

歯科矯正用アンカースクリュー初期安定性についての
self-tapping 法と self-drilling 法の比較
ー 動揺度と植立時トルクによる検討 ー

日本大学歯学部歯科矯正学講座

研究講座員

孫 世一

(指導:清水 典佳 教授, 本吉 満 准教授)

目 次

概要	.....	2
緒言	.....	5
被験者および方法	.....	6
結果	.....	8
考察	.....	9
結論	.....	11
謝辞	.....	17
引用文献	.....	18

概要

近年、歯科矯正用の固定源として self-tapping アンカースクリューが用いられている。このアンカースクリューは植立に際し誘導孔の形成が必要であるため、施術に時間を要し、ドリリングによる骨の微細な破折や熱による骨の壊死の可能性が考えられる。一方、self-drilling アンカースクリューは、ドリリングを行うことなく植立できる設計となっている。過去の犬を用いた研究では、self-drilling 法では、self-tapping 法と比べて上下顎の皮質骨により大きなマイクロダメージを認めたとする報告や、骨のダメージを計測した他の報告では、皮質骨厚がヒトの歯槽骨と類似している上顎では、ダメージに差異を認めなかったとする報告がある。

また、上顎前歯舌側移動に用いる固定源としての self-tapping および self-drilling アンカースクリューの安定性を評価した報告では、両者ともに安定性は良く、効果的な固定源であることを示唆しているが、施術時間が短いこと、骨破壊や熱ダメージが軽微であること、低い脱落率、不快感がごく軽度であるなど、self-drilling アンカースクリューの優位性を示唆している。もし self-tapping 法と self-drilling 法の両方が同等の安定性で植立できるならば、臨床的長所から、self-drilling 法が望まれるはずである。しかしながら、下顎大臼歯部のように骨が緻密で厚い部位への植立には self-drilling 法を推奨せず、self-tapping 法がアンカースクリューや骨の破折を避けるのに望ましいとする報告もみられる。このように self-drilling 法は上顎歯槽部の槽間中隔部のように皮質骨の薄い部位に適していると考えられる。

アンカースクリュー安定性の臨床的指標としては、植立時トルクおよび動揺度があげられる。またアンカースクリューの安定性は、牽引力、炎症の有無、皮質骨厚と骨密度、アンカースクリューの設計、アンカースクリューと隣接歯根との接触（以下歯根接触）と関係していると考えられている。歯根接触は、アンカースクリュー脱落の重要なリスクファクターであるとされており、self-tapping 法と self-drilling 法に関連した手技的な違いが歯根接触に影響する可能性が考えられる。そこで本研究は、両方法における (1) アンカースクリュー植立の成功率、(2) 植立時トルク、(3) アンカースクリューの動揺度、(4) アンカースクリューの歯根接触の頻度、(5) 歯根接触のアンカースクリュー動揺への影響について検討することで、self-tapping 法と self-drilling 法でのアンカースクリューの初期安定性を明らかにすることを目的とした。

対象は、日本大学歯学部附属歯科病院歯科矯正科へ来院し、歯科矯正治療のために上顎第二小臼歯・第一大臼歯間頬側歯槽部にアンカースクリューを植立した患者で、self-tapping 法で植立した 35 名（self-tapping 群；女性 25 名，男性 10 名，平均年齢 23.2 ± 7.7 歳）および self-drilling 法で植立した 35 名（self-drilling 群；女性 24 名，男性 11

名、平均年齢 22.3 ± 7.4 歳) の計 70 名を無作為に抽出し、植立したアンカースクリュー計 140 本について調査を行った。植立直後に、アンカースクリューを骨内へ緩みなく挿入したときの植立時トルク値と、Periotest を用いて動揺度を記録した。さらに植立後に診査目的で撮影した CBCT 画像を用いて、歯根とアンカースクリューとの間の位置関係を確認し、アンカースクリューの歯根への接触の頻度を算出した。さらに歯根への接触状態について 3 つのカテゴリー (A : 接触無し, B : 1 点で接触, C : 2 点以上で接触) に分け、両群の歯根への接触頻度とアンカースクリューの動揺度について比較した。

その結果、アンカースクリューの成功率は self-tapping 群, self-drilling 群ともに 95.7% であり、有意差は認められなかった。左右別では、self-tapping 群と self-drilling 群でそれぞれ、右側が 94.3%と 91.4%、左側が 97.1%と 100%であった ($P > 0.05$)。植立時トルク値は self-tapping 法で 7.0 N·cm, self-drilling 法では 7.5 N·cm であり有意差を認めなかった。両トルク値はともに植立時トルク値と成功率との関係を調査した研究報告で推奨される適正值の範囲 (5~10 N·cm) 内にあり、このことが両群の高い成功率に関連していると思われる。歯根接触の発生率(以下接触率)は、両群ともに右側で 22.9%、左側で 17.1%であり、2 群間に有意差を認めなかったが、右側において歯根接触の頻度が高いのは、右利きの術者の手技的傾向が関連しているのではないかと思われる。self-drilling 群の Periotest 値は、歯根接触の有無にかかわらず、self-tapping 群よりも有意に大きい値を示したが ($P < 0.05$)、2 群間の成功率に有意差を認めなかったことから、動揺度の大小は成功率に影響していないものと思われる。さらに歯根接触のあった self-drilling アンカースクリューの動揺度は、接触のなかったアンカースクリューより有意に大きく、さらに歯根への接触箇所が多いほど動揺度が大きくなる傾向を示した。一方 self-tapping 群では、各カテゴリー間の Periotest 値に有意差を認めなかった。これらのことから、self-drilling アンカースクリューは歯根への接触箇所が多いほど動揺度が大きくなる傾向があるが、self-tapping アンカースクリューでは、プレドリリング時に歯根表面に凹みを形成する可能性があり、それによる緩衝効果が関与して動揺度に差がみられなかったのではないかと思われる。

以上より、本研究において、アンカースクリューの成功率は self-tapping 法と self-drilling 法ともに 95.7%と高い成功率であったことから、上顎歯槽部へのアンカースクリューの植立において、self-drilling 法と self-tapping 法の間に優劣は認められなかった。self-drilling 群は self-tapping 群よりも大きな動揺度を示したが、この差異は self-drilling 群の成功率に影響していなかった。self-drilling 群では、歯根接触したアンカースクリューは有意に大きい動揺度を示し、歯根への接触箇所が多いほど動揺度が大きくなる傾向を示した。self-tapping 群では、歯根接触の有無や接触箇所の多さが動

揺度の大きさに影響しなかった。このことから、アンカースクリューの歯根への接触には十分に注意すべきであるが、self-tapping 法では歯根接触が見落とされる可能性があることが示唆された。

なお、本論文は下記の論文を基幹とし、歯根への接触状態により試料を3つのカテゴリー（A：接触無し，B：1点で接触，C：2点以上で接触）に分類し、各カテゴリーにおけるself-tapping群とself-drilling群の歯根への接触頻度とアンカースクリューの動揺度について検討を加えたものである。

基幹論文 Son S, Motoyoshi M, Uchida Y, Shimizu N. Comparative study of the primary stability of self-drilling and self-tapping orthodontic miniscrews. Am J Orthod Dentofacial Orthop 2014; 145: 480-485.

緒 言

歯科矯正治療用固定源として用いられている歯科矯正用アンカースクリューの一つである **self-tapping** アンカースクリューは、植立の前にドリリングによる誘導孔の形成を必要とするため、施術時間を要し、微細な骨破折や熱による骨の壊死を生じる可能性を有している^{1,2}。一方、**self-drilling** アンカースクリューは、誘導孔の形成を行うことなく埋入することができる設計となっており^{2,4}、いくつかの動物実験では2つの植立方法の比較を行っている。Yadav ら⁵は犬の実験モデルを用いて検討し、**self-drilling** 法では、**self-tapping** 法と比べて上下顎の皮質骨により大きなマイクロダメージがあったことを報告したが、脱落率については言及していない。Shank ら⁶は、両タイプのアンカースクリューを犬に植立した際の骨のダメージを計測し、皮質骨厚がヒトの歯槽骨と類似している上顎では、ダメージに相違を認めなかったとしている。Gupta²らは、上顎前歯舌側移動に用いる固定源としての **self-tapping** および **self-drilling** アンカースクリューの安定性を評価しており、両者ともに安定性は良く、効果的な固定源であることを示唆しているが、施術時間が短くて済むこと、骨破壊がほとんど生じないこと、熱ダメージが軽微であること、脱落率が低いこと、不快感がごく軽度であることなど、**self-drilling** 法によるアンカースクリュー植立の優位性を述べている。このように、もし **self-tapping** 法と **self-drilling** 法の両方が同等の安定性を有しているならば、臨床的長所から、**self-drilling** 法が好まれるはずである。しかしながら、Park ら⁷は、下顎大臼歯部のように緻密で皮質骨の厚い部位への植立には **self-drilling** 法を推奨しておらず、**self-tapping** 法がアンカースクリューや骨の破折を避けるのに好ましいとしている。

アンカースクリューの植立時や撤去時のトルク⁸⁻¹⁰ および動揺度¹¹ はアンカースクリューの安定性の臨床的指標である。アンカースクリューの安定性は牽引力¹²、炎症の有無¹³、皮質骨厚と骨密度⁷、アンカースクリューの設計^{11,12}、隣接歯根との接触¹⁴ と関係していると考えられている。また、歯根接触はアンカースクリュー脱落の重要なリスクファクターであり¹⁴、**self-tapping** 法と **self-drilling** 法の手技的な違いが歯根接触に影響する可能性が考えられる。そこで本研究は、両方法における (1) アンカースクリュー植立の成功率、(2) 植立時トルク、(3) アンカースクリューの動揺度、(4) アンカースクリューの歯根接触の頻度、(5) 歯根接触のアンカースクリュー動揺への影響について検討することで、**self-tapping** 法と **self-drilling** 法でのアンカースクリューの初期安定性を明らかにすることを目的とした。

被験者および方法

本研究は日本大学歯学部倫理委員会の承認を得た上で（倫許 2012-2）、被験者に対して委員会の規定に基づいた十分な説明を行った。研究への参加前に、すべての被験者から研究に対する同意を得ている。

被験者は、日本大学歯学部附属歯科病院歯科矯正科を受診し、歯科矯正治療の固定源として上顎第二小臼歯・第一大臼歯間頬側歯槽部にアンカースクリユーを植立した患者 70 名であり、植立された合計 140 本のアンカースクリユーを対象とした。全てのアンカースクリユーは第一小臼歯抜歯に伴う前歯の舌側移動のために使用した。被験者は、self-tapping 法でアンカースクリユーを植立した 35 名（女性 25 名，男性 10 名，平均年齢 23.2 ± 7.7 歳：self-tapping 群），および self-drilling 法で植立した 35 名（女性 24 名，男性 11 名，平均年齢 22.3 ± 7.4 歳：self-drilling 群）である。

すべての被験者には、直径 1.6 mm，長さ 8.0 mm の同型のアンカースクリユー（ISA self-drill type anchor screw; Biodent, Tokyo, Japan, Fig 1）を使用した。self-tapping 群は、局所麻酔の施行後，上顎第二小臼歯・第一大臼歯間の角化歯肉部の頬側歯槽骨へ生理食塩水注水下にて骨ドリルで誘導孔（直径 1.0 mm，深さ 8.0 mm）を形成した後，アンカースクリユーを植立した。self-drilling 群は，局所麻酔を施行し誘導孔の形成は行わずにアンカースクリユーを植立した。唯一の相違点は誘導孔形成の有無であり，両植立方法とも周囲歯肉の穴あけや切開は行わなかった。歯根接触の可能性を減らすために，アンカースクリユーは垂直的には隣接歯の歯軸に対して $45^\circ \sim 60^\circ$ 傾斜させ，また近遠心的には骨表面に対して傾斜させずに植立した。植立後にすべてのアンカースクリユーの植立時トルク値をトルクテスター（DIS-RL05; nominal accuracy, 0.5%; Sugisaki Meter, Tokyo, Japan）を用いて，また動揺度を Periotest（Medizintechnik Gulden, Bensheim, Germany）を用いて各部位でそれぞれ 3 回ずつ計測し，平均値を植立時トルク値，動揺度としてそれぞれ記録した。Periotest 値は大きいほど動揺度が大きいことを示す。

アンカースクリユーの動揺度の評価デバイスには Periotest¹¹ と Osstell¹⁵ があり，Periotest は緩衝能力（制動能），Osstell は共振振動数（共鳴周波数）の評価に用いられている。Osstell は磁石を有する SmartPeg アタッチメントが必要であり，本研究では SmartPeg の改装やアンカースクリユーへの使用が困難であるため，Periotest を使用した。

植立後直ちに約 2 N の矯正力をアンカースクリユーに作用させ，すべての被験者は植立後の診断の目的で歯科用コーンビーム CT（CBCT, 3DX マルチイメージングマイクロ CT, FPD8; J. Morita, Kyoto, Japan）により画像を撮影した。また，植立後に感染予防

のため3日間の抗菌薬の投与を行った。

植立部位のCBCT撮影は、管電圧80kV、管電流5.5mA、撮影領域60×60mm、ボクセルサイズ0.125×0.125×0.125mm、スライス厚1.000mm、スライス間隔1.000mmの条件で行った。三次元画像ビューワー (One Volume Viewer, version 1.6.1.13; J. Morita) を使用し、アンカースクリューの長軸に相当する断層面を設定し、歯根とアンカースクリューとの関係を観察した。

歯根とアンカースクリューとの間の位置関係を確認し、アンカースクリューの歯根への接触の有無 (Fig. 2) について、Shigeeda の報告¹⁶ に準じて (Fig. 3)、3つのカテゴリー (A: 接触無し, B: 1点で接触, C: 2点以上で接触) に分け、接触カテゴリーを判定した。アンカースクリュー埋入成功の判断は、矯正力の負荷後6ヶ月以上臨床的に動揺を認めずに経過したものを成功と判断した。self-tapping 法と self-drilling 法の違いをみるために、成功率、植立時トルク値、Periotest 値、歯根への接触率、さらに歯根との接触状態による Periotest 値も比較した。

判断誤差を検証するために、無作為抽出した10名の被験者のCBCT画像について、最初の評価から約2週間後にアンカースクリューの歯根への接触状態についての再評価を行った。self-tapping 法と self-drilling 法の成功率と接触率の比較にはカイ二乗検定もしくは Fisher 正確確率検定を使用した。分割表でセルの20%以上が5未満の期待値であった場合は、Fisher 正確確率検定を用いた。また、植立時トルク値および Periotest 値の比較に Student-*t* 検定を用いた。これらの統計分析は、SPSS for Windows (version 16.0; SPSS[®] Japan, Tokyo, Japan) を用いて算出し、 $P < 0.05$ で統計的に有意であると判断した。

結 果

歯根の接触状態の判断誤差を検証するため、無作為抽出した 10 名の被験者の CBCT 画像について、最初の評価から約 2 週間後に再評価を行った。その結果、1 回目と 2 回目の評価はすべて一致した。

アンカースクリューの成功率は、どちらの植立方法においても 95.7%であった。左右別では、self-tapping 群と self-drilling 群の成功率はそれぞれ右側で 94.3%と 91.4%、左側では 97.1%と 100%であった (Table I, $P > 0.05$)。男性および女性の成功率は、それぞれ self-drilling 群で 95.9%および 95.2%、self-tapping 群で 96.0%および 95.0%であった ($P > 0.05$)。

両群における植立時トルクは 7.0~7.5 N·cm であり、有意差は認められなかった (Table II)。self-drilling 群の Periotest 値は self-tapping 群よりも有意に大きかった (Table III)。歯根接触の発生率 (以下接触率) は、右側で 22.9%、左側で 17.1%であり、2 群間に有意差を認めなかった (Table IV, $P > 0.05$)。また、アンカースクリューの歯根への接触状態は、カテゴリ A が両群ともに 80.0%、self-tapping 群と self-drilling 群それぞれ、カテゴリ B が 8.6%と 14.3%、カテゴリ C が 11.4%と 5.7%であった (Table V, $P > 0.05$)。

self-drilling 群の Periotest 値は、歯根接触のあったものが無かったものよりも有意に大きい値を示し (Table VI)、またカテゴリ別では、歯根への接触箇所が多いほど大きい動揺度を示した (Table VII)。self-tapping 群の Periotest 値は、歯根への接触の有無にかかわらず差は認められなかった。

考 察

本研究において、self-tapping 群と self-drilling 群の成功率には有意差を認めなかった。Tachibana ら¹⁷は、self-tapping 法と self-drilling 法は上顎歯槽骨のような皮質骨の薄い領域にアンカースクリューを植立する場合、植立時トルク値が推奨値の範囲内（5～10 N·cm）^{8,9}であれば、骨ダメージやアンカースクリューの破損を伴わず、どちらの植立法も安全であったと報告している。植立時トルク値は self-tapping 群で 7 N·cm、self-drilling 群では 7.5 N·cm でほとんど差がなく、両トルク値はともに推奨値の範囲内であった。このことは、上顎において両植立法のいずれでも高い成功率となったことに関連していると思われる。両群ともに右側は左側よりも成功率が低かったが、統計的に有意差は認められなかった。Wu ら¹⁸は 414 本のアンカースクリューについて調査し、右側と比べ左側の脱落率が低いことを見出しており、本研究でも右側の歯根接触の頻度が高かったのは、右利きの術者の手技的な傾向が関連している可能性が考えられた。つまり右利きの術者にとって右側の外科的アプローチは左側より難しいと思われるが、これについてはさらに試料数を増やした調査が必要であると考えられた。

本研究では、客観的にアンカースクリューの動揺度を評価するために Periotest を使用した。一般的に広く用いられている動揺度検査機器である Periotest と Osstell についてはいくつかの研究で比較がなされている¹⁹⁻²²。Oh ら¹⁹は、両検査機器の精確性を調査し、非侵襲的な両診査法は有用で同等に信用性があったとしている。対照的に Lachmann ら²²は、彼らの *in vitro* 研究において Osstell がより精確であったとしているが、Osstell では磁石を搭載した SmartPeg アタッチメントが必要である。アンカースクリューに応用するには SmartPeg の加工が困難であり、また Inaba²³は、アンカースクリューと骨との接触状態と Periotest 値との間に強い相関を認め、アンカースクリュー安定性の指標として Periotest は適切であったと報告しているため、本研究では Periotest を用いることとした。

self-drilling 群は、アンカースクリューの歯根への接触がなかった場合でも、self-tapping 群よりも有意に大きい Periotest 値を示しており、これは歯根接触以外の何らかの要因によるものと思われる。しかしながら、この self-drilling アンカースクリューの大きな動揺度は成功率には影響を及ぼしてはいない。Shank ら⁶は皮質骨の薄い上顎領域における骨のマイクロダメージについて報告しており、これが self-drilling 法によって植立したアンカースクリューの動揺の原因である可能性が考えられるが、本研究で得られた Periotest 値はアンカースクリューの緩みを回避することを考慮しても、許容できる動揺度であると思われた。

両群ともに 1/5 のアンカースクリューが隣接歯の歯根と接触しており、両者に差異は認められなかった。Kim ら²⁴は本研究よりも高い 30%のアンカースクリューが歯根と接触していることを報告しており、一方で Min ら²⁵は 9.3%の低い接触率であったとしている。これは、Kim らが直径 1.8 mm、Min らが直径 1.2 mm のアンカースクリューを使用しており、歯根接触率がアンカースクリューの直径に影響を受けたためであると考えられた。本研究では、両者の中間となる直径 1.6 mm のアンカースクリューを使用した。

歯根接触のあった self-drilling アンカースクリューの動揺度は、接触のなかったアンカースクリューより有意に大きく、さらに歯根への接触箇所が多いほど動揺度が大きくなる傾向を示した。それに対して self-tapping アンカースクリューの動揺度は歯根接触の有無にかかわらず差は認められなかった。self-tapping 法は歯槽骨内への誘導孔形成を伴うため、歯根接触した場合に歯根表面に凹みを生じさせる可能性があり、この凹みが歯根接触により生じる衝撃を緩衝している可能性が考えられた。歯根接触が確認された場合には、セメント質による修復を期待するために、直ちにアンカースクリューを撤去することが推奨されるが、self-tapping 法におけるプレドリリングによる歯根へのダメージは、本研究の結果にもみられたように、植立時トルク値や Periotest 値などの指標に現れにくいため、見落とされる可能性が考えられた。Kuroda ら¹⁴は self-tapping アンカースクリューと歯根接触との相関を調査し、下顎において歯根接触はアンカースクリュー脱落の要因であると結論づけており、また Watanabe ら²⁶は CBCT を用いた研究で Kuroda らの報告を支持している。一方、彼らは上顎においては歯根接触とアンカースクリュー脱落との間に有意な相関を認めず、これはおそらくサンプル数が少なかったためと述べているが、上顎において有意な相関がみられなかった理由は、本研究結果よりプレドリリングによる緩衝効果の可能性が考えられた。Watanabe ら²⁶は歯根接触を回避するために、アンカースクリュー植立後の診断に CBCT の使用を推奨しており、本研究も彼らの推奨を強く支持するものである。

結 論

1. 上顎歯槽部へのアンカースクリューの植立において、self-tapping 群、self-drilling 群ともに高い成功率を示したことから、self-tapping 法と self-drilling 法の違いは認められなかった。
2. self-drilling 群は self-tapping 群よりも大きな動揺度を示したが、この差異は self-drilling 法の成功率に影響していなかった。
3. self-drilling 群では、歯根接触したアンカースクリューは有意に大きい動揺度を示し、接触箇所が多いほど動揺度が大きくなる傾向を示した。
4. self-tapping 群では、歯根接触の有無や接触箇所の多さが動揺度に影響しなかった。このことから、アンカースクリューの歯根への接触には十分に注意すべきであるが、self-tapping 法では歯根接触が見落とされる可能性のあることが示唆された。

Table I. Success rate of self-tapping and self-drilling methods

	Success rate %	n
<i>Self-tapping</i>	95.7	67
<i>Right</i>	94.3	33
<i>Left</i>	97.1	34
<i>Self-Drilling</i>	95.7	67
<i>Right</i>	91.4	32
<i>Left</i>	100	35

Table II. Placement torque values (N·cm) for self-tapping and self-drilling methods

	Mean	SD
<i>Self-tapping</i>	7.0	2.1
<i>Self-drilling</i>	7.5	3.1

Table III. Periotest values of the self-tapping and self-drilling methods

	Mean	SD
<i>Self-tapping</i>	1.4	3.5
<i>Self-drilling</i>	3.8*	4.0

*: $P < 0.05$ (self-tapping vs self-drilling)

Table IV. Rates of root contact for self-tapping and self-drilling methods

	Rate of root contact (%)	n
<i>Self-tapping</i>	20.0	14
<i>Right</i>	22.9	8
<i>Left</i>	17.1	6
<i>Self-drilling</i>	20.0	14
<i>Right</i>	22.9	8
<i>Left</i>	17.1	6

Table V. Rate of categories of root proximity for self-tapping and self-drilling methods

	<i>A</i>		<i>B</i>		<i>C</i>	
	%	n	%	n	%	n
<i>Self-tapping</i>	80.0	56	8.6	6	11.4	8
<i>Right</i>	77.1	27	11.4	4	11.4	4
<i>Left</i>	82.9	29	5.7	2	11.4	4
<i>Self-drilling</i>	80.0	56	14.3	10	5.7	4
<i>Right</i>	77.1	27	14.3	5	8.6	3
<i>Left</i>	82.9	29	14.3	5	2.9	1

Table VI. Periotest values of anchor screws with and without root contact

	No-contact		Contact	
	Mean	SD	Mean	SD
<i>Self-tapping</i>	1.4	3.7	1.5	2.2
<i>Self-drilling</i>	3.1 [*]	3.6	6.5 ^{**†}	4.6

No-contact: Periotest value of the mini-implant without root contact

Contact: Periotest value of the mini-implant with root contact

*: $P < 0.05$ (self-tapping vs self-drilling)

†: $P < 0.05$ (no-contact vs contact)

Table VII. Periotest values of anchor screws according to categories of root proximity

	<i>A</i>		<i>B</i>		<i>C</i>	
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
<i>Self-tapping</i>	1.4	3.7	1.5	4.8	1.5	2.3
<i>Self-drilling</i>	3.1 ^{**†}	3.5	4.8 [†]	3.3	10.8 ^{**}	3.9

* : $P < 0.05$ (self-tapping vs self-drilling)

** : $P < 0.01$ (self-tapping vs self-drilling)

† : $P < 0.05$ (B vs C)

†† : $P < 0.01$ (A vs C)



Fig 1. The self-drilling anchor screw used in this study: screw thread length, 8.0 mm; total length, 11.0 mm; internal diameter, 1.2 mm; external diameter, 1.6 mm.

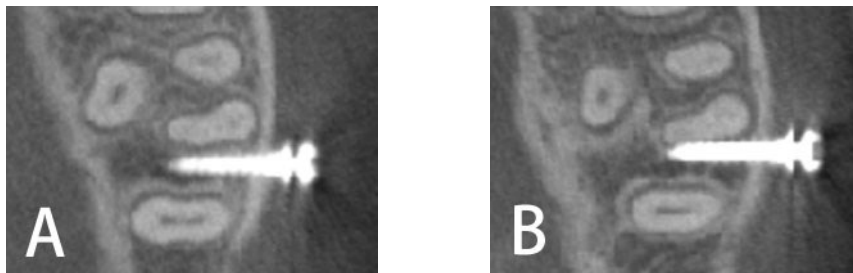


Fig 2. CBCT cross-sectional images of root contact corresponding to the long axes of the anchor screws: A, no root contact; B, no radiolucency between the screw and the root surface indicates root contact.

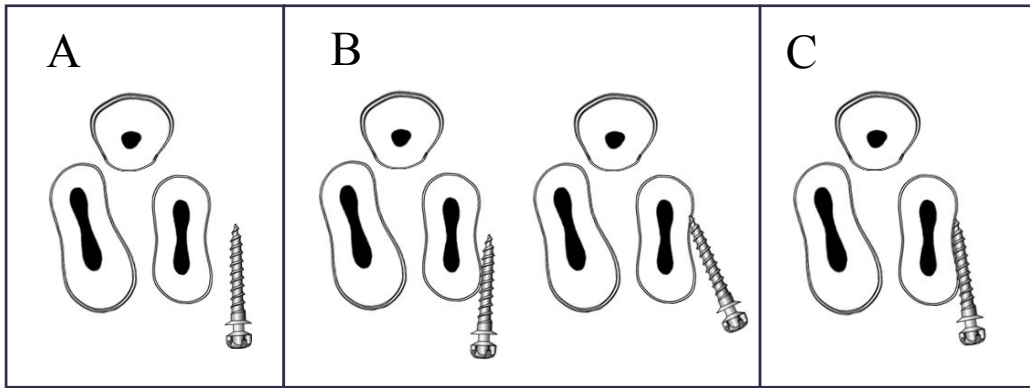


Fig 3. Categories for root proximity used in this study. **A** (no contact), no contact between the root and screw; **B** (single contact), one point of contact between the root and apex or body of the screw; **C** (multi-contact), two or more points of contact between the root and screw.

謝 辞

稿を終えるにあたり、本研究の遂行に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矯正学講座の皆様に深く感謝いたします。

本研究の一部は、第114回アメリカ矯正歯科学会学術大会(2014年、ニューオリンズ、米国)において発表した。

引用文献

1. Kanomi R. Mini-implant for orthodontic anchorage. *J Clin Orthod* 1997; 31: 763-767.
2. Gupta N, Kotrashetti SM, Naik V. A comparative clinical study between self tapping and drill free screws as a source of rigid orthodontic anchorage. *J Maxillofac Oral Surg* 2012; 11: 29-33.
3. Heidemann W, Gerlach KL. Clinical applications of drill free screws in maxillofacial surgery. *J Craniomaxillofac Surg* 1999; 27: 252-255.
4. Heidemann W, Gerlach KL, Gröbel KH, Köllner HG. Drill free screws: a new form of osteosynthesis screws. *J Craniomaxillofac Surg* 1998; 26: 163-168.
5. Yadav S, Upadhyay M, Liu S, Roberts E, Neace WP, Nanda R. 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* 2012; 141: 538-546.
6. Shank SB, Beck FM, D'Atri AM, Huja SS. Bone damage associated with orthodontic placement of miniscrew implants in an animal model. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2012; 141: 412-418.
7. Park HS, Lee YJ, Jeong SH, Kwon TG. Density of the alveolar and basal bones of the maxilla and the mandible. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2008; 133: 30-37.
8. Motoyoshi M, Hirabayashi M, Uemura M, Shimizu N. Recommended placement torque when tightening an orthodontic mini-implant. *Clin Oral Implants Res* 2006; 17: 109-114.
9. Motoyoshi M, Yoshida T, Ono A, Shimizu N. Effect of cortical bone thickness and implant placement torque on stability of orthodontic mini-implants. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2007; 22: 779-784.
10. Motoyoshi M, Uemura M, Ono A, Okazaki K, Shigeeda T, Shimizu N. Factors affecting the long-term stability of orthodontic mini-implants. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2010; 137: 588.e1-5.
11. Uemura M, Motoyoshi M, Yano S, Sakaguchi M, Igarashi Y, Shimizu N. Orthodontic mini-implant stability and the ratio of pilot hole implant diameter. *Eur J Orthod* 2012; 34: 52-56.
12. Motoyoshi M. Clinical indices for orthodontic mini-implants. *J Oral Sci* 2011; 53: 407-412.

13. Miyawaki S, Koyama I, Inoue M, Mishima K, Sugahara T, Takano-Yamamoto T. Factors associated with the stability of titanium screws placed in the posterior region for orthodontic anchorage. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2003; 124: 373-378.
14. Kuroda S, Yamada K, Deguchi T, Hashimoto T, Kyung HM, Takano-Yamamoto T. Root proximity is a major factor for screw failure in orthodontic anchorage. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2007; 131(Suppl): S68-73.
15. Nienkemper M, Wilmes B, Panayotidis A, Pauls A, Golubovic V, Schwarz F, Drescher D. Measurement of mini-implant stability using resonance frequency analysis. *Angle Orthod* 2013; 83: 230-238.
16. Shigeeda T. Root proximity and stability of orthodontic anchor screws. *J Oral Sci* 2014; 56: 59-65.
17. Tachibana R, Motoyoshi M, Shinohara A, Shigeeda T, Shimizu N. Safe placement techniques for self-drilling orthodontic mini-implants. *Int J Oral Maxillofac Surg* 2012; 41: 1439-1444.
18. Wu TY, Kuang SH, Wu CH. Factors associated with the stability of mini-implants for orthodontic anchorage: a study of 414 samples in Taiwan. *J Oral Maxillofac Surg* 2009; 67: 1595-1599.
19. Oh JS, Kim SG, Lim SC, Ong JL. A comparative study of two noninvasive techniques to evaluate implant stability: Periotest and Osstell Mentor. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2009; 107: 513-518.
20. Zix J, Hug S, Kessler-Liechti G, Mericske-Stern R. Measurement of dental implant stability by resonance frequency analysis and damping capacity assessment: comparison of both techniques in a clinical trial. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2008; 3: 525-530.
21. Lachmann S, Jäger B, Axmann D, Gomez-Roman G, Groten M, Weber H. Resonance frequency analysis and damping capacity assessment. Part I: an *in vitro* study on measurement reliability and a method of comparison in the determination of primary dental implant stability. *Clin Oral Implants Res* 2006; 17: 75-79.
22. Lachmann S, Laval JY, Jäger B, Axmann D, Gomez-Roman G, Groten M, Weber H. Resonance frequency analysis and damping capacity assessment. Part 2: peri-implant bone loss follow-up. An *in vitro* study with the Periotest and Osstell instruments. *Clin Oral Implants Res* 2006; 17: 80-84.
23. Inaba M. Evaluation of primary stability of inclined orthodontic mini-implants. *J Oral*

- Sci 2009; 51: 347-353.
24. Kim SH, Kang SM, Choi YS, Kook YA, Chung KR, Huang JC. Cone-beam computed tomography evaluation of mini-implants after placement: is root proximity a major risk factor for failure? *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2010; 138: 264-276.
 25. Min KI, Kim SC, Kang KH, Cho JH, Lee EH, Chang NY, Chae JM. Root proximity and cortical bone thickness effects on the success rate of orthodontic micro-implants using cone beam computed tomography. *Angle Orthod* 2012; 82: 1014-1021.
 26. Watanabe H, Deguchi T, Hasegawa M, Ito M, Kim S, Takano-Yamamoto T. Orthodontic miniscrew failure rate and root proximity, insertion angle, bone contact length, and bone density. *Orthod Craniofac Res* 2013; 16: 44-55.