

## 原 著

## 小型チタンネジを固定源としたイヌ下顎前臼歯の実験的圧下移動 ——歯の移動様相とネジ周囲骨の形態計測——

齋藤 茂 大前正美 山崎健一 柴崎好伸

昭和大学歯学部歯科矯正学教室

SAITO Shigeru, OHMAE Masami, YAMASAKI Ken-ichi and SHIBASAKI Yoshinobu

Department of Orthodontics, School of Dentistry, Showa University

キーワード：小型チタンネジ，前臼歯の圧下移動，ネジ周囲骨，骨形態計測

抄録：チタンは生体適合性が良好な材料であるため，多くの歯科臨床で用いられており，矯正臨床においてもインプラントやスクリューを固定源とした歯の移動が普及しつつある。われわれは小型のチタンネジを固定源とした歯の移動を臨床応用するのに先立ち，イヌを用いて下顎前臼歯の圧下モデルを作り，チタンネジが臼歯の圧下移動の固定源として十分に機能することを報告した。しかし，この報告では限られた個体数で移動歯の組織やネジ周囲骨の評価など種々の検討を行ったため，統計学的な処理ができなかった。

そこで本研究では前報と同一の方法で雄性ビーグル成犬（5頭）の下顎両側第三前臼歯（P3）の頬舌側歯槽部に小型チタンネジ（直径1mm，長さ4mm）を植立し，これらを固定源とした歯の圧下移動を行い，P3の移動様相を二次元的に評価するとともにネジ周囲の骨形態計測を定量評価した。

その結果，16週間におよぶ5個体10歯のP3の圧下量は平均で5.1mmであり，1個体の右側を除いてほぼ歯軸（長軸）方向に圧下された。ネジ周囲の骨形態計測における石灰化率（二次元計測）は，矯正力の付与に関係なく一定であった。また，舌側の石灰化率が頬側に比べ統計学的に有意に高い値を示し，ネジ先端1/3では他の部位よりも有意に低い値であった。

以上より，植立チタンネジはすべて下顎前臼歯の圧下移動の固定源として有効に機能し，脱落や動揺はみられなかった。また，ネジ周囲の骨結合状態は従来のデンタルインプラントをイヌ下顎歯槽部に植立した場合の約半分で，皮質骨の密度や厚み，インプラントサイズとの相関性をうかがわせる所見が得られたが，矯正力付与による影響はみられなかった。

(Orthod Waves 61(2) : 78~87, 2002)

### The experimental intrusion of mandibular premolars in dogs using titanium mini-screws as anchors ——The appearance of tooth movement and the morphometry of peri-implant bone——

**Abstract** : The titanium has been utilized as an excellent biomaterial for dental tools. The clinical use of the titanium implant and the titanium screw as anchorage have extended to orthodontic treatment in adult patients. We recently reported that the titanium mini-screw placed at the mandibular premolar area could function as anchors for orthodontic intrusion in dogs. However, since the sample size was limited, no statistical procedure was performed in the study. In this study, using the same methods as our previous study, 6 mini-screws (1 mm in diameter, 4 mm in length) were surgically placed around the mandibular third premolar (P3) on each side in 5 adult male beagle dogs.

The mini-screws were used as anchors for the intrusion of P3. The time-dependent 2-directional displacement of P3 and quantitative analysis of peri-implant bone morphometry were evaluated in this study. The results indicated that the mandibular P3 intruded average rate of 5.1 mm almost vertically except right side of one animal, after 16 weeks of orthodontic force application. The rate of calcified area within the screw threads indicated that there was no statistical difference between unloaded screws and loaded screws. However, the rate of calcified area for

the screws placed at lingual sites was significantly greater than those at buccal sites. In addition, the rate of calcified area around the screw tip was significantly smaller than those around the other part of the screw.

These findings indicated that all placed mini-screws were effectively functioned as anchors for orthodontic intrusion of P 3 without any failure or mobility. Moreover, the peri-implant calcified area in this study

was as half as those by conventional dental implants in our previous study, suggesting that the rate of the calcified area might have correlations with density and thickness of implanted cortical bone, and size of the implant. However, the effect of orthodontic load for the rate of peri-implant calcified area was minimal.

(Orthod Waves 61(2) : 78~87, 2002)

## 緒 言

これまで、矯正治療の固定源を得るためにさまざまな工夫がされており、準備固定や加強固定、相反固定などの観点から、ヘッドギアや、ホールディングアーチが頻繁に用いられてきた。しかし、どれも絶対的な固定源とはなり得ず、ヘッドギアは、患者の協力に強く依存するものであり、成人においては外観や違和感等のわずらわしさを訴えることも多かった。特に圧下に関しては、歯の移動を行ううえで最も困難とされており、有効な固定源が探し求められてきた。絶対的な固定源が確保されれば、治療期間の短縮、違和感の減少により、より安全で快適な矯正治療が可能になると推測される。

Blockら<sup>1)</sup>は onplant と称するチタンネジを紹介し、イヌやサルの基本実験を通じて、あらゆる年齢の矯正治療に、固定源として適用可能であると報告した。この装置は長さ 2 mm のチタンネジと直径 10 mm の HA コーティングされた disk からなり、強固な固定効果を発揮したが、粘膜面や骨面との接着面積が大きく、適用部位が限定されるとの指摘もあった。

Kanomi<sup>2)</sup>は固定源として小型のチタン・インプラントを下顎歯槽部に植立し、4 か月の矯正治療で下顎前歯を 6 mm 圧下し、過蓋咬合の改善に効果的であったと報告している。今後は、前歯のみならず、臼歯の圧下や近遠心移動、あるいは顎整形力の固定源としても臨床応用が期待されている。しかしながら臨床への応用にあたり、どの程度の矯正力で、どの程度の歯の移動が期待できるか、固定源として矯正力の限界量はどのくらいか、また、植立した小型インプラント周囲の骨および歯に大きな変化はないかなど、それぞれの部位で検討する必要がある。そのためには動物実験による組織学的検討が不可欠であると考えた。

われわれは小型のチタンネジを雄性ビーグル成犬の下顎臼歯歯槽部頬舌側に植立し、それらを固定源とした下顎第三前臼歯 (P 3) の圧下移動を行い、種々の項目を詳細かつ定性的に検討し、第 1 報として報告した<sup>3)</sup>。その結果、P 3 は 12~18 週間で平均 4.5 mm の圧

下移動が達成され、組織学的にはセメント質に局限した歯根吸収が根尖部と根分岐部に認められた。一方、チタンネジの周囲骨の石灰化状態は矯正力付与の有無(負荷群, 対照群)による差はないものの、ネジの基底部, 中央部, 先端部という部位別に検討すると、基底部では対照群, 先端部では負荷群の石灰化状態が優っている傾向が示された。また、チタンネジは歯の移動終了時にスクレイドライバーで容易に除去できることが確認された。しかしながら上記研究では動物の個体数が 3 頭と限られており、歯の移動期間も一定ではなく、いずれの評価項目についても統計学的な処理はできなかった。

本研究では前報<sup>3)</sup>と同一の実験方法で個体数を増やし、また歯の移動期間を 16 週間に統一して行い、前報で検討できなかった圧下歯 (P 3) の二次元的な移動様相の観察とチタンネジ周囲骨の石灰化状態の定量的評価を行った。

## 資料および方法

### I. 実験動物、小型チタンネジとその植立手術

実験動物や用いた小型チタンネジ、その植立術式はすべて前報<sup>3)</sup>と同一である。すなわち雄性ビーグル成犬 5 頭 (日本生物材料センター, 東京; 実験開始時平均月齢 21 か月, 平均体重 11.9 Kg) に小型チタンネジ (JIS 第 2 種チタン製; 長径 4 mm, 直径 1 mm) を歯の圧下移動の固定源として用いた。

小型チタンネジの植立は以下の手順で行った。

1. 歯肉弁を開き、歯槽骨を露出させる。
  2. 皮質骨内に、注水下 1.5 mm ラウンドバーにて直径 1.2 mm の小窩を形成する。さらに注水下において、骨内に 0.9 mm パイロットドリルにて長さ 4 mm の穴を形成する。
  3. 付属の小型ドライバにて骨内にネジを挿入する。
  4. 歯肉弁にてネジ頭部を覆い縫合する。
  5. 6 週間の治癒期間ののち、ネジ上の歯肉組織を除去する。
- 頬舌側の中央部のネジ頭部には結紮線 (0.011 inch)

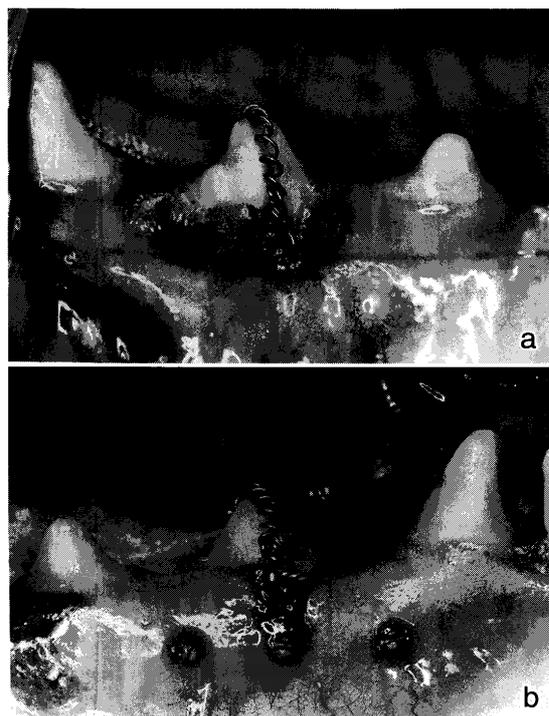


図 1 圧下移動のための矯正装置装着時の口腔内頬面観 (a) ならびに舌面観 (b) 頬舌側とも中央に植立したネジを固定源に 150 g の矯正力を付与した。粘膜が薄いため舌側に植立した 3 本のネジ頭部が観察できる。

にて矯正力付与時のフックとして小さなループを付与した。

## II. 小型チタンネジを固定源にした下顎臼歯の実験的圧下移動

各個体の下顎両側第三前臼歯 (P 3) の根間中隔部、近心隣接部、遠心隣接部のそれぞれ根尖部付近の下顎骨頬舌側にそれぞれ 1 本ずつ、各個体で 12 本ずつ小型チタンネジを植立した。片側の頬舌側それぞれに植立した 3 本のネジは可及的に一直線上に植立し、頬舌側中央部のネジを固定源とし (以下、負荷ネジと略記)、その近遠心のネジを対照 (以下、対照ネジと略記) として矯正力は付与しなかった (図 1)。

矯正装置は P 3 の咬頭頂部に楔状の刻みを入れ、これを維持部として頬舌側中央部の両ネジに接続したループ間に Ni-Ti 製クロードコイルスプリングを用いて 150 g の圧下力を付与した (図 1)。

圧下移動はネジ植立 6 週間後より 16 週間行い、その間 2 週間毎にクロードコイルスプリングを活性化した。また、各個体には骨標識用に塩酸テトラサイクリンとカルセインの投与 (おのおの 15 mg/kg) を 2 週間毎に交互に行い、4 週間毎に口腔内印象採得、口腔内写真ならびに X 線撮影を行った (図 2)。下顎前臼歯部の

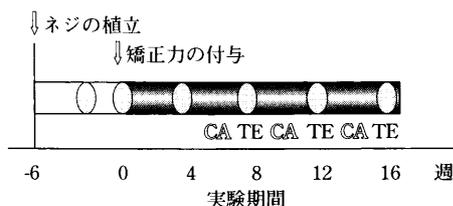


図 2 実験手順

■ 矯正力の付与 (150 g ; 2 週間ごとに活性化)

○ 資料採得 (デンタル X 線写真撮影, 口腔内写真撮影, 口腔内印象採得)

CA カルセイン投与 : 15 mg/kg

TE テトラサイクリン投与 : 15 mg/kg

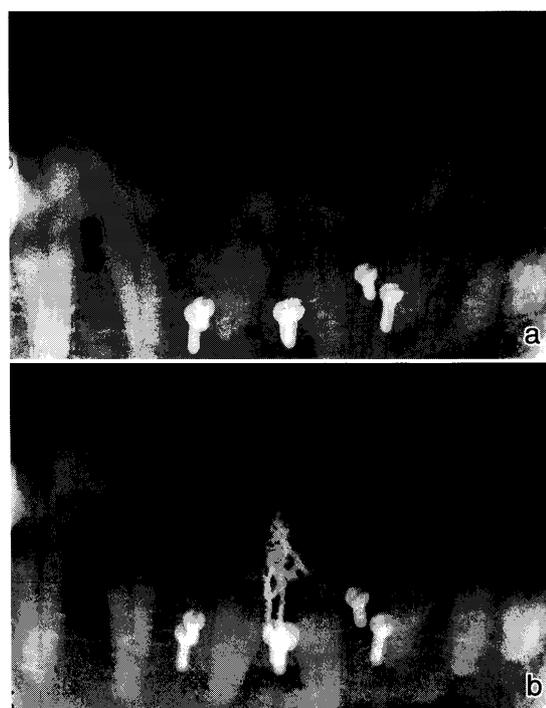


図 3 歯の移動直前 (a) と移動開始 12 週後の準規格化デンタル X 線写真所見 負荷ネジを含めた植立ネジや P 2, P 4 の位置は不動である。

デンタル X 線撮影に際しては、非移動歯である P 2, P 4 の歯冠部をレジンキャップで連結、固定させた X 線ホルダーを各部位毎に計 10 個作成し、X 線の照射方向とフィルムとの位置を可及的に規格化した撮影を試みた (図 3)。以上の準規格化 X 線は図 4 のように圧下移動前の P 3 のトレースを行い、P 3 の近遠心に植立した頬舌側対照ネジ頭部の中点をランドマークとし、左右のランドマークを連ねた直線を水平基準線とし、これを P 3 尖頭まで並行移動して原点として垂直基準線を設定した。歯の移動中や移動後の X 線を用いて同

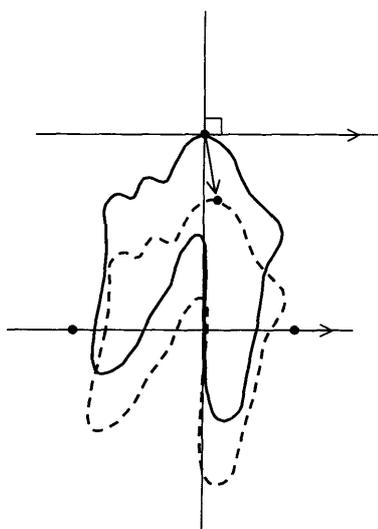


図4 X線2枚を用いたP3のトレースの重ね合わせ(移動前:実線, 移動中:点線)とその移動量の二次元的評価法  
P3の根側面のランドマーク(図中黒丸)を結んだ水平基準線を移動前のP3トレースにおける尖頭(図中黒丸)にまで平行移動し横軸とし, それに直交する縦軸を設定する。移動中のP3のトレース(点線)はランドマークにて移動前のトレースと重ね合わせ, 尖頭(図中黒丸)の変位を矢印で表示した。この移動量を縦軸, 横軸で計測して二次元評価とした。

様のトレースを行い, 左右のランドマークを水平基準線上で重ね合わせてP3尖頭の移動量を二次元的に計測した。すなわち, 垂直成分(縦軸)ではP3の圧下方向への移動をマイナス表示し, 水平成分(横軸)ではP3の近心方向への移動をマイナス表示とした。なお, 実験は昭和大学動物実験ガイドラインに沿って行われた。

### III. チタンネジ周囲の骨形態計測学的評価

歯の移動終了後の各個体は, 4%パラフォルムアルデヒドと0.1Mリン酸緩衝液による灌流固定にて屠殺し, 顎骨を摘出した。実験終了時の平均体重は12.4kgで, 各個体とも体重の大きな変動はなかった。固定終了後の摘出下顎骨片はエタノールならびにメタノール系列で脱水を行い, アセトン置換法による脱脂後Vilanueba bone stain 溶液<sup>4)</sup>(マルトー, 東京)を用い, 陰圧下で1週間骨染色をした。その後の顎骨は再び上記エタノール・メタノール系列およびアセトンにより脱水・脱脂してポリエステル樹脂(リゴラック; 日新EM, 東京)にて包埋した。包埋後の樹脂ブロックは, Isomet(ビューラー社, ドイツ)にてネジの長軸方向

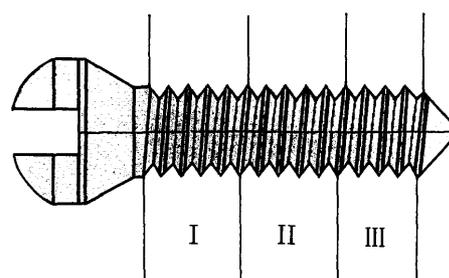


図5 本研究に用いた小型チタンネジ(スクリュー部の直径1mm, 長さ4mm)とその区域(I, II, III)

に厚さ約1mmに切断し, 耐水ペーパーにて厚さが50 $\mu$ m以下になるまで研磨し, 蛍光顕微鏡(アキシオフォト, カールツァイス, ドイツ)下で観察した。チタンネジ周囲組織の石灰化についてコンピュータソフト(Ultimage version 2.0, グラフテック, フランス)を用いた面積測定による二次元評価を行った。この方法は, まずそれぞれのもつ隣り合った左右のネジ山の頂点を結んだラインとインプラントで囲まれた部分を測定部位とし, ネジ山の基底部から先端方向に向かってNo.1からNo.14まで番号をつけ, さらにI, II, IIIの3区域に分割した。ネジ基底部に近い1/3(No.1-5)を区域I, ネジ先端側の1/3(No.11-14)を区域III, 中間部の1/3(No.6-10)を区域IIとした(図5)。骨ならびに2種類の骨標識材によって認識された領域は黄緑色で観察され, 赤色で示される軟組織や類骨との識別が容易であるため(図6), 黄緑色で示される部分を石灰化領域とし, それぞれの区域の測定部位の合計面積のうち石灰化領域の占める割合を石灰化率(%)とした。

### IV. 統計分析

1個体の右側P3は, 12週間矯正力を付与したにもかかわらず, 圧下量は1mm以下にとどまったため, X線による精査を行ったところネジが歯根に接触している可能性があったため, 頰側中央に植立した負荷ネジの除去を行った。その後は, 頰側近遠心に植立した対照ネジ2本の頭部にそれぞれ結紮線を装着し, これらをP3根分岐部にて合体させ固定源とし, 4週間の圧下移動を行った。したがって, これら2本のネジは最終の4週間のみ負荷ネジとして機能したため, ネジ周囲の骨形態計測の資料から除外した。

上記以外の57本のチタンネジ周囲の石灰化率については負荷の有無別(負荷ネジn=19, 対照ネジn=38), 区域別(I, II, III, 各n=57), 頰舌別(頰側ネジn=27, 舌側ネジn=30)の3因子による分散分析を行った。さらに有意差の認められる項目については各区域内における4群間(頰側対照ネジ, 舌側対照ネジ,

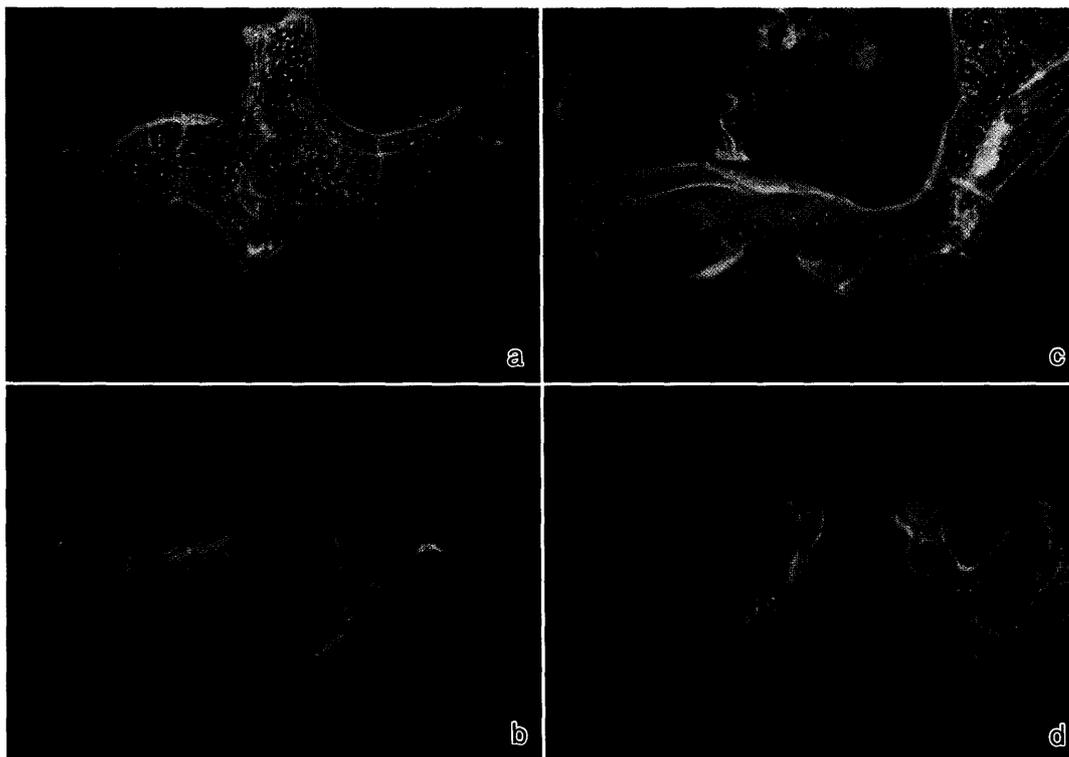


図6 骨形態計測に用いたチタンネジ周囲の蛍光顕微鏡所見 (各図の上方は歯頸部, 下方は根尖部, 右方はネジ先端部, 左方はネジ基部を示す,  $\times 30$ )  
 a: 舌側負荷ネジ中央部 (区域II), b: 頬側負荷ネジ中央部 (区域II), c: 舌側対照ネジ先端部 (区域III), d: 頬側対照ネジ先端部 (区域III)

頬側負荷ネジ, 舌側負荷ネジ) の比較ならびに同一群における3区域間の比較を Tukey の多重比較による検定を行った。なお, 統計処理には統計用ソフトウェア-SPSS 10.0 J (SPSS ジャパン, 東京) を用いた。

## 結 果

### I. P3の移動様相

植立した60本の小型チタンネジのうち, 前述の撤去ネジ1本を除いた59本の周囲には肉眼的に発赤が認められるという軽度の炎症があるのみで, 歯の移動終了時まで脱落や動揺はなかった。

各個体の二次元的なP3移動量を図7に示したが, 前述の1個体 (No. C) の右側を除くすべてのP3において3.5 mmを越える垂直的移動が達成された。また, 水平的な移動については別の1個体 (No. D) の右側を除いて1 mm以下であった。No. Dの右側については近心に3.2 mmの移動が認められ, 圧下とともに強い近心傾斜を起こしていた。一方, 固定源となった頬舌側負荷ネジは図8に示したように全く移動せず, 前報<sup>3)</sup>の結果を再確認できた。また, 4週毎に撮影したデンタルX線上で隣在歯 (P2, P4) も不動であった

ことを確認した (図3)。

経時的なP3の平均圧下量も図8に示したが, 経時的な垂直的移動が達成され, 歯の移動16週後では平均5.1 mmとなった。

### II. チタンネジ周囲の骨形態計測

図6に骨染色後のネジ周囲組織の蛍光顕微鏡像を示したが, 舌側負荷ネジ中央部 (区域II) ではaに示したように黄緑色で示された骨組織がチタン境界部まで広く存在しており, 赤色で示された類骨や軟組織は比較的少なかった。さらに, 塩酸テトラサイクリンとカルセインという2つの骨標識剤による標識線がネジ周囲骨中に多数確認でき, 骨の新生が活発に起きていることが示された。一方, 頬側負荷ネジ中央部では舌側ネジに比べ, 赤色で示された類骨や軟組織の割合が増えていたが, ネジ周囲の骨標識線は舌側同様に多く存在していた (図6-b)。また, 対照ネジ先端部 (区域III) における所見では舌側ネジ (c) では区域IIと同様に多くの骨組織や骨標識線がネジ周囲に存在しているのに対して頬側ネジ (d) では骨組織や骨標識線の割合が少なかった。

57本のチタンネジすべての石灰化率を算出して負

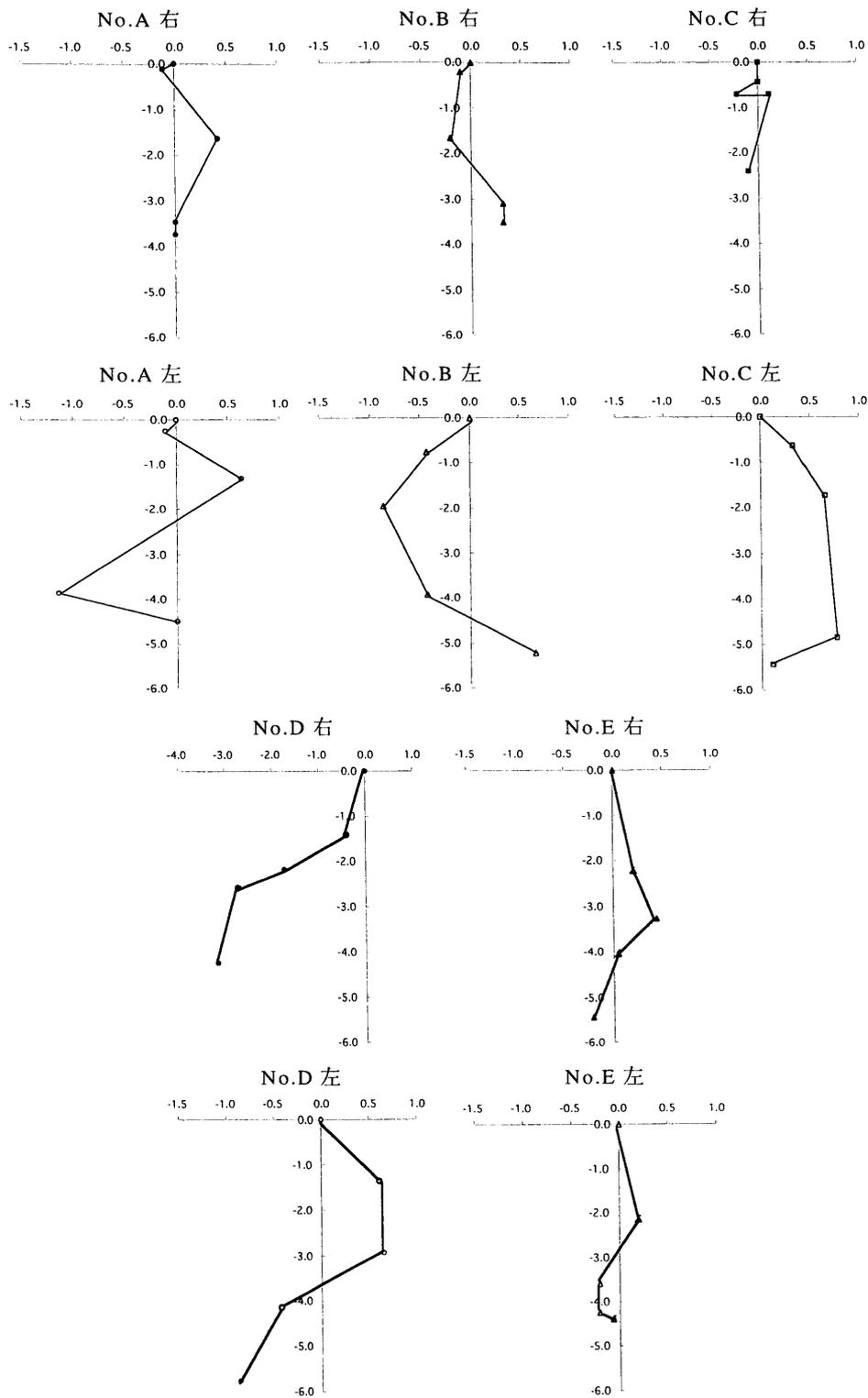


図 7 各個体左右側の P 3 の経時的移動の二次元的評価

図 4 に示したトレースをもとに行った P 3 の 4 週間ごとの圧下様相。横軸のマイナスは近心方向、縦軸のマイナスは根尖(圧下)方向を指す。個体 No. D の右側のみ横軸のスケールが違うのに注意。

荷の有無、植立部位、ネジの区域別に示した(表 1)。まず、負荷ネジと対照ネジに分けた比較では両者に統

計学的有意差は認められなかった。また、頬側ネジと舌側ネジとの比較では危険率 5% 以下で頬側ネジが有

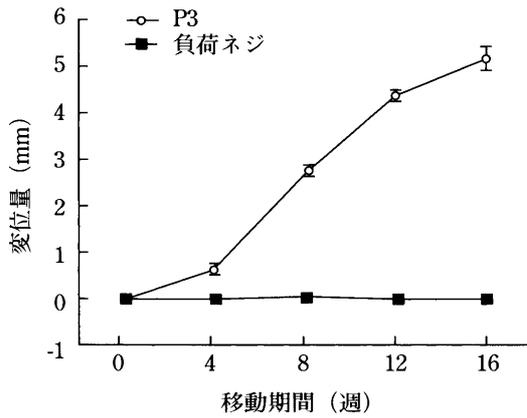


図 8 負荷ネジと P3 の平均変位量  
移動前に対する実変位量 (移動量) で表示

表 1 負荷の有無, 頬舌, 各区域別石灰化率(%), mean±SD)

対照 (38)	負荷 (19)	
30.5±3.9	33.8±5.9	
頬側 (27)	舌側 (30)	
26.5±3.9	36.8±5.2*	
I (57)	II (57)	III (57)
34.1±3.8	35.8±4.6	22.9±3.6**

カッコ内は資料数を示す

\* : p<0.05 (頬側に対して)

\*\* : p<0.01 (区域 I, II に対して)

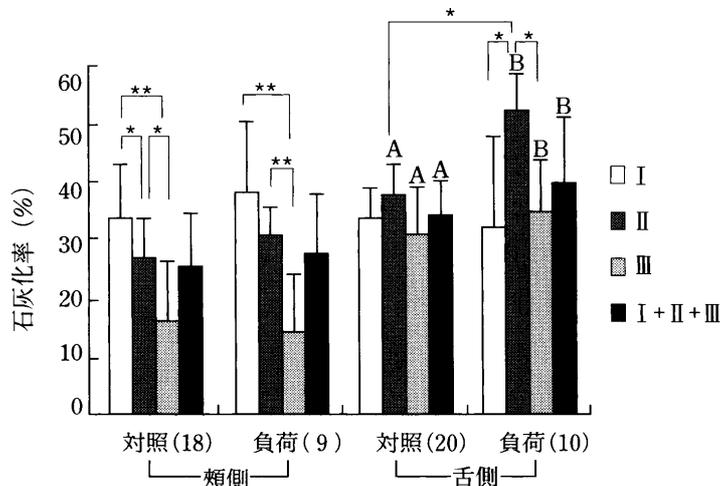


図 9 各区域 (I, II, III) ならびに全体 (I+II+III) におけるチタンネジの部位別, 負荷の有無別の石灰化率(%), mean+SD; カッコ内の数字はネジの本数を示す.)

\* p<0.05, \*\* p<0.01

A : 同一区域の頬側対照ネジに対して有意差あり (p<0.05)

B : 同一区域の頬側負荷ネジに対して有意差あり (p<0.01)

意に低い値を示した。さらに, 各区域 (I, II, III) 毎にその石灰化率を比較したところ, 区域 I と III ならびに II と III との間でいずれも危険率 1% 以下の統計学的有意差が認められた。

以上の石灰化率をネジ植立部位, 負荷の有無, 区域による細分類をして図 9 に示した。まず, 各部位に植立したネジの石灰化率は頬側対照<頬側負荷<舌側対照<舌側負荷の順であり, 対照ネジの石灰化率を負荷ネジがわずかに上回る傾向が頬, 舌の両側で認められたが, 統計学的に両者の有意差がみられたのは舌側ネジの区域 II においてのみであった。また, 各ネジの石灰化率を区域別に比較すると, 頬側ネジの石灰化率は負荷の有無にかかわらず区域別に I > II > III の順で,

特に区域 III における石灰化率が他の区域より著しく低下していた。一方, 舌側ネジの石灰化率は頬側とは異なり, 区域 II が他の部位より大きい傾向を示した。ただし, この傾向は対照ネジではわずかで各区域間に有意差はみられず, 負荷ネジの区域 II のみが区域 I や III に対して有意差が認められた。最後に頬舌ネジの比較では頬側<舌側の傾向が負荷の有無にかかわらず認められ, 負荷ネジ, 対照ネジそれぞれの区域 II と III, ならびに全区域 (I+II+III) の平均において有意差は認められた。

## 考 察

### I. P3の移動様相

本研究による結果で最も重要な点の1つは、小型チタンネジを固定源とした16週に及ぶ矯正力の付与で、個体差、左右差はあるものの平均5.1 mmのP3の圧下移動がみられ、植立した全チタンネジに、移動や動揺は認められなかったということである。

本研究では前報<sup>3)</sup>と同様、頬舌側に植立した2本のチタンネジを固定源としたP3の圧下移動を行っており、隣在歯であるP2やP4にはX線的には移動や変位はみられなかった。その移動様相についても図7に示したように1個体の右側を除いてほぼ垂直的な圧下移動が達成された。

この個体では植立した頬舌側の負荷ネジの位置が本来よりも近心位であったため、強い近心傾斜移動を伴ったと考察している。ネジ植立時には解剖学的な位置関係の確認はもちろんであり、さらに予想される移動量と方向を三次元的に検討することが必須であると考えられた。

### II. チタンネジ周囲の骨形態計測

今回の研究の重要な所見の2つめは、ネジ周囲の石灰化率が負荷ネジと対照ネジ間で有意差がほとんどみられなかったことであり、負荷をかけたチタンネジが顎骨内で確実な固定源として機能した点である。

インプラントを固定源とした歯の移動の基礎研究についてRobertsら<sup>5)</sup>、Parrら<sup>6)</sup>、Grayら<sup>7)</sup>はウサギの長管骨、Turleyら<sup>8)</sup>、Blockら<sup>9)</sup>、Wehrbeinら<sup>10)</sup>はイヌやサルの上顎正中部および上顎の小白歯部、その他の多くの研究<sup>8,11~19)</sup>ではイヌやサルの下顎の小白歯部を植立部位に用いた実験結果を報告している。しかし、上記の報告の多くが従来型のデンタルインプラント(直径3~4 mm、長さ5~10 mm)を用いている。これらのインプラントは限られた部位にしか植立できないのが欠点であるため、われわれは根尖付近の歯槽骨にも植立可能な小型チタンネジを用いて実験を行った。小型ネジの臨床報告には緒言で紹介したKanomi<sup>2)</sup>の他にUmemoriら<sup>20)</sup>が前歯部開咬症例の治療法としてスケレタルアンカレッジシステム(SAS)を紹介している。この報告によると、下顎臼歯部頬側に装着されたミニプレートを固定源として用い、18~26週で下顎臼歯部が4~5 mm圧下した。ミニインプラントやミニプレートは臨床的に矯正治療の固定源として有用であると考えられる。しかし、従来のデンタルインプラントと大きさも植立部位も大きく異なるので、ミニインプラントを評価するためには、矯正治療後のインプラント周囲の組織学的な反応に対する十分な理解が必

要であるが、これらを用いた基礎研究は現在までのところ前述したSASによるDaimaruyaら<sup>21)</sup>の報告やチタンバナジウムインプラントを用いたMelsenら<sup>22)</sup>の報告等に限られている。

#### 1. デンタルインプラントと小型チタンネジの比較

以前われわれは、従来型のデンタルインプラントを固定源に用いてイヌの下顎臼歯を近心移動させた実験を報告<sup>16,17,23)</sup>している。今回の実験とは装置のデザインは異なるものの、その臨床的評価は今回と同様であり、インプラントの位置の変化や周囲組織の感染などは認められなかった。しかし、インプラント周囲の骨形態計測学的評価では、いずれのサイズのインプラントでも、負荷群と対照群間に差がみられないという共通点はあるものの、インプラント周囲石灰化組織の割合の平均値は、以前のわれわれの報告<sup>17,23)</sup>では約65%、今回は32%と半減している。

この2つの異なる結果の主な原因は、固定源として用いたインプラントのサイズによるものと考えられる。特に、両者の直径についてはそれぞれ3.75 mm、1 mmと大きく異なることが影響していると考えている。

2つめの理由としては、植立部位の選択が考えられる。デンタルインプラントが欠損歯槽部に植立されているのに対して、チタンネジは歯槽骨の頬側表面あるいは舌側表面に植立されていた。ビーグル犬の下顎歯槽部の皮質骨厚は特に頬側において非薄であるが、下顎前臼歯の欠損部においては相当の厚みを有している。

最後の理由としてネジ植立から屠殺までの治療期間ならびに固定源の評価の違いがあげられる。本報告では、チタンネジを単独で固定源として用い、植立22週後の評価であるのに対して、以前のわれわれの報告<sup>17,23)</sup>では2つの連結したインプラントの植立から約50週後に組織評価を行った。以上の骨形態計測の結果は、歯の移動終了後の小型ネジは上顎前歯、下顎臼歯、唇舌側を問わず容易に撤去できたというわれわれの最近の報告<sup>3,24)</sup>を支持するものである。

#### 2. 小型チタンネジの植立部位による比較

本研究と同一のネジに120 gの矯正力を加えて上顎前歯部を圧下したわれわれの研究<sup>24)</sup>では、インプラント周囲に石灰化領域がほとんど存在しなかった。これは、対照ネジ、負荷ネジに共通して認められ、本研究結果とは大きく異なるものであった。この相違にはネジ植立から屠殺までの期間が上顎における前報<sup>24)</sup>では14週間と短いことも影響している可能性があるが、主たる原因はインプラント植立部位の骨組成の違いであると考えている。ヒト上顎骨の皮質骨は歯槽部においては比較的疎な構造であり、多くの統計調査より上顎に植立したインプラントの予後は下顎に比べて悪いとされている。イヌにおいてはこの上下顎骨の構造には

ヒト以上の差があるものと考えられる。

今回の研究結果においては、表1や図9に示したように舌側に植立したネジ周囲の石灰化率が頬側のそれよりも有意に高かった。この違いの主たる要因は皮質骨の厚みの差と考えている。事実、本研究の予備研究で行ったイヌ下顎前臼歯部の頬舌断ブロックにおける $\mu$ CT所見では、頬側皮質骨の厚みは舌側のそれに比べて明らかに薄いことが示されている<sup>25)</sup>。

Melsenら<sup>22)</sup>は直径約2mm、長さ6mmのチタンバナジウム合金製のスクリューをサルスの頬骨と下顎シンフィスに植立し、25gや50gの比較的弱い矯正力で即時荷重し、その1, 2, 3, 4, 6か月後にスクリュー周囲の顎骨ごと摘出し、骨結合の割合を本研究と同様に評価している。それによると、骨結合は海綿骨や皮質骨といった骨のタイプには影響を受けず、経時的に増加するとのことであった。用いたネジのサイズや材質、植立部位、即時荷重や動物種などの実験条件が異なるため厳密な比較は難しいが、骨結合の割合が骨のタイプに影響を受けないという所見は本研究やわれわれの以前の報告<sup>17,23,24)</sup>と大きく異なる点である。われわれの一連の研究では、上下顎の骨の密度や組成の違いあるいは植立部位の違いにより、石灰化率がさまざまであった。また、デンタルインプラントの植立は、その部位によって異なる待機期間を設定すべきであるとの臨床的見解とも異なる所見である。ただし、本研究では行っていない骨結合の経時変化については、ラットの長管骨<sup>26)</sup>やイヌ下顎骨<sup>27)</sup>におけるチタンインプラントの基礎研究と同様に増加すると述べている。特にラットの長管骨を用いたYamazakiら<sup>26)</sup>の報告では、皮質骨と海綿骨を用いてインプラントの骨接触率を経時的に求めているが、海綿骨との接触率は植立当初は皮質骨に比べて低いものの、経時的増加により、最終的には両者に有意差はないとしている。

以上の先人の報告と本研究結果を合わせて考察すると、本研究で用いた小型ネジを矯正臨床に応用する際には、まず植立部の骨の状態を十分に把握しておく必要があると考える。本研究の小型ネジは臨床的には撤去を前提にしているので、デンタルインプラントのような強固な骨結合はむしろ不都合である。植立したネジを長期間使用した後に撤去する可能性を臨床的に考察すると、その小ささ故にネジ山がつぶれたり頸部で破折するなど、ネジ撤去時の生体への損傷が気になる。そういった観点から、今後はより長期の実験期間の設定による骨結合の変化や、ネジ植立から矯正力付与までの期間を調節することで、使用中は確実な固定源となり撤去は容易に行える条件を探っていきたい。

### 3. 小型チタンネジの各区域による比較

チタンネジを区域別(I, II, III)に観察してみると、頬側ネジでは区域IIIすなわちネジ先端における石

灰化率が他の区域に比べて低い結果となった。われわれはデンタルインプラントを用いて以前同様な検討を行っている<sup>23)</sup>。その結果、石灰化率はインプラント中央部で高く、両端すなわち基底部と先端では低い結果となった。今回の結果は舌側においては前報を支持し、頬側においては前報と異なる傾向を示した。これらの相違は前述した頬側、舌側の骨組成や皮質骨厚の違いによると考えており、骨組織との適合性については舌側に植立したネジが従来型のデンタルインプラントに近い特性を示したと考えている。実際の臨床では頬側に植立したネジを固定源に、マルチブラケット法との併用で歯の圧下移動を行うことが多いため<sup>20)</sup>、特に頬側ネジにおいて得られた結果を今後の臨床への参考にしたいと考えている。また、近年では顎発育期にネジを用いる臨床報告も始まりつつあるので、今後は歯槽部の成長に対する小型ネジの影響を基礎的に検討したい。

本研究を遂行するにあたり、小型チタンネジの考案と試作にご協力いただいた嘉ノ海龍三氏と三金工業(株)に感謝いたします。

本研究の要旨の一部は、第79回IADR年次総会(平成13年6月、千葉)において発表した。本研究の一部は平成12、13年度文部科学省科学研究費(基盤研究C、課題番号12672013)の補助を受けた。

## 文 献

- 1) Block, M. S. and Hoffman, D. R.: A new device for absolute anchorage for orthodontics, *Am J Orthod Dentofac Orthop* 107: 251-258, 1995.
- 2) Kanomi, R.: Mini-implant for orthodontic anchorage, *J Clin Orthod* 31: 763-767, 1997.
- 3) Ohmae, M., Saito, S., Morohashi, T., *et al.*: A clinical and histological evaluation of titanium mini-implants as anchors for orthodontic intrusion in the beagle dog, *Am J Orthod Dentofac Orthop* 119: 489-497, 2001.
- 4) Villanueva, A. R.: A bone stain for osteoid seams in fresh, unembedded, mineralized bone, *Stain Technol* 49: 1-8, 1974.
- 5) Roberts, W. E., Smith, R. K., Zilberman, Y., *et al.*: Osseous adaptation to continuous loading of rigid endosseous implants, *Am J Orthod* 84: 95-111, 1984.
- 6) Parr, J. A., Garetto, L. P., Nohlfor, M. E., *et al.*: Sutural expansion using rigidly integrated endosseous implants: an experimental study in rabbits, *Angle Orthod* 67: 283-290, 1997.
- 7) Gray, J. B., Steen, M. E., King, G. J. and Clark, A. E.: Studies on the efficacy of implants as

