

原 著

下歯槽動静脈・神経の切断が歯の移動に及ぼす影響

広 俊 明

松本歯科大学歯科矯正学講座

Toshiaki HIRO

Department of Orthodontics, Matsumoto Dental College

キーワード：下歯槽動脈，下歯槽神経，歯の移動，procion red

血管や神経が損傷を受けると，その支配下組織に影響を及ぼすといわれ，血管や神経を切断あるいは結紮して行われた実験が若干数報告されている．歯科矯正学の分野においても歯の移動と血管・神経の変化等について行われた研究は種々みられるが，血管・神経の損傷が歯の移動に及ぼす影響について実験されたものはみられない．

そこで雌の成猿9頭を用いて下歯槽動静脈・神経を片側のみ切断し，左右の同名歯に矯正力を加え，血管・神経の損傷が歯の移動に及ぼす影響を観察するために実験を行った．実験に用いた全てのサルは右側を実験側，左側を対照側として，下歯槽動脈・神経を右側の下顎孔部で切断し，下顎左右第一大臼歯を抜去，第二小臼歯と第二大臼歯を相反的に牽引した．移動方法は牽引群として傾斜移動5頭，歯体移動2頭を用い，さらに非牽引群として2頭は矯正力を加えずに観察した．移動開始から約8週間後の第二小臼歯と第二大臼歯間の距離計測を行い，左右の移動距離を比較するとともに，H-E染色およびprocion redによる時刻描記所見を組織学的に観察した．

その結果，対照側に比べ実験側では以下の結果が認められた．

1. 歯の移動距離が少なかった．
2. H-E染色所見では，圧迫側における破骨細胞や吸収窩が少なかった．
3. H-E染色所見ならびに蛍光顕微鏡所見では牽引側の骨の新生量が少なかった．
4. 歯根の吸収の程度には差を認めなかった．
5. 非牽引群においては，計測距離に変化はみられなかったが，組織所見では実験側の骨改造現象が劣勢であった．

以上の結果から，血管・神経の切断は矯正学的な歯の移動に影響を及ぼすことが示唆された．

(日矯歯誌 53(3) : 417~428, 1994)

The effects of resected inferior alveolar artery, vein and nerve for experimental tooth movement in *Macaca fuscata*

It has been said that the blood circulation and nerve system have a important role of bone remodeling. However, there are no articles researched for the relation between blood circulation, nerve system and bone remodeling induced by orthodontic tooth movement. The purpose of this study was to clarify the effect of absconded artery, vein and nerve on orthodontic tooth movement.

Nine of adult *Macaca fuscata* were used after quarantine. After lower first molar extraction, infra alveolar artery, vein and nerve were absconded at the site of right mandibular foramen, and orthodontic force was applied for lower second bicuspid to second molar of both sides. The range of experimental period were 2 weeks shortest to 11 weeks longest. Two different orthodontic forces were applied, as tipping movement for 5 monkeys and 2 for bodily movement, and the rests were observed as non-forced.

The distance between the second bicuspid and the second molar was measured before and after tooth movement and compared right side with left side.

The specimens were also embedded for hematoxylin-eosin sections and procion red sections.

The results obtained in the experimental side as follows :

1. The quantity of tooth movement was decreased.
2. The number of Howship's lacuna or osteoclasts

at pressure area were tended to be less.

3. The formation of new bone at tension side was reduced.

4. There were no difference in root resorption between experimental side and control side.

5. Normal, physiological tooth movement and similar histological reactions were seen in both sides of non-forced group.

(J. Jpn. Orthod. Soc. 53(3):417~428, 1994)

緒 言

近年、骨格性下顎前突症をはじめとする顎変形症等に対する外科的矯正治療は、もはや普遍化されている。しかし、その手術に際して血管や神経を傷害する可能性があり、少数ながら症例が報告されている¹⁾。また、外科的矯正治療ならずとも、腫瘍、嚢胞等の顎骨内病変によって顎骨の切除、離断等を余儀なくされ、血管や神経が切断されることもある。さて、そのような場合に血管や神経が損傷されたことが支配領域に及ぼす影響は、その損傷を受けた時期によっても異なるといわれ、血管・神経を結紮あるいは切断して行われた実験が報告されている。すなわち、成長が終了した個体においては、その支配下の臓器や組織に変性や萎縮などの退行性変化を惹起し²⁾、また成長途上の個体においてはさらに重篤で、その支配下組織の成長発育にまで影響を及ぼすといわれている^{3,4)}。これら血管や神経の損傷に関するものには、循環障害が歯や歯周組織に及ぼす影響について⁵⁾、神経線維の消長について⁶⁾、変性と再生⁷⁾について、歯髄神経への影響について²⁾などの報告がみられるが、血管・神経の損傷が矯正学的な歯の移動に及ぼす影響について実験されたものはみられない。

そこで、血管・神経の損傷が歯の移動に及ぼす影響を知るために成長が終了したサルを用いて下歯槽動静脈・神経を右側のみ切断し、左右の同名歯に矯正力を加えて、その移動量および組織学的所見について比較を行った。

材料と方法

1. 材 料

実験には雌の *Macaca fuscata* (体重 9~13 kg) 9 頭を用いた。これらのサルは上下の第三大臼歯が全て萌出しており、歯牙咬耗の程度⁸⁾から成猿であると判断されたもので、検疫のため個別ケージで 1 カ月以上飼育した後、実験に供した。

2. 手術方法の検討

サル下顎骨のドライスケルを参考に、下歯槽動静脈・神経の切断方法について文献的検討^{2~4,7,9)}を行った。その結果、外科的侵襲がなるべく少なく、また歯および周囲組織に損傷を与える危険性が少ないという方法として、以下の術式で行った。すなわち、口外法で下顎隅角部内側に下顎縁に沿って皮膚切開を加え、

内側翼突筋を剝離、下顎枝に沿って深部に進み、下顎孔に達し、下顎孔部にて下歯槽動静脈・神経を切断した。同様の手術をすべてのサルの右側について行い、右側を実験側、下歯槽動静脈・神経の切断を行っていない左側を対照側とした。

3. 実験方法

1) 下歯槽動静脈・神経の切断

Ketalar® 10 mg/kg の筋肉注射で麻酔導入を行った後、Somnopentyl® 0.3 ml (ペントバルビタールナトリウム 19.4 mg)/kg の静脈注射を行い、全身麻酔下にて手術を開始した。術野はバリカンで剃毛した後、3%オキシドールにて清拭し、先に検討した方法にしたがって下顎孔に達した。次に下歯槽動静脈・神経束を下顎孔付近で外科用絹糸にて 2 カ所結紮し、両結紮の中間部で動静脈・神経を束として切断した。切断端は再癒着を防止するために下顎孔部に骨蠟を盛り、完全に包埋した。

対照側は sham operation として下顎孔に達するまで同様の手術を行い、血管神経の切断は行わずに縫合した。

手術終了後、セボラン注射液® 100 mg/kg を投与し、術後の回復を待った。

2) 歯の移動方法

下歯槽動静脈・神経の切断術を行った 2 週間後に下顎左右第一大臼歯の抜去を行い、抜歯からさらに 2 週間後に歯の移動を開始した。移動方法は、傾斜移動を 5 頭、歯体移動を 2 頭について行い、さらに非牽引群として 2 頭は矯正力を加えずに観察した。なお、全てのサルの被移動歯の対合歯は咬頭を削除し、咬頭干渉を除去した。詳細は以下のとおりである。

① 牽引群

i) 傾斜移動を行ったもの

5 頭の実験サル (E1~E5) について、以下に述べる方法で傾斜移動を行った。すなわち、第二小臼歯および第二大臼歯の頬舌側エナメル質を 30%正リン酸で酸処理を行った後、リンガルボタンを MMA 系接着性レジン (オルソマイト社製スーパーボンド®) にて接着した。そして第二小臼歯-第二大臼歯間の荷重が頬側 50 g、舌側 50 g の計 100 g となるよう、エラストエックチェーン (ロッキーマウンテン社製リングレット®) を装着し、傾斜移動を行った (図 1)。エラストエックチェーンは 2 週間ごとに新しいものに交換した。交換に際しては左右側のエラストエックチェーンの荷重を測定し、初期荷重と同等の矯正力となるように調整した。

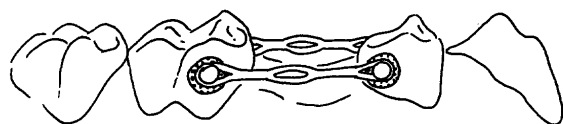


図 1 傾斜移動に用いた装置

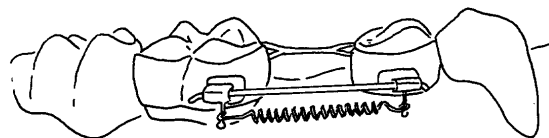
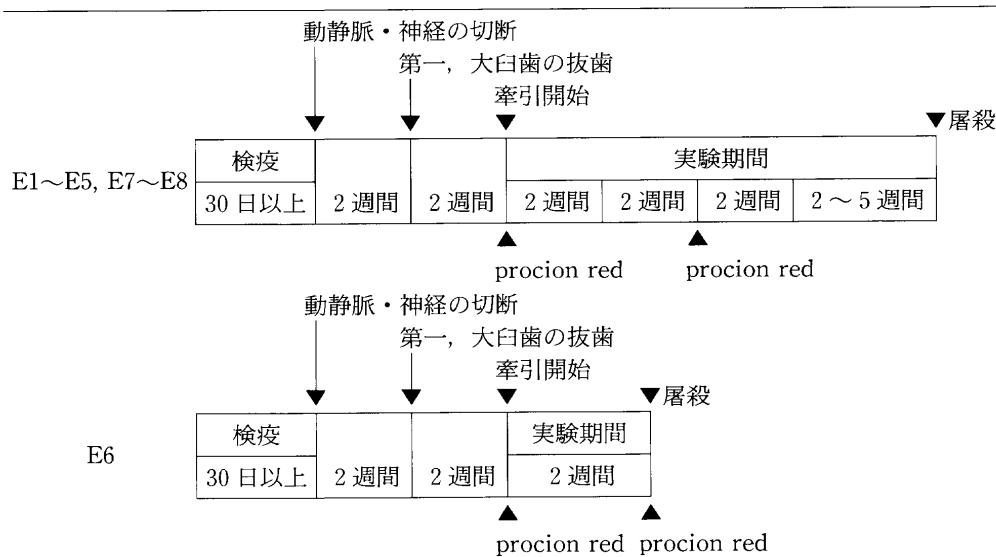


図 2 歯体移動に用いた装置

表 1 実験方法



ii) 歯体移動を行ったもの

さらに2頭の実験サル (E6, E7) について、歯体移動を行った。すなわち第二小臼歯と第二大臼歯に矯正用バンドを装着し、頬側には0.018スロットのフック付きバカルチューブを、舌側にはフックを電気溶接した。バカルチューブには0.016の18-8ステンレススチールワイヤーをティップやローテーションなどの力が加わらないように装着した。矯正力として頬側のフックにはクローズドコイルスプリング (UNITEC/3M 社製 coil spring 341-340, MONROVIA, CA) を約100gとなるように、舌側にはエラスティックチェーンを約50gとなるように装着し、歯体移動を行った (図2)。2週間ごとに、コイルスプリングとエラスティックチェーンを矯正力を測定した上で、新しいものと交換した。

② 非牽引群

2頭のサル (E8, E9) は、第一大臼歯を抜歯後、矯正力を加えることなく経過を観察した。

実験期間中、サルはモンキーチェア上にセットし、固形飼料 (オリエンタル酵母 KK製, AB袋) を水に浸して軟らかくして与えた。

実験は最短で2週間、最長で11週間行い、それぞれのサルについて歯の移動開始時と終了時の第二小臼歯-第二大臼歯間距離を計測し、移動距離の差を左右側で比較した。なお、本実験では、口腔内にノギスが容易に挿入できたため、直接計測を行い、計測に際しては

ノギスの測定杆が咬合平面と垂直になるよう注意しながら5回計測し、3回以上一致したものを測定値とした。

3) 組織学的検索

実験の終了したサルを全身麻酔下にて屠殺、下顎骨を切断し、10%中性ホルマリンで浸漬固定を行ったのち、通法に従い脱灰、セロイジン包埋を行い、各ブロックからおおよそ18μの組織切片を作成し、Mayerのヘマトキシリン・エオシン重染色 (H-E) を施し、光学顕微鏡にて実験側と対照側の同部位を比較観察するとともに、各標本にボディアン染色-石川変法¹⁰⁾を行い、下歯槽神経の縦断切片の検鏡を行った。

さらに、歯の移動によって形成された骨を組織切片上で観察するために実験期間中、石井¹¹⁾の方法を参考にして procion red P-8B® を4週間の間隔で腹腔内投与し、時刻描記を行った。ただし E6 のみは、実験期間が2週間と短いため、2回目の投与は初回の投与から2週間後に行った (表1)。時刻描記には、塩酸テトラサイクリンやカルセインを用いた報告が比較的多く見られるが^{12,13)}、procion系の生体染色剤は蛋白質と結合するため¹⁴⁾、これらとは異なり脱灰切片上でも観察が可能である。この無染色標本は無蛍光スライドガラス (Matsunami 製 No. 3313 0.7~0.9 mm) に封入し、落射型蛍光顕微鏡 (Leitz 製) 下で実験側と対照側の同部位を観察した。

なお、Filter はあらかじめ高感度分光蛍光光度計 (日

表 2 移動方法, 移動期間, 実験前後の第二小臼歯—第二大臼歯間距離および体重

	移動方法	移動期間 (週)	接触点間距離 (mm)			体重変化 (kg)	
			実験前	実験後	移動距離	実験前	実験後
E1	傾斜移動	8	R : 7.7 L : 7.9	6.6 6.5	1.1 1.4	13.1	11.9
E2	傾斜移動	8	R : 6.9 L : 6.8	5.1 3.1	1.8 3.7	12.2	10.6
E3	傾斜移動	8	R : 7.8 L : 7.8	6.4 5.9	1.4 1.9	13.5	11.3
E4	傾斜移動	8	R : 7.0 L : 7.0	4.9 4.1	2.1 2.9	11.2	10.9
E5	傾斜移動	9	R : 6.7 L : 6.7	3.8 3.0	2.9 3.7	12.5	12.3
E6	歯体移動	2	R : 7.5 L : 7.6	7.2 7.2	0.3 0.4	13.0	11.3
E7	歯体移動	9	R : 7.6 L : 7.6	5.2 4.7	2.4 2.9	12.9	12.2
E8	非 牽 引	8	R : 5.2 L : 5.1	5.2 5.1	0 0	11.6	10.5
E9	非 牽 引	11	R : 5.9 L : 5.7	5.9 5.7	0 0	10.8	10.1

立製作所製 605-10 S)を用いて光学的性質を調べた結果から, Leitz filter system の中から N2 ブロックを用いた。

実験結果

1. 歯の移動距離について

実験前後の左右側の下顎第二小臼歯と第二大臼歯の接触点距離を計測し, 左右側の比較を行った結果, 傾斜移動群においては対照側の移動距離は最大 3.7 mm, 最小 1.4 mm であったのに対し, 実験側では最大 2.9 mm, 最小 1.1 mm にとどまっており, 5 頭の実験サル (E1~E5) 全てが実験側の歯の移動距離の低下を示した (表 2)。

歯体移動を行った 2 頭のサルにおいても同様の傾向はみられ, 移動距離は対照側 2.9 mm, 0.4 mm であったのに対し, 実験側では 2.4 mm, 0.3 mm と, やはり実験側の移動距離の低下がみられた。

これら歯の移動を行った 7 頭について, 実験側と対照側の歯の移動距離の差について有意差検定を行ったところ, $t=3.161$ となり, 5% の危険率で有意な値を示した。しかしながら非牽引群においては, 抜歯後 8 週間経過したもの, 11 週間経過したものの両方において接触点間距離に変化は認められなかった。

2. H-E 染色所見

① 牽引群

i) 傾斜移動を行ったもの

左右側で移動量の変化が認められたことから組織学的に検索を行った。

図 3 は, 傾斜移動を行ったサル (E1) の第二小臼歯の弱拡大像である。実験側, 対照側ともに, 歯根の根尖側約 1/3 を中心とした典型的な傾斜移動所見をみることが出来る。

対照側においては, 圧迫帯の著明な骨の吸収像ならびに牽引帯の活発な骨添加像が観察されるのに対し, 実験側においては骨改造現象が劣勢である。

図 3 に示した切片を強拡大で観察してみると, 両者の差は一層明確に観察された。すなわち, 圧迫側である遠心根遠心側歯頸部では, 対照側においては歯槽骨壁に多数の破骨細胞や吸収窩がみられ, 活発な骨吸収像が観察されるのに対し, 実験側では破骨細胞や吸収窩の出現が少なく, 対照側に比べて実験側の骨改造現象が劣っている (図 4)。また, 歯根膜内の毛細血管は対照側では多数確認されるのに対し, 実験側ではその数も減少しており (図 4), 一部には血管の膠着像や石灰化像も認められた (図 5)。

E2 の第二大臼歯の圧迫側である遠心根遠心側の根尖部においても同様に, 対照側では歯槽骨壁一面に吸収窩が見られ, 破骨細胞による活発な骨吸収像が観察されるのに対し, 実験側では吸収窩の出現もまばらで, 骨の吸収が緩慢である様子が観察される (図 6)。

ii) 歯体移動を行ったもの

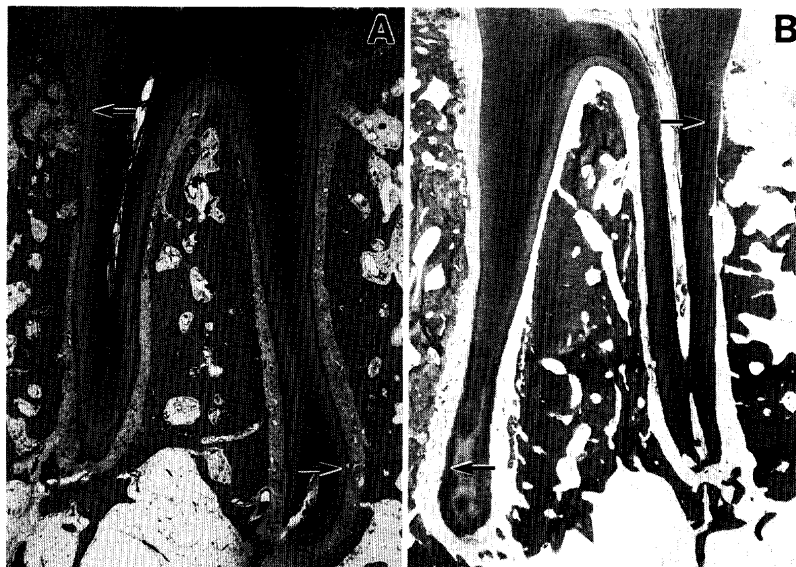


図 3 傾斜移動を行ったサルの第二小白歯の弱拵像 (E3, $\times 10$)

A: 実験側, B: 対照側. 矢印は矯正力の方向を示す. 歯根の根尖側約 1/3 を中心とした典型的な傾斜移動所見をみることができる. 対照側では圧迫側の著明な骨吸収ならびに牽引側の骨添加像がみられるのに対し, 実験側では骨改造現象が劣勢である.

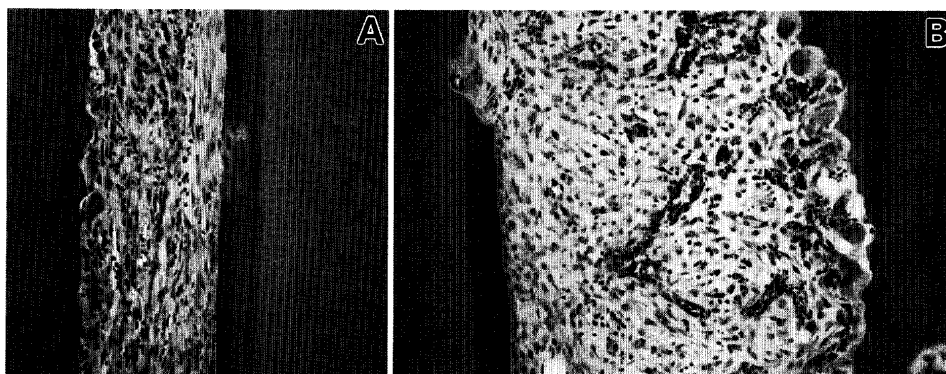


図 4 同切片の圧迫側の強拵像 (E3, $\times 200$)

A: 実験側, B: 対照側. 圧迫側である第二小白歯遠心根の遠心側歯頸部歯槽骨壁. 対照側では歯槽骨壁に多数の破骨細胞や吸収窩がみられるのに対し, 実験側では破骨細胞や吸収窩の出現が少なく, 骨改造現象が劣っているのが観察される.



図 5 実験側第二小白歯の根尖部にみられた血管の膠着像 (E5, $\times 200$)

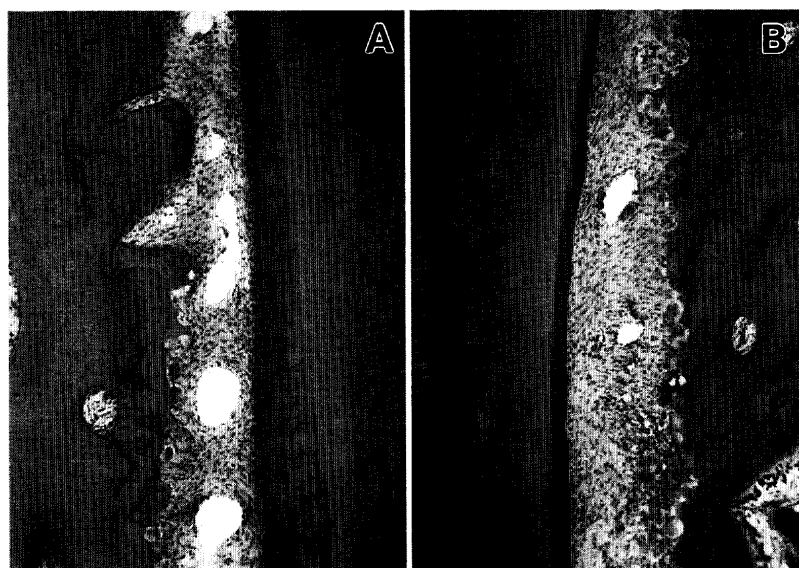


図 6 傾斜移動を行ったサルの第二大臼歯の圧迫側所見 (E2, $\times 100$)
A: 実験側, B: 対照側, 対照側に比べて実験側の破骨細胞, 吸収窩の数に減少傾向が認められた。

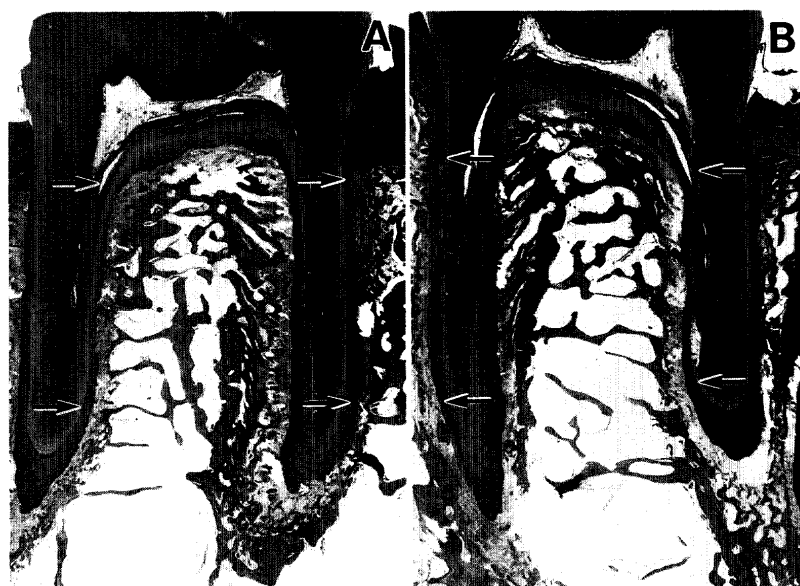


図 7 歯体移動を行ったサルの第二大臼歯の弱拡大像 (E7, $\times 10$)
A: 実験側, B: 対照側, 矢印は矯正力の方向を示す。実験側, 対照側ともに近心側歯槽骨壁全体に骨の吸収像を, 遠心側全体に骨の添加像をみることができ, 被移動歯が歯体移動された様子が観察される。

歯体移動を行った第二大臼歯を弱拡大で観察してみると, 実験側, 対照側ともに近心側の歯槽骨壁全体に骨の吸収像を, 遠心側全体に骨の添加像をみることができ, 被験歯が歯体移動された様子が観察される (図 7). 傾斜移動では実験側の骨改造現象が劣勢であったが, 同様の傾向は歯体移動においても認められ, 牽引側の新生骨形成の低下 (図 8) ならびに, 圧迫側の吸収窩, 破骨細胞の数の減少 (図 9) が観察された。

② 非牽引群

非牽引群においては, 実験側, 対照側ともに計測距

離には変化がみられなかった。しかしながら, 組織切片上では根尖部付近に僅かに破骨細胞を認め (図 10), 強拡大で観察してみると, やはり実験側のほうが破骨細胞の数が少ないのが観察された (図 11)。

3. Procion red による時刻描記所見

次に, Procion red による時刻描記線の観察を左右側の同部位で行った。

その結果, procion red による 2 本の蛍光線の間隔は傾斜移動の牽引側においては, 対照側に比べて実験側が明らかに狭く, 骨の形成量が少ないことが確かめ

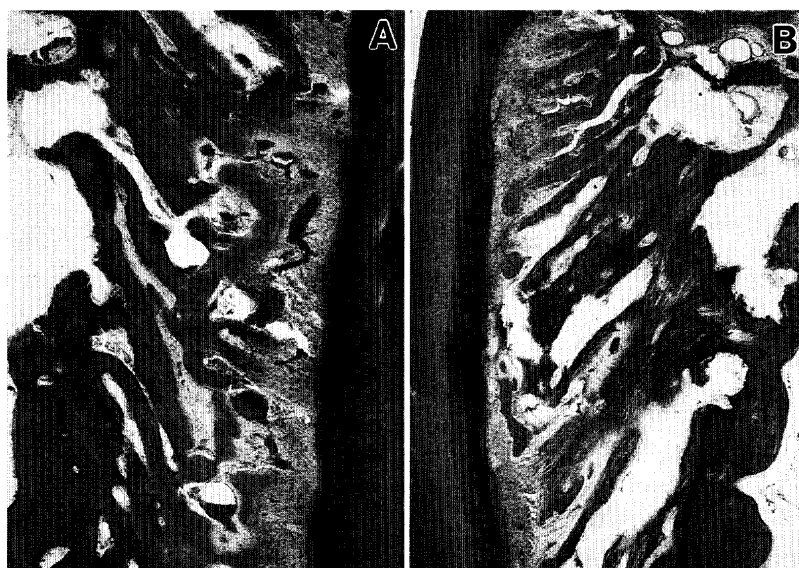


図 8 図 7 の近心根遠心側の強拡大 (E7, $\times 40$)
A: 実験側 B: 対照側

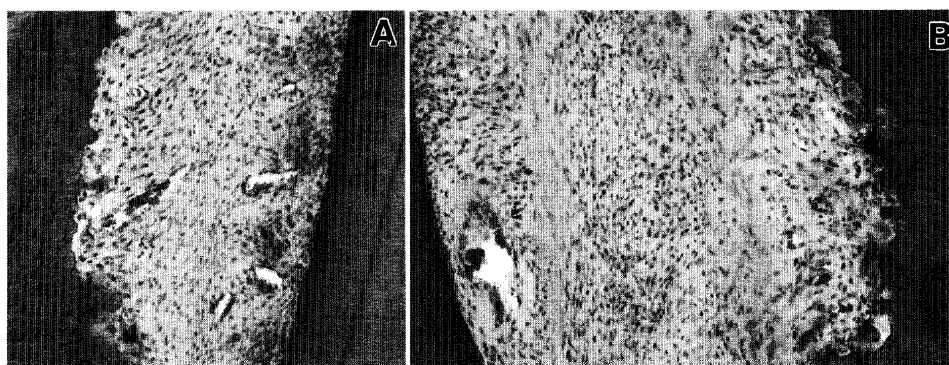


図 9 歯体移動を行ったサルの第二小臼歯の圧迫側所見 (E7, $\times 200$)
A: 実験側, B: 対照側. 傾斜移動を行ったサルと同様に実験側の骨改造に低下がみられた.

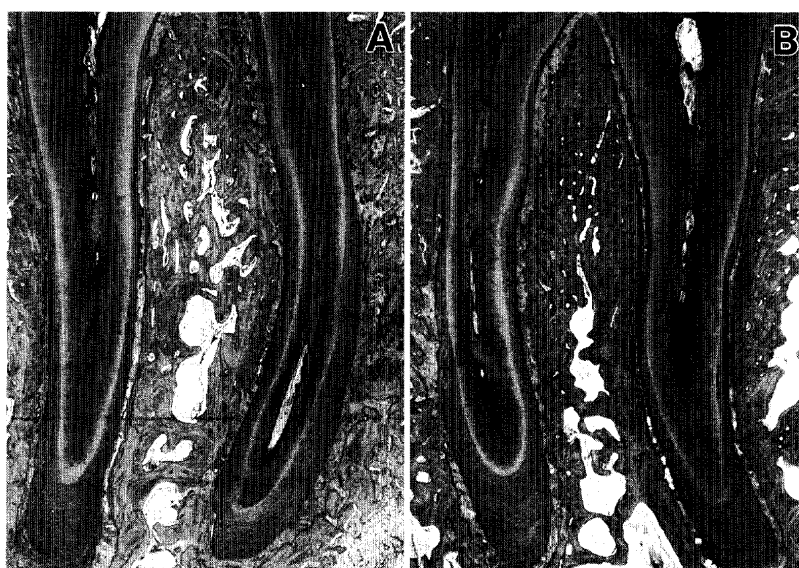


図 10 牽引を行わなかったサルの第二小臼歯の弱拡大 (E8, $\times 10$)
A: 実験側, B: 対照側. 根尖部に僅かに骨改造所見を認めた.

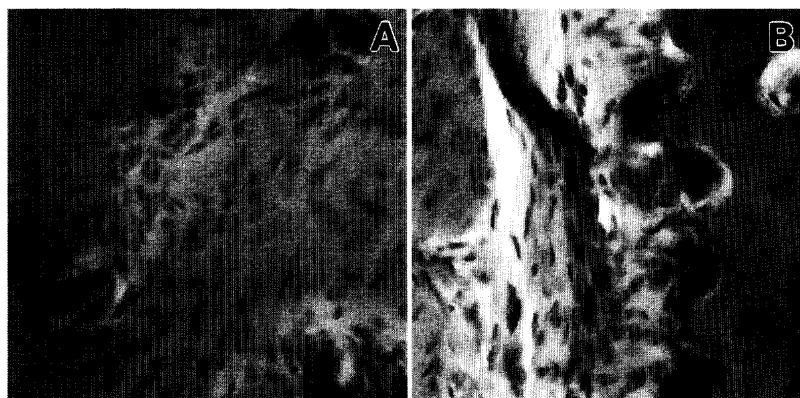


図 11 図 10 の歯根尖部の強拡大 (E8, $\times 400$)

A: 実験側, B: 対照側. 強拡大で観察してみるとやはり実験側のほうが破骨細胞の数が少ないのが観察された.



図 12 傾斜移動を行ったサルの第二小臼歯の蛍光顕微鏡所見 (E4, $\times 25$)

A: 実験側, B: 対照側. 牽引側に 2 本の蛍光線が観察される (矢印). 2 本の蛍光線の間隔は対照側に比べて実験側のほうが狭いことから, 実験側の骨形成量が少ないのがわかる.

られた(図 12). 同切片を拡大してみると, 対照側においては 2 本の蛍光線が一定の幅をもって観察されるのに対し, 実験側では 2 本の蛍光線の幅が非常に狭く, ところによっては 1 本しか観察されないところもあり, 実験期間中に形成された骨の量が少ないのがわかる(図 13).

歯体移動を行ったものについても同様で, 第二小臼歯の近心側は, 対照側では 2 本の蛍光線を描記しているが, 実験側の同部位は蛍光線を 1 本しか観察することができず, 対照側に比べて新生骨の添加量が少ないのが観察された(図 14).

4. ボディアン染色所見

それぞれのサルの下歯槽神経の変性を確認する目的で, 下顎骨体内の第二小臼歯根尖部付近の下歯槽神経縦断切片にボディアン染色を行い鏡検した. その結果, 対照側では軸索, 髓鞘等に異常な変化は認められず,

正常な神経組織像を呈するのに対し, 実験側では神経軸索の腫脹と崩壊, 髓鞘の膨化と髓球化が認められ, 神経に傷害があったことから観察された(図 15~17).

しかしながら, これらの所見が全てのサルにおいて明確に観察されたわけではなく, 実験期間が 2 週間と短かったサル(E6)においては, 左右差が非常に不明瞭であった(図 18).

考 察

1. 実験方法について

今日, 人為的な歯の移動に関する研究は種々の方面より行われている. 歯の移動方法は研究者や研究目的によって異なり, さまざまであるが, 本実験のように一歯体上で左右両側の歯の移動を行い, 片側を実験側, 反対側を対照側として, 左右側で比較を行った報告は

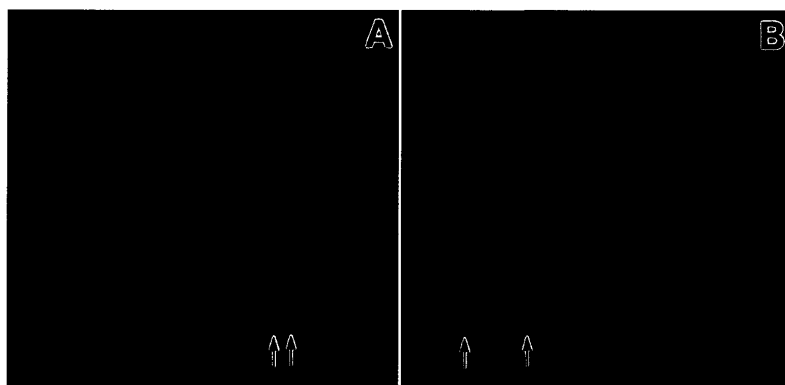


図 13 図 12 の強拡大 (E4, $\times 64$)

A : 実験側, B : 対照側. 拡大してみると 2 本の蛍光線の間隔の違いは一層明確である.

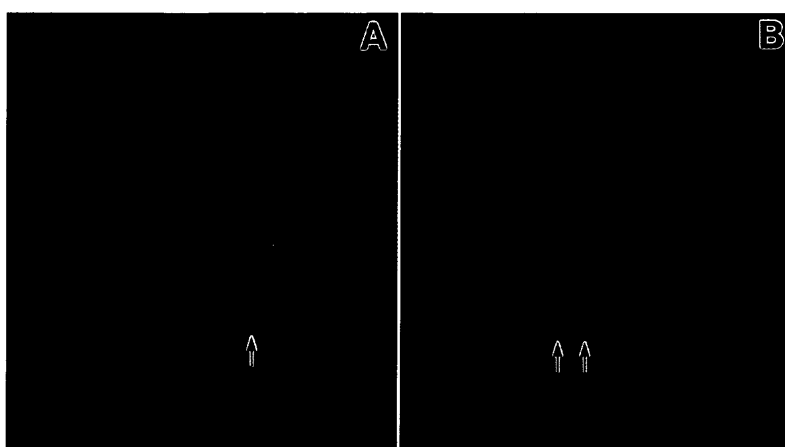


図 14 歯体移動を行ったサルの上臼歯の牽引側の蛍光顕微鏡所見 (E6, $\times 64$)

A : 実験側, B : 対照側. 対照側では 2 本の明瞭な蛍光線が描記されたのに対し, 実験側では蛍光線は 1 本しか観察されず, 新生骨の形成量が少ないのが観察される.

少ない. 本実験の目的は, 血管・神経に傷害が起こった場合, 正常な骨改造所見との違いを観察することであり, そのために実験側, 対照側ともに歯の移動を行い, 比較を左右側で行うには, 被験歯への矯正力が左右とも同一でなければならない. 一般に行われているような角ワイヤーを屈曲して歯を移動する方法は, 被移動歯のコントロールが比較的容易であるように思われがちであるが, 組織切片上で観察してみると, 研究者の意図した通りの力が加わっていないことがある¹⁵⁾. すなわち, 角ワイヤーを屈曲して牽引する方法では, 非常に僅かな矯正力の差や, モーメントあるいはフリクションの差が組織所見に影響を与える恐れがあり, これは歯に矯正力を作用させる際の操作の僅かな差によっても起こり得るものである. そのような場合, 左右側の同部位から得られた組織標本で観察を行っても正確な組織変化の比較を困難とする.

そこで本実験では, このような器械的なエラーによ

る左右差を可能な限り少なくするために, 極力単純な方法で移動を行うことを目的として, 歯の移動式の一つである傾斜移動を主に行った. 歯体移動の装置についても上記の問題点を十分考慮して装置の作製を行った. 傾斜移動を行ったサルの組織切片上での移動所見は, 歯根尖約 1/3 を中心とした典型的な傾斜移動像を実験側, 対照側ともにみることができた. また, 歯体移動を行ったサルについても組織切片上では傾斜等の動きは観察されず, 左右側ともに同条件で加重されていたと思われた.

本実験では, 推定年齢が 7.5 歳以上のサルを用い(人間では約 22~30 歳に相当すると思われる), 単純力として傾斜移動に約 100 g, 歯体移動に約 150 g の力を加えたが, カニクイザルを用いて行われた実験では一歯あたり 50 g 前後の矯正力が用いられているものが多い^{16,17)}. 本実験に用いた日本ザルは, カニクイザルよりも大型であるため, 傾斜移動は 100 g とし, またそれ

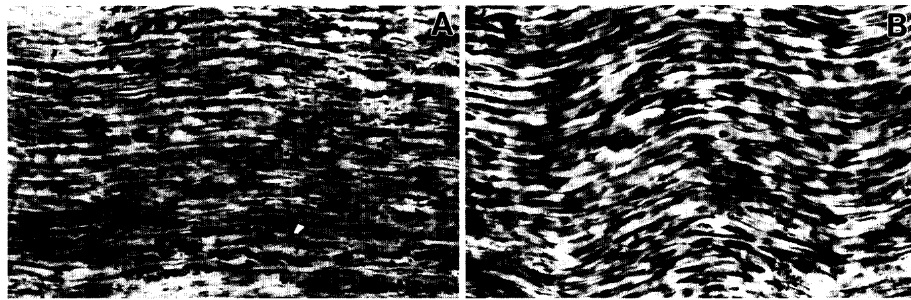


図 15 傾斜移動を行ったサルの下歯槽神経のポティアン染色所見 (E1, $\times 400$)
A: 実験側, B: 対照側. 下顎骨体内から得た下歯槽神経の縦断切片. 実験側では神経軸索の腫脹と崩壊, 骨鞘の膨化と髓球化が認められ, 神経が切断されたことがわかる.

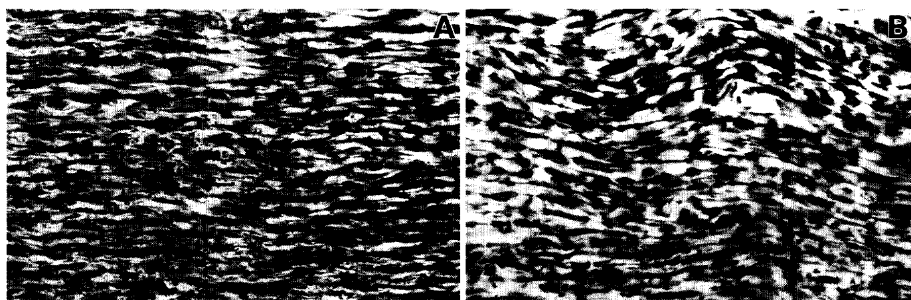


図 16 歯体移動を行ったサルの下歯槽神経のポティアン染色所見 (E7, $\times 400$)
A: 実験側, B: 対照側. 図 15 と同様の所見が観察される.

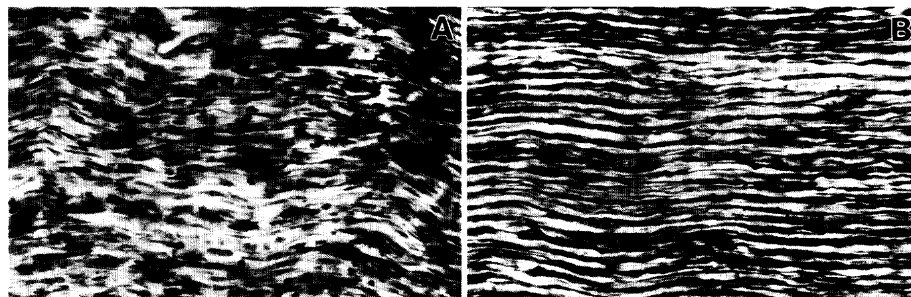


図 17 牽引を行わなかったサルの下歯槽神経のポティアン染色所見 (E9, $\times 400$)
A: 実験側, B: 対照側. 図 15 と同様の所見が観察される.

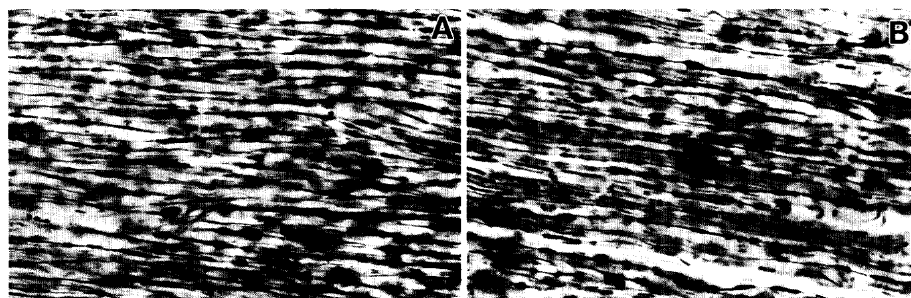


図 18 E6 の下歯槽神経のポティアン染色所見 ($\times 400$)
A: 実験側, B: 対照側. 実験期間が2週間と短かった E6 のみは, 左右差は不明瞭であった.

よりも強い力を必要とする歯体移動は 150 g とした。

2. 実験結果について

本実験は、日常臨床での疑問から端を発したものである。われわれは临床上、歯の移動速度に差があることをしばしば経験している。この因子については従来から多くの研究が行われており、矯正力の強さと種類、矯正装置の種類、患者の年齢、内分泌機能、栄養の状態等は人為的な歯の移動に伴う歯周組織の反応に影響を与えることが報告されている¹⁸⁾。

これら歯の移動の際の骨の吸収・添加に関与している破骨細胞、骨芽細胞は、発生的には未分化間葉細胞に由来し、破骨細胞は血管系を、骨芽細胞は結合組織系を介するといわれている¹⁹⁾。これらの細胞はそれぞれ異なった目的を有しているが、その目的を達成するにはカップリングを行い、骨の吸収添加が進行することが知られている。このようなカップリングは、骨芽細胞と破骨細胞ばかりでなく、他の細胞である線維芽細胞、マクロファージ、内皮細胞、白血球なども関与し、神経や内分泌ホルモン（副甲状腺、カルシトニン、ビタミン D₃）や、物理化学的刺激などのさまざまな局所因子の作用によって影響されているといわれている^{20~22)}。また、骨の吸収は破骨細胞による吸収のほか、骨芽細胞の産生するコラゲナーゼが骨表層の類骨を溶かして破骨細胞性骨吸収を促進したり²³⁾、骨芽細胞が骨細胞性骨吸収といった形で骨吸収に関与しているという報告もある²⁴⁾。Reitan²⁵⁾は個体間変異、歯の移動様式の違い、歯周組織の解剖学的環境の差についてふれており、特に歯槽骨の成熟度合いが歯の移動速度に与える影響は大きいと述べている。Sandstedt²⁶⁾は、歯の移動に際して、骨の吸収には血液供給が大きく左右すると報告している。Hancox²⁷⁾は、破骨細胞は血管の分布が密なところに出現しやすいと報告しており、Trueta²⁸⁾、古賀²⁹⁾らは骨添加に血管に関与していると報告している。他にも、人為的な歯の移動に伴う歯周組織の血管分布についての報告³⁰⁾、血管鋳型標本を用いた走査型電子顕微鏡観察^{31~34)}など、破骨細胞の出現等に関する報告は非常に多数にのぼるが、本研究のように支配領域の血管・神経に障害が起こった場合に、矯正学的な歯の移動に及ぼす影響について実験されたものはみられない。

本実験では、左右側で歯の移動距離に差がみられ、組織切片上では実験側の圧迫帯の破骨細胞およびハウシッポ窩の出現の低下、牽引側の骨の新生量の低下が観察されたが、この実験結果は以上の事項から考察してみると、血管の切断によって周囲組織の血流量が低下したことに加えて、多数の因子が複雑に関与しあって起こったと考えられた。

一方、人為的な歯の移動にともなう神経線維の動態に関する報告は、血管の消長に関する報告に比べると少なく^{35~37)}、不明な点が多い。血流調整に関与している³⁶⁾とされるカルシトニン遺伝子関連ペプチドの抗血

清を用いて歯の移動に伴う CGRP 陽性神経線維の増加が報告されているが、神経に関する研究には疼痛の発現について考察されたものが多く、歯の移動と神経線維の損傷とを結び付けて行われた実験はない。

末梢神経が切断されると、末梢側の神経組織には Waller 変性が起こることが知られている。神経線維の変化については多くの報告があるが、共通の変化として軸索は断裂して顆粒状となり次第に消失するといわれている⁷⁾。

本実験において、下歯槽神経の縦断切片では神経線維の変性を認めたが、E 6 のみに変性の度合いが非常に不明瞭であった。これは、Waller 変性の発現には 2~3 週間を要するという報告もあり³⁷⁾、E 6 は実験期間が 2 週間であったため、変性の度合いが低かったと推察される。

稿を終えるに臨み、本研究に終始ご懇切なるご指導とご鞭撻を賜った松本歯科大学歯科矯正学講座主任出口敏雄教授に対し、深甚なる謝意を捧げるとともに、懇切なるご指導、ご校閲を賜った福岡歯科大学歯科矯正学講座主任松本光生教授に深謝いたします。

また終始寛大なるご配慮とご指導をいただきました松本歯科大学口腔病理学教室主任枝重夫教授ならびに講座の諸先生に対し深く感謝の意を表します。

本文の要旨は第 51 回日本矯正歯科学会総会（1992 年 10 月、大宮）において発表された。

文 献

- 1) 金 健三、久保諒彦、鈴木伸二郎、他：当科における顎矯正手術の臨床統計的観察、顎変形誌 7：4-6, 1988.
- 2) 司城義光：下歯槽神経中途切断の歯への影響に関する神経組織学的研究、九州歯会誌 28：222-246, 1974.
- 3) 盧 俊雄：ラットの下顎神経切断による顎顔面発育へ及ぼす影響について、歯科学報 79：2305-2365, 1979.
- 4) 橘高寿一郎：下歯槽動脈、下歯槽神経を同時に又各々別個に結紮することが、乳歯永久歯の発育並びに下顎骨の発育に及ぼす影響について、九州歯会誌 13：625-654, 1959.
- 5) 眞崎義男：循環障害が歯牙並びに歯周組織に及ぼす影響についての実験的研究(第 1 編)、日歯口科誌 20：25-77, 1938.
- 6) Weiss, P.: Experimentelle Untersuchungen zur Regeneration des traumatisch geschädigten Nervus alveolaris inferior. Forsch Kiefer-u. Gesichtschir 12：35-40, 1967.
- 7) 町田和之：下歯槽神経切断後における変性と再生に関する実験的研究、歯科学報 77：1661-1682, 1977.

- 8) 桐野忠大, 佐伯政友: 伊谷純一郎, 池田次郎, 田中利男編 高崎山の野生ニホンザル, 第一刷, 東京, 1964, 頸草書房, 124-135.
- 9) 加藤明彦: 下歯槽神経再生に関する実験的研究. 九州歯会誌 43 : 17-41, 1989.
- 10) 石川喜美男: Bodian 染色についての考察, 衛生検査 27 : 867-873, 1978.
- 11) 石井英司: 上顎劣成長を伴う skeletal class III 症例に用いられる Orthopedic appliance の効果の実験的検討, 日矯歯誌 38 : 187-209, 1979.
- 12) 原 林作: 抜歯窩への実験的歯牙移動による歯槽骨変化のラベリング法とマイクロラジオグラフィによる研究, 歯学 65 : 361-408, 1977.
- 13) 小川晴也: 局所温度の上昇がラット頭頂縫合拡大による新生骨形成に及ぼす影響, 日矯歯誌 49 : 485-496, 1990.
- 14) Prescott, D. F., *et al.* : Procion dyes as matrix markers in growing bone and teeth, Amer J Phys Anthropol 29 : 219-224, 1968.
- 15) 夕田 勉: 歯の移動にともなう歯周組織の神経線維の消長に関する実験的研究, 九州歯会誌 35 : 5-38, 1981.
- 16) 岡田卓也, 岩澤忠正, 平井五郎: 歯の移動実験における歯周組織の添加新生骨に関する研究, 日大口腔科学 7 : 90-109, 1981.
- 17) 藤井正純: 猿の歯を抜歯窩へ移動した場合の歯周組織の変化に関する実験的研究: 歯科医学 35 : 184-208, 1972.
- 18) 出口敏雄: 歯の移動に伴う歯周組織の変化に関する組織化学的研究, 日矯歯誌 28 : 1-11, 1969.
- 19) 久保木芳徳, 藤沢隆一, 水野守道: 硬組織再建の生理学的原理—人工臓器としての歯学—, 歯界展望 76 : 619-635, 1990.
- 20) Werb, Z. : How the macrophage regulates its extracellular environment, Am J Anat 166 : 237-256, 1983.
- 21) 森田修一: 歯の移動と骨形成, 骨吸収のカップリング現象, 日矯歯誌 51(特別号) : 172-178, 1992.
- 22) 清野佳紀: 骨代謝における全身性ホルモンの作用, Molecular Medicin, 30 : 1248-1253, 1993.
- 23) 山口 朗: 骨芽細胞の分化と機能, Molecular Medicin, 30 : 1232-1239, 1993.
- 24) 久米川正好: 破骨細胞の形成と働き, Molecular Medicin, 30 : 1240-1247, 1993.
- 25) Reitan, K. : Effects of force magnitude and direction of tooth movement on different alveolar bone types, Angle Orthod 34 : 244-255, 1964.
- 26) Ginelly, A. A., Goldman, H. H. 著, 桑原洋助, 平下斐雄監訳: 歯科矯正の生物学的背景, 第一版, 東京, 1973, わかば出版, 110-182 より引用.
- 27) Hancox, N. M. : The biochemistry and physiology of bone, New York, 1956, Academic press, 213-250.
- 28) Trueta, J. : The role of the vessels in osteogenesis, J Bone and Joint Surgery 45B : 402-417, 1963.
- 29) 古賀正忠: 人為的歯牙移動時の組織変化に関する研究—光学顕微鏡及び電子顕微鏡による観察—, 歯科学報 74 : 498-557, 1974.
- 30) 中村進治: 血根膜血管走向の矯正学的研究, 口病誌 34 : 64-80, 1967.
- 31) 高橋和人: 顎骨の吸収と血管像, 歯医学誌 2 : 76-109, 1983.
- 32) 松尾雅斗: 歯の移動時における歯根膜血管網および歯槽骨の変化について, 神奈川歯学 21 : 21-48, 1986.
- 33) 松尾雅斗, 川戸二三江, 下里直弘, 他: 歯の圧下時における歯根膜血管網および歯槽骨の変化について, 神奈川歯学 21 : 267-279, 1986.
- 34) 松尾雅斗: 歯の移動時における骨吸収と血管像—血管鑄型と走査電顕による研究—, 日矯歯誌 46 : 217-229, 1987.
- 35) 齊藤 功, 石井一裕, 小林元夫, 他: 実験的歯牙移動時におけるラット臼歯歯根膜内神経線維の免疫組織化学的研究, 日矯歯誌 49 : 466-474, 1990.
- 36) Brain, S. D., Williams, T. J., Tippins, J. R., *et al.* : Calcitonin gene-related peptide is a potent vasodilator, Nature 313 : 54-56, 1985.
- 37) 内西兼一郎: 末梢神経の再生と神経損傷の治療, 慶應医学 68 : 237-243, 1991.

主 任: 出口 敏 雄 教授 1993 年 12 月 22 日受付

連絡先: 広 俊 明
松本歯科大学歯科矯正学講座
〒 399-07 塩尻市広丘郷原 1780