

〔原著〕 松本歯学 20 : 265~273, 1994

key words : 歯根尖吸収 — 圧下 — 組織化学

## 実験的歯の圧下時に伴う歯根尖吸収 —組織化学的観察—

豊城あずさ, 岡藤範正, 芦澤雄二, 松田泰明  
出口敏雄

松本歯科大学 歯科矯正学講座 (主任 出口敏雄 教授)

長谷川敬保, 佐原紀行, 鈴木和夫

松本歯科大学 口腔解剖学第2講座 (主任 鈴木和夫 教授)

Histochemical Study of Apical Root Resorption After  
Experimental Intrusion Force

AZUSA TOYOKI, NORIMASA OKAFUJI, YUJI ASHIZAWA  
YASUAKI MATSUDA and TOSHIO DEGUCHI

*Department of Orthodontics, Matsumoto Dental College*  
(Chief : Prof. T. Deguchi)

HIROYASU HASEGAWA, NORIYUKI SAHARA  
and KAZUO SUZUKI

*Department of Oral Histology, Matsumoto Dental College*  
(Chief : Prof. Suzuki)

### Summary

Orthodontic treatment commonly causes apical root resorption (AP). Especially, duration of intrusive force have a significant association with AP. However, there has been a little information concerning about the histological changes of periodontal tissues during continuous intrusion of tooth. The aim of this study was to evaluate changes of periodontal tissues during experimental intrusive force by histological and histochemical techniques. Intrusive force by labial-arch appliance on the maxillary left central and lateral incisors of male Japanese monkeys (*Macaca fuscata*) were applied on 1, 3, and 6 months. After three different experimental durations, maxillary anterior bone segments were dissected out, decalcified, and prepared for histochemical study. One month after treatment, many resorption lacunae were found not only apical but lateral surface of the roots. Numerous

mononuclear and multinucleate cells which showed tartrate resistant acid phosphatase (TRAP) activity were observed adjacent to the resorpted root surface.

After 3 months, most of the resorption lacunae of lateral root surface had been repaired. In the apical resion, However, TRAP positive cells were observed on the root and alveolar bone. The periodontal membrane space was significantly widen. Numerous blood vesseles occupaied the space of periodontal menbrane. These histological configurations were also found after 6 month treatment.

The present study suggested that intrusive force might continuously stimulate resorptive activity in apical region of teeth, and induce AP.

## 緒 言

歯科矯正治療により、歯根吸収や歯根の短小化という現象はよく見られるが、特に歯根の短小化は、臨床上からも重要な問題である。

このため、歯根の短小化に関する研究は古くから行われ、1927年 Ketcham<sup>1,2)</sup>がX線写真の所見から、矯正治療を行った患者の21%に歯根吸収および歯根の短小化が見られた報告を始めとし、歯根吸収についてのX線写真所見を用い、年齢差、性差、歯種差、吸収しやすい部位、矯正装置や動的時間との関連性を調べた臨床的報告は現在に至るまで数多くある<sup>3-10)</sup>。しかし、歯根尖吸収の要因やその発現機序については現在でも明らかになっていない。Reitan<sup>11)</sup>は、歯根尖吸収の要因となる移動の様式の一つとして、圧下移動を挙げているが、歯の圧下移動によりどのように歯根の短小化が進行していくのか組織学的に観察した報告は少ない<sup>12-15)</sup>。

そこで、今回われわれは、口腔の状態が人に最も近い雄日本ザルを用い、歯根尖吸収が最も起こりやすいといわれる、上顎中切歯及び側切歯を強い力で圧下し<sup>4)</sup>、1、3、6ヶ月歯根尖吸収を実験的に誘発させ、歯根尖の周囲組織の経時の変化を組織学および組織化学的手法を用いて検討した。

## 材料と方法

### I. 実験動物

実験動物には、ニホンザル5頭(雄、体重7.5~10.0 kg)を使用した。

実験は下記に記した装置を用い、上顎左側の中切歯および側切歯を初期荷重約150 gで圧下移動し、移動1ヶ月、3ヶ月、6ヶ月後にそれぞれ屠

殺した。また、対照としては装置未装着のもの2頭を用い、実験群と同一部位を観察した。

### II. 実験装置および装着方法

実験には、上顎左右犬歯及び上顎左側中切歯、左側側切歯に.022×.025 inch エッジワイズブラケットを鑲着したバンドをカルボキシレートセメントにて装着した。主線は、.021×.025 inch ステンレススチールワイヤー(s. s. w)をセットし、上顎左側中切歯、側切歯を.018×.025 inch s. s. w のカンチレバーを用い、圧下した(図1)。

各月毎に荷重約150 gを加えるためにワイヤーの調節を行った。

### III. レントゲン写真撮影

圧下移動に伴う歯根および歯根周囲の歯槽骨の状態を確認するために、歯の圧下移動後1、3、6ヶ月経過したものについてデンタルX線写真撮影を行った。

### IV. 走査型電子顕微鏡による観察

上顎左側の中切歯および側切歯は、歯根表面を走査型電子顕微鏡にて観察するため、軟組織除去の目的で、10%次亜塩素酸ソーダに1時間浸漬し、5分間超音波洗浄後自然乾燥した。次に、イオン・コーター(Eiko IB3)で150オングストロームの金蒸着を行い、走査型電子顕微鏡(JEOL JCSA-733)にて観察を行った。

### V. 組織学および組織化学的観察

圧下移動後、1、3、6ヶ月で動物を屠殺し、上顎骨を摘出し、4%パラホルムアルデヒド0.5%グルタルアルデヒド混合液にて12時間固定し、カコシル酸bufferで洗った後、10%EDTA液にて約1ヶ月脱灰し、アルコール系列で脱水を行い、JB-4 (Poly Science, USA)に包埋した。

包埋試料は、唇舌的に5 μの連続切片を作製

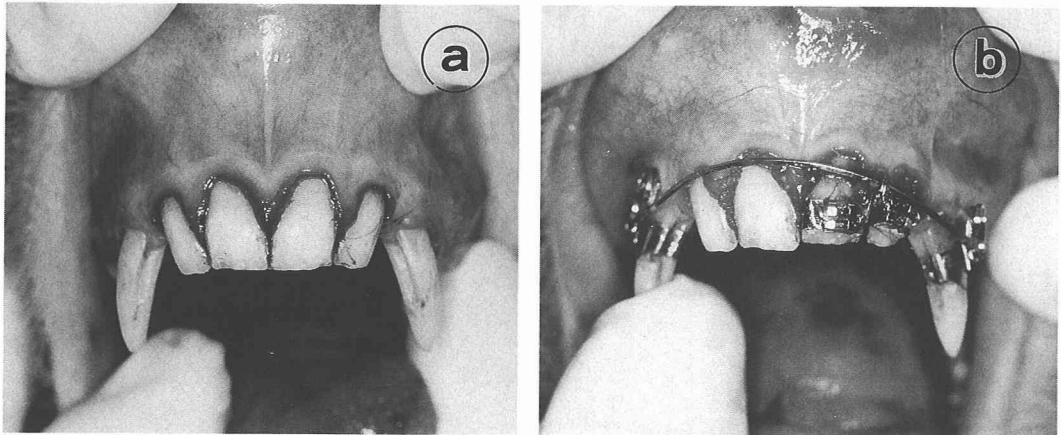


図1：日本ザルの上顎前歯部に装着した装置

a：装置装着前

b：圧下移動後1ヶ月経過したもの

(左側中切歯，側切歯の圧下が認められる)

し，トルイジン・ブルー染色を施し観察した。さらに一部の試料は，組織化学的観察のため，破骨細胞のマーカー酵素である酒石酸抵抗性 Acid phosphatase (TRAP) 活性染色を行った (Burstone<sup>16)</sup>)。反応は，37℃で60～80分インキュベーションを行った。反応後は，ヘマトキシリン染色を施し，光学顕微鏡で観察した。

## 結 果

### I. デンタルX線所見

歯の圧下移動前後での歯根尖部の変化を知るためにデンタルX線写真撮影を行い，以下の結果が得られた。

#### 1. 対照群の所見

中切歯，側切歯共に歯根尖のわずかな彎曲を認めた。しかし，歯槽硬線は明瞭に観察され，歯根尖および歯槽骨の吸収像は全く認められなかった (図2-a)。

#### 2. 圧下移動後1ヶ月の所見

1ヶ月後の，X線所見においては，対照群とはほとんど差は認められなかった。

#### 3. 圧下移動後3ヶ月の所見

対照群では平坦であった歯根表面は，凸凹を呈していた。歯根周囲の歯槽硬線は不明瞭となり，圧下に伴い上顎前歯部歯根尖と上顎洞底までの距離が狭くなっていた (図2-b)。

#### 4. 圧下移動後6ヶ月の所見

圧下移動後3ヶ月の所見と同様に，歯根尖と上顎洞底までの距離は狭く，歯根尖の吸収像が明瞭に観察された。圧下移動後3ヶ月に見られた歯根側面部には凸凹は認められず，歯根側面部は平坦で，修復されている様相を示した (図2-c)。

### II. 走査型電子顕微鏡所見

本実験に用いた圧下移動装置が歯根尖吸収を誘発しているかを確認するため，走査型電子顕微鏡像により歯根表面を3次的に観察した。

#### 1. 移動後1ヶ月

圧下移動後1ヶ月では，歯根側面部および歯根尖部に明瞭な吸収窩は認められなかった。

#### 2. 移動後3ヶ月

圧下移動後3ヶ月では，歯根側面部および歯根尖部の歯根表面に多数の吸収窩が認められた。吸収窩は，歯根側面部では，比較的小さく，浅いのに対し，歯根尖では，大型で深い吸収窩が観察された (図3-a)。

#### 3. 移動後6ヶ月

圧下移動後6ヶ月では，歯根尖全体に大小の吸収窩が広がっており，歯根尖の円形化の傾向を示していた (図3-b)。

以上の結果より，本実験装置を用いることにより，1～6ヶ月の間に歯根尖吸収が起こり，歯根が短小化する傾向が確認された。

### III. 組織所見及び組織化学所見

#### 1. 歯の圧下移動後1ヶ月

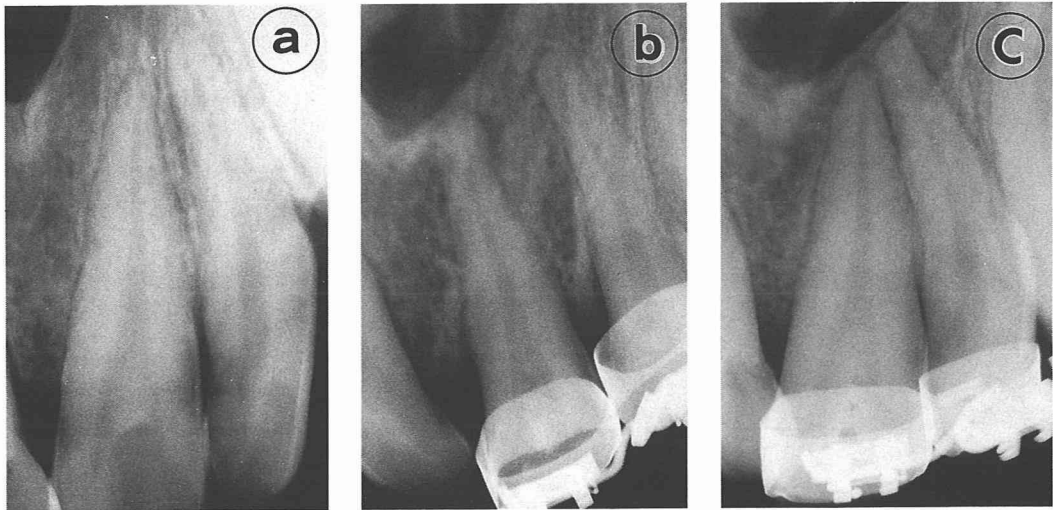


図2：上顎左側中切歯のレントゲン写真

- a：装置装着前
- b：圧下移動後3ヶ月
- c：圧下移動後6ヶ月

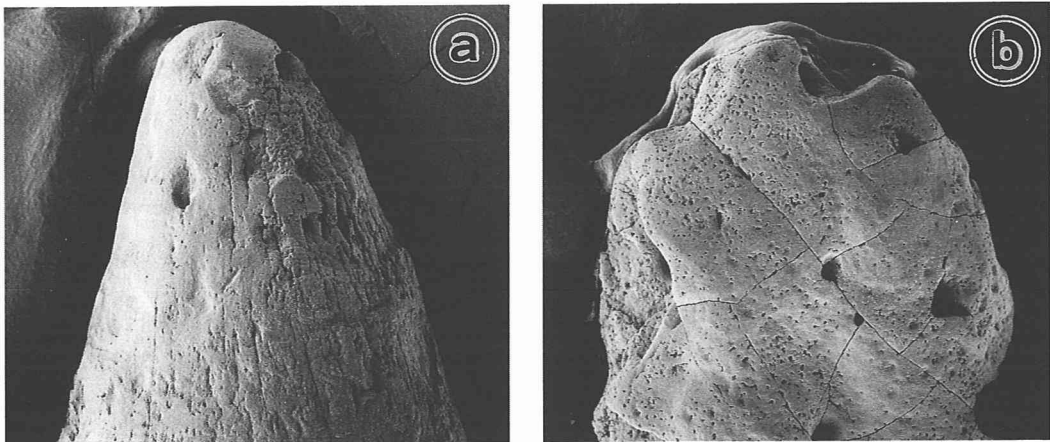


図3：圧下移動後の歯根部の走査電顕像

- a：圧下移動後3ヶ月
- b：圧下移動後6ヶ月

光学顕微鏡観察を行った結果、多数の歯根吸収窩が歯根尖部ばかりでなく歯根側面部においても観察された。歯根側面部での歯根吸収はセメント質ばかりでなく、象牙質にまで及んでいるものも観察された。

TRAP 活性化染色を行った結果、陽性反応を示した単核や多核の破骨細胞が歯根尖に対応した上顎歯槽骨表面に多数観察され、活潑な歯槽骨の改造現象が認められた（図4-a）。また、歯根尖部の

歯根表面にも多数の TRAP 陽性の細胞（破歯細胞）が認められ、盛んに歯根吸収が行われていた（図4-b）。

## 2. 歯の圧下移動後3ヶ月

移動後3ヶ月では、歯根側面部のほとんどの吸収窩は、セメント質によって修復されていた（図5）。しかし、歯根尖部の吸収は、持続している所見を示した。歯根尖部吸収部位では歯根膜腔は明らかに拡大し、多数の血管が観察され、歯周靱帯は

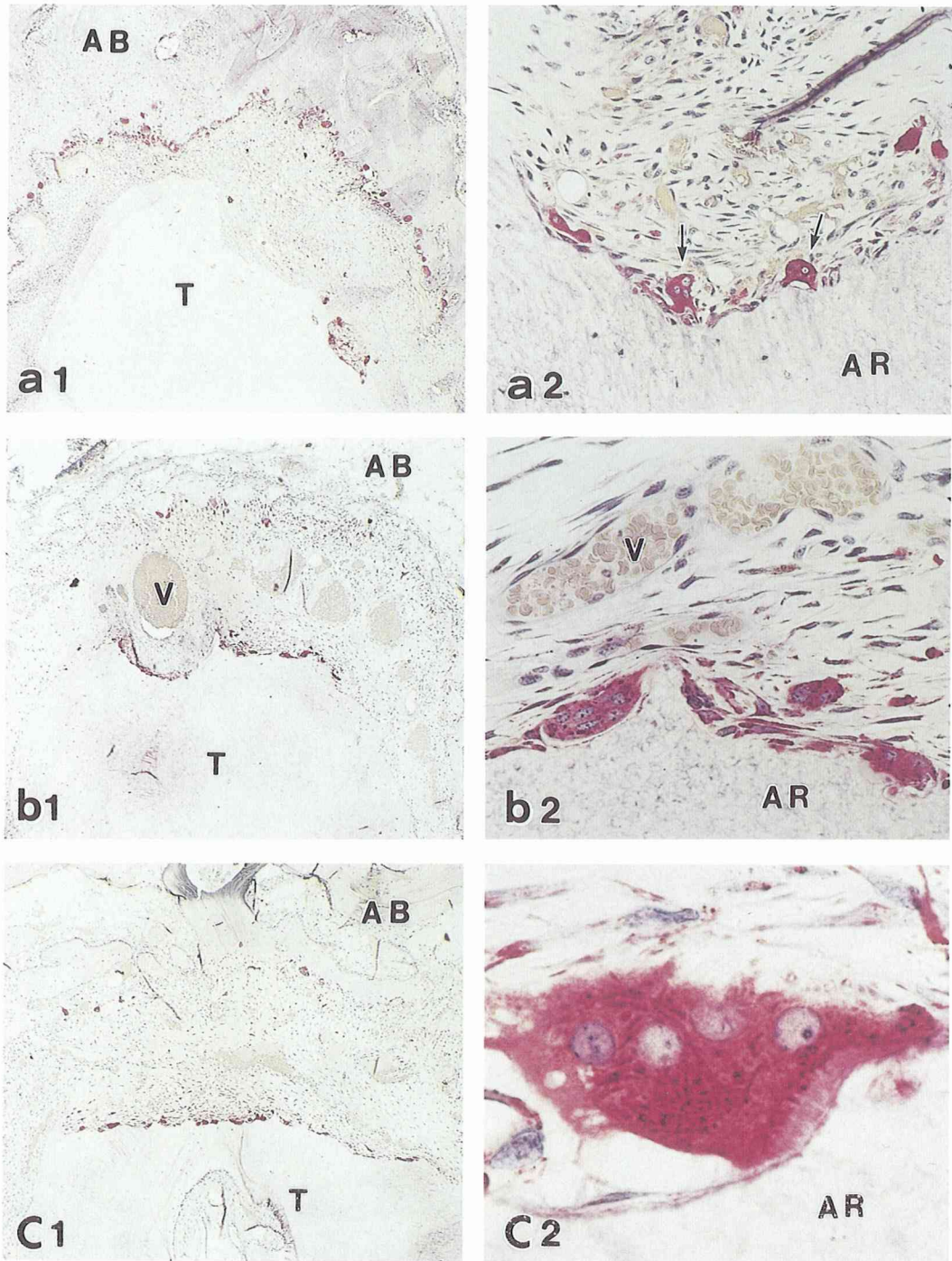


図4：圧下移動後の歯根尖部の光学顕微鏡写真

a-1. 圧下移動後1ヶ月

上顎歯槽骨骨表面に多数のTRAP陽性の破骨細胞が観察される。  
歯根尖部および根側面部に吸収像が認められる。



- a-2. 歯根尖部の吸収窩  
多数の血管が認められ、TRAP 陽性の破歯細胞が吸収窩表面に認められる。(矢印)
- b-1. 圧下移動後 3 ヶ月  
歯根膜腔に多数の拡張した血管 (V) が認められる。  
歯槽骨には吸収像が認められ、歯槽骨陵が著明に減少している。
- b-2. 歯根尖の吸収窩  
拡張した血管に隣接して単核および多核の TRAP 陽性の破歯細胞が認められる。
- c-1. 圧下移動後 6 ヶ月  
歯根尖部の吸収が進行し、歯根尖が直線的に吸収されている。歯槽骨表面には、TRAP 陽性細胞がほとんど認められない。
- c-2. 歯根尖表面の多核の TRAP 陽性の破歯細胞が吸収窩に発達したラッフルド・ボーダーを形成し、歯根をさかんに吸収している。
- T : Tooth  
AB : Alveolar Bone  
AR : Apical root  
V : Blood Vessel

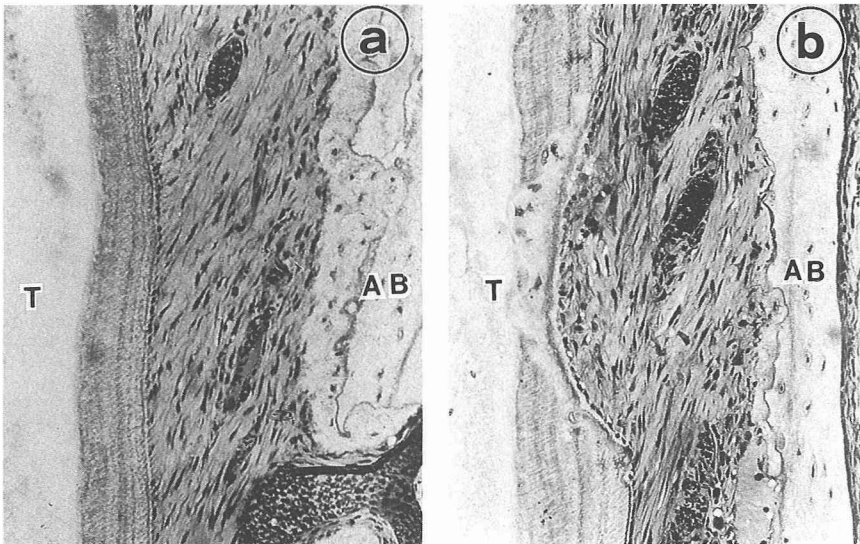


図 5：根側面部の光学顕微鏡写真

- a. 対照群  
セメント質の吸収は見られず、歯根膜線維は歯槽骨からセメント質へ向かって斜走している。
- b. 圧下移動後 3 ヶ月  
根側面部の多数の吸収窩は 3 ヶ月後には歯根膜組織も対照群とほぼ同様の像を示していた。
- T : Tooth  
AB : Alveolar Bone

不明瞭で、肉芽様組織により占められていた (図 4-c, d)。

### 3. 歯の圧下移動後 6 ヶ月

3 ヶ月後の所見と同様に歯根尖部の歯根膜腔は拡張し、多数の血管が観察された。しかし、TRAP 陽性の細胞が観察される歯根尖に対応する上顎骨歯槽骨表面はほとんど吸収されていないことがわかった。しかし、歯根尖部においては 6 ヶ月後も

顕著な歯の吸収が観察され、TRAP 陽性の単核や多核の破歯細胞が歯根尖を盛んに吸収していた (図 4-e, f)。

## 考 察

### I. 実験動物について

本研究と同様な圧下移動に伴う歯根吸収に関する組織学的報告は、ラット、犬、猿などの動物実

験が主である<sup>12-15)</sup>。一般的にヒトによる詳細な組織学的研究は不可能である。そこで今回の実験では、歯列および歯の形態が比較的ヒトと類似しているニホンザルを用いた。走査型電子顕微鏡およびデンタルX線写真を用いた観察結果により、圧下移動にともない歯根尖吸収の進行過程が経時的に確認することができた。

## II. 歯の移動期間、矯正力について

圧下移動時の臨床的な矯正力の大きさについては、Sloan<sup>17)</sup>は上顎4前歯の至適圧下力として、50g~75g、Burstone<sup>18)</sup>は上顎切歯は1歯につき25g、下顎切歯は10g~15g、犬歯は50g、Benchら<sup>19)</sup>は1歯あたりにつき下顎切歯では15g~20g、上顎切歯は40gと報告している。Reitan<sup>11)</sup>は歯の至適挺出力の25g~30gよりも、圧下移動にはもっと弱い力が望ましいと述べている。

歯の圧下移動時の組織変化の観察を目的とした猿の実験においては、二宮<sup>12)</sup>は上顎側切歯に100g、200gの矯正力を最高で3ヶ月、ButcherとTayler<sup>20,21)</sup>は下顎切歯に250gの矯正力を10~16日間、Dart<sup>22)</sup>は下顎第2小臼歯、第1大臼歯および第2大臼歯に450g、600g、900gの矯正力を30日間、Sendroy<sup>23)</sup>が同部位に50g、100g、400gの矯正力を84日間、およびDellinger<sup>14)</sup>は第1小臼歯に10g、50g、100g、300gの矯正力を60日間適用している。

本実験を行うにあたり確実に歯根尖吸収がおこるように、現在までの各研究者の動物実験における矯正力を参考にし、初期荷重約150gを設定した。さらに期間に関しては、長期間の観察はほとんど行われていないので、本実験では、1、3、6ヶ月の比較的長期間の観察を行った。本実験では1~6ヶ月の実験期間中に、初期荷重約150gの圧下移動により歯根尖が確実に吸収することが確認された。以上の結果は、本実験は歯根尖吸収の機序を研究する実験系として適していることを示唆している。

## III. 組織化学的観察について

本実験では、破歯細胞および破骨細胞に特異的に存在するTRAP活性染色を行うことにより、通常の染色と比較し、破歯細胞及び破骨細胞の動態を明確に把握する事ができた。

その結果、歯根側面部に存在する破歯細胞は、核数が比較的少なく平均して1~2核であったの

に対し、歯槽骨では、平均して4~7核の比較的大型の破骨細胞により吸収されていることが明らかになった。また、破歯細胞においても、歯根尖部の吸収窩には歯根側面部で見られた破歯細胞に比べ、核数の多い大型の破歯細胞が高頻度で観察された。破歯細胞の核数と吸収の期間に相関関係があるのか否かは明確ではないが、歯根側面部の吸収は、3ヶ月後で修復されるのに対し、歯根尖部では持続的な吸収が認められ、破歯細胞の核数と吸収の持続性には、何らかの関連性があるものと推察された。

また、TRAP染色を行うことにより、比較的低倍率で破骨細胞を同定する事ができ、歯槽骨全体の改造現象を広い視野で観察できた。その結果、1から3ヶ月では歯根尖部に対応する歯槽骨表面において、盛んな歯槽骨吸収が認められたが、6ヶ月後では同部位の歯槽骨表面の広い領域にわたり、吸収活性がほとんど認められなかった。

歯槽骨の吸収活性の低下と歯根尖吸収の継続との間には何らかの関連性がある可能性が考えられた。

## IV. 歯根吸収について

本実験に用いた装置により圧下移動すると、歯根尖だけではなく歯根側面部においても破歯細胞による歯根吸収が観察された。

3、6ヶ月と期間が長くなるにしたがい、歯根尖部では、吸収が経時的に増大し、臨床で観察される歯根尖が次第に丸くなり、歯根の短小化と類似した、吸収像を観察する事ができた。

本実験の結果から、歯に圧下力を加えたとき観察される歯根吸収の様式は2つに大別する事ができた。一つは歯根側面部での吸収であり、もう一つは歯根尖部の吸収である。歯根側面部では、圧下力を加えると、歯根膜内に初期変化として硝子様変性が観察され、その周囲から破歯細胞による歯根吸収が開始され、吸収が完了すると、吸収窩はセメント質により速やかに修復された。また歯根膜線維の修復も同様に迅速に行われていた。この結果は、従来報告されてきた実験的歯の移動により起こる歯根吸収の組織学的経時変化の報告結果と一致していた<sup>24-28)</sup>。一方これに対し、歯根尖部では、力を加えた後も硝子様変性帯の形成も認められず、持続的な歯根の吸収が観察され、セメント質による修復および歯根膜組織の回復が認め

られなかった。

Sendroy<sup>23)</sup>は、歯根膜の硝子化を伴わずに、歯根吸収が生ずる可能性があることを報告している。本実験の結果でも、歯根尖部の硝子化を認めない部位で、歯根吸収を観察することができ、歯槽骨の直接性吸収と歯根吸収が同時に生ずる可能性があると考えられた。二宮<sup>12)</sup>は実験的圧下移動を行い、硝子様変性を伴わずに歯根尖吸収をしたと報告している。さらに、圧下移動により歯根尖部には硝子様変性が起こりにくい理由として、二宮は猿の歯根端直下には豊富な脂肪骨髄部、脈管が存在し、組織学的改造現象が円滑に行われるために、根尖直下には、歯根膜の硝子化が起こりにくいとして述べている。

今回の観察では、6ヶ月後でも、歯根膜は拡張し、多数の血管と肉芽様組織が観察された。この結果は、圧下移動と間欠的な咬合圧が歯根尖領域の歯根膜組織に常に刺激を与え、それが歯根尖の持続的吸収を引き起こす要因とも考えられた。

今回の実験では動的期間に関するものだけであり、保定期間中については特に観察を行っていない。保定により起こると予想される歯根尖部の修復変化を経時的観察することにより、歯根尖の吸収機序についてより詳細な情報が得られ、保定後の組織学的観察についてもさらに検討が必要と考えられた。

## 結 論

日本猿上顎左側中切歯及び側切歯を1, 3, 6ヶ月間圧下移動し、歯根尖吸収を誘発し、歯根尖吸収部位の歯周組織について組織学的観察及び組織化学的観察を行った結果、以下の結論を得た。

1. 1ヶ月間から6ヶ月間までの実験的圧下移動を行った結果、実験期間中に、歯根尖吸収が持続的に行われていた。

2. 歯根尖吸収が観察された歯根尖部の歯根膜腔は、対照群と比較し、著明に拡大し、多数の血管と肉芽様組織が、歯周靱帯に置きかわっていた。

3. 実験的圧下移動に伴い、歯根側面部にも歯根吸収が認められたが、その吸収窩は圧下移動後3ヶ月には、セメント質で修復され、歯根膜もほぼ正常像を示していた。

以上の結果から、歯根尖吸収は歯根側面部で起こる歯根吸収と、吸収の機序に明確な違いがある

事が示唆された。

## 文 献

- 1) Ketcham, A. H. (1927) A radiographic study of orthodontic teeth movement; a preliminary report. *J. Am. Dent. Assoc.* 14: 1577—1598.
- 2) Ketcham, A. H.: A progress report of an investigation of apical root resorption of vital permanent teeth. *Int. J. Orthodont.* 15: 310—328.
- 3) 戸辺惇毅 (1989) 矯正治療に伴う上顎中切歯歯根尖吸収に関する研究. *日矯歯誌*, 48: 535—545.
- 4) 坂本敏彦 (1958) 矯正治療による歯根吸収の観察. *日矯歯誌*, 17: 54—62.
- 5) DeShields, R. W. (1969) A study of root resorption in treated Class II, Division I malocclusions, *Angle Orthod.* 39: 231—245.
- 6) Phillips, J. R. (1955) Apical root resorption under orthodontic therapy, *Am. J. Orthod.* 25: 1—22.
- 7) 岸本 正, 田中 巽, 曾川修司 (1976) 上顎両側中切歯歯根吸収の1例. *日矯歯誌*, 35: 276—284.
- 8) 幸地省子, 坂本敏彦 (1973) 歯根形成に及ぼす人為的歯牙移動の影響についてのX線写真による観察. *日矯歯誌*, 32: 47—52.
- 9) Rudolph, C. E. (1940) An evaluation of root resorption occurring during orthodontic treatment, *J. Dent. Res.* 19: 367—371.
- 10) Linge, B. O. and Linge, L. (1983) Apical root resorption in upper anterior teeth. *Eur. J. Orthod.* 5: 173—183.
- 11) Reitan, K. (1975) Current orthodontic concepts and techniques. Biomechanical principles and reaction. *In* Graber, T. M., 2nd ed., 56—159, 111—229. W. B. Saunders, Philadelphia.
- 12) 二宮 隆 (1984) 人為的歯牙移動時の組織変化に関する研究, 歯牙圧下時における歯周組織の観察. *歯科学報*, 84: 1423—1479.
- 13) 松本誠人 (1982) 圧下力が歯根ならびにその歯周組織に及ぼす影響についての実験的研究. *岐阜学誌*, 10: 159—179.
- 14) Dellinger, E. L. (1967) A histologic and cephalometric investigation of premolar intrusion in the *Macaca Speciosa* monkey. *Am. J. Orthod.* 53: 325—355.
- 15) 大谷宣夫 (1980) イヌの圧下歯の後戻り変化とその防止に関する研究. *日矯歯誌*, 39: 390—406.
- 16) Burstone, M. S. (1958) Histochemical demonstration of acid phosphatase using AS phosphates. *J. Nat. Cancer Inst.* 21: 523—539.
- 17) Sloan, D. G. (1961) Force values for maxillary anterior depression. M. S. D. thesis, Indiana University School of Dentistry.



- 18) Burstone, C. J. (1977) Deep overbite correction by intrusion. *Am. J. Orthod.* **72**: 1—22.
- 19) Bench, R. W., Gugino, C. F. and Hilgers, J. J. (1977-1978) Bio-progressive therapy, *J. Clin. Orthodont.* Part 1—12.
- 20) Butcher, E. O. and Taylor, A. C. (1951) The effects of denervation and ischemia upon the teeth of the monkey. *J. Dent. Res.* **30**: 265—275.
- 21) Butcher, E. O. and Taylor, A. C. (1952) The vascularity of the incisor pulp of the monkey and its alteration by tooth retraction. *J. Dent. Res.* **31**: 239—247.
- 22) Dart, J. A. (1966) A histologic study of experimental intrusion of multirooted teeth in the macaca mulatta monkey. M. S. D. thesis, University of Washington.
- 23) Sendroy, P. G. (1968) A study of controlled tooth intrusion in the macaca nemestrina monkey. M. S. D. thesis, University of Washington.
- 24) Kvan, E. (1969) A study of the cell-free zone following experimental tooth movement in rat, *Trans. Eur. Orthod. Soc.* **45**: 419—434.
- 25) Rygh, P. (1972) Ultrastructural cellular reactions in pressure zone of rat molar periodontium incident to orthodontic tooth movement. *Acta. Odontol. Scand.* **30**: 575—593.
- 26) Rygh, P. (1973) Ultrastructural changes of the periodontal fibers and their attachment in rat molar periodontium incident to orthodontic tooth movement. *Scand. J. Dent. Res.* **81**: 467—480.
- 27) Rygh, P. (1974) Elimination of hyalinized periodontal tissues associated with orthodontic tooth movement. *Scand. J. Dent. Res.* **82**: 57—73.
- 28) Oppenheim, A. (1944) A possibility for physiologic orthodontic movement. *Am. J. Orthod. Oral. Surg.* **30**: 277—345.