歳）を対象とした。

初診診査時に撮影した正面および側面セファログラム画像と CBCT 画像を用いて次々項に記す項目について計測を行い、両者の計測値間の関係性について検討した。

なお、本研究は日本大学歯学部において倫理委員会の承認を得て（EP19D0010-1）、研究参加の前に各被験者に十分な説明を行い同意を得たうえで実施された。

2. 撮影条件

1) 側面および正面セファログラム

セファログラムは、通法に従い、患者のフランクフルト平面と床面が平行になるよう位置づけてイヤロードで頭部を固定し、パノラマ・セファロ X 線撮影装置（Veraviewepocs；モリタ、京都）を用いて、管電圧：70～76 kV、管電流：6～8 mA、照射時間：2.2 s の条件にて撮影を行った。

2) CBCT 画像

CBCT の撮影は、頭部用 X 線 CT 装置（3D Accuitomo；モリタ、京都）を用いて、管電圧：80～90 kV、管電流：5.5～8.0 mA、ボクセルサイズ：0.125～0.160 mm³ の条件にて行った。

3. 計測部位

1) 側面セファログラム

(1) 一般的な計測項目

Tweed法に準じ、① FMA (°)、② FMIA (°)、③

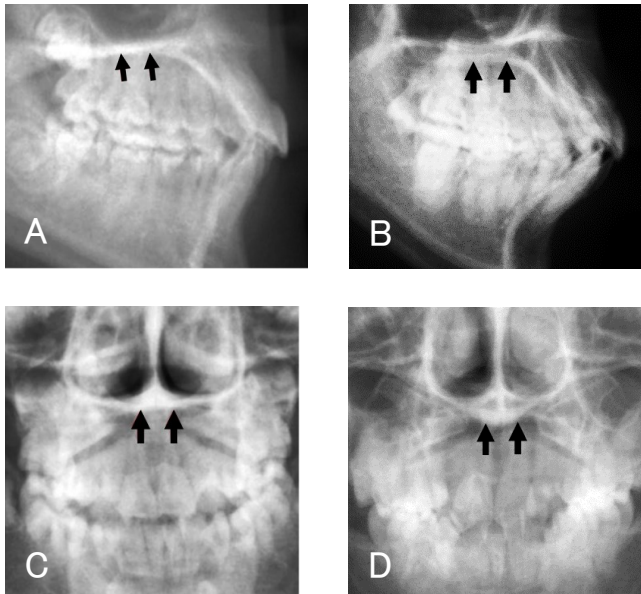


図2 口蓋部皮質骨

A. 口蓋骨の口腔側と鼻腔側の皮質骨間に海綿骨を認めない側面セファログラムの Monocortical type。B. 口蓋骨の口腔側と鼻腔側の皮質骨間に海綿骨を認める側面セファログラムの Bicortical type。C. 正面セファログラムの Monocortical type。D. 正面セファログラムの Bicortical type。

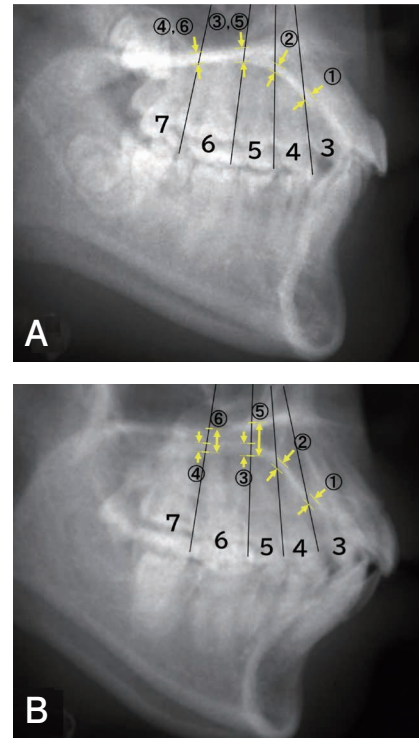


図3 側面セファログラムにおける口蓋骨厚の計測部位

IMPA (°) の項目について計測を行った (図1)。

(2) 口蓋部の骨厚計測項目

口蓋部の骨には、口腔側と鼻腔側の皮質骨間に海綿骨を示す半透過像の存在を認めないもの (以下 Monocortical type, 図2A) と海綿骨の存在を認めるもの (以下 Bicortical type, 図2B) とが認められた。

口蓋部の骨厚は犬歯から第二大臼歯間の隣接する2歯の接触点と歯根間の中点とを通る線上に位置する皮質骨厚以下①から④と、第二小臼歯・第一大臼歯間、第一・第二大臼歯間においては口蓋部骨厚⑤、⑥についても計測を行った。計測はセファログラム上において、読み取り精度1/10 mm のノギスを用いて1名の術者が行った (図3A およびB)。

- ① Pal-Cor 3-4 : 犬歯・第一小臼歯間 口蓋部皮質骨厚 (Palatal Cortex between canine and first premolar)
- ② Pal-Cor 4-5 : 第一・第二小臼歯間 口蓋部皮質骨厚 (Palatal Cortex between first and second premolars)
- ③ Pal-Cor 5-6 : 第二小臼歯・第一大臼歯間 口蓋部皮質骨厚 (Palatal Cortex between second premolar and first molar)
- ④ Pal-Cor 6-7 : 第一・第二大臼歯間 口蓋部皮質骨厚 (Palatal Cortex between first and second molars)
- ⑤ Pal-BT 5-6 : 第二小臼歯・第一大臼歯間 口蓋部骨厚 (Palatal Bone Thickness between second premolar and first molar)
- ⑥ Pal-BT 6-7 : 第一・第二大臼歯間 口蓋部骨厚

(Palatal Bone Thickness between first and second molars)

なお、各画像上の口蓋部骨厚計測において、鼻腔側と口腔側の皮質骨の間に海綿骨を示す半透過像の存在を認めない Monocortical type では、骨厚と皮質骨厚を同値とみなすこととした。

2) 正面セファログラム

正面セファログラムについても、側面セファログラムと同様に、Monocortical type (図2C) と Bicortical type (図2D) とが認められたため、骨厚計測において、鼻腔側と口腔側の皮質骨の間に海綿骨を示す半透過像の存在を認めない Monocortical type では、骨厚と皮質骨厚を同値とみなすこととした。

口蓋部の骨厚は左右両側の以下に示す⑦から⑭に示す項目のとおり、同様にノギスを用いて計測を行った (図4A およびB)。

- ⑦, ⑧ Mx : 上顎歯槽基底部骨厚 (Maxillare)
- ⑨, ⑩ Pr-BT : 口蓋傍正中部骨厚 (Paramedian Bone Thickness : 2 mm from Mid-Palatal Suture)
- ⑪, ⑫ Pr-Cor : 口蓋傍正中部皮質骨厚 (Paramedian Cortex : 2 mm from Mid-Palatal Suture)
- ⑬, ⑭ M-NC : 鼻腔底中央部骨厚 (Mid-point of the bottom of Nasal Cavity)

3) CBCT 画像

CBCT 画像上での各項目の計測は、三次元画像ビューワー (One Volume Viewer, ver. 2.855.635.4543 ; モリタ,

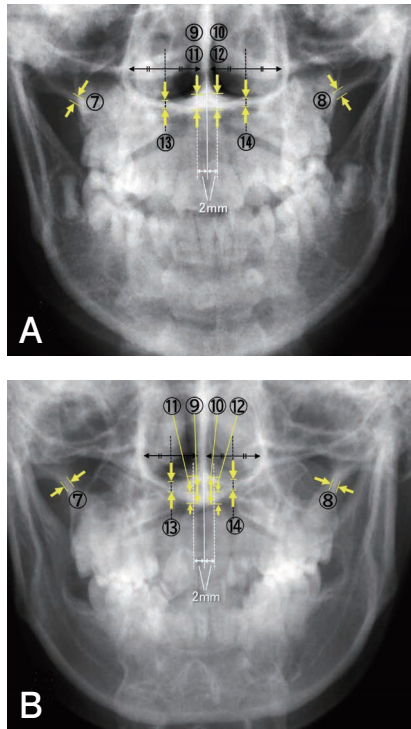


図 4 正面セファログラムにおける口蓋骨厚の計測部位

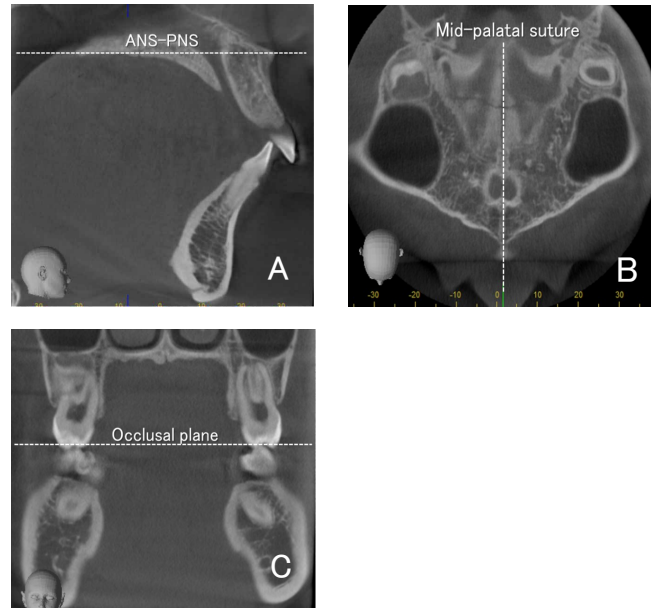


図 5 口蓋部 CBCT 画像上での計測部位の位置づけ
A. 矢状断では水平方向のカーソルが ANS-PNS と並行になるよう固定。B. 水平断では垂直方向のカーソルを正中口蓋縫合に固定。C. 前頭断では水平方向のカーソルが咬合平面と平行となるよう固定。

京都) 上の計測機能を使用して 1 名の術者が行った。

(1) 口蓋中央部

口蓋部 CBCT 画像上での計測部位の位置づけは、矢状断では水平方向のカーソルが ANS-PNS と、水平断では垂直方向のカーソルが正中口蓋縫合と、前頭断では水平方向のカーソルが咬合平面と平行となるように固定した (図 5 A, B および C)。水平断画像上で、第一・第二小白歯 (4-5) 間、第二小白歯・第一大臼歯 (5-6) 間、第一・第二大臼歯 (6-7) 間の 3 か所で分割した前頭断画像上で、以下に示す左右両側の①から⑥の各骨厚について計測した (図 6: 第一・第二小白歯間の例)。

- ①, ② Pr-BT-CT: 傍正中中部骨厚 (Paramedian Bone Thickness: 2 mm from the mid-palatal suture)
- ③, ④ Pr-Cor-CT: 鼻腔底最深部皮質骨厚 (Paramedian Cortex)
- ⑤, ⑥ MNC-CT: 鼻腔底中央部骨厚 (Mid-point of the bottom of Nasal Cavity)

(2) 歯槽部

頬側歯槽部皮質骨厚 (Int-Cor) の CBCT 画像上での計測部位の位置づけとして、前頭断では水平方向のカーソルを大臼歯のなす咬合平面が水平となるように、矢状断 (歯列平行断) では犬歯・第一小白歯 (3-4) 間、第一・第二小白歯 (4-5) 間、第二小白歯・第一大臼歯 (5-6) 間、第一・第二大臼歯 (6-7) 間の計 4 か所で各コンタクトポイントおよび各コンタクトポイントから 10 mm の深さで隣接歯根間の中点を通る平面が垂直となるように、水平断において 4 か所の隣接歯がなす歯列と直交するよう

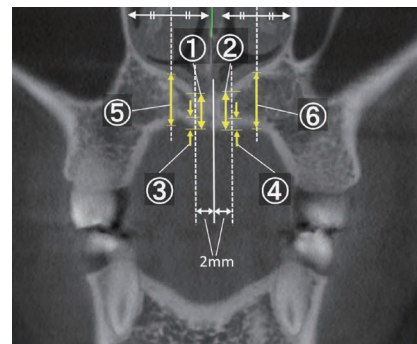


図 6 口蓋部 CBCT 画像上での計測部位

に設定した (図 7 A, B および C: 第二小白歯・第一大臼歯間の例)。

3-4 間, 4-5 間, 5-6 間, 6-7 間の 4 か所について、歯槽頂より 3, 6, 9, 12 mm のそれぞれ深さで、骨面に対し垂直となる角度における頬側歯槽部皮質骨厚 Int-Cor の計測を行った (図 8)。

4. 統計処理

統計分析は、SPSS ソフトウェア (ver. 23.0; SPSS Statistic, 東京) を用いて行った。側面および正面セファログラム上での計測によって得られた一般的な計測値および口蓋部の骨厚の各計測値と CBCT 画像上での計測より得られた口蓋部骨厚の各計測値および頬側歯槽部皮質骨厚 Int-Cor それぞれの計測値との間について、Pearson の相関係数および回帰係数を求めて関係性について検討を行った。なお、統計学的な有意水準は 5% とした。

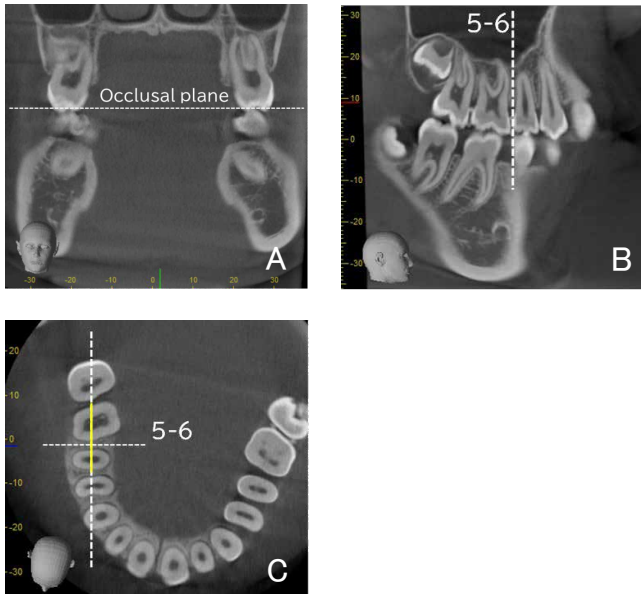


図7 頬側歯槽部皮質骨厚のCBCT画像上での計測部位の位置づけ
A. 前頭断では水平方向のカーソルを大白歯のなす咬合平面が水平となるように固定。B. 矢状断では各コンタクトポイントおよび各コンタクトポイントから10 mmの深さで隣接歯根間の中点を通る平面が垂直となるように固定。C. 水平断において4か所の隣接歯がなす歯列と直交するように固定。

表1 側面セファログラム上の一般的な分析項目の計測値 (°)

	FMA	FMIA	IMPA
Mean	29.8	55.1	117.1
S.D.	7.0	7.0	7.8
max	42.5	69.0	114.0
min	12.5	42.0	79.5

n = 40

表2 側面セファログラム上の口蓋部骨厚の計測値 (mm)

	Pal-Cor				Pal-BT	
	3-4	4-5	5-6	6-7	5-6	6-7
Mean	1.81	1.82	2.02	2.15	5.19	4.13
S.D.	0.45	0.40	0.58	0.70	1.72	1.55
max	3.48	3.32	3.44	4.15	10.13	8.25
min	1.10	1.28	1.22	1.23	2.53	1.33

n = 40

表3 正面セファログラム上の口蓋部骨厚の計測値 (mm)

	R & L Mean			
	Mx	Pr-BT	Pr-Cor	M-NC
Mean	2.26	6.61	3.31	3.08
S.D.	0.89	1.45	1.54	1.39
max	6.05	9.66	8.56	6.95
min	0.94	3.28	1.21	1.15

n = 40

結果

側面セファログラム上の一般的な角度計測の項目の計測結果を表1に、側面セファログラム上における口蓋部骨厚の計測値を表2に示す。皮質骨厚 Pal-Cor の平均値は、

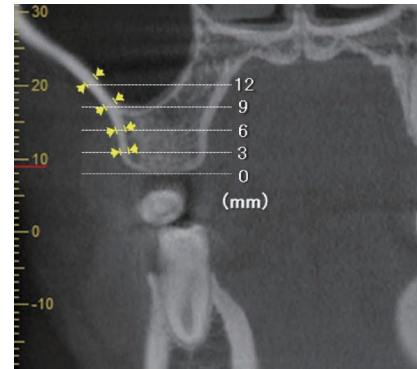


図8 頬側歯槽部皮質骨厚の計測項目

3-4間が1.81 mm, 4-5間が1.82 mm, 5-6間が2.02 mm, 6-7間が2.15 mmと後方ほど大きかった。一方、全体の骨厚 Pal-BT の平均値は、5-6間が5.19 mm, 6-7間が4.13 mmであり、後方ほど小さかった (表2)。

正面セファログラム上における口蓋部骨厚の計測値を表3に示す。各項目の平均値は上顎歯槽底部部骨厚 Mx が2.26 mm, 口蓋傍正中部の全体の骨厚 Pr-BT が6.61 mm, 口蓋傍正中部の皮質骨厚 Pr-Cor が3.31 mm, 鼻腔底中央部骨厚 M-NC が3.08 mmであった。

CBCT画像上における口蓋中央部骨厚の計測値を表4に示す。Pr-BT-CTは4-5間が7.52 mm, 5-6間が5.36 mm, 6-7間が5.62 mmと口蓋前方部で大きい値を示した。鼻腔底中央部骨厚 MNC-CTにおいても、4-5間が7.83 mm, 5-6間が3.86 mm, 6-7間が2.08 mmと、口蓋前方部へ向かうほど骨厚が大きい値を示した。

CBCT画像上における歯槽部頬側皮質骨厚 Int-Cor の計測結果を表5に示す。歯槽頂から12 mmの深さの Int-Cor がいずれの部位においても最も大きい値を示した。また、4-5間, 5-6間では、歯槽頂から深い位置ほど骨厚が大きかった。

一般的な側面セファログラム計測項目とCBCT画像上の口蓋部骨厚との相関を表6に示す。4-5間の Pr-BT-CT と FMIA との間に正の相関を示した ($P < 0.05$)。

正面および側面セファログラム上の口蓋部骨厚計測値とCBCT画像上の口蓋部骨厚計測値間の相関を表7に示す。正面セファログラムの Pr-BT が、CBCT画像上6-7間の Pr-BT-CT との間に正の相関を示した。側面セファログラム上の計測値においては、3-4間および4-5間の Pal-Cor が、CBCT画像上4-5間の Pr-Cor-CT との間に正の相関を示した。また、5-6間の Pal-BT と、CBCT画像上の4-5間および5-6間の Pr-BT-CT との間に、5-6間および6-7間の MNC-CT との間にそれぞれ正の相関を認めた。さらに、6-7間の Pal-BT と、5-6間および6-7間の MNC-CT との間、6-7間の Pr-BT-CT との間にそれぞれ正の相関を認めた ($P < 0.05$)。

表 4 CBCT 画像上の口蓋部骨厚の計測値 (mm)

	4-5 (R & L Mean)			5-6 (R & L Mean)			6-7 (R & L Mean)		
	Pr-BT-CT	Pr-Cor-CT	MNC-CT	Pr-BT-CT	Pr-Cor-CT	MNC-CT	Pr-BT-CT	Pr-Cor-CT	MNC-CT
Mean	7.52	2.53	7.83	5.36	2.23	3.86	5.62	2.86	2.08
S.D.	2.34	0.68	2.89	1.24	0.66	1.67	1.40	1.06	1.18
max	13.81	3.94	14.00	8.44	4.63	8.19	8.88	6.62	5.54
min	4.23	1.25	2.00	2.48	1.00	1.31	2.82	1.25	0.57

n = 40

表 5 CBCT 画像上の歯槽部皮質骨厚 (Int-Cor) の計測値 (mm)

	3-4 (R & L Mean)				4-5 (R & L Mean)				5-6 (R & L Mean)				6-7 (R & L Mean)			
	Distance from Alveolar Crest				Distance from Alveolar Crest				Distance from Alveolar Crest				Distance from Alveolar Crest			
	3 mm	6 mm	9 mm	12 mm	3 mm	6 mm	9 mm	12 mm	3 mm	6 mm	9 mm	12 mm	3 mm	6 mm	9 mm	12 mm
Mean	1.40	1.51	1.46	1.57	1.30	1.41	1.41	1.61	1.20	1.27	1.33	1.46	1.39	1.28	1.28	1.39
S.D.	0.37	0.46	0.39	0.47	0.41	0.41	0.39	0.42	0.32	0.38	0.44	0.45	1.12	0.49	0.42	0.41
max	2.38	3.00	2.88	3.44	2.67	2.63	2.77	2.90	2.05	2.16	2.94	2.50	10.70	3.00	2.63	2.94
min	0.69	0.69	0.78	0.87	0.70	0.70	0.75	0.79	0.59	0.50	0.57	0.56	0.62	0.22	0.63	0.44

n = 40

表 6 一般的な側面セファログラム計測値と CBCT 画像上の口蓋部骨厚間の相関

	CBCT 画像上の口蓋部骨厚								
	4-5 (R&L Mean)			5-6 (R&L Mean)			6-7 (R&L Mean)		
	Pr-BT-CT	Pr-Cor-CT	MNC-CT	Pr-BT-CT	Pr-Cor-CT	MNC-CT	Pr-BT-CT	Pr-Cor-CT	MNC-CT
FMA	-0.0594	-0.1125	-0.1210	-0.1829	-0.2810	-0.1742	-0.0967	-0.0532	-0.1998
	0.7160	0.4896	0.4569	0.2586	0.0790	0.2824	0.5529	0.7444	0.2165
FMIA	0.3845	0.2799	0.2665	0.1350	0.2364	0.2592	-0.1600	-0.1363	0.2704
	0.0143	0.0803	0.0965	0.4062	0.1419	0.1063	0.3241	0.4017	0.0915
IMPA	-0.2923	-0.1514	-0.1293	0.0213	0.0006	-0.0001	0.2109	0.1326	0.0457
	0.0672	0.3509	0.4266	0.8961	0.9970	0.9993	0.1914	0.4147	0.7796

上段：相関係数
下段：P値

n = 40

一般的な側面セファログラム計測項目と CBCT 画像上の頬側歯槽部皮質骨厚 Int-Cor との相関を表 8 に示す。FMA は、3-4 間の 3 mm および 6 mm の Int-Cor との間、6-7 間の 9 mm の Int-Cor との間に負の相関を認めた ($P < 0.05$)。

正面および側面セファログラム上の口蓋部骨厚計測値と CBCT 画像上の頬側歯槽部皮質骨厚 Int-Cor との相関を表 9 に示す。正面セファログラム上の Mx と Pr-BT は、CBCT 画像上 3-4 間の 6、9 および 12 mm の Int-Cor と正の相関を示した。側面セファログラム上の 3-4 間および 4-5 間の Pal-Cor は、CBCT 画像上の 5-6 間および 6-7 間の 12 mm の Int-Cor とそれぞれ負の相関を示した。また 5-6 間の Pal-BT は、CBCT 画像上の 3-4 間 Int-Cor と負の相関を示した ($P < 0.05$)。

考 察

近年、歯科矯正用アンカースクリューを併用した矯正歯科治療が普及したことによって、予知性の高い治療が可能となった。臨床において、口蓋正中部のスクリューは歯根損傷や近接のリスクがないだけでなく、歯列弓全体の遠心移動や圧下などが可能である¹⁹⁻²¹⁾ ことから、頬側歯槽部

スクリューに次いで多く用いられている。一方、スクリュー植立のためには術前に植立部位の十分な診査が必要であり、隣在歯の歯根間距離だけでなく、スクリューの初期安定性に大きく影響する^{5,6)} 皮質骨厚が観察可能な CBCT 画像を用いた精査が望ましいが、放射線被曝量や顎変形症等の保険診療においては CBCT 診査の適用が難しいという問題がある。そこで、本研究は上顎、特に口蓋正中部へのスクリュー植立のための術前診断として、セファログラムを用いることで CBCT 画像診断に代わる情報を得ることが可能か否かを検討することとした。

これまで、口蓋部や頬側歯槽部の皮質骨厚について検討した研究は数多くみられるが^{22, 23)}、セファログラムと CBCT 画像を用いて両者を比較した研究は未だ少ない。Jung ら²⁴⁾ は、口蓋傍正中部へのスクリュー植立のために CBCT 画像上における口蓋骨厚と側面セファログラム上の垂直的骨厚を比較した結果、前者が後者より著しく大きかったとし、側面セファログラム上の垂直的骨厚は口蓋正中部の最大骨厚ではなくむしろ傍正中部の最小骨厚を示していると結論付けた。また Wehrbein ら²⁵⁾ は、前方および中央部の口蓋骨厚について、側方セファログラム上よりも CBCT 上で示される骨厚の方が 2 mm 大きいことを報

表 7 正面および側面セファログラム上と CBCT 画像上の口蓋部骨厚計測値間の相関

		CBCT画像上の口蓋部骨厚								
		4-5 (R&L Mean)			5-6 (R&L Mean)			6-7 (R&L Mean)		
		Pr-BT-CT	Pr-Cor-CT	MNC-CT	Pr-BT-CT	Pr-Cor-CT	MNC-CT	Pr-BT-CT	Pr-Cor-CT	MNC-CT
正面セファログラム上の口蓋部骨厚	Mx (R&L Mean)	-0.1498 0.3563	-0.1014 0.5337	0.0033 0.9837	-0.0750 0.6454	-0.1536 0.3440	-0.0465 0.7757	0.0523 0.7485	-0.1499 0.3557	-0.2587 0.1069
	Pr-BT (R&L Mean)	0.0881 0.5890	0.1047 0.5202	0.0937 0.5653	0.2754 0.0854	0.0482 0.7677	0.1136 0.4853	0.4392 0.0046	0.0450 0.7826	0.2177 0.1773
	Pr-Cor (R&L Mean)	0.1178 0.4692	0.0673 0.6797	0.0261 0.8732	0.0034 0.9834	-0.1319 0.4171	-0.2130 0.1870	-0.0023 0.9885	-0.0056 0.9726	-0.1565 0.3348
	M-NC (R&L Mean)	0.1256 0.4398	-0.0306 0.8512	-0.0464 0.7762	0.0010 0.9949	-0.0662 0.6850	-0.0322 0.8435	-0.0103 0.9497	-0.0523 0.7485	0.1155 0.4778
側面セファログラム上の口蓋部骨厚	Pal-Cor 3-4	0.0960 0.5556	0.4084 0.0089	0.2443 0.1287	0.0836 0.6082	0.0871 0.5930	0.0826 0.6125	0.0898 0.5815	0.0497 0.7606	0.0177 0.9135
	Pal-Cor 4-5	-0.0334 0.8380	0.3792 0.0158	0.1728 0.2864	0.0116 0.9433	0.1301 0.4236	0.0525 0.7475	0.1700 0.2943	0.0932 0.5673	-0.0021 0.9899
	Pal-Cor 5-6	-0.3372 0.0334	0.1733 0.2848	-0.1223 0.4523	-0.1717 0.2895	0.1550 0.3395	-0.1244 0.4445	0.0726 0.6560	0.3460 0.0288	-0.0751 0.6449
	Pal-Cor 6-7	-0.2526 0.1158	0.2321 0.1495	-0.2365 0.1418	-0.3690 0.0191	0.0825 0.6127	-0.2882 0.0713	-0.1923 0.2345	-0.1675 0.3014	-0.1410 0.3856
	Pal-BT 5-6	0.4740 0.0020	0.0871 0.5931	0.2544 0.1131	0.6466 0.0000	-0.0887 0.5864	0.4124 0.0082	0.2689 0.0933	-0.2068 0.2003	0.4693 0.0023
	Pal-BT 6-7	0.0699 0.6682	-0.0621 0.7035	0.1776 0.2729	0.2139 0.1851	-0.2680 0.0946	0.3836 0.0145	0.3161 0.0469	-0.2116 0.1899	0.5870 0.0001
上段：相関係数		+ P < 0.05								
下段：P値		n = 40								

表 8 一般的な側面セファログラム計測値と CBCT 画像上の頬側歯槽部皮質骨厚 (Int-Cor) 間の相関

		CBCT画像上の頬側歯槽部皮質骨厚 (Int-Cor)															
		3-4 (R&L Mean)				4-5 (R&L Mean)				5-6 (R&L Mean)				6-7 (R&L Mean)			
		Distance from Alveolar Crest				Distance from Alveolar Crest				Distance from Alveolar Crest				Distance from Alveolar Crest			
		3 mm	6 mm	9 mm	12 mm	3 mm	6 mm	9 mm	12 mm	3 mm	6 mm	9 mm	12 mm	3 mm	6 mm	9 mm	12 mm
FMA	(R&L Mean)	-0.3273 0.0393	-0.3743 0.0173	-0.1433 0.3777	-0.2698 0.0922	-0.2823 0.0775	-0.1458 0.3693	-0.1240 0.4460	-0.1952 0.2273	-0.2830 0.0769	-0.1681 0.2999	-0.2746 0.0863	-0.2303 0.1528	-0.0494 0.7619	-0.2026 0.2100	-0.3469 0.0283	-0.1193 0.4634
	FMIA	0.1364 0.4012	0.1401 0.3886	0.2287 0.1558	0.2722 0.0893	-0.0182 0.9112	-0.1148 0.4807	0.0948 0.5605	0.2285 0.1561	0.0348 0.8314	0.1349 0.4065	0.1566 0.3345	0.2178 0.1771	-0.0165 0.9197	0.0191 0.9070	0.2886 0.0709	-0.0089 0.9566
IMPA	(R&L Mean)	0.1743 0.2820	0.2132 0.1865	-0.0729 0.6549	0.0025 0.9877	0.2710 0.0908	0.2335 0.1471	0.0279 0.8642	-0.0275 0.8661	0.2256 0.1616	0.0304 0.8522	0.1054 0.5175	0.0100 0.9511	0.0579 0.7228	0.1617 0.3188	0.0525 0.7478	0.1138 0.4844
		上段：相関係数 + P < 0.05															
		下段：P値 n = 40															

表 9 正面および側面セファログラム上の口蓋部骨厚と CBCT 画像上の頬側歯槽部皮質骨厚 (Int-Cor) 間の相関

		CBCT画像上の頬側歯槽部皮質骨厚 (Int-Cor)															
		3-4 (R&L Mean)				4-5 (R&L Mean)				5-6 (R&L Mean)				6-7 (R&L Mean)			
		Distance from Alveolar Crest				Distance from Alveolar Crest				Distance from Alveolar Crest				Distance from Alveolar Crest			
		3 mm	6 mm	9 mm	12 mm	3 mm	6 mm	9 mm	12 mm	3 mm	6 mm	9 mm	12 mm	3 mm	6 mm	9 mm	12 mm
正面セファログラム上の口蓋部骨厚	Mx (R&L Mean)	0.2672 0.0956	0.3813 0.0152	0.5490 0.0002	0.4905 0.0013	0.0800 0.6234	0.1487 0.3600	0.2822 0.0777	0.3363 0.0339	0.1534 0.3446	0.2045 0.2055	0.1923 0.2346	0.1526 0.3473	0.0682 0.6759	0.1604 0.3229	0.1784 0.2706	0.0177 0.9136
	Pr-BT (R&L Mean)	0.1748 0.2806	0.4178 0.0073	0.4426 0.0042	0.3813 0.0152	0.0471 0.7729	0.1816 0.2622	0.2446 0.1282	0.3511 0.0263	0.0282 0.8631	0.0741 0.6493	-0.0501 0.7586	-0.0088 0.9571	0.1662 0.3055	-0.0739 0.6504	0.0309 0.8497	0.1359 0.4032
	Pr-Cor (R&L Mean)	0.0622 0.7029	0.0929 0.5686	0.0937 0.5652	0.0741 0.6493	0.1070 0.5113	-0.0078 0.9618	-0.0854 0.6001	0.0940 0.5639	0.0825 0.6128	-0.0078 0.9618	-0.0867 0.5946	-0.0671 0.6810	0.1023 0.5298	-0.1798 0.2670	0.0234 0.8861	0.2931 0.0664
	M-NC (R&L Mean)	0.0657 0.6871	0.1441 0.3749	-0.0689 0.6817	-0.0347 0.8317	-0.0128 0.9375	0.0125 0.9391	-0.1176 0.4698	0.0737 0.6513	0.0935 0.5661	0.1192 0.4637	0.0282 0.8627	-0.0591 0.7169	-0.0709 0.6639	-0.1623 0.3172	0.0704 0.6658	0.4018 0.0102
側面セファログラム上の口蓋部骨厚	Pal-Cor 3-4	0.1044 0.5216	-0.0588 0.7184	0.0008 0.9959	0.0718 0.6598	-0.0953 0.5584	-0.1592 0.3266	-0.1086 0.5049	-0.1266 0.4362	0.0374 0.8187	0.0009 0.9955	-0.1756 0.2784	-0.3678 0.0195	0.1640 0.3118	-0.0519 0.7505	-0.2059 0.2025	-0.3283 0.0386
	Pal-Cor 4-5	-0.0336 0.8370	-0.1899 0.2404	-0.0407 0.8029	-0.0786 0.6297	-0.1390 0.3924	-0.1370 0.3991	-0.1889 0.2432	-0.0844 0.6046	-0.0948 0.5607	0.0968 0.5523	-0.1758 0.2778	-0.3838 0.0145	-0.0926 0.5700	-0.2185 0.1755	-0.4350 0.0343	
	Pal-Cor 5-6	-0.0386 0.8129	-0.0706 0.6652	0.0142 0.9307	-0.0368 0.8218	0.0164 0.9199	-0.0042 0.9797	-0.0418 0.7980	0.0744 0.6480	0.0081 0.9603	-0.0939 0.5844	0.1646 0.3101	0.1566 0.3346	-0.0312 0.8485	-0.0351 0.8298	-0.0641 0.6945	0.1880 0.2453
	Pal-Cor 6-7	-0.0767 0.6381	0.0264 0.8715	0.0941 0.5635	0.1378 0.3964	0.0385 0.8134	0.0006 0.9970	-0.0042 0.9794	0.0642 0.6938	-0.0730 0.6545	0.0524 0.7479	0.0040 0.9803	-0.0771 0.6364	-0.0585 0.7197	-0.1963 0.2246	-0.1636 0.3132	-0.0927 0.5694
	Pal-BT 5-6	-0.3217 0.0429	-0.2014 0.2127	-0.3228 0.0422	-0.3479 0.0278	-0.1463 0.3677	-0.0958 0.5563	-0.2376 0.1399	-0.2592 0.1062	-0.2188 0.1750	-0.1118 0.4921	-0.0486 0.7661	-0.0289 0.8597	-0.0584 0.7204	-0.0227 0.8893	-0.1113 0.4942	-0.0493 0.7624
	Pal-BT 6-7	-0.0329 0.8405	0.0172 0.9163	0.1000 0.5394	0.0810 0.6191	0.0013 0.9938	0.0713 0.6620	-0.0600 0.7131	0.3658 0.0203	-0.1109 0.4956	0.0032 0.9843	0.0452 0.7816	0.0926 0.5698	-0.1048 0.5197	-0.0422 0.7961	-0.0469 0.7740	-0.0228 0.8887
上段：相関係数		+ P < 0.05															
下段：P値		n = 40															

告しており、Jung ら²⁴⁾ の報告と同様の傾向を示唆している。

本研究においては、側面セファログラム上の 4-5 間、5-6 間、6-7 間の口蓋部皮質骨厚 Pal-Cor および 5-6 間、6-7 間の口蓋部骨厚 Pal-BT (表 2) に対して、CBCT 上の同部位皮質骨厚 Pr-Cor-CT および同部位骨厚 Pr-BT-CT (表 4) がそれぞれ大きい値を示し、前述の報告^{24, 25)} と同様の傾向を示した。

一般的な側面セファログラム計測値と CBCT 画像上の口蓋部骨厚との関係を見ると、FMIA と 4-5 間の Pr-BT-CT との間に正の有意な相関関係を認めたことから (P < 0.05, 表 6)、下顎切歯歯軸が直立傾向または舌側傾斜傾

向であるほど小臼歯部においては口蓋傍正中部の骨厚が大きい傾向を示す可能性が考えられた。しかしながら、その他の計測値間にはいずれも相関は認められず、一定の傾向はみられなかった。Vidalón ら¹⁸⁾ は、一般的な側面セファログラム計測値と CBCT 画像上の口蓋部骨厚との関係について、下顎下縁平面傾斜角 (SN-Mandibular) を基準として vertical facial pattern を 3 群に分け、口蓋骨厚と皮質骨厚は hypodivergent vertical facial pattern で大きく、次いで hyperdivergent pattern と normodivergent pattern が続いたとしている。本研究では、vertical facial pattern による比較検討は行っていないが、下顎下縁平面傾斜角である FMA (FH-Mandibular) と骨厚との間に相関を認めな

かったため、さらに大きい資料数を用いて群分けをするなど、比較検討を行っていくことが望ましいと考えられる。

正面セファログラム上の口蓋部骨厚と CBCT 画像上の口蓋部骨厚との関係については、6-7 間においてのみ Pr-BT と Pr-BT-CT との間に正の相関関係がみられたことから ($P < 0.05$, 表 7), 正面セファログラム上に投影される口蓋傍正中中部骨厚は、口蓋の後方部である大白歯部の骨厚を反映している可能性が考えられた。6-7 間だけに相関を認めたことについては、CBCT では計測時に頭部位置付けを画像ビューワー上において正確に行える一方で、正面セファログラムでは撮影時に目視で FH 平面と床とを平行となるように頭部を位置付けることから、イヤードで固定する外耳の位置や形態、患者の頭位に影響を受けやすく、僅かな誤差を生じるとされている²⁶⁻²⁹⁾。したがって、イヤードを中心とした頭部の回転による変位は回転中心から遠位にある前方の方が大きく、前方部ではその誤差が大きく、後方部においては誤差も小さく現れるために、主に後方部の骨厚で相関関係が明瞭に現れたのではないかと考えられた (表 7)。

一方、側面セファログラム上の口蓋部骨厚と CBCT 画像上の口蓋部骨厚との関係については、側面セファログラム上の骨厚である Pal-Cor 4-5, Pal-BT 5-6, Pal-BT 6-7 において CBCT 画像上の同部位計測値との間に強い正の相関を示した ($P < 0.05$, 表 7)。また、鼻腔底中央部付近の骨厚 MNC-CT についても 5-6 間および 6-7 間で側面セファログラム上の同部位の傍正中中部口蓋骨厚 Pal-BT との間に強い正の相関を認めたことから ($P < 0.05$, 表 7), 側面セファログラムは垂直的な計測の誤差が生じにくく³⁰⁾、これを用いて評価検討することで口蓋部の骨厚の概略的な診査を行うことができ、スクリー植立のための有用な情報として利用できる可能性があると考えられる。

上顎頬側歯槽部の皮質骨厚の計測に関して、Motoyoshi²⁾ は植立部位の皮質骨厚、歯根間距離、歯槽頂から上顎洞底までの距離とアンカースクリューの成功率との関係の評価し、皮質骨厚はスクリー植立の安定性と有意に関連しており、成功率を上げるには皮質骨厚が 1.0 mm 以上の部位に植立することが望ましいとしている。また、CBCT 画像上の歯槽部皮質骨厚は、歯槽頂から深い位置ほど大きいとする報告がみられたが^{3,4,7)}、本研究においても概ね同様であった (表 5)。

また、表 8 より CBCT 画像上の 3-4 間の頬側歯槽部皮質骨 Int-Cor が側面セファログラム上の計測値 FMA つまり下顎下縁平面傾斜角の大きさと負の相関を示した。これについて Gaffuri³¹⁾ は、CBCT 画像を用いて異なる vertical facial pattern 間での歯槽部皮質骨厚を検討し、hyperdivergent pattern は上顎前方部で骨厚が薄い傾向があるとしており、本研究の結果はこれと同様の傾向を示し

た (表 8)。

正面セファログラム上の口蓋部骨厚と CBCT 画像上の頬側歯槽部皮質骨厚 Int-Cor との関係を見ると、上顎歯槽基部骨厚 Mx および口蓋傍正中中部骨厚 Pr-BT と 3-4 間の比較的深い 6-12 mm の Int-Cor との間に正の相関を示した (表 9)。頬側歯槽部の皮質骨厚は大歯遠心付近が最も大きく^{3,6)}、また上述の研究報告のとおり、下顎下縁平面傾斜角が小さいほど、口蓋部骨厚や上顎歯槽部前方の皮質骨厚が大きい傾向を示すとされており^{18,31)}、本研究の結果はこれら報告と同様の傾向を示した。しかし、この正面セファログラム上の口蓋部骨厚は、3-4 間以外の部位については 4-5 間の 12 mm の深さのみで Int-Cor と相関を示したものの、その他では相関を示さなかったことから、頬側歯槽部へのアンカースクリュー植立に際しては大歯-小白歯間への植立においてのみ、Mx および Pr-BT の大きさを参考に植立後の初期固定や予後の推定ができる可能性があると考えられる。

一方、側面セファログラム上の口蓋部骨厚と CBCT 画像上の頬側歯槽部皮質骨厚 Int-Cor との関係を見ると、側面セファログラム上の口蓋部骨厚と頬側歯槽部の 9-12 mm の深部の Int-Cor においての一部計測値間に正の相関を示したが、前後的に同じ部位での項目間についての相関は認められず、一定の傾向を示さなかった (表 9)。歯槽頂から深い位置の皮質骨厚との間にだけ側面セファログラム上の口蓋部骨厚が相関を示したことについては、歯槽基部の皮質骨厚がその個体の特徴を示す表現型の一つとして他の部位の骨厚つまり口蓋骨厚と相関を示したものと考えられた。

本研究の限界は、第一に被験者に男女の偏りがあったことで、これにより性差についての検討を行うことができなかった。また、被験者数が少ないために十分なデータが収集できず、vertical facial pattern 等の骨格型を用いた比較や、両側存在する計測値については左右の平均値を計測値として用いており、左右差については検討していないことである。これらは本研究が示す結果を臨床の場において指針とするうえで大変重要であり、今後これらの問題を克服し臨床応用するためにはさらに資料数を追加しての検討が必要と考えられる。

結 論

本研究において、著者らはセファログラムと CBCT 画像上の計測値間の関係について調査を行い、スクリー植立部位の CBCT 画像診断に代わる情報を得ることが可能であるか検討し、以下の結論を得た。

1. 正面セファログラムについて、画像上の口蓋傍正中中部骨厚は CBCT 画像上で大白歯部付近の口蓋傍正中中部骨厚と有意な相関を有し、口蓋後方傍正中中部への植立

前診査の情報として応用できる可能性がある。

2. 側面セファログラム画像上の小白歯，大白歯部口蓋部骨厚がCBCT画像上の同部位の口蓋傍正中部骨厚と強い相関を示したことから，前後的に小白歯・大白歯部に相当する口蓋正中領域へのスクリュー植立において概略的な診査に応用が可能である。
3. 下顎下縁平面傾斜角がCBCT画像上の犬歯，小白歯部の頬側歯槽部の皮質骨厚と負の相関を示したことから，この部位のスクリューの初期安定性を推定に応用できる可能性がある。

稿を終えるにあたり，これまでご協力をいただいた日本大学歯学部歯科矯正学講座ならびにすべての方々に深く感謝申し上げます。

なお，本稿に関して開示すべき利益相反事項はありません。

文 献

- 1) Kuroda S, Yamada K, Deguchi T, Hashimoto T, Kyung HM, Takano-Yamamoto T (2007) Root proximity is a major factor for screw failure in orthodontic anchorage. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 131, S68-S73.
- 2) Motoyoshi M, Yoshida T, Ono A, Shimizu N (2007) Effect of cortical bone thickness and implant placement torque on stability of orthodontic mini-implants. *Int J Oral Maxillofac Implants* 22, 779-784.
- 3) Lim JE, Lim WH, Chun YS (2008) Quantitative evaluation of cortical bone thickness and root proximity at maxillary interradicular sites for orthodontic mini-implant placement. *Clin Anat* 21, 486-491.
- 4) Asscherickx K, Vande Vannet B, Wehrbein H, Sabzevar MM (2008) Success rate of miniscrews relative to their position to adjacent roots. *Eur J Orthod* 30, 330-335.
- 5) Ono A, Motoyoshi M, Shimizu N (2008) Cortical bone thickness in the buccal posterior region for orthodontic mini-implants. *Int J Oral Maxillofac Surg* 37, 334-340.
- 6) Lim JE, Lee SJ, Kim YJ, Lim WH, Chun YS (2009) Comparison of cortical bone thickness and root proximity at maxillary and mandibular interradicular sites for orthodontic mini-implant placement. *Orthod Craniofac Res* 12, 299-304.
- 7) Park J, Cho HJ (2009) Three-dimensional evaluation of interradicular spaces and cortical bone thickness for the placement and initial stability of microimplants in adults. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 136, 314.e1-314.e12.
- 8) Jung BA, Wehrbein H, Heuser L, Kunkel M (2011) Vertical palatal bone dimensions on lateral cephalometry and cone-beam computed tomography: implications for palatal implant placement. *Clin Oral Implants Res* 22, 664-668.
- 9) Dalessandri D, Migliorati M, Rubiano R, Visconti L, Contardo L, Di Lenarda R, Martin C (2013) Reliability of a novel CBCT-based 3D classification system for maxillary canine impactions in orthodontics: the KPG index. *Sci World J* 921234.
- 10) Kim YJ, Lim SH, Gang SN (2014) Comparison of cephalometric measurements and cone-beam computed tomography-based measurements of palatal bone thickness. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 145, 165-172.
- 11) Yassaei S, Safi Y, Valian F, Mohammadi A (2022) Evaluation of maxillary arch width and palatal volume and depth in patients with maxillary impacted canine by CBCT. *Heliyon* 8, e10854.
- 12) Ludlow JB, Davies-Ludlow LE, Brooks SL, Howerton WB (2006) Dosimetry of 3 CBCT devices for oral and maxillofacial radiology: CB Mercuray, NewTom 3G and i-CAT. *Dentomaxillofac Radiol* 35, 219-226.
- 13) Silva MA, Wolf U, Heinicke F, Bumann A, Visser H, Hirsch E (2008) Cone-beam computed tomography for routine orthodontic treatment planning: a radiation dose evaluation. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 133, 640.e1-640.e5
- 14) Kapila S, Conley RS, Harrell WE Jr (2011) The current status of cone beam computed tomography imaging in orthodontics. *Dentomaxillofac Radiol* 40, 24-34.
- 15) Ozdemir F, Tozlu M, Germec-Cakan D (2013) Cortical bone thickness of the alveolar process measured with cone-beam computed tomography in patients with different facial types. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 143, 190-196.
- 16) Veli I, Uysal T, Baysal A, Karadede I (2014) Buccal cortical bone thickness at miniscrew placement sites in patients with different vertical skeletal patterns. *J Orofac Orthop* 75, 417-429.
- 17) Al-Jaf NM, Wahab RMA, Abu Hassan MI (2018) Buccal cortical bone thickness in different sagittal skeletal relationship. *Orthod Waves* 77, 220-225.
- 18) Vidalón JA, Liñan C, Tay LY, Meneses A, Lagravère M (2021) Evaluation of the palatal bone in different facial patterns for orthodontic mini-implants insertion: A cone-beam computed tomography study. *Dent Press J Orthod* 26, e2119204.
- 19) Xun C, Zeng X, Wang X (2007) Microscrew anchorage in skeletal anterior open-bite treatment. *Angle Orthod* 77, 47-56.
- 20) Kyung SH, Lee JY, Shin JW, Hong C, Dietz V, Gianelly AA (2009) Distalization of the entire maxillary arch in an adult. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 135, 123-132.
- 21) Kang YG, Kim JY, Nam JH (2011) Control of maxillary dentition with 2 midpalatal orthodontic miniscrews. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 140, 879-885.
- 22) Kang S, Lee SJ, Ahn SJ, Heo MS, Kim TW (2007) Bone thickness of the palate for orthodontic mini-implant anchorage in adults. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 131, S74-S81.
- 23) Park J, Cho HJ (2009) Three-dimensional evaluation of interradicular spaces and cortical bone thickness for the placement and initial stability of microimplants in adults. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 136, 314.e1-314.e12
- 24) Jung BA, Wehrbein H, Heuser L, Kunkel M (2011) Vertical palatal bone dimensions on lateral cephalometry and cone-beam computed tomography: implications for palatal implant placement. *Clin Oral Implants Res* 22, 664-668.
- 25) Wehrbein H, Merz BR, Diedrich P (1999) Palatal bone support for orthodontic implant anchorage-A clinical and radiological study. *Eur J Orthod* 21, 65-70.
- 26) Athanasiou AE, Miethke R, Van Der Meij AJ (1999) Random errors in localization of landmarks in postero-anterior cephalograms. *Br J Orthod* 26, 273-284.
- 27) Yoon YJ, Kim DH, Yu PS, Kim HJ, Choi EH, Kim KW (2002) Effect of head rotation on posteroanterior cephalometric radiographs. *Angle Orthod* 72, 36-42.
- 28) Leonardi R, Annunziata A, Caltabiano M (2008) Landmark

- identification error in posteroanterior cephalometric radiography. A systematic review. *Angle Orthod* 78, 761-765.
- 29) Sicurezza E, Greco M, Giordano D, Maiorana F, Leonardi R (2012) Accuracy of landmark identification on postero-anterior cephalograms. *Prog Orthod* 13, 132-140.
- 30) Malkoc S, Sari Z, Usumez S, Koyuturk AE (2005) The effect of head rotation on cephalometric radiographs. *Eur J Orthod* 27, 315-321.
- 31) Gaffuri F, Cossellu G, Maspero C, Lanteri V, Ugolini A, Rasperini G, Castro IO, Farronato M (2021) Correlation between facial growth patterns and cortical bone thickness assessed with cone-beam computed tomography in young adult untreated patients. *Saudi Dent J* 33, 161.