

ラット切歯歯根に達するインプラント埋入が
切歯萌出および顎骨形態に及ぼす影響

奥羽大学歯学部口腔外科学講座

森蔭由喜

(指導教員：高田 訓)

Effects of implant placement
in rat incisor root region on incisal eruption
and jawbone morphology

Division of Oral Surgery,
Department of oral and maxillofacial surgery,
Ohu University, School of Dentistry

Yoshiki Morikage

(Director : Satoshi Takada)

Abstract

This study aimed to investigate the effects of implant placement that contact with the incisor root region on incisal eruption and jawbone morphology in rat. In 12-week-old male Wistar rats, an implant drill was used to drill implant holes with a diameter of 0.45 mm and a length of 3 mm from the inferior border of the mandible to the incisor root. Subsequently, titanium implants with a diameter of 0.7 mm and a length of 3 mm were placed in the holes. Over a 14-day period starting from the day after implant placement, the amount of incisor eruption over time was measured. Furthermore, CBCT and x-rays of the mandible were taken from the lateral direction at 2, 8 and 16 weeks after placement to observe changes in the jawbone morphology and the buccolingual width of the incisor root.

The following results were obtained: 1) The eruption of the normal control side incisor increased by approximately 0.5 mm a day for ten days. In contrast, the incisors on the experimental side exhibited no growth between Day 1 post-implant-placement until Day 14. 2) Changes in the morphology of the mandible on the experimental side and the control side were compared in terms of the anterior-to-posterior length, the vertical height and the buccolingual width. The significant difference was recognized between the experimental side and the control side. In the experimental side, the length of the mandible had a tendency to decrease and the height of the central part of the mandible had increased by approximately 1.5mm during 16 weeks after implant placement. Furthermore, the

buccolingual width of the incisor root had increased by approximately 0.5mm during 16 weeks after implant placement.

In conclusion, the incisal eruption was controlled for the implant placement that reached to the incisor root of the rat. As a result, the growth of the anterior-to-posterior length, the vertical height and the buccolingual width was different from the experimental side and the control side in the mandibular bone of the rat.

Key words: rat, incisor, implant, morphology, CBCT

和文抄録

ラット切歯歯根へのインプラント埋入が切歯萌出および顎骨形態に及ぼす影響を検索することを目的に実験を行った。実験動物には生後12週のWistar系ラットを用い、下顎骨下縁から切歯歯根まで到達するよう直径0.45mm、長さ3mmのドリリングを行い、直径0.7mm、長さ3mmのチタン製インプラントを埋入した。翌日より14日間は経日的に切歯萌出量を測定した。また、埋入後2週、8週、16週に下顎骨側方のエックス線写真およびCBCT画像をもとに顎骨の形態変化および切歯歯根の頬舌的幅径を観察した。

その結果、1) 正常な対照側の切歯の萌出速度は10日目まで1日約0.5mmずつであったが、実験側の切歯はインプラント埋入後1日目から14日目まで伸長はほとんど認められなかった。2) 下顎骨の前後長と垂直的高さ、頬舌的歯根幅径において実験側と対照側との間に実験期間を通じて有意差が認められた。すなわち下顎骨中央部における垂直的な高さは埋入後16週では対照側に比べ約1.5mm増加した。さらに下顎切歯根尖部の頬舌的幅径においても埋入後16週で約0.5mm増加した。

結論として、ラット切歯歯根に到達するインプラント埋入により切歯萌出が抑制され、ラット下顎骨における前後的、垂直的ならびに頬舌的な成長発育は実験側と対照側とでは異なる結果を示した。

キーワード：ラット，切歯，インプラント，形態，CBCT

緒 言

インプラント治療の普及とともに偶発症や偶発事故が増加している¹⁻³⁾。下顎臼歯部ではインプラント植立時の下歯槽神経損傷に伴う下唇の知覚麻痺，上顎臼歯部では上顎洞粘膜穿孔やインプラントの上顎洞内迷入に伴う上顎洞炎の発症が医療訴訟に発展している^{2,3)}。前歯部や小臼歯部では植立したインプラントと隣在歯との干渉が原因と考えられる打診痛や歯の挺出感，歯根膜の挫滅や損傷が原因と考えられる歯根膜炎や歯髄炎の発症も懸念される^{1,4)}。一方，インプラントの用途は多様化し，暫間義歯を維持するためのミニインプラント⁵⁾や矯正治療の固定源に用いるアンカースクリュー⁶⁻⁸⁾，顎矯正手術における仮骨延長術や術後の顎間固定用にもインプラントが用いられている⁹⁾。インプラントの応用について Favero ら¹⁰⁾は 4 歳 11 か月の小児に対しアンカースクリューを固定源に使用した矯正治療が有用であったと報告している。Nguyen ら¹¹⁾も 9 歳から 13 歳の症例にアンカースクリューを用いた矯正治療を行っているように，成長発育中の顎骨あるいは健全歯や根未完成歯に近接した部位にもインプラントが用いられるようになった。

成長発育期にインプラントを用いた治療を行うことについて Heij ら⁴⁾は，埋入したインプラントが成人以降の骨格に影響を及ぼす可能性があるとして述べている。しかし，顎発育中の年齢層へのインプラント応用が顎骨にどのような影響を及ぼすか，また，インプラントと根未完成歯とが干渉した場合の歯の萌出様相や顎骨成長の影響については未だ明らかでない。

そこで本研究では顎骨の成長と歯の萌出が永続するラット下顎骨および下顎切歯に着目し，下顎骨から切歯歯

根に達するようインプラントを埋入させた後の切歯萌出および顎骨成長への影響を検討することを目的に実験的研究を行った。

材料および方法

1. 実験動物

実験動物には 8 ～ 10 週齢，体重 260 ～ 330g の雄性 Wistar 系ラット（日本クレア社）を用いた。水道水と実験動物用固形飼料（オリエンタル社）を自由に与え，奥羽大学動物実験研究施設（室温 23℃，湿度 65%）で飼育した。なお，実験は奥羽大学動物実験委員会の承認（動物実験許可番号：平成 25 年度第 41 号）を得て奥羽大学実験動物指針を遵守して行った。

2. 実験方法および実験材料

実験はジエチルエーテルおよびフローセン®全身麻酔下に行った。オトガイ下部から舌骨部まで剃毛し，ポピドンヨードによる消毒後，剃毛部の皮下にアドレナリン 1/80,000 含有 2% キシロカイン® 0.5ml の局所麻酔を施行し，正中線に沿って皮膚を切開し下顎骨下縁を明示した。インプラントは右側下顎骨下縁で切歯歯頸部から 5 mm の位置に，生理食塩水注水下に直径 0.45mm，長さ 3.0mm のパイロットバー（ACE SURGICAL SUPPLY 社）を用い，下顎下縁に垂直にドリリング（6000rpm/sec）して埋入した（図 1）。インプラントは直径 0.7mm，長さ 3.0mm のチタン製 bone tack インプラント（ACE SURGICAL SUPPLY 社）を使用した。インプラント埋入後にインプラントヘッドを骨膜が覆うよう創を縫合し完全閉鎖した。なお，左側下顎骨は未処置対照側とした。

3. 下顎切歯萌出量の計測

左右下顎切歯唇側齒頸部から3.0mmの位置にダイヤモンドバーを用い歯科用タービンでエナメル質表面を齒軸に垂直に約1mm削合しマーキングした。埋入後24時間ごとに14日間，左右切歯の萌出量を計測した。計測方法はジエチルエーテルおよびフローセン®全身麻酔下に仰臥位で齒頸部齒肉からマーキングまでの距離を測定した(図2)。

4. 下顎骨の計測

下顎骨の形態変化を計測するために，埋入後2週，8週および16週を経過したラット各5匹の下顎骨を摘出し，対照側，実験側ともに下顎下縁から筋突起までの高さが最大になるよう下顎骨を固定し，下顎骨側面の垂直方向からエックス線写真を撮影した。撮影にはSOFT X-RAY (SOFRON社製 TYPE SRO-M40)を用い，管電圧40Kv，管電流2.0mA，照射時間10sec，焦点距離450mmの条件で照射した。計測項目はMuramatsuら¹²⁾，Kusuzakiら¹³⁾，山内ら¹⁴⁾の項目を参考に設定した。まず，切歯部下顎下縁と下顎角部下顎下縁の双方に接する面を下顎下縁平面(以下：mp)，下顎下縁と下顎角が接するmp上の点をM点とした。計測項目は下顎骨前後長の計測項目として①切歯尖端から下顎頭頂までの距離，②第1臼歯近心齒頸部から下顎頭頂までの距離，③第1臼歯近心齒頸部からM点までの距離，④切歯尖端からM点までの距離とした(図3)。また，下顎骨の垂直的計測項目として⑤mpから切歯尖端までの距離，⑥mpから第1臼歯近心齒頸部までの距離，⑦mpから切歯根尖部齒槽硬線最先端までの距離，⑧mpから筋突起上端部までの距離，⑨mpから下顎頭頂までの距離とした(図4)。

5. 下顎切歯齒根幅径の計測

切歯歯根の横断面における歯根幅径を計測するために CT 撮影を行った。埋入後 2 週，8 週および 16 週を経過したラット各 5 匹について，コーンビーム CT（以下 CBCT；モリタ製作所製 3DX MULTI-IMAGE MICRO CT FPD）を用い，管電圧 60Kv，管電流 2.0mA で照射し，スライス幅 1.0mm の画像データをもとに画像解析ソフト i-View（モリタ社製）を用いて計測した。対照側，実験側ともに CT 像の矢状面を第 1 臼歯近心根の歯軸に一致させ，水平面を下顎臼歯咬合平面に一致させた後，⑩第 1 臼歯近心根相当部，⑪第 3 臼歯近心根相当部および⑫切歯根尖の歯槽硬線上端相当部の横断面における切歯歯根の頬舌的幅径を計測した（図 5）。

6. 統計処理

実験群と対照群との比較統計の有意差検定は Wilcoxon-t-test で行い，統計的有意水準を $p < 0.05$ とした。

結 果

1. 下顎切歯の萌出量

実験翌日より対照側のマーキングが切端方向へ移動し，術後 10 日目には切端まで至り，術後 14 日目には全例マーキングを確認できなかった。これに対し実験側は 14 日間の観察期間を通じて歯肉歯頸部からマーキングまでの距離はほとんど変化しなかった（図 6 abcde）。実験 5 日目以降の実験側の切歯萌出量は明らかに小さく，対照側との間に有意差を認めた（図 7）。

2. 下顎骨形態の変化

SOFT X-RAY 像では術後 2 週～16 週にかけて経時的に実験側切歯の根尖が伸長し，垂直的に上方へ伸びる傾向

がみられた（図 8 abc）。

下顎骨前後長の計測項目では，切歯尖端から下顎頭頂までの距離，第 1 臼歯近心歯頸部から下顎頭頂までの距離および切歯尖端から M 点までの距離の 3 項目において，実験側の値は術後 2 週から 16 週にかけて徐々に減少し，対照側に対する実験側の長さは有意に短くなった。しかし，第 1 臼歯近心歯頸部から M 点までの実験側の距離は術後 2 週から 16 週にかけて徐々に増加し，対照側に対する実験側の長さは有意に長くなった（表 1，図 9）。

下顎骨上下高の計測項目では，実験側の mp から切歯尖端までの距離は術後 2 週から 16 週にかけて徐々に短くなる傾向がみられ，対照側に対して有意に低くなった。しかし，実験側の mp から切歯根尖部歯槽硬線先端までの距離および mp から筋突起上端までの距離は術後 2 週から 16 週にかけて徐々に増加する傾向がみられた。特に mp から切歯根尖部歯槽硬線先端までの距離では術後 2 週，8 週，16 週の全ての週齢において対照側と実験側との間に有意差を認めた。一方，mp から第 1 臼歯近心歯頸部までの距離および mp から下顎頭頂までの距離については，対照側と実験側との間に有意な差は認められなかった（表 2，図 10）。

3. 下顎切歯歯根幅径の変化

切歯歯根の横断面はほぼ円形を呈し，実験側の CBCT 像では 2 週に比べ 8 週，8 週に比べ 16 週で臼歯相当部の切歯の象牙質，エナメル質層が厚くなり，歯根膜腔が狭くなる傾向がみられた。また，実験側の切歯根尖部の横断面形態は術後 2 週では橢円形であったが，8 週，16 週と経過し橢円が扁平化する傾向がみられた（図 11）。

第 1 臼歯近心根相当部と第 3 臼歯近心相当部では術後

8 週以降に実験側の歯根幅径が減少する傾向がみられ、術後 16 週の対照側に対する実験側の第 3 臼歯近心相当部の歯根幅径は有意に小さかった。しかし、切歯根尖の歯槽硬線上端相当部の歯根幅径は 2 週から 16 週にかけて徐々に増加し、術後 16 週では有意に大きくなった（表 3，図 12）。

考 察

近年、インプラント治療における偶発症や偶発事故が増加している^{1,2)}。菅井³⁾、Salama¹⁵⁾らは綿密な治療計画が偶発症や偶発事故を回避する上で最も重要な要素であると述べている。また、Tarnow ら¹⁶⁾や Choquet ら¹⁷⁾が述べているように予知性の高い治療を進めるには詳細な画像データが必要となり^{18,19)}、インプラント治療には CT 像が欠かせなくなった^{20,21)}。特に歯科用コーンビーム CT（以下 CBCT）では三次元的に顎骨形態を把握できることから、インプラント埋入を安全に行うためのシミュレーションには必要不可欠である。その結果、CBCT 像に基づいて作製されたサージカルガイドによりインプラント埋入位置の正確性が向上した^{22,23)}。しかし、術後の結果がシミュレーションと一致しない場合がある^{24,25)}。その要因について Block ら²³⁾はスキヤニングの誤差を指摘し、一方 Pettersson ら²⁴⁾、東理ら²⁶⁾はバーチャルシミュレーションと口腔内との位置関係には 0.9～1.0mm の差があること、さらに歯肉や粘膜を介した立体画像は口腔内を正確に再現していない可能性があると述べている。特に前歯や小白歯部の 1 歯欠損症例に対するインプラント埋入では、わずかな誤差で隣在歯への干渉が生じるためサージカルガイドを用いても隣在歯の歯根

にインプラントが接触し，歯根膜の挫滅や壊死，歯髄損傷が生じた場合には咬合時痛や打診痛ばかりでなく，隣在歯を失活させる可能性も指摘されている^{1,4)}。このように様々な偶発症や偶発事故がありながらもインプラントの応用範囲は広がり，今や欠損補綴にとどまらず，骨造成部やインプラント埋入後の口腔環境を暫間義歯によって一時的に維持するためのミニインプラントや矯正治療の固定源に用いるアンカースクリューとしての使用も増え⁵⁻⁸⁾，顎矯正手術における牽引や骨折に対する顎間固定にもインプラントが用いられている⁹⁾。すなわち健全歯が残存する顎骨や顎骨内に根未完成歯が残存する症例にもインプラントが適応されるようになった^{10,11)}。

歯根膜を有する天然歯とインプラントとは生理的な動揺度が異なるため，上部構造を作製する際には歯肉や歯槽骨の形態，咬合機能に特別な配慮を要する¹⁵⁻¹⁹⁾。歯根部分においても埋入したインプラントが健全歯の歯根に近接，あるいは接触すると生理的動揺度の違いから違和感を示す場合がある^{1,4)}。1965年，Seltzerら²⁷⁾は健全歯が歯髄炎を発症する要因のひとつに歯根膜の損傷や穿孔が関わっていると述べている。また，1981年，Andreasenら²⁸⁾は動物実験において歯根膜の一部を除去して再植を行った結果，歯根膜が除去された部分では歯槽骨との間に癒着が生じることを報告している。インプラント埋入時に隣在歯の歯根膜に接触，あるいは歯根膜の損傷や穿孔を生じさせた場合，隣在歯に歯根膜炎や歯髄炎を発症させる要因となり，骨性癒着を生じさせる可能性がある。本研究では下顎切歯に達するインプラント埋入を行った結果，実験側と対照側との間に大きな差を認めた。最も著明な変化は実験側の切歯萌出が抑制されたことで

あり，臨床的にも同様の結果を推測させる。Andreasen
ら²⁸⁾の実験結果から，インプラント埋入のドリリングや
埋入操作時に根未完成歯の歯根膜の穿孔や挫滅が生じて
しまうと，インプラントを除去しても癒着に伴う萌出抑
制が生じる可能性がある。さらに歯髄壊死を起こした場
合は，Saltzerら²⁷⁾が述べてきたように，健全歯に対し
て本来不要な根管治療を行わなければならない可能性も
ある。

ラットの切歯は生涯にわたって歯質形成と萌出を続け
るため，成長発育中の顎骨や根未完成歯への様々な侵襲
に伴う影響を検索するために最適な実験材料である<sup>14,29,
30)</sup>。ラットの顎骨は環境変化に順応しやすく，種々の実
験的要因に伴う顎骨形態の影響を数週間で把握すること
ができる^{31,32)}。Kusuzakiら¹³⁾，山内ら¹⁴⁾の実験による
とラットへの飼料の与え方や種類，硬さや時期などの要
因で顎骨形態は変化する。また，ラットの切歯は先端が
咬合すると，萌出速度や萌出量をコントロールして咬合
を維持する³³⁾。本実験では対照側の切歯は1日約0.5mm
の速度で萌出し続け，咬耗により削られた量をコントロ
ールしていた。しかし，実験側では切歯の萌出が抑制さ
れたため対合歯との咬耗はなく，歯冠長も変化しなかつ
たと考えられる。

様々な侵襲に伴う顎骨形態の観察についてChoiら³⁰⁾
は咀嚼筋の機能低下に伴う顎骨形態の変化を検討し，
Muramatsuら¹²⁾の実験では臼歯抜去に伴う顎骨成長への
影響を検討している。いずれの実験も顎骨の形態的変化
をセファロメトリックに検索し，定量的かつ統計学的に
検討しており種々の要因で顎骨に形態変化が生じること
を客観的に捉えている^{12-14,34)}。本研究の検索ターゲット

は、第3臼歯の後上方から下顎下縁直下を通り、第1臼歯下方から前方に向かって大きく彎曲しながら萌出する切歯および下顎骨である。顎骨形態を観察するためには、彎曲する切歯の萌出方向を考慮した計測項目が必要であった¹²⁻¹⁴⁾。Muramatsuら¹²⁾はMICRO CTを用い、管電圧50kV、管電流90mAで照射したスライス幅0.800mmのデータを用いてラットの顎骨形態を詳細に分析し有用性を示している。しかし、粘膜や軟組織を介して構築された三次元画像と生体の形態が一致しない場合²³⁾、あるいは三次元画像を基にガイドされた手術でも術前と術後の画像結果が一致しない場合がある²⁴⁻²⁶⁾。Peckら³⁵⁾は顎骨形態を正確に把握するためには三次元画像と断層面画像のそれぞれの情報を検索する必要があると述べている。そこで本実験では、顎骨形態を三次元的に把握した上で下顎骨の矢状面、冠状面、横断面の基準を決め、断層面画像を用いて第1臼歯と第3臼歯の歯軸と歯根の位置を確認して切歯歯根幅径の計測位置を決定した。特に切歯の歯根尖と歯槽硬線とが重なる点や臼歯の歯軸を決定するためには三次元画像や断層面画像が必要で、顎骨内の切歯歯根の頬舌的幅径の計測にはCBCT像上のメジャーが不可欠であったと考える。

Choi³⁰⁾は片側咬筋を切除したラットの下顎骨長が4週間で約4mm変化したと報告している。その要因として咬合や咀嚼機能を維持するために顎骨は代償的かつ容易に形態変化すると捉えている。本実験では萌出が抑制された実験側切歯の根尖部に相当する下顎骨中央部では垂直方向に約1.5mm高さが増加した。反対に下顎頭頂から切歯尖端や第1臼歯近心歯頸部までの下顎前後長は短くなっていることから、下顎骨の機能と形態を維持する

ために代償的な形態変化が生じたと考えられる^{30,33,34)}。一方，下顎骨内の切歯の位置は正常な対照側では変化しないのに対し，実験側では切歯根尖が垂直方向に伸長し，頬舌的幅径が増加した。すなわち実験側においては，切歯根尖の形態変化と下顎骨の形態変化とが同じ方向であったことを意味し，本実験においては切歯の形態変化が顎骨形態を変化させたと捉えられる。

ラットは下顎骨に対して切歯の占める容積が大きく，切歯の形態変化が顎骨形態に大きく影響する^{12,30,34)}。本実験ではラット切歯歯根に到達するインプラント埋入によって切歯の萌出が抑制された。また，実験側のラット切歯歯根の根尖部では頬舌的幅径が増加するとともに顎骨形態が変化し，対照側との間に有意差が認められた。すなわち根未完成歯にインプラントが接触した場合，萌出抑制や低位萌出，あるいは萌出すべき歯を埋伏させる要因になるとともに，顎発育にも影響を及ぼし顎骨の形態異常の要因になる可能性が示唆された。

結 論

ラット切歯歯根へのインプラント埋入が切歯萌出および顎骨形態に及ぼす影響を検索し，以下の結果を得た。

1．ラット切歯の萌出量は，対照側で1日約0.5mmずつであったが，実験側の切歯はほとんど萌出せず，インプラント埋入後5日目以降は対照側との間に有意差を認めた。

2．実験側では下顎骨中央部の垂直的高さは増加する傾向がみられ，対照側との間に有意差を認めた。

3．実験側の切歯根尖の頬舌的幅径が増加し，対照側との間に有意差を認めた。

以上より，ラット切歯歯根に到達するインプラント埋入によって切歯の萌出は抑制され，切歯の歯根形態および下顎骨形態が変化し，顎骨成長に影響を及ぼす可能性が示唆された。

本論文の要旨の一部は，第56回奥羽大学歯学会（平成25年11月9日郡山）において発表した。

文 献

1) 矢島安朝，高梨聖敏：インプラントを埋入して隣在歯に打診痛が生じた．臨床のアクシデント&ピットホールその対処と予防法（和気裕之，中川洋一，吉田秀人，貞光謙一郎編）初版；145-147 デンタルダイヤモンド社 東京 2008.

2) 山崎康夫：インプラント植立時の下歯槽神経麻痺．カラーグラフィックス下歯槽神経・舌神経麻痺（野間弘康，佐々木研一，山崎康夫編）第2版；105-123 医歯薬出版株式会社 東京 2010.

3) 菅井敏郎：上顎洞底挙上術 - 側方アプローチと歯槽頂アプローチ - . 日口外誌 56；150 - 165 2010.

4) Heij, D. G., Opdebeeck, H., van Steenberghe, D., Kokich, V. G., Belser, U., Quirynen, M. : Facial development, continuous tooth eruption, and mesial drift as compromising factors for implant placement. Int. J. Oral Maxillofac. Implants 21；867-878 2006.

5) Takesue, J. : Clinical application of mini-implants and consideration of their future prospect. 日顎咬合会誌 28；187-193 2008.

6) 嘉ノ海龍三，曾根由美子，井上雅裕：インプラン

トを固定源とした矯正治療への取り組み K1 システム
を利用した矯正治療 (1) 症例解説 . 歯界展望 99 ; 671 -
677 2002 .

7) Kamioka, H., Shiraga, N., Takano-Yamamoto, T.,
Yamashiro, T. : Camouflage treatment using implant
anchorage in a skeletal Class III patient. Orthod. Waves
Jpn. Edit. 68 ; 171-177 2009 .

8) Favero, L., Pizzo, C., Farronato, D., Balercia, A.,
Favero, V. : A new methodological and clinical approach for
the treatment of upper lateral incisors agenesis: the
posterior space opening. Eur. J. Paediatr. Dent. 13 ;
151-154 2012 .

9) Cornelius, CP., Ehrenfeld, M. : The Use of MMF
Screws: Surgical Technique, Indications,
Contraindications, and Common Problems in Review of the
Literature. Craniomaxillofac. Trauma Reconstr. 3 ; 55-80
2010 .

10) Favero, L., Winkler, A., Favero, V. :
Non-compliant maxillary protraction by orthodontic
micro-implants. Eur. J. Paediatr. Dent. 13 ; 244-248 2012 .

11) Nguyen, T., Cevidanes, L., Cornelis, M. A., Heymann,
G., de Paula, L. K., De Clerck, H. : Three-dimensional
assessment of maxillary changes associated with bone
anchored maxillary protraction. Am. J. Orthod. Dentofacial
Orthop. 140 ; 790-798 2011 .

12) Muramatsu, H., Zhang, X., Ogawa, K. : Jawbone
morphology in rats with extracted maxillary molars reared
on powdered diet. Int. J. Oral-Med. Sci. 11 ; 211-217
2013 .

- 13) Kusuzaki, H., Maki, K., Nishida, I., Xia, B., Wang, J., Kimura, M. : A cephalometric study on the effect of zinc on the development of mandible in rats. *Pediatr. Dent. J.* **12** ; 99-112 2002.
- 14) 山内 旬美, 加川 千鶴世 : 断乳時期の違いによるマウスの成長発育変化. *奥羽大歯学誌* **40** ; 93-103 2013.
- 15) Salama, H., Salama, M. A., Garber, D., Adar, P. : The interproximal height of bone: a guidepost to esthetic strategies and soft tissue contours in Anterior tooth replacement. *Pract. Periodontics Aesthet. Dent.* **10** ; 1131-1141 1998.
- 16) Tarnow, D. P., Magner, A. W., Fletcher, P. : The effect of the distance from the contact point to the crest of bone on the presence or absence of the interproximal dental papilla. *J. Periodontol.* **63** ; 995-996 1992.
- 17) Choquet, V., Hermans, M., Adriaenssens, P., Daelemans, P., Tarnow, D. P., Malevez, C. : Clinical and radiographic evaluation of the papilla level adjacent to single-tooth dental implants. A retrospective study in the maxillary anterior region. *J. Periodontol.* **72** ; 1364-1371 2001.
- 18) Tarnow, D. P., Cho, S.C., Wallace, S. S. : The effect of inter - implant distance on the height of inter-implant bone crest. *J. Periodontol.* **71** ; 546-549 2000.
- 19) Grunder, U., Gracis, S., Capelli, M. : Influence of the 3 - D bone - to - implant relationship on esthetics. *Int. J. Periodontics Restorative Dent.* **25** ; 113-119 2005.
- 20) 山下 憲昭, 足立 雅利 : ヒト下顎骨における解剖学的研究. *日口診誌* **23** ; 24-36 2010.

21) 岡 琢弓, 加川千鶴世 : 上顎正中部埋伏過剰歯の三次元的観察－エックス線 CT とパノラマエックス線写真との比較－. 奥羽大歯学誌 39 ; 69-79 2012.

22) Sarment, D. P., Sukovic, P., Clinthorne, N. : Accuracy of implant placement with a stereolithographic surgical guide. Int. J. Oral Maxillofac. Implants. 18 ; 571-577 2003.

23) Block, M. S., Chandler, C. : Computed tomography-guided surgery: Complications associated with scanning, processing, surgery, and prosthetics. J. Oral Maxillofac. Surg. 67 ; 13-22 2009.

24) Pettersson, A., Komiyama, A., Hultin, M., Näsström, K., Klinge, B. : Accuracy of virtually planned and template guided implant surgery on edentate patients. Clin. Implant Dent. Relat. Res. 14 ; 527-537 2012.

25) Yong, L. T., Moy, P. K. : Complications of computer-aided-design/Computer-aided-machining-guided (Nobel GuideTM) surgical implant placement: An evaluation of early clinical results. Clin. Implant Dent. Relat. Res. 10 ; 123-127 2008.

26) 束理頼亮, 島津徳人, 青葉孝昭 : マイクロフォーカス X 線 CT 法による三次元構造解析 : 立体画像の構築と形態計測. J. Oral Biosci. 46 ; 67-73 2004.

27) Seltzer, S., Bender, I. B. : Cognitive dissonance in endodontics. Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol. 20 ; 505-516 1965.

28) Andreasen, J. O., Kristerson, L. : The effect of limited drying or removal of the periodontal ligament. Periodontal healing after replantation of mature permanent

incisors in monkeys. Acta. Odontol. Scand. **39** ; 1-13 1981.

29) 根本隆一 : ラット開閉口筋の発育・分化経過と神経支配に関する研究. 奥羽大歯学誌 **26** ; 287-299 1999.

30) Choi, Y. : The effect of masseter muscle dissection on the growth and development of the mandible in rat. J. Jpn. Orthod. Soc. **55** ; 501-514 1996.

31) 瀧上啓志 : 飼料の形状, 栄養量がラット咀嚼器官の成長や発達におよぼす影響についての検討. 滋賀医大誌 **17** ; 29-41 2002.

32) 久保田 悠, 大岡貴史, 拝野俊之, 馬谷原光織, 弘中祥司, 向井美恵 : 離乳期ラットにおける胃瘻からの栄養摂取が顎骨の成長に与える影響. 障歯誌 **31** ; 51-58 2010.

33) 小松浩一郎, 千葉元承 : 低引張り速度で得られた咬合および非咬合ラット切歯歯根膜における応力—歪曲線の解析ならびに組織学的観察. Jpn. J. Oral. Biol. **38** ; 192-202 1996.

34) 鈴木慎一, 森川 泰, 宮島邦彰, 前田初彦, 亀山洋一郎, 飯塚哲夫 : 幼若ラットに対する下顎骨片側離断の下顎骨成長に対する影響. 歯基礎医会誌 **37** ; 243-254 1995.

35) Peck, J. N., Conte, G. J. : Radiologic techniques using CBCT and 3-D treatment planning for implant placement. Journal of California Dental Association **36** ; 287-297 2008.

図表の解説

図 1 : インプラント埋入位置

図 2 : 切歯萌出量の計測



マーキング () 位置から各側の歯頸部までの距離 () を計測した。

図 3 : 下顎骨前後長の計測項目


- ① 切歯尖端から下顎頭頂までの距離
- ② 第 1 臼歯近心歯頸部から下顎頭頂までの距離
- ③ 第 1 臼歯近心歯頸部から M 点までの距離
- ④ 切歯尖端から M 点までの距離

図 4 : 下顎骨の垂直的計測項目

- ⑤ mp から切歯尖端までの距離
- ⑥ mp から第 1 臼歯近心歯頸部までの距離
- ⑦ mp から切歯根尖部歯槽硬線最先端までの距離
- ⑧ mp から筋突起上端部までの距離
- ⑨ mp から下顎頭頂までの距離

図 5 : CBCT 像および下顎切歯歯根幅径の計測部位

a 矢状面

() は切歯根尖の歯槽硬線上端を示す。

- ⑩ 第 1 臼歯近心根相当部
- ⑪ 第 3 臼歯近心根相当部
- ⑫ 切歯根尖の歯槽硬線上端相当部

b 横断面

⑩, ⑪, ⑫ における下顎切歯歯根幅径の計測は矢状面を第 1 臼歯近心根の歯軸に一致させ, 水平面を下顎臼歯咬合平面に一致させた。

図 6 : 切歯萌出量

a 術後 0 日目

b 術後 2 日目

c 術後 8 日目

d 術後 10 日目

e 術後 14 日目

■ : マーキング位置

図 7 : 切歯萌出量の推移

図 8 : 実験側 SOFT X-RAY 像

a 術後 2 週

b 術後 8 週

c 術後 16 週

表 1 : 下顎骨前後長の計測値

図 9 : 下顎骨前後長の計測値の推移

(実験側) - (対照側)

表 2 : 下顎骨の垂直的計測値

図 10 : 下顎骨の垂直的計測値の推移

(実験側) - (対照側)

図 11 : 実験側の CBCT 横断面像

術後 2 週 a 切歯根尖の歯槽硬線上端相当部

b 第 3 臼歯近心根相当部

c 第 1 臼歯近心根相当部

術後 8 週 d 切歯根尖の歯槽硬線上端相当部

e 第 3 臼歯近心根相当部

f 第 1 臼歯近心根相当部

術後 16 週 g 切歯根尖の歯槽硬線上端相当部

h 第 3 臼歯近心根相

i 第 1 臼歯近心根相当部

表 3 : 下顎切歯歯根の頬舌的幅径計測値

図 12 : 下顎切歯歯根の頬舌的幅径の推移

(実験側) - (対照側)

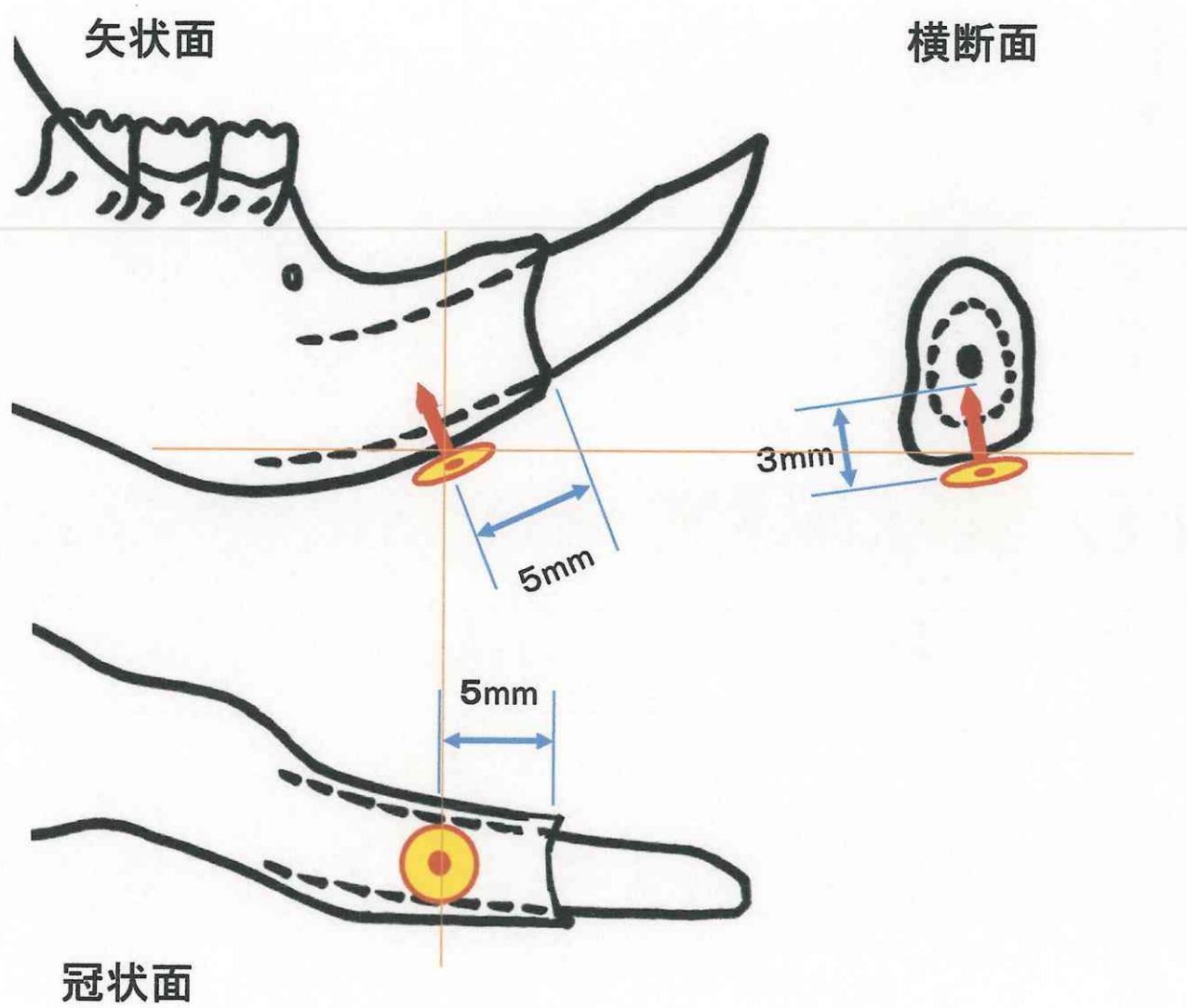


図1 : インプラント埋入位置

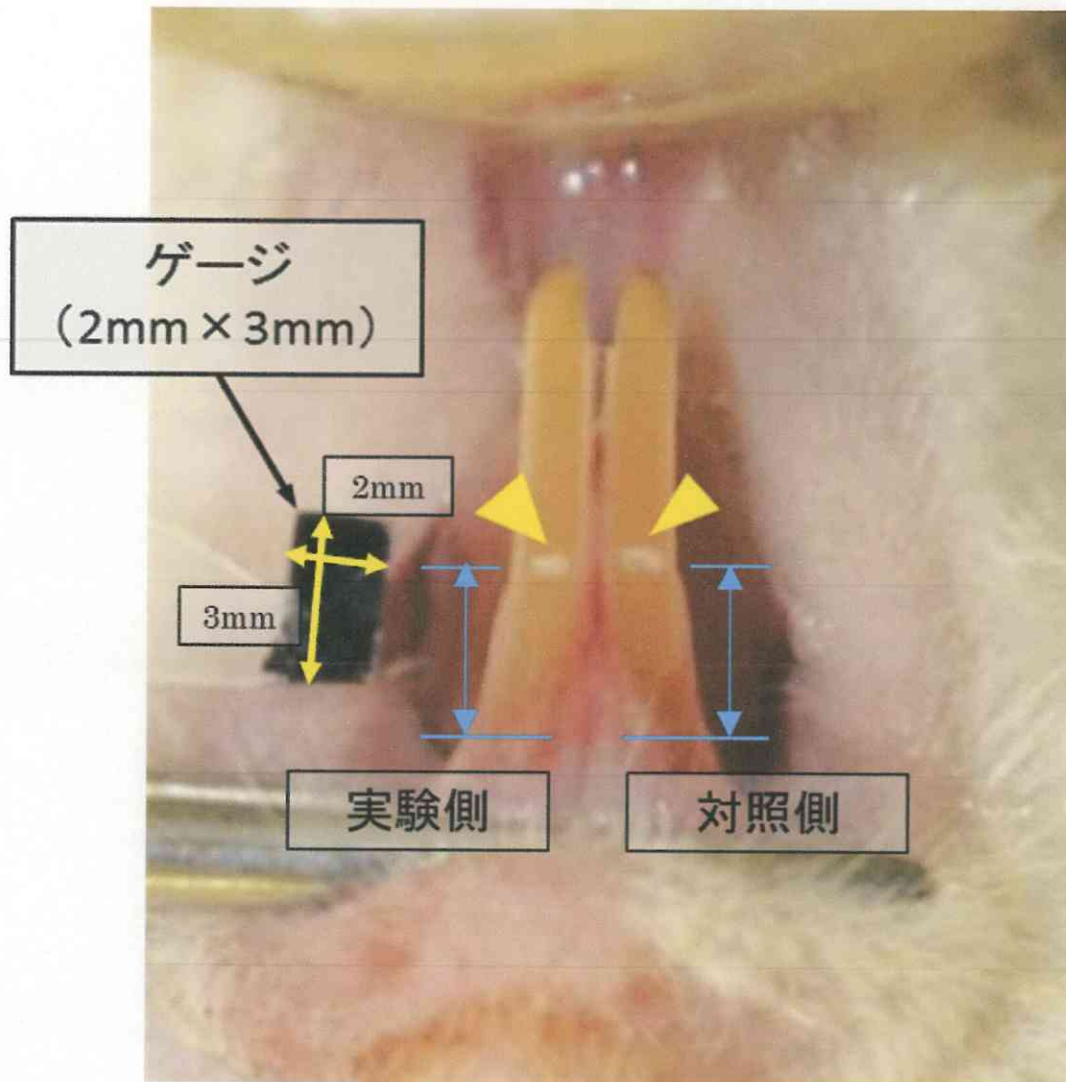


図2 : 切歯萌出量の計測

マーキング(▲)の位置から各側の歯頸部
までの距離()を計測した。

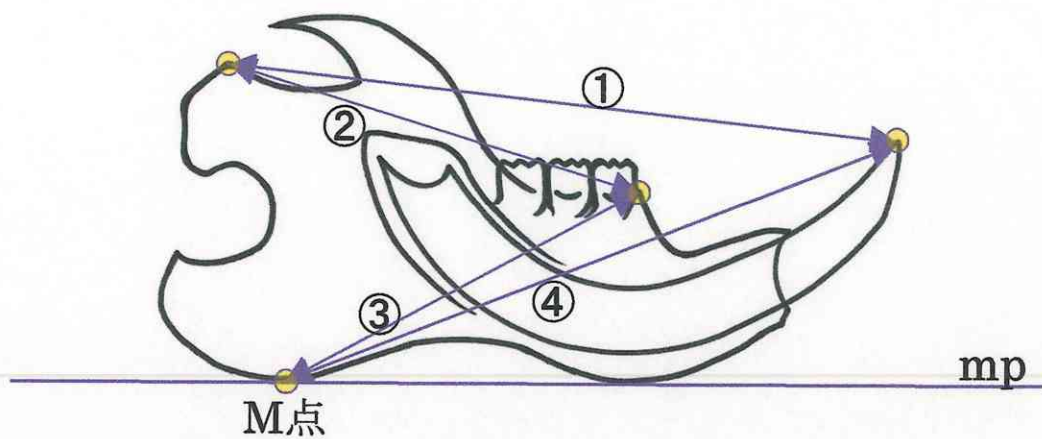


図3 : 下顎骨前後長の計測項目

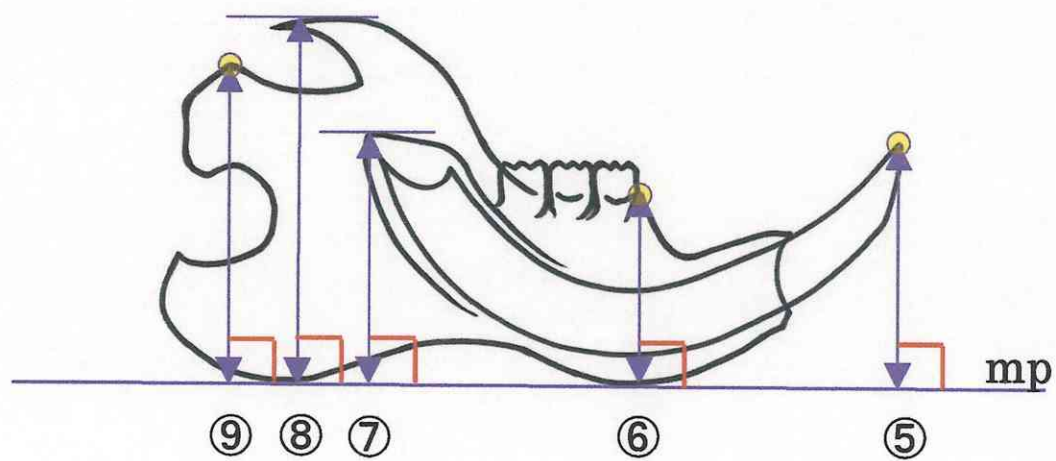


図4 : 下顎骨の垂直的計測項目

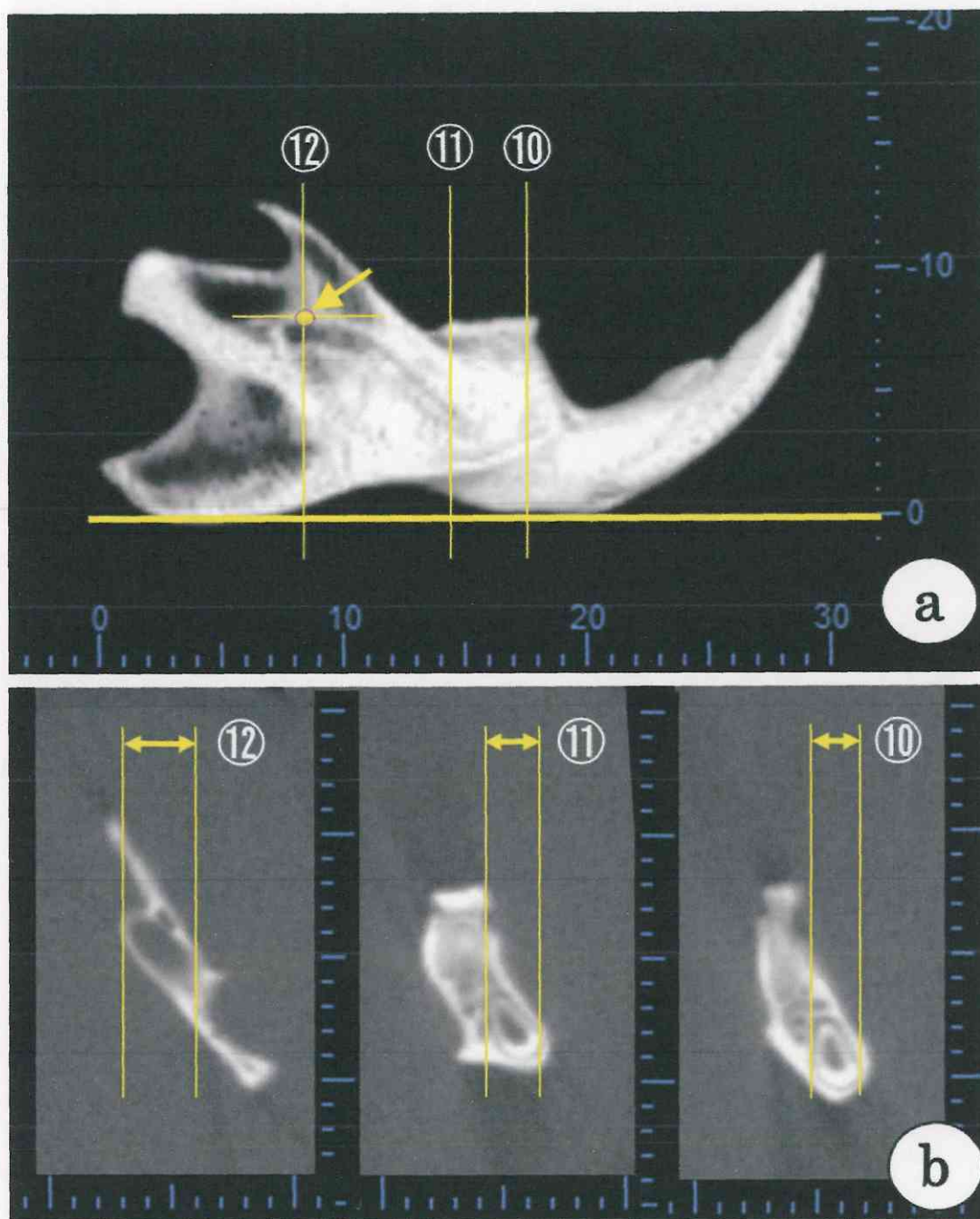


図5：CBCT像および下顎切歯幅径の計測部位

a 矢状面

(○←) は切歯根尖の歯槽硬線上端を示す。

b 横断面

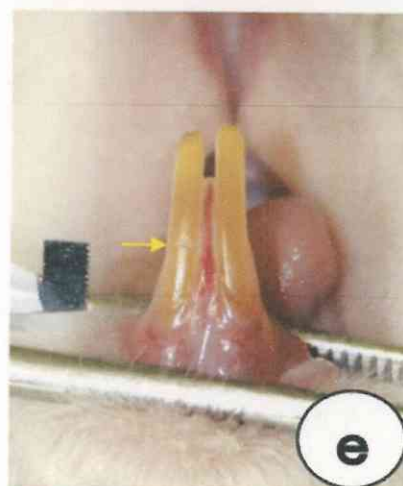
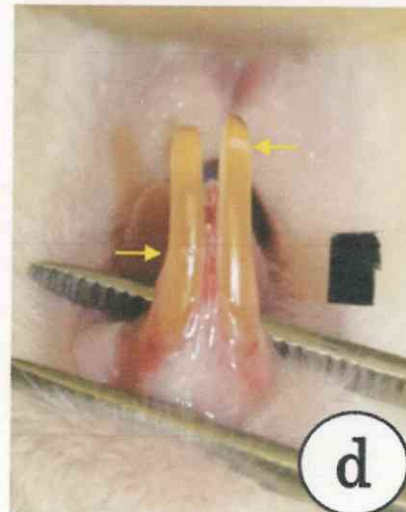
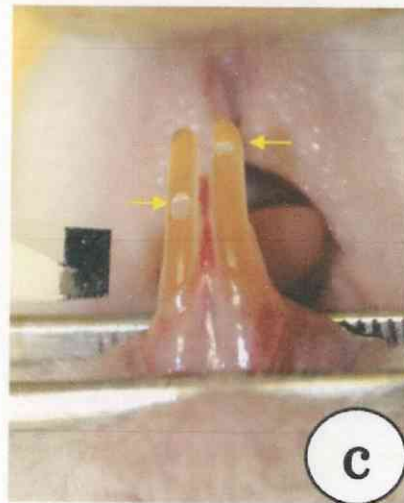
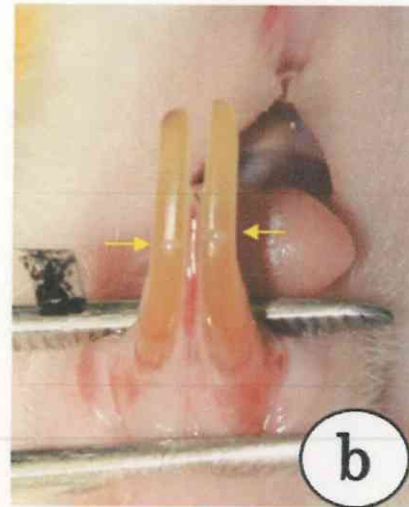
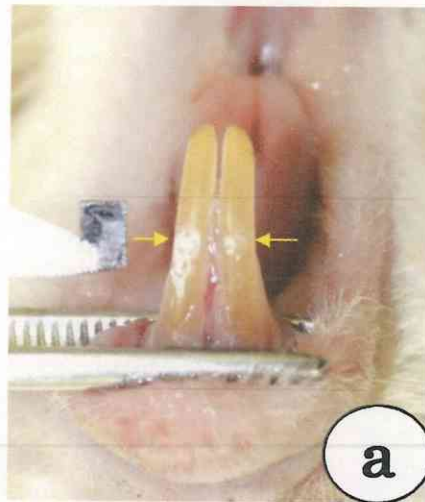


図6：切歯萌出量

a 術後0日目 b 術後2日目

c 術後8日目 d 術後10日目

e 術後14日目

←：マーキング位置

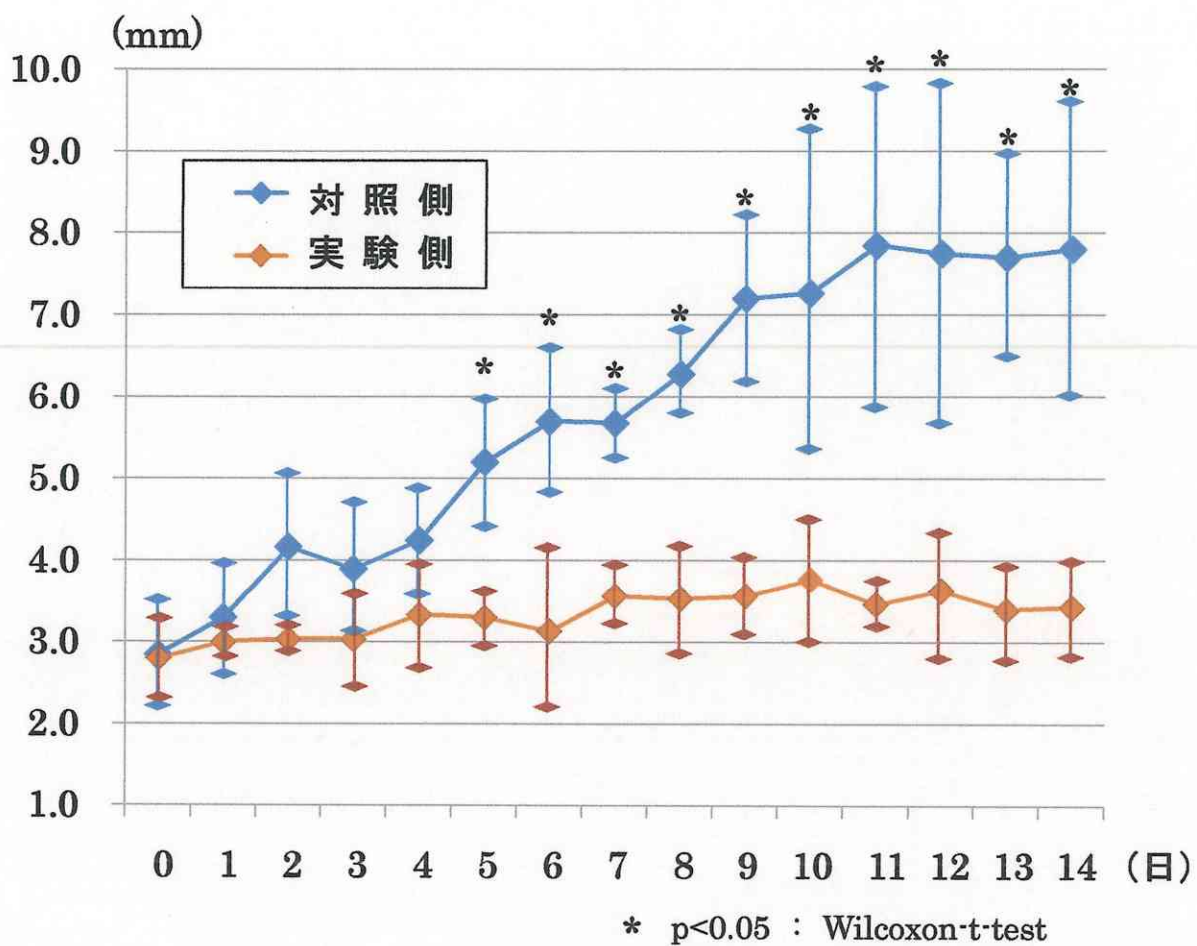


図7 : 切歯萌出量の推移

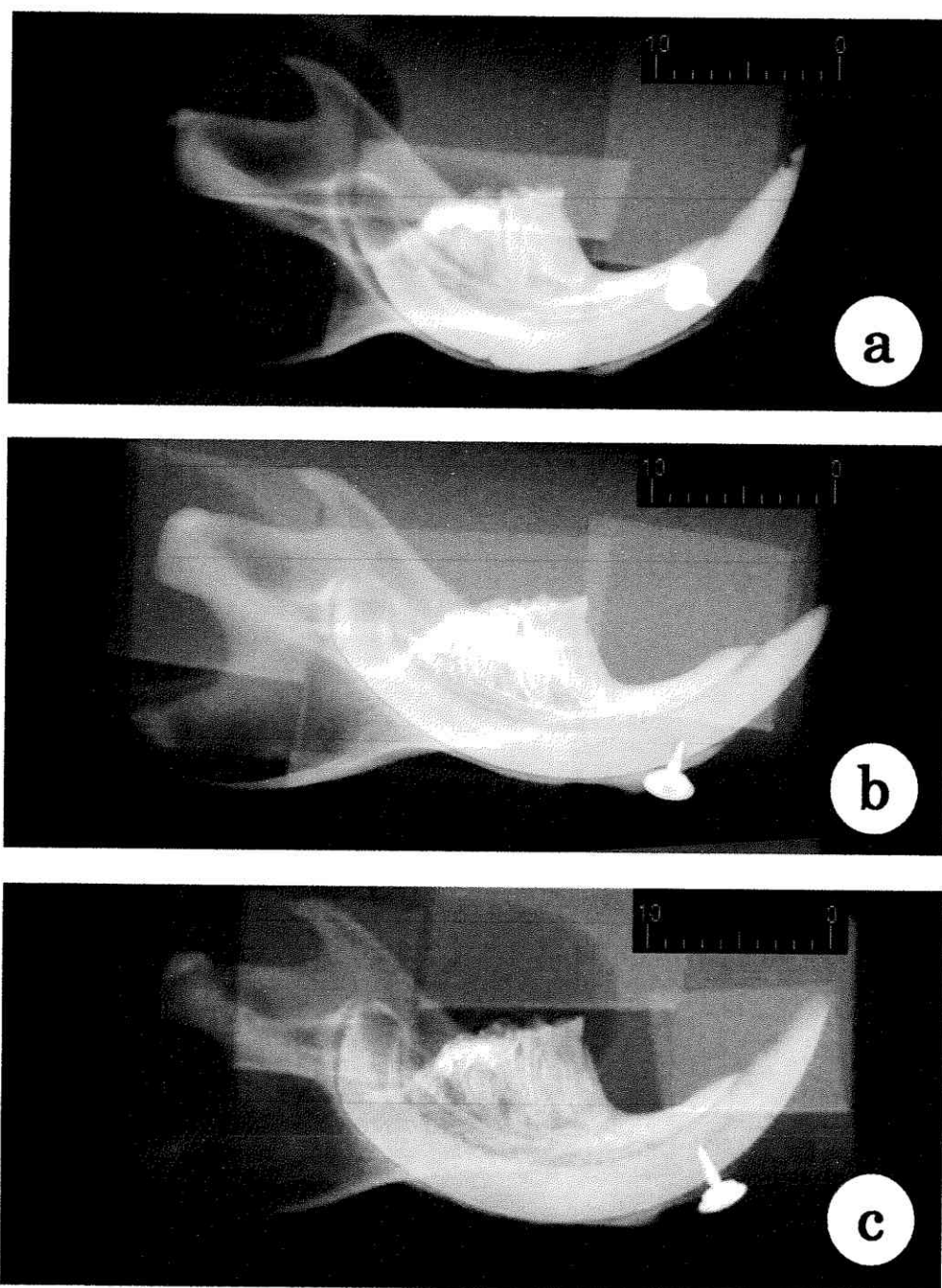


図 8 : 実験側 SOFT X-RAY 像

- a 術後 2 週
- b 術後 8 週
- c 術後 16 週

表1 下顎骨前後長の計測値

単位 (mm)

	術後経過	対照群		実験群
		AVG (SD)		AVG (SD)
①切歯尖端から下顎頭頂までの距離	0週	27.93 (0.51)		28.03 (0.32)
	2週	28.00 (0.45)		28.11 (1.84)
	8週	28.85 (1.25)		28.36 (0.80)
	16週	29.25 (1.42)	*	28.07 (1.30)
②第1臼歯近心歯頸部から下顎頭頂までの距離	0週	16.60 (3.39)		16.97 (1.83)
	2週	17.00 (2.29)		17.10 (1.85)
	8週	17.60 (2.11)	*	17.30 (2.36)
	16週	17.70 (2.11)		17.50 (1.51)
③第1臼歯近心歯頸部からM点までの距離	0週	16.07 (2.95)		16.03 (3.35)
	2週	16.00 (3.12)		17.33 (1.53)
	8週	15.82 (2.78)	*	17.74 (2.45)
	16週	15.95 (1.95)	*	18.52 (3.58)
④切歯尖端からM点までの距離	0週	27.47 (1.06)		27.80 (1.01)
	2週	27.00 (1.80)		27.47 (0.50)
	8週	27.40 (0.02)		27.18 (0.28)
	16週	27.81 (0.89)	*	26.55 (0.61)

*: $p < 0.05$ (Wilcoxon-t-test)

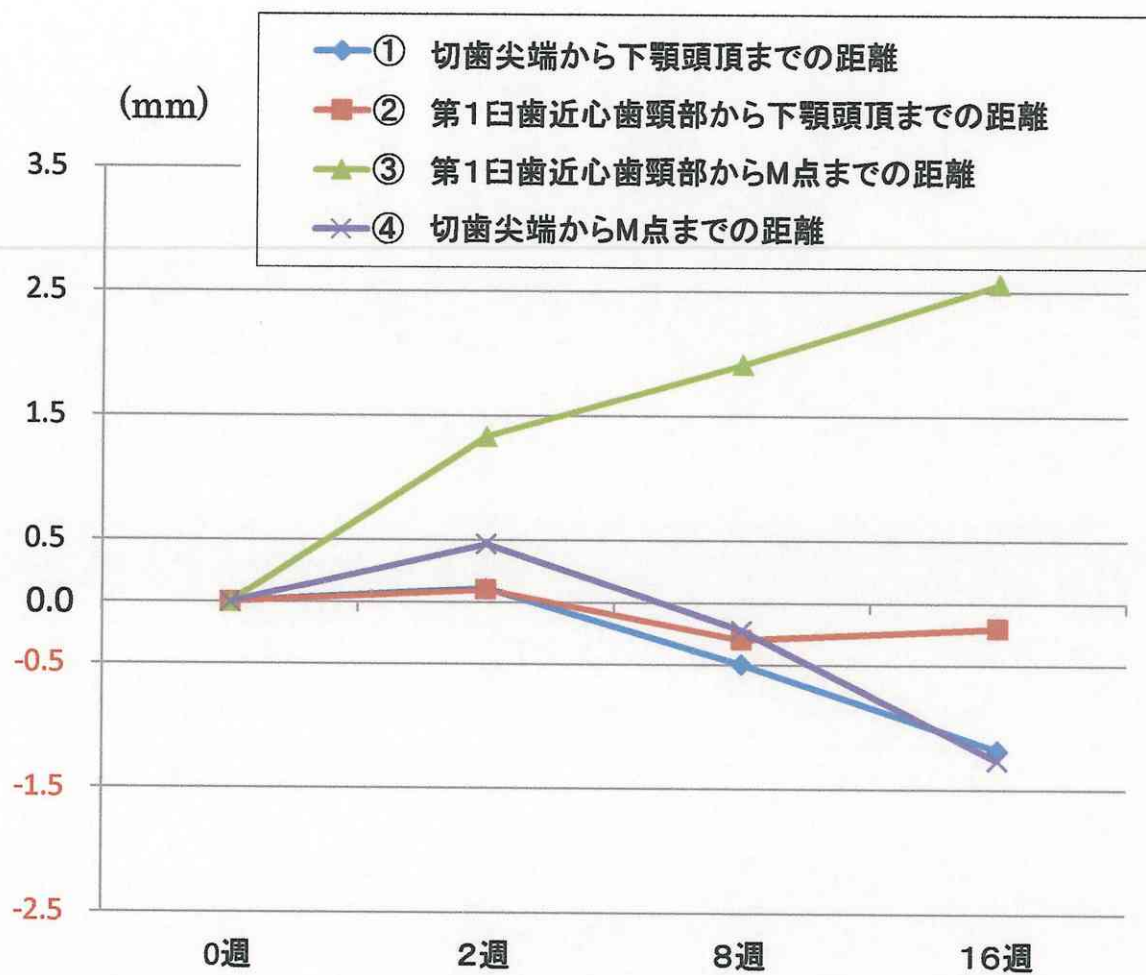


図 9 : 下顎骨前後長の計測値の推移
 (実験側) — (対照側)

表2 下顎骨の垂直的計測値

単位 (mm)

	術後経過	対照群		実験群
		AVG (SD)		AVG (SD)
⑤mpから切歯尖端までの距離	0週	10.97 (1.05)		10.93 (1.00)
	2週	11.00 (1.00)		11.23 (1.36)
	8週	11.63 (1.10)	*	11.07 (1.07)
	16週	11.43 (1.16)	*	10.47 (0.50)
⑥mpから第1臼歯近心歯頸部までの距離	0週	8.37 (1.23)		8.20 (1.70)
	2週	8.00 (1.00)		7.97 (1.00)
	8週	8.50 (0.44)		8.32 (0.26)
	16週	8.57 (0.39)		8.50 (0.30)
⑦mpから切歯根尖部歯槽硬線最先端までの距離	0週	7.60 (0.95)		7.63 (0.81)
	2週	7.50 (1.00)	*	7.87 (1.03)
	8週	7.65 (1.08)	*	8.93 (1.17)
	16週	8.02 (1.03)	*	9.52 (0.51)
⑧mpから筋突起上端部までの距離	0週	15.63 (1.03)		15.90 (1.65)
	2週	15.50 (0.86)		15.75 (1.13)
	8週	15.56 (1.06)		16.25 (1.46)
	16週	15.89 (1.02)		16.82 (1.94)
⑨mpから下顎頭頂までの距離	0週	13.67 (0.25)		13.53 (0.47)
	2週	13.50 (0.10)		13.57 (0.09)
	8週	13.68 (0.02)		13.70 (0.05)
	16週	13.71 (0.19)		13.68 (0.45)

*: $p < 0.05$ (Wilcoxon-t-test)

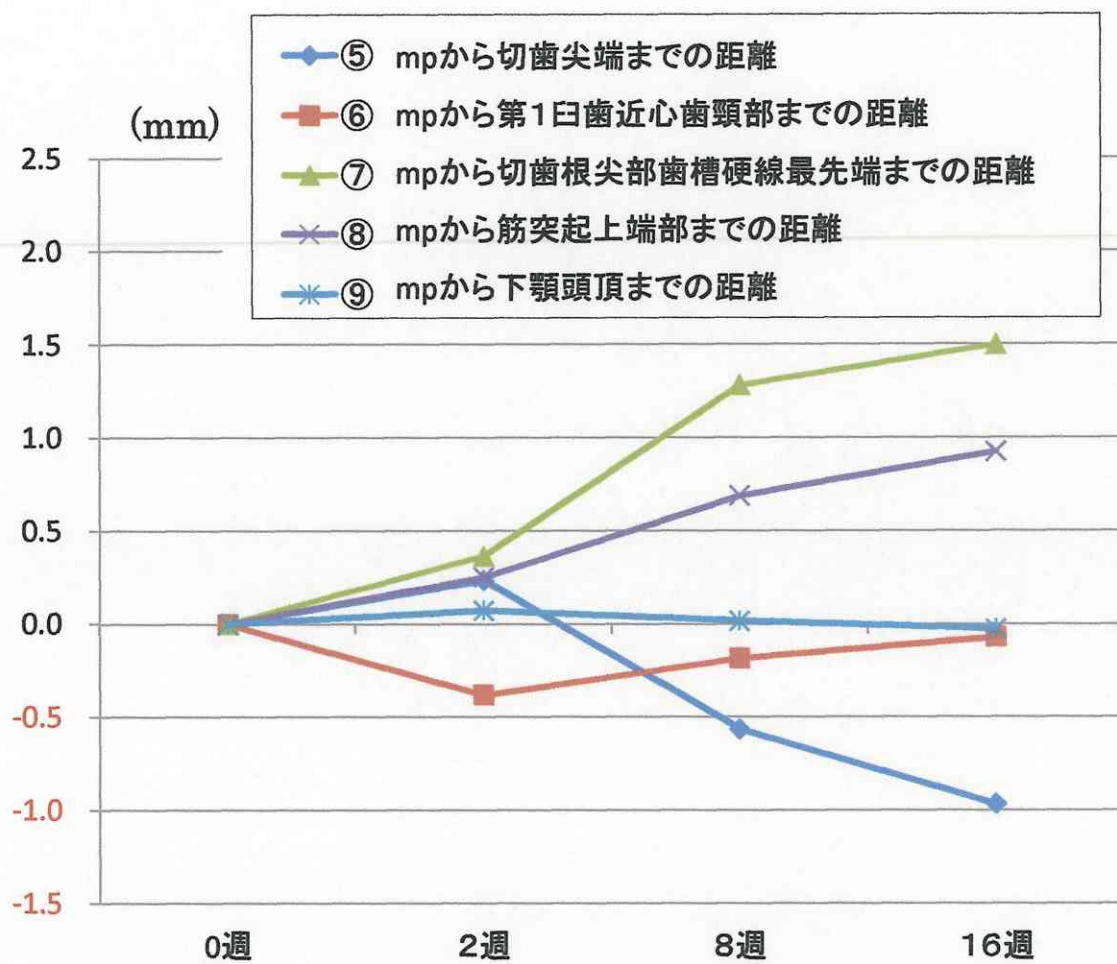


図10：下顎骨の垂直的計測値の推移
(実験側)－(対照側)

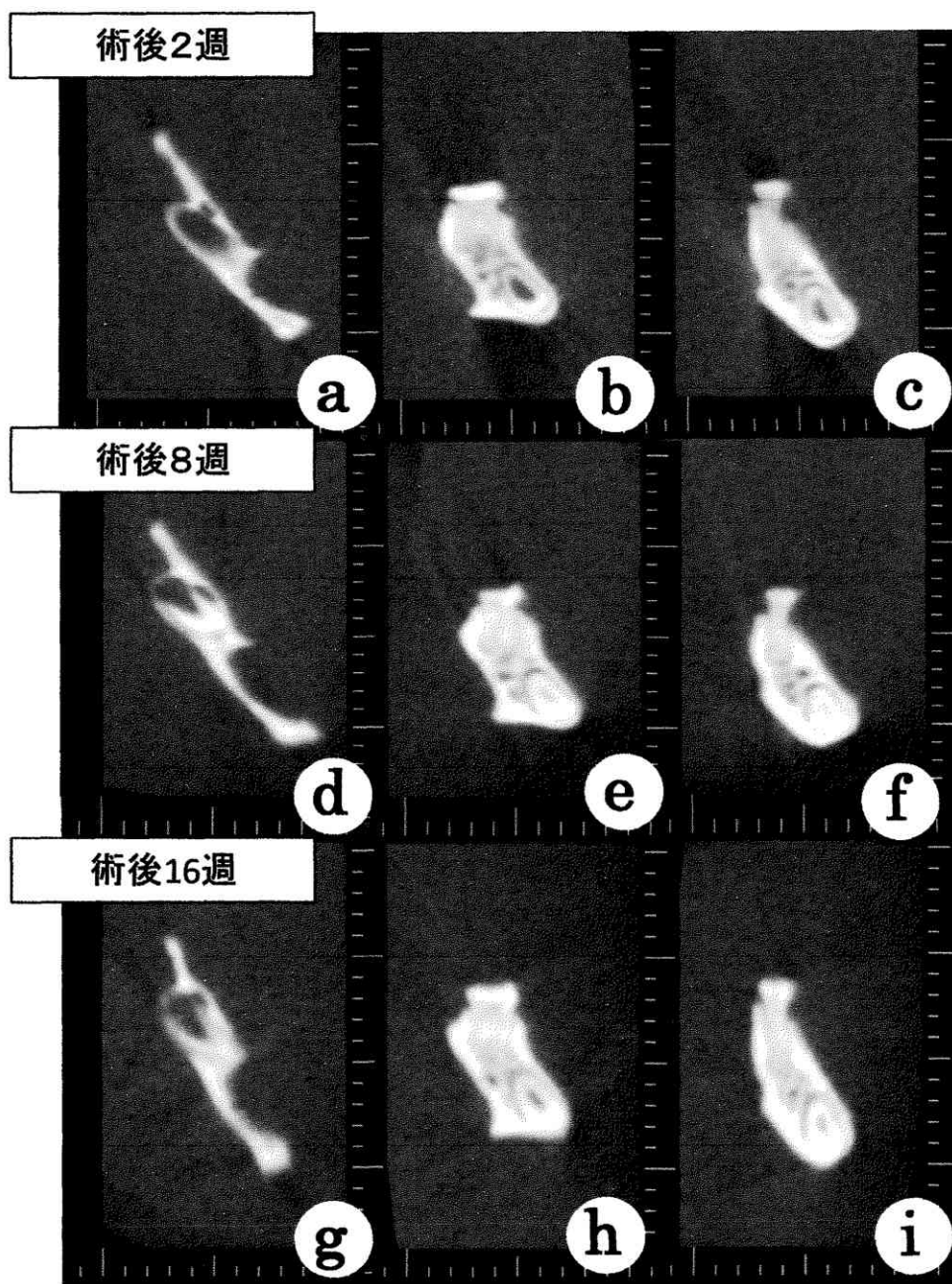


図11：CBCT 横断面像 （実験側）

- | | |
|-------|------------------|
| 術後2週 | a 切歯根尖の歯槽硬線上端相当部 |
| | b 第3臼歯近心根相当部 |
| | c 第1臼歯近心根相当部 |
| 術後8週 | d 切歯根尖の歯槽硬線上端相当部 |
| | e 第3臼歯近心根相当部 |
| | f 第1臼歯近心根相当部 |
| 術後16週 | g 切歯根尖の歯槽硬線上端相当部 |
| | h 第3臼歯近心根相当部 |
| | i 第1臼歯近心根相当部 |

表3 下顎切歯歯根の頬舌的幅径計測値

単位 (mm)

	術後経過	対照群		実験群
		AVG (SD)		AVG (SD)
⑩第1臼歯近心根相当部	0週	2.77 (0.35)		2.77 (0.31)
	2週	2.78 (0.33)		2.80 (0.49)
	8週	2.88 (0.27)		2.90 (0.60)
	16週	2.99 (0.08)		2.81 (0.77)
⑪第3臼歯近心根相当部	0週	2.98 (0.07)		3.02 (0.10)
	2週	3.01 (0.10)		3.11 (0.19)
	8週	3.08 (0.10)		3.09 (0.09)
	16週	3.24 (0.07)	*	3.02 (0.08)
⑫切歯根尖の歯槽硬線上端相当部	0週	2.60 (0.10)		2.58 (0.23)
	2週	2.60 (0.20)		2.66 (0.15)
	8週	2.85 (0.05)		3.17 (0.61)
	16週	2.94 (0.21)	*	3.42 (0.85)

* : $p < 0.05$ (Wilcoxon-t-test)

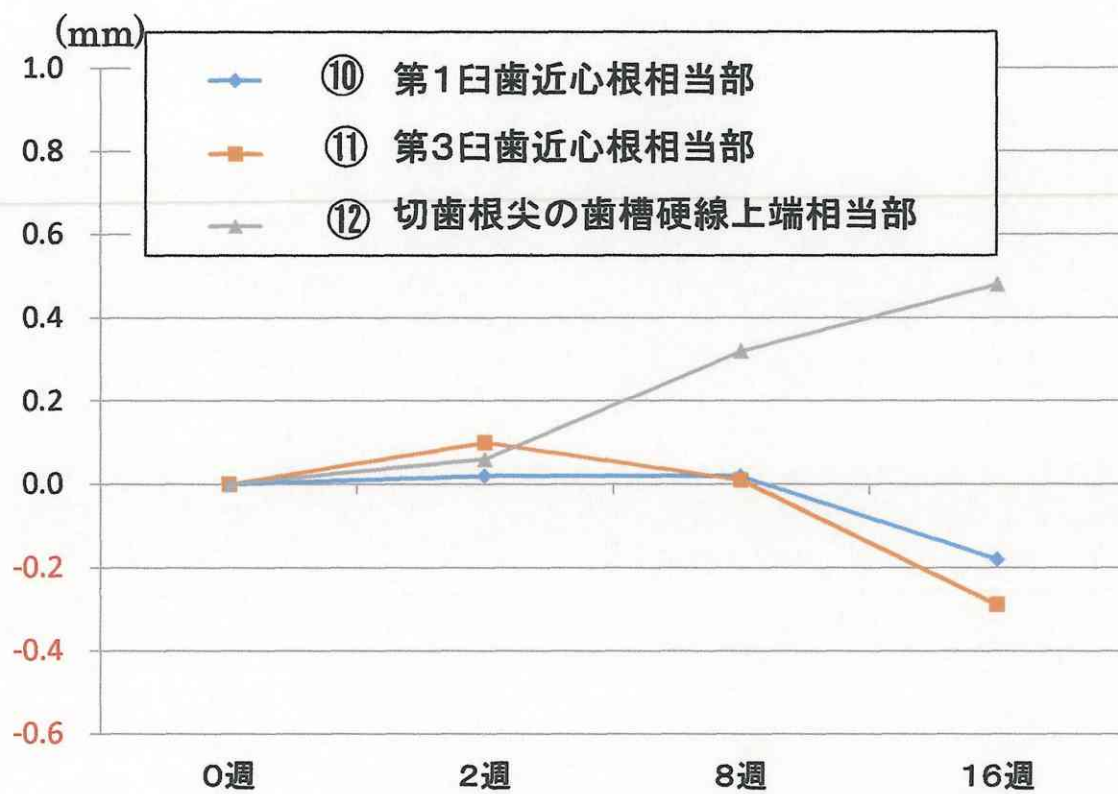


図12：下顎切歯の頬舌的歯根幅径の推移
(実験側) - (対照側)