

歯科矯正用アンカースクリューの
安定性における歯根接触の影響
-Self-Drilling 法と Self-Tapping 法の比較-

日本大学大学院歯学研究科歯学専攻

岩井 裕昭

(指導：清水 典佳 教授，本吉 満 准教授)

目 次

概要	・・・・・・・・・・	2
緒言	・・・・・・・・・・	6
被験者および方法	・・・・・・・・・・	8
成績	・・・・・・・・・・	11
考察	・・・・・・・・・・	12
結論	・・・・・・・・・・	17
謝辞	・・・・・・・・・・	18
引用文献	・・・・・・・・・・	19
参考論文	・・・・・・・・・・	26

概 要

歯科矯正治療では，移動歯の固定源となる歯も移動してしまうため，固定源のコントロールが治療結果に大きく影響する。従来はヘッドギアなどの顎外固定装置により固定源の強化をはかっていたが，この方法では治療結果が患者の装置使用に大きく依存する。

近年，広く利用されている歯科矯正用アンカースクリュー（以下スクリュー）は，固定源の移動がないため，上顎前突症例では前歯部を十分舌側移動することができ，効率的な治療を可能とした。しかし，スクリューは通常歯根間の狭い間隙に植立されるため，スクリュー脱落の原因となる歯根接触を起こすことがある。また，スクリューの歯根接触による歯根損傷が歯根の外部吸収を引き起こした報告もあり，スクリューの歯根接触は可及的に避けられなければならない。

スクリューの植立方法には **Self-Drilling** 法と **Self-Tapping** 法があるが，歯根接触によるスクリューの脱落に関して両方法の比較は十分に行われていない。また，スクリューを傾斜して植立することで，水平的な埋入深さは浅くなるため歯根接触を起こしにくくなる可能性が示唆されているが，両方法におけるスクリューの植立角度と歯根接触の関係性は明らかにはされていない。

そこで，本研究では，上顎頬側歯槽部に植立したスクリューにおいて，植立角度と歯根接触の発生頻度（以下，歯根接触率）の関係に加え，歯根接触とスクリュー脱落の発生頻度（以下，脱落率）の関係について，**Self-Drilling** 法と **Self-Tapping** 法を比較，検討した。対象は直径 1.6 mm，長さ 8.0 mm のスクリュー142本を上顎頬側歯槽部に植立した 80 名の患者（平均年齢 23.2 ± 8.0 歳）とし，コーンビーム CT（以下，CBCT）を用いて植立部位の皮質骨厚，スクリ

ューと歯根との最短距離（以下、スクリュー-歯根間最短距離）、隣接歯歯根間距離（以下、歯根間距離）、水平・垂直植立角度を計測し、スクリューの成功率、歯根接触率、脱落率を算出した。また、隣接歯根間距離が 2.5 mm 未満の群を狭小群、2.5 mm 以上の群を広大群として分類し、歯根間距離の違いが水平・垂直植立角度、スクリュー-歯根間最短距離、歯根接触率、脱落率に与える影響について検討した。

その結果、スクリューの成功率は、Self-Drilling 法が約 91.5%、Self-Tapping 法が約 94.4%、皮質骨厚は、Self-Drilling 法が 1.02 ± 0.39 mm、Self-Tapping 法が 1.05 ± 0.25 mm、また、歯根間距離は、Self-Drilling 法が 2.66 ± 0.62 mm、Self-Tapping 法が 2.82 ± 0.70 mm であった。これらはすべて両群間に有意差を認めなかった。

水平植立角度は、Self-Drilling 法が骨面に対してより垂直に植立し、両方法間に有意差を認めた ($P < 0.05$)。これは、Self-Tapping 法のコントラアングルハンドピースと Self-Drilling 法の手用ドライバー使用時の視点の違いによるものと考えられた。一方、垂直植立角度においても有意差を認め、Self-Tapping 法がより傾斜していた ($P < 0.05$)。これは、Self-Drilling 法はスクリュー植立時に骨表面の形状の影響を受けやすく、スクリュー先端が骨面上を滑らないように植立時にドライバーを水平的に把持する傾向があるためと考えられた。狭小群と広大群との比較では、歯根間距離によって垂直植立角度に有意差はみられなかったが、水平植立角度は Self-Drilling 法において狭小群でスクリューヘッド部が有意に遠心に傾斜していた ($P < 0.05$)。これは、狭小群と広大群における骨表面の水平的角度の違いによる可能性が考えられるが、この点については今後、より詳細な検討が必要である。

スクリュー-歯根間最短距離は、Self-Drilling 法が Self-Tapping 法に比較して

有意に小さい結果となった ($P < 0.05$)。これは、Self-Drilling 法では垂直植立角度が大きく、スクリュー先端が歯頸部に近くなりやすいため、歯根に近接する傾向にあったと考えられた。

歯根接触率は Self-Drilling 法で約 19.7%、Self-Tapping 法で約 21.1%であり、有意差はなかった。すなわち、Self-Drilling 法における短いスクリュー-歯根間距離は、歯根接触率に影響を及ぼさなかった。

狭小群と広大群との比較では、スクリュー-歯根間最短距離は広大群と比較して狭小群で有意に小さかった ($P < 0.01$)。一方で、歯根接触率と脱落率では狭小群は広大群に比べ 2~3 倍であったが、有意差はみられず、歯根間距離は歯根接触率と脱落率に影響を及ぼさなかった。

歯根接触したスクリュー（以下、接触群）と接触していないスクリュー（以下、非接触群）の脱落率の比較では、Self-Drilling 法において接触群の脱落率が有意に大きかった ($P < 0.05$)。Self-Drilling 法では歯根接触による影響を受けやすく、歯根接触によってマイクロクラックが広がり安定性が低下した可能性が考えられた。Self-Drilling 法における上顎右側歯槽部へのスクリューの植立では、有意な遠心歯への接触がみられたため、この部位では特に注意が必要であることが示唆された。

以上より、本研究において Self-Drilling 法と Self-Tapping 法に成功率に差はみられなかったが、歯根接触した Self-Drilling 法によるスクリューは有意に高い脱落率を示し、Self-Drilling 法では Self-Tapping 法よりも歯根接触の影響を大きく受けることが示唆された。また、Self-Drilling 法ではスクリューを水平的に植立し、Self-Tapping 法に比べ歯根に近接していたが、両方法間の歯根接触率には有意差はなかったことから、Self-Drilling 法の短いスクリュー-歯根間距離は歯根接触の発生頻度に影響していないことが示唆された。

なお、本論文は下記の論文を基幹とし、歯根間距離により試料を狭小群（2.5 mm 未満）と広大群（2.5 mm 以上）の 2 群に分け、各群における Self-Drilling 法と Self-Tapping 法のスクリューの植立角度、スクリュー-歯根間最短距離、歯根接触率、脱落率に与える影響について検討を加えたものである。

基幹論文 Iwai H, Motoyoshi M, Uchida Y, Matsuoka M, Shimizu N.
Effects of tooth root contact on the stability of orthodontic anchor screws in the maxilla: comparison between self-drilling and self-tapping methods. Am J Orthod Dentofacial Orthop, in press.

緒 言

歯科矯正治療では、歯の移動を行う際に固定源となる歯も移動してしまうため、目的とする歯の移動を十分に達成できないことがある。固定源をいかにコントロールするかが治療結果に大きく影響するため、固定源の強化のため、ヘッドギアなどの顎外固定装置が使用されてきた。患者の協力が十分得られれば固定の強化が得られるが、これは患者の装置使用に依存する。

近年、歯科矯正治療の固定源として開発された歯科矯正用アンカースクリューは、歯槽骨や口蓋骨などの様々な部位に植立でき、外科的侵襲も少ないことから、矯正治療中の絶対的な固定源として頻繁に利用されるようになった¹⁻⁷⁾。スクリューによる固定源は、従来のヘッドギアと比較して固定源の移動がないため、上顎前突症例では前歯部を十分舌側移動することができ、また、上顎臼歯部のより正確な垂直的コントロールを可能とし、良好な治療結果を患者の最小限の協力によって得ることができる⁸⁻¹¹⁾。Upadhyay ら¹²⁻¹⁴⁾、および Nagaraj ら¹⁵⁾は、前歯の舌側移動や圧下、臼歯の近心移動にスクリューを用いて良好な治療結果が得られたと報告している。

しかしながら、臨床においてはスクリューが脱落し固定源として使用できなくなる場合があり^{16,17)}、Papadopoulos ら⁸⁾は、メタ分析にてスクリューの成功率は 87.7%であったと報告している。スクリューは通常歯根間の狭い間隙に植立されるため、スクリューの脱落の原因となる歯根接触を起こすことがある。Kuroda ら¹⁸⁾や Chen ら¹⁹⁾は、歯根近接がスクリューの脱落と有意に関係していることを報告しており、また Kim ら²⁰⁾は、スクリューの接触による歯根の損傷が、歯根の外部吸収を生じさせ、さらに悪化させる可能性があることを報告している。Papageorgiou ら²¹⁾は、スクリューの脱落率に関する最新の情

報をまとめ、脱落率に有意に影響を及ぼす危険因子を特定するためにメタ分析を行った。その結果、スクリューの脱落率は 13.5%であり、歯根接触を起こしたスクリューは接触のないスクリューと比較して脱落率が 3 倍高かったと報告している。したがって、スクリューの歯根接触は可及的に避けるべきであると考えられる。

スクリューの植立には 2 通りの方法が用いられており、植立前に誘導孔の形成を必要とする Self-Tapping 法と、誘導孔を必要としない Self-Drilling 法である²²⁾。Tachibana ら²³⁾ は上顎側歯槽骨に直径 1.6 mm のスクリューを植立する場合、Self-Drilling 法を用いるか、もしくは Self-Tapping 法を用いて直径 1.0 mm の誘導孔形成を行うことを推奨している。Son ら²⁴⁾ は、Self-Drilling 法と Self-Tapping 法を比較し、Self-Drilling 法は有意に高い動揺度を示したとしている。

一方、Deguchi ら²⁵⁾ は、傾斜したスクリューは皮質骨との接触を増やし安定性が増加する可能性があることを示唆し、Inaba²⁶⁾ は骨面に対して傾斜したスクリューの動揺度は、垂直に植立されたスクリューより有意に小さかったとしている。さらに Deguchi ら²⁵⁾ は、骨面に対して傾斜したスクリューの水平的な埋入深さは浅くなるため歯根接触を起こしにくくなると述べている。しかし、スクリューの植立角度と歯根接触の関係性は明らかにはされていない。

そこで、本研究では、上顎側歯槽部に植立したスクリューにおける植立角度と歯根接触の発生頻度との関係に加え、歯根接触とスクリューの脱落率との関係について、Self-Drilling 法と Self-Tapping 法を比較することを目的とした。

被験者および方法

日本大学歯学部附属歯科病院にて 2012 年から 2013 年にスクリューの植立を行った 80 名の歯科矯正治療患者(男性 26 人, 女性 54 人; 平均年齢, 23.2 ± 8.0 歳)を対象とした。第二小臼歯抜歯の症例, およびスクリューが上顎洞に尖通した症例を除外し, 142 本のスクリュー (Self-Drilling 法; 71 本, Self-Tapping 法; 71 本) を調査対象とした。本研究は, 日本大学歯学部倫理委員会の承認 (倫許 No. 2012-2) を得た後, スクリュー植立の前に本研究に参加することに同意した患者の CT 画像を用いた。

スクリューは, 直径 1.6 mm, 長さ 8.0 mm の歯科矯正用アンカースクリュー (ISA; Biodent 社製, 東京, Fig 1) を使用した。植立方法は Tachibana ら²³⁾ に従って Self-Drilling 法と Self-Tapping 法を用いた。すなわち, Self-Drilling 法では局所麻酔を行った後, 誘導孔の形成やフラップ手術を行わずにスクリューを植立し, Self-Tapping 法では植立前に生理食塩水の注水下でコントラングルハンドピース (Fig 2) に装着した直径 1.0 mm の骨ドリルを用いて誘導孔を形成した後にスクリューを植立した。スクリュー植立位置は, 上顎の第二小臼歯と第一大臼歯のコンタクトポイントの直下, ブラケットスロットから約 6 mm の高さの頬側歯槽骨とした。水平植立角度は骨面に対して垂直にし, 垂直植立角度は骨面に対して約 60° 歯冠側に傾斜して植立した。スクリューの植立は, 臨床歴 10 年以上, スクリュー植立歴 3 年以上の 2 人の術者によって行われ, 術者間で植立手技に違いはなかった。本研究における症例において, Self-Drilling 法と Self-Tapping 法の植立方法はランダムに割り当てられた。

コーンビームCT (以下, CBCT) (3DX; モリタ社製, 京都) の撮影は, 管電圧 80 kV, 管電流 5.5 mA, FOV (Field of View; 撮像領域) 直径 40 × 高さ 40

mm, ボクセルサイズ0.125 × 0.125 × 0.125 mm, スライス厚1.000 mm, スライス間隔1.000 mmの条件でスクリユー植立後に行い, スクリユー植立部位の周辺領域の画像を得た。皮質骨厚, 隣接歯の歯根間距離, スクリユー-歯根間の最短距離, 植立角度の計測, および歯根近接の判定は, CBCT viewer (One Volume Viewer, version 1.6.1.13; モリタ社製) を使用して行った。

皮質骨厚は, 前額断面像にて断層面をスクリユーの長軸に一致させた画像上で, スクリユーの植立部に最も近い皮質骨の骨厚を測定した (Fig 3)。

歯根間距離は, 水平断面像にて断層面を咬合平面と平行とし, スクリユーの皮質骨植立部 (接触部) の高さに一致させた画像上で, スクリユーの近遠心の隣接歯の歯根間の距離を測定した (Fig 4)。

スクリユー-歯根間最短距離は, 水平断面像にて断層面をスクリユーの皮質骨植立部 (接触部), 中央部および先端部の各部位の高さに一致させた 3 つの画像上で, スクリユーから隣接歯根までの距離を測定し, 最も短い距離を求めた (Fig 5)。スクリユーの歯根接触の判定は, スクリユー-歯根間最短距離が 0 mm の場合スクリユーは歯根に接触したと判定した。

水平植立角度は, 水平断面像におけるスクリユーの皮質骨植立部 (接触部) の高さに一致させた画像上にて, 頬側皮質骨表面とスクリユー長軸の遠心側の角度を測定した (Fig 6)。

垂直植立角度は, 皮質骨厚の測定と同様の前額断面像にて, 第一大臼歯の歯軸 (Fig 7A) とスクリユーの長軸との角度を測定した (Fig 7B)。

スクリユーは, 矯正力を負荷後 6 か月以上使用できたものを成功とみなし, 自然脱落, または動揺後撤去を行ったものを脱落とみなした。また, 植立後に歯根接触を確認した場合, 患者の臨床症状があるか, もしくはスクリユーに動揺がみられた時に撤去を行い, 脱落と定義した。Shigeeda ら²⁷⁾に従い, 歯根

損傷のない軽度の歯根接触については経過観察を行い、脱落とはしなかった。

測定結果から、Self-Drilling 法と Self-Tapping 法におけるスクリューの成功率、歯根接触率、脱落率の比較、検討を行った。歯根接触率は、両方法間、左右間、近心歯と遠心歯間について比較を行い、脱落率は、両方法間、接触群と非接触群間で比較を行った。

また、歯根間距離が 2.5 mm 未満の群を狭小群、2.5 mm 以上の群を広大群として分類し、歯根間距離の違いが垂直・水平植立角度、スクリュー-歯根間最短距離、歯根接触率、脱落率に与える影響について検討した。

Self-Drilling 法、Self-Tapping 法間におけるスクリューの成功率、皮質骨厚、歯根間距離、スクリュー-歯根間最短距離、植立角度、歯根接触の有無と、歯根接触とスクリューの脱落との関係性を明らかにするため、 χ^2 検定またはフィッシャーの正確確率検定を用いた。近心歯、および遠心歯と歯根との接触率を明らかにするため、二項検定を用いた。また、歯根間距離狭小群と広大群の水平・垂直植立角度、スクリュー-歯根間最短距離、歯根接触率、脱落率について、 χ^2 検定またはフィッシャーの正確確率検定を用いて比較した。これらの分析は、SPSS ソフトウェア (version 16.0; SPSS Japan, 東京) を使用して行った。 P 値が 0.05 未満のとき有意性ありと判定した。

計測誤差を確認するため、一回目の計測から約 1 ヶ月後に、10 人の被験者の CBCT 画像をランダムに選択し、全ての項目についての再計測を行った。一回目と二回目の計測値に統計的に有意差は認められず、また、二人の術者間においても全ての計測項目に有意差はみられなかった。

成 績

スクリューの成功率は、Self-Drilling 法で 91.5%，Self-Tapping 法で 94.4%であった ($P > 0.05$; Table I)。

皮質骨厚、および歯根間距離は、Self-Drilling 法、Self-Tapping 法間で有意差はみられなかった。

スクリュー-歯根間最短距離は、Self-Drilling 法の方が有意に小さかった ($P < 0.05$; Table II)。

水平植立角度では、Self-Drilling 法の方が骨面に対してより垂直であり ($P < 0.05$)、垂直植立角度では、Self-Tapping 法の方がより傾斜する傾向がみられた ($P < 0.05$; Table III)。

歯根接触率は、Self-Drilling 法で 19.7%，Self-Tapping 法で 21.1%であり、有意差はみられなかった。また、歯根接触率の左右差についても有意差はみられなかった。一方、歯根接触の位置では、Self-Drilling 法の右側において近心歯と比較して有意な遠心歯への接触がみられた ($P < 0.01$; Table IV)。

脱落率では、Self-Drilling 法において接触群の脱落率が非接触群と比較して有意に大きかった ($P < 0.05$; Table V)。

歯根間距離の狭小群と広大群との比較では、垂直植立角度は Self-Drilling 法と Self-Tapping 法の両方法において有意差はみられず、水平植立角度は Self-Drilling 法において狭小群でスクリューヘッド部が有意に遠心に傾斜していた ($P < 0.05$; Table VI)。スクリュー-歯根間最短距離は両方法において狭小群が有意に小さかった ($P < 0.01$; Table VI)。歯根接触率は両方法において狭小群と広大群間に有意差はみられず、脱落率においても狭小群と広大群間に有意差はみられなかった。

考 察

スクリユーの植立状態を正確に判断するには CBCT による検査が望ましいとされている²⁸⁻³⁰⁾。CBCT では薄状構造物に対する距離計測に限界があり、Tsutsumi ら³¹⁾ は、生体外 CBCT 検査で、高い精度の計測を維持するためには、被計測構造物が少なくとも 3~4 のボクセルサイズの厚さを持たなければならないとしている。本研究の CBCT の撮影条件におけるボクセルサイズは Tsutsumi ら³¹⁾ の条件を満たしており、正確なスクリユー-歯根間距離を計測できる精度を有している。

多くのメタ分析、システマティックレビューで、スクリユーの成功率とそれに関わる因子が報告され、その多くは成功率が 80%以上であった^{8,21,32-35)}。本研究で測定したスクリユーの成功率は、Self-Drilling 法で 91.5%、Self-Tapping 法で 94.4% ($P > 0.05$) であり、両方法間で有意差はみられなかった。

Motoyoshi ら³⁶⁾ は皮質骨厚がスクリユーの安定性に与える影響を調査し、成功群と比較して脱落群では有意に皮質骨が薄いことを報告している。皮質骨厚はスクリユーの安定性に影響を与えると考えられるため、両群の骨皮質厚を測定し、比較した。その結果、両方法間に有意差は認められず、Self-Drilling 法が 1.02 ± 0.39 mm、Self-Tapping 法が 1.05 ± 0.25 mm であった。また、歯根間距離がスクリユーの歯根近接を起こす頻度に影響を与えるため^{36,37)}、両群の歯根間距離を比較したところ、両方法間に有意差はみられず、Self-Drilling 法が 2.66 ± 0.62 mm、Self-Tapping 法が 2.82 ± 0.70 mm であった。このことから、植立部位の条件は両群間に差はなかったと考えられる。

Kim ら²⁹⁾ は、Self-Tapping 法を用いてスクリユーを植立し、左右の垂直植立角度において有意差を認めたと報告している。彼らは、その理由として術者

に右利きの者が多く、患者の左側にスクリューを植立する際に上体を大きく傾けて植立する傾向があるためと考察している。しかし、Shinohara ら³⁸⁾は右利きの術者によってスクリューを植立し、左右差がなかったと報告している。本研究では、Self-Drilling 法と Self-Tapping 法において、垂直、水平植立角度のいずれにおいても、右側と左側の間に有意差を認めなかった。

Jung ら³⁹⁾は Self-Drilling 法を用いてスクリューを植立し、垂直、および水平植立角度が成功群と脱落群の間に有意差がなかったと報告している。本研究においても、Self-Drilling 法と Self-Tapping 法ともに垂直、水平植立角度のいずれにおいても、成功群と脱落群の間に有意差を認めなかった。

水平植立角度では、Self-Drilling 法が骨面に対してより垂直に植立する傾向があり、有意差を認めた。これは、Self-Tapping 法におけるコントラアングルハンドピースと Self-Drilling 法における手用ドライバー使用時の視点の違いによるものと考えられる。一方、垂直植立角度においても有意差を認め、Self-Tapping 法がより傾斜する傾向がみられた。これは、Self-Drilling 法は直接スクリューを骨面にねじ込む方法であり、骨表面の形状の影響を受けやすいため、スクリュー先端が骨面上を滑らないように植立時にドライバーを水平的に把持する傾向があるためと考えられた。歯根間距離の狭小群と広大群との比較では、歯根間距離によって垂直植立角度に有意差はみられなかったが、水平植立角度は Self-Drilling 法において狭小群でスクリューヘッド部が有意に遠心に傾斜していた。これは、狭小群と広大群における骨表面の水平的角度の違いによる可能性が考えられるが、この点についてはより詳細な検討が必要であると思われた。

スクリューの歯根への近接距離は、Self-Drilling 法が Self-Tapping 法に比較して有意に小さい結果となった。この理由として、Self-Drilling 法では

Self-Tapping 法に比べ垂直植立角度が骨面に対してより水平的になるため、水平的な植立深度が深くなり歯根に近接しやすくなるためと考えられた。また、歯根の解剖学的形態から、歯頸部に近い程歯根間距離が小さくなることも要因の 1 つであると考えられる。Self-Drilling 法では垂直植立角度が大きくスクリュー先端が歯頸部に近くなりやすいため、歯根に近接して植立される傾向にあったと考えられた。また、歯根間距離の狭小群と広大群との比較では、スクリュー-歯根間最短距離は両方法において狭小群で有意に小さかった。このことから、Self-Drilling 法において、スクリュー-歯根間最短距離は垂直植立角度による影響に加えて、歯根間距離の影響を受けることが確認された。

一方、スクリュー-歯根間最短距離に有意差があるにも関わらず、本研究における歯根接触の発生頻度は Self-Drilling 法で 19.7%、Self-Tapping 法で 21.1% であり、有意差はなかった。すなわち、Self-Drilling 法における短いスクリュー-歯根間距離は、スクリューの歯根接触の発生頻度に影響を及ぼさなかった。また、歯根間距離による比較では、広大群に比べ狭小群で、歯根接触率が約 2 倍高く、脱落率が約 3 倍高い結果となったが、いずれにおいても有意差はみられず、歯根間距離は歯根接触の発生頻度に影響を及ぼさなかった。

Self-Drilling 法において、上顎の右側で有意に遠心に接触する傾向を認めた ($P < 0.05$)。これは Shinohara ら³⁸⁾ の、上顎右側ではスクリューはより遠心に植立される傾向にあるとの報告を支持する結果であった。これは、患者に対する術者のポジショニングと視点の違いに加え、術者が右利きであったことが関係しているためと思われた。

Kuroda ら¹⁸⁾ は、上下顎における Self-Tapping 法で植立したスクリューの脱落率と歯根接触との関係について、下顎では歯根接触により脱落率が有意に増加したが上顎ではこのような傾向は認められなかったと述べている。本研究に

において、**Self-Drilling** 法は歯根接触により上顎のスクリューの脱落率が有意に増加したが、**Self-Tapping** 法では歯根接触の脱落率への影響はみられず、**Kuroda** ら¹⁸⁾ を支持する結果であった。このスクリューの安定性に対する歯根接触の影響の違いは、**Self-Drilling** 法と **Self-Tapping** 法の植立方法の違いによるものと考えられる。

スクリューが歯根接触を起こした症例のスクリュー除去後の CBCT を得る機会があったので **Fig 8, 9** に示す。スクリュー接触部位における歯根の形状は、**Self-Drilling** 法が平坦であり (**Fig 9A**)、**Self-Tapping** 法が陥凹 (**Fig 9B**) を呈している像が認められた。**Self-Tapping** 法の歯根表面の凹みは誘導孔形成時の骨ドリルによるものであると思われる。この凹みが歯根接触による影響を緩衝し、脱落率に有意差を認めなかったと推測されるが、歯根損傷による外部吸収を生じる恐れもあり注意が必要である。

Heidemann ら⁴⁰⁾ は、**Self-Tapping** 法と比較して **Self-Drilling** 法は植立時の骨とスクリューの接触率が有意に高いことを示しており、同様に **Chen** ら⁴¹⁾ は、植立から 9 週後において **Self-Drilling** 法の骨接触率が有意に高いことを示し、**Self-Drilling** 法によって植立したスクリューでは骨ドリルによる骨損傷がなく、スクリューのスレッド間に骨が入り込むため骨リモデリングによる治癒期間が短縮できることを示唆した。一方で、**Yadav** ら⁴²⁾ は、**Self-Drilling** 法と **Self-Tapping** 法を用いて、スクリューの植立孔のマイクロクラックの大きさを調査した。彼らは、全てのスクリュー周囲にマイクロクラックが観察され、**Self-Drilling** 法では **Self-Tapping** 法と比較して有意に大きなマイクロクラックが観察されたと報告している。このことから、**Self-Drilling** 法では歯根接触によってマイクロクラックが広がり、スクリューの安定性が低下した可能性が考えられる。その一方、**Son** ら²⁴⁾ の報告と同様に本研究においても **Self-Tapping**

法と Self-Drilling 法に成功率に有意差は認められなかった。しかし、Self-Drilling 法の成功率をさらに向上させるには、歯根接触を避けることがきわめて有効であることが示唆された。

結 論

1. 上顎におけるスクリューの成功率は、Self-Drilling 法で 91.5%、Self-Tapping 法で 94.4%であり、有意差はなかった。
2. Self-Drilling 法によって植立したスクリューは、Self-Tapping 法によるものよりも歯根接触の影響を大きく受け、歯根接触した Self-Drilling 法によるスクリューは有意に高い脱落率を示した。
3. 垂直植立角度では Self-Drilling 法の方がより水平的に植立され、これにより Self-Tapping 法に比べ歯根に近接する傾向にあるが、歯根接触の発生頻度には両群間に有意差はなかった。

謝 辞

稿を終えるに、本研究遂行にあたり、格別なるご指導ご鞭撻を賜りました日本大学歯学部歯科矯正学講座の清水典佳教授，本吉満准教授に謹んで心より感謝申し上げます。

また、本研究を通じ多大なるご協力と助言を賜りました本学部の歯科放射線学講座，および歯科矯正学講座の皆様深く感謝いたします。

本研究に関連した研究の要旨は、第 73 回東京矯正歯科学会大会（2014，東京）において発表した。

引用文献

- 1) Park SH, Kwon TG, Kwon OW (2004) Treatment of open bite with microscrew implant anchorage. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 126, 627-636.
- 2) Sugawara J, Daimaruya T, Umemori M, Nagasaka H, Takahashi I, Kawamura H, Mitani H (2004) Distal movement of mandibular molars in adult patients with the skeletal anchorage system. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 125, 130-138.
- 3) Chung K, Kim SH, Kook Y (2004) C-orthodontic microimplant for distalization of mandibular dentition in class III correction. *Angle Orthod* 75, 119-128.
- 4) Ohnishi H, Yagi T, Yasuda Y, Takada K (2005) A mini-implant for orthodontic anchorage in a deep overbite case. *Angle Orthod* 75, 444-452.
- 5) Park HS, Lee SK, Kwon OW (2005) Group distal movement of teeth using microscrew implant anchorage. *Angle Orthod* 75, 602-609.
- 6) Herman RJ, Currier GF, Miyake A (2006) Mini-implant anchorage for maxillary canine retraction: a pilot study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 130, 228-235.
- 7) Kim TW, Kim H, Lee SJ (2006) Correction of deep overbite and gummy smile by using a mini-implant with a segmented wire in a growing Class II Division 2 patient. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 130, 676-685.

- 8) Papadopoulos MA, Papageorgiou SN, Zogakis IP (2011) Clinical effectiveness of orthodontic miniscrew implants: a meta-analysis. *J Dent Res* 90, 969-976.
- 9) Li F, Hu HK, Chen JW, Liu ZP, Li GF, He SS, Zou SJ, Ye QS (2011) Comparison of anchorage capacity between implant and headgear during anterior segment retraction; a systematic review. *Angle Orthod* 81, 915-922.
- 10) Koyama I, Iino S, Abe Y, Takano-Yamamoto T, Miyawaki S (2011) Differences between sliding mechanics with implant anchorage and straight-pull headgear and intermaxillary elastics in adults with bimaxillary protrusion. *Eur J Orthod* 33, 126-131.
- 11) Lee J, Miyazawa K, Tabuchi M, Kawaguchi M, Shibata M, Goto S (2013) Midpalatal miniscrews and high-pull headgear for anteroposterior and vertical anchorage control: cephalometric comparisons of treatment changes. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 144, 238-250.
- 12) Upadhyay M, Yadav S, Patil S (2008) Mini-implant anchorage for en-masse retraction of maxillary anterior teeth: a clinical cephalometric study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 134, 803-810.
- 13) Upadhyay M, Yadav S, Nagaraj K, Patil S (2008) Treatment effects of mini-implants for en-masse retraction of anterior teeth in bialveolar dental protrusion patients: a randomized controlled trial. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 134, 18-29.

- 14) Upadhyay M, Yadav S, Nanda R (2010) Vertical-dimension control during en-masse retraction with mini-implant anchorage. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 138, 96-108.
- 15) Nagaraj K, Upadhyay M, Yadav S (2008) Titanium screw anchorage for protraction of mandibular second molars into first molar extraction sites. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 134, 583-591.
- 16) Costa A, Raffainl M, Melsen B (1998) Miniscrews as orthodontic anchorage: a preliminary report. *Int J Adult Orthod Orthog Surg* 13, 201-209.
- 17) Sawa Y, Goto K, Suzuki N, Kamo N, Kamo K (2001) The new method for the maxillary retraction of the anterior teeth using a titanium microscrew as anchorage. *Orthod Waves* 60, 328-331.
- 18) Kuroda S, Yamada K, Deguchi T, Hashimoto T, Kyung H-M, Takano-Yamamoto T (2007) Root proximity is a major factor for screw failure in orthodontic anchorage. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 131, S68-S73.
- 19) Chen YH, Chang HH, Chen YJ, Lee D, Chiang HH, Yao CC (2008) Root contact during insertion of miniscrews for orthodontic anchorage increases the failure rate: an animal study. *Clin Oral Implants Res* 19, 99-106.
- 20) Kim H, Kim TW (2011) Histologic evaluation of root-surface healing after root contact or approximation during placement of mini-implants. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 139, 752-760.

- 21) Papageorgiou SN, Zogakis IP, Papadopoulos MA (2012) Failure rates and associated risk factors of orthodontic miniscrew implants: a meta-analysis. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 142, 577-595.
- 22) Holmgren EP, Seckinger RJ, Kilgren LM, Mante F (1998) Evaluating parameters of osseointegrated dental implants using finite element analysis - a two-dimensional comparative study examining the effects of implant diameter, implant sharp, and load direction. *J Oral Implantol* 24, 80-88.
- 23) Tachibana R, Motoyoshi M, Shinohara A, Shigeeda T, Shimizu N (2012) Safe placement techniques for self-drilling orthodontic mini-implants. *Int J Oral Maxillofac Surg* 41, 1439-1444.
- 24) Son S, Motoyoshi M, Uchida Y, Shimizu N (2014) Comparative study of the primary stability of self-drilling and self-tapping orthodontic miniscrews. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 145, 480-485.
- 25) Deguchi T, Nasu M, Murakami K, Yabuuchi T, Kamioka H, Takano-Yamamoto T (2006) Quantitative evaluation of cortical bone thickness with computed tomographic scanning for orthodontic implants. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 129, 721.e7-721.e12.
- 26) Inaba M (2009) Evaluation of primary stability of inclined orthodontic mini-implants. *J Oral Sci* 51, 347-353.
- 27) Shigeeda T (2014) Root proximity and stability of orthodontic anchor screws. *J Oral Sci* 56, 59-65.
- 28) Kim SH, Choi YS, Hwang EH, Chung KR, Kook YA, Nelson G (2007) Surgical positioning of orthodontic mini-implants with guides fabricated

- on models replicated with cone-beam computed tomography. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 131, S82-S89.
- 29) Kim SH, Kang SM, Choi YS, Kook YA, Chung KR, Huang JC (2010) Cone-beam computed tomography evaluation of mini-implants after placement: Is root proximity a major risk factor for failure? *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 138, 264-276.
- 30) Min KI, Kim SC, Kang KH, Cho JH, Lee EH, Chang NY, Chae JM (2012) Root proximity and cortical bone thickness effects on the success rate of orthodontic micro-implants using cone beam computed tomography. *Angle Orthod* 82, 1014-1021.
- 31) Tsutsumi K, Chikui T, Okamura K, Yoshiura K (2011) Accuracy of linear measurement and the measurement limits of thin objects with cone beam computed tomography: effects of measurement directions and of phantom locations in the fields of view. *Int J Oral Maxillofac Implants* 26, 91-100.
- 32) Schätzle M, Männchen R, Zwahlen M, Lang NP (2009) Survival and failure rates of orthodontic temporary anchorage devices: a systematic review. *Clin Oral Implants Res* 20, 1351-1359.
- 33) Chen Y, Kyung HM, Zhao WT, Yu WJ (2009) Critical factors for the success of orthodontic mini-implants: a systematic review. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 135, 284-291.
- 34) Reynders R, Ronchi L, Bipat S (2009) Mini-implants in orthodontics: a systematic review of the literature. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 135, 564.e1-564.e19.

- 35) Meursinge Reynders RA, Ronchi L, Ladu L, van Etten-Jamaludin F, Bipat S (2012) Insertion torque and success of orthodontic mini-implants: a systematic review. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 142, 596-614.
- 36) Motoyoshi M, Inaba M, Ono A, Ueno S, Shimizu N (2009) The effect of cortical bone thickness on the stability of orthodontic mini-implants and on the stress distribution in surrounding bone. *Int J Oral Maxillofac Surg* 38, 13-18.
- 37) 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.
- 38) Shinohara A, Motoyoshi M, Uchida Y, Shimizu N (2013) Root proximity and inclination of orthodontic mini-implants after placement: cone-beam computed tomography evaluation. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 144, 50-56.
- 39) Jung YR, Kim SC, Kang KH, Cho JH, Lee EH, Chang NY, Chae JM (2013) Placement angle effects on the success rate of orthodontic microimplants and other factors with cone-beam computed tomography. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 143, 173-181.
- 40) Heidemann W, Terheyden H, Gerlach KL (2001) Analysis of the osseous/metal interface of drill free screws and self-tapping screws. *J Cranio-Maxillofac Surg* 29, 69-74.
- 41) Chen Y, Shin HI, Kyung HM (2008) Biomechanical and histological comparison of self-drilling and self-tapping orthodontic microimplants in dogs. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 133, 44-50.

- 42) Yadav S, Upadhyay M, Liu S, Roberts E, Neace WP, Nanda R (2012)
Microdamage of the cortical bone during mini-implant insertion with
self-drilling and self-tapping techniques: a randomized controlled trial.
Am J Orthod Dentofacial Orthop 141, 538-546.

参考論文

1. Iwai H, Motoyoshi M, Uchida Y, Matsuoka M, Shimizu N (2014) Effects of tooth root contact on the stability of orthodontic anchor screws in the maxilla: comparison between self-drilling and self-tapping methods. American Journal of Orthodontics & Dentofacial Orthopedics, in press

図および表

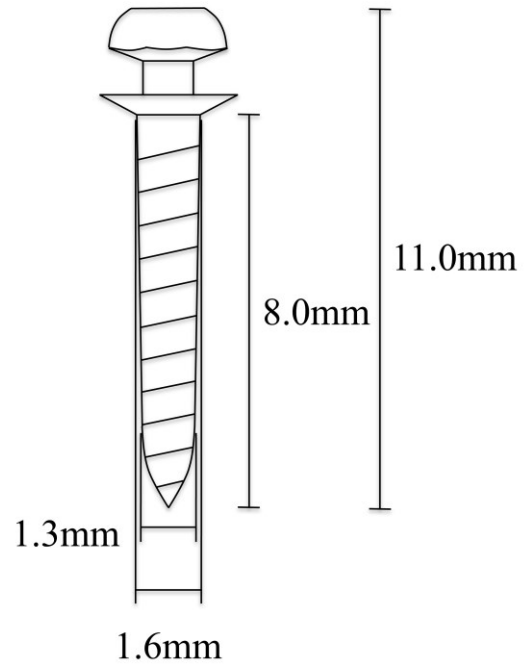


Figure 1. An anchor screw 1.6 mm in diameter and 8.0 mm in length was used.

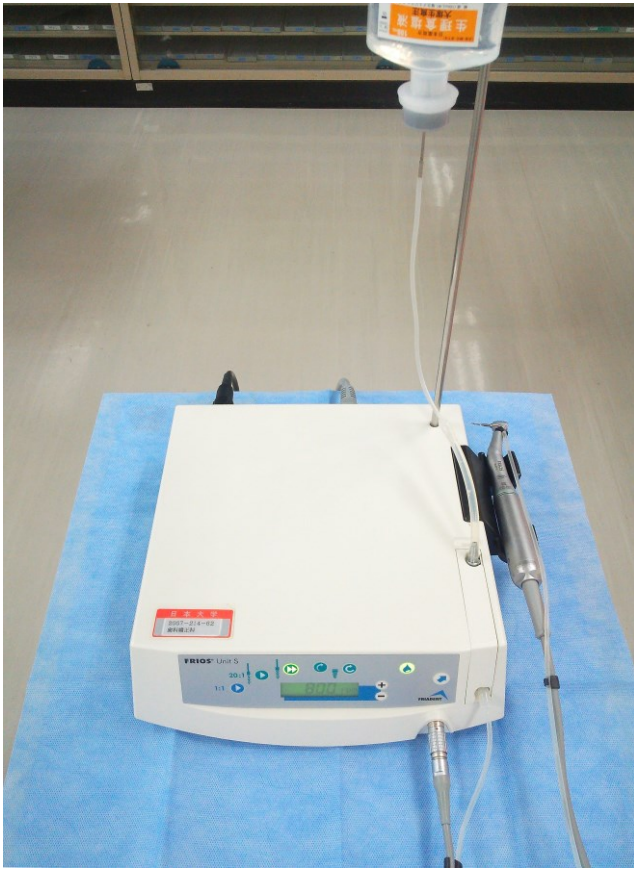


Figure 2. A bone drill was used in the self-tapping method.

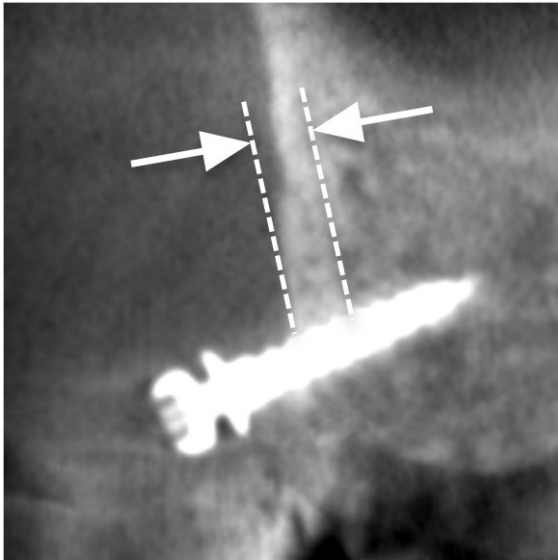


Figure 3. The cortical bone thickness was measured at the nearest site from the screw in the vertical cross-section.

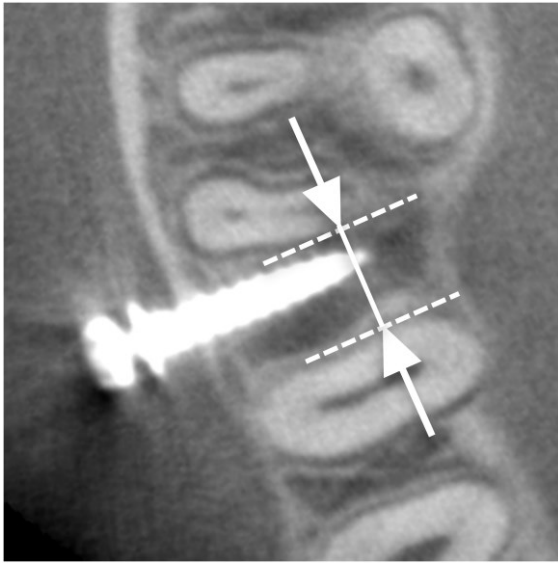


Figure 4. The inter-root distance was measured at the height of the placement point of the screw.

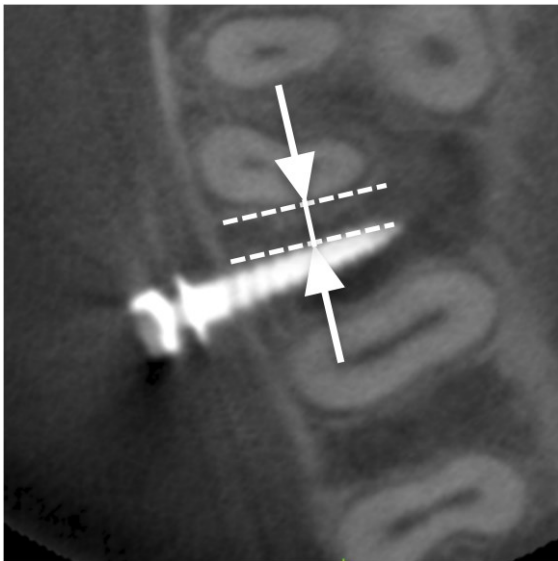


Figure 5. The mesial and distal distances between the screw and the adjacent tooth root were measured.

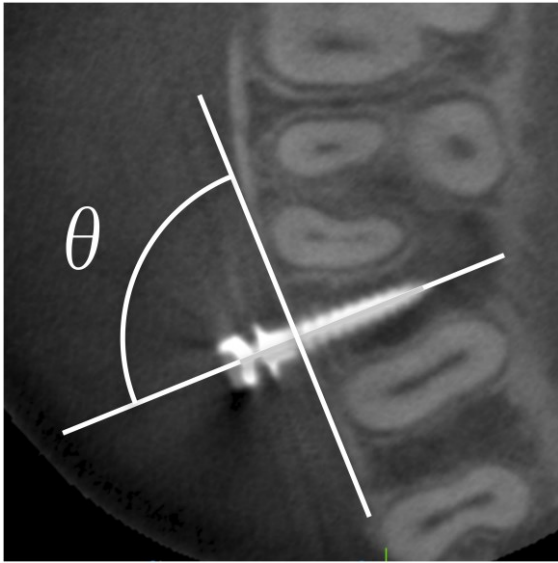


Figure 6. The angle of the distal side between the major axis of the screw and the buccal cortical bone surface was measured as the horizontal placement angle in the occlusal view.

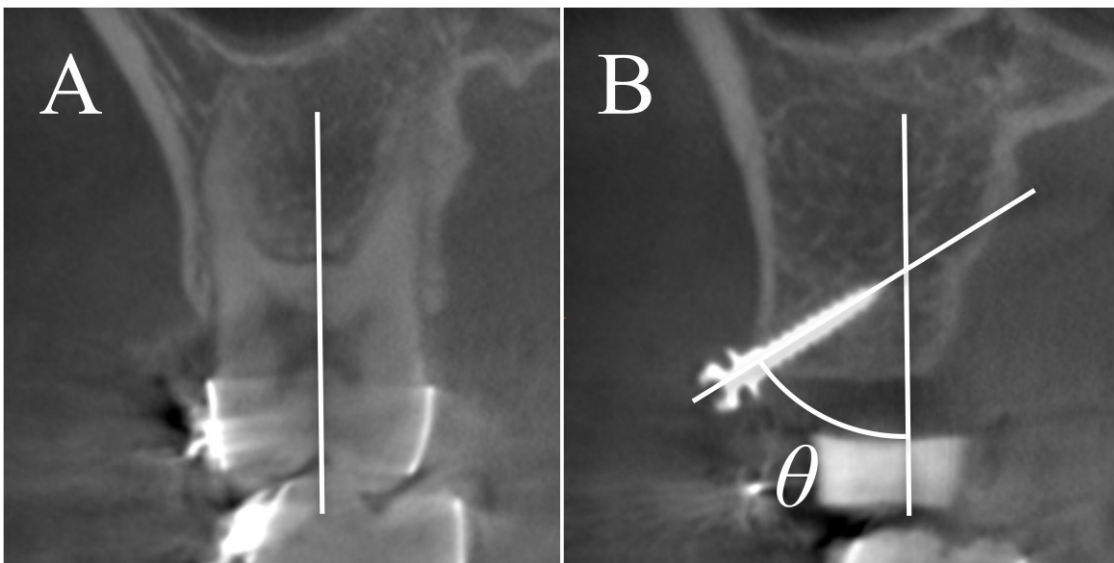


Figure 7 A. The tooth axis of the first molar was determined. **B.** The cross-section was moved to correspond to the screw. The angle θ between the major axis of the screw and the tooth axis was measured as the vertical inclination in the frontal view.

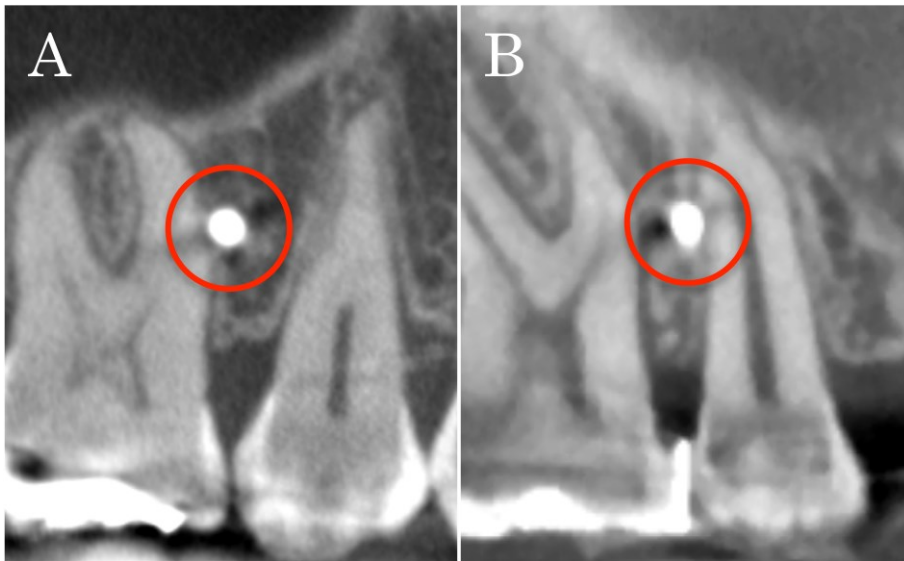


Figure 8 **A.** CBCT image after the screw was placed with the self-drilling method. **B.** CBCT image after the screw was placed with the self-tapping method. The screws contacted the tooth root with both methods.

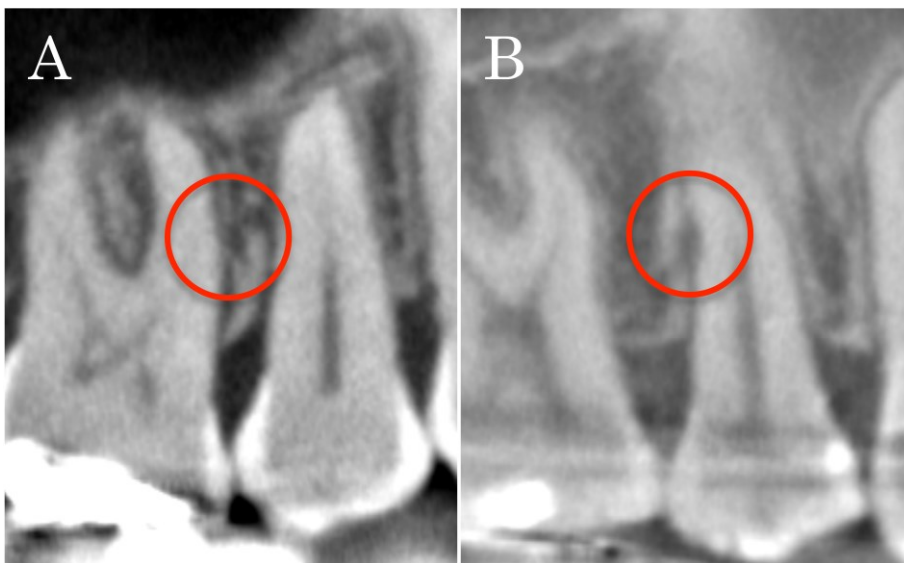


Figure 9 **A.** CBCT image after removing a screw placed with the self-drilling method, **B.** CBCT image after removing a screw placed with the self-tapping method. The root shapes at the screw contact sites showed a smooth surface with the self-drilling method and a dented surface with the self-tapping method.

Table I . Success rates of the screws.

	n	Success rate (%)	P-value
Self-drilling	71	91.5	0.512
Self-tapping	71	94.4	

Table II . Measurements of the cortical bone thickness, inter root distance, and screw-root distance.

	cortical bone thickness			inter-root distance			screw-root distance		
	Mean (mm)	SD	P-value	Mean (mm)	SD	P-value	Mean (mm)	SD	P-value
Self-drilling	1.02	0.39	0.650	2.66	0.62	0.149	0.61	0.44	0.039*
Self-tapping	1.05	0.25		2.82	0.70		0.79	0.57	

*: Significance at 5% level

Table III . Measurements of the horizontal and vertical placement angle.

	horizontal placement angle			vertical placement angle		
	Mean (°)	SD	P-value	Mean (°)	SD	P-value
Self-drilling						
Right	86.75	6.57	-	54.42	13.04	-
Left	87.16	8.22		51.75	13.24	
Total	86.95	7.38		53.11	13.11	
Self-tapping						
Right	85.82	7.27	0.046*	49.12	17.31	0.021*
Left	81.45	15.23		44.99	18.33	
Total	83.54	12.21		46.97	17.84	

*: Significance at 5% level

Table IV . Rate of tooth root contact according to mesiodistal position.

	n	Number of root contact			Rate of root contact			P-value
		Mesial (n)	Distal (n)	Total (n)	Mesial (%)	Distal (%)	Total (%)	
Self-drilling								
Right	36	0	8	8	0.0	22.2	22.2	0.008**
Left	35	1	5	6	2.9	14.3	17.1	0.219
Total	71	1	13	14	1.4	18.3	19.7	0.002**
Self-tapping								
Right	34	2	6	8	5.9	17.6	23.5	0.289
Left	37	4	3	7	10.8	8.1	18.9	1.000
Total	71	6	9	15	8.5	12.7	21.1	0.607

** : Significance at 1% level

Table V. Effects of root contact in the self-drilling and self-tapping methods.

	n	failures (n)	%	P-value
Self-Drilling				
No contact	57	2	3.51%	0.012*
Contact	14	4	28.57%	
Self-Tapping				
No contact	56	2	3.57%	0.194
Contact	15	2	13.33%	

*: Significance at 5% level

Table VI. Comparison between narrow (less than 2.5mm) and wide (more than 2.5mm) groups

	narrow group			wide group			P-value
	n	Mean	SD	n	Mean	SD	
screw-root distance							
Self-Drilling	28	0.389	0.340	43	0.759	0.432	0.000**
Self-Tapping	24	0.511	0.428	47	0.934	0.589	0.003**
vertical angle							
Self-Drilling	28	53.961	12.390	43	52.549	13.679	0.661
Self-Tapping	24	45.843	17.269	47	47.543	18.288	0.707
horizontal angle							
Self-Drilling	28	84.640	8.389	43	88.461	6.294	0.032*
Self-Tapping	24	83.846	7.870	47	83.382	13.991	0.881
rate of tooth root contact							
Self-Drilling	8	28.57%	-	6	14.29%	-	0.114
Self-Tapping	7	29.17%	-	8	17.39%	-	0.189
rate of failure							
Self-Drilling	4	14.29%	-	2	4.76%	-	0.161
Self-Tapping	3	12.50%	-	1	2.17%	-	0.109

*: Significance at 5% level, **: Significance at 1% level