

## 矯正力の正しい臨床応用のために

中後忠男, 戸莉惇毅, 藤森行雄

松本歯科大学 歯科矯正学教室 (主任 中後忠男 教授)

### Some Considerations of Clinical Orthodontic Force

TADAO NAKAGO, ATSUKI TOGARI and YUKIO FUJIMORI

*Department of Orthodontics, Matsumoto Dental College*

*(Chief : Prof. T. Nakago)*

#### Summary

At the present time, there are many forms of multibanded appliances in common use in our daily orthodontic practice. With this mechanism all the teeth can be moved in every direction, even the root movement being possible. Though success in orthodontic treatment depends on the efficiency of the appliances, the knowledge of basic biological problems is so much important to avoid the unfavorable reactions of teeth and alveolar bone which may be caused by malmanipulation.

When the teeth have been subjected to excessive forces without biological considerations of the orthodontic procedure, there are marked root resorption, necrosis of tooth-investing structures, pain and loosened teeth. From the stand point of clinical orthodontist, we dealt with reconsiderations of "What kind of force causes less tissue damage?" in this article.

#### はじめに

今日では矯正治療で歯を希望する位置に移動することのできる有効な装置が数多く臨床応用に導入されている。なかでも全帯環装置は効率の良い歯牙移動と治療結果の精密さから矯正治療の限界を一挙に拡大するところとなった。

ところで、歯の人為的移動にあたっては、歯に何らかの外力、すなわち矯正力を加えて歯周組織の改造現象を生じさせる必要がある。生体である

以上、個々の患者あるいは個々の歯にとってそれぞれ良好な生物学的組織反応を誘発し、歯牙移動を円滑に行うことのできる最適な力 (optimal force) が存在するはずである。

約 20 年ばかり前までは、全帯環装置の応用法として Bull technique などにみられるごとく矯正力としてかなり強い力 (heavy force) を使用するエッジワイズ法が多用されてきたが、強すぎる力では歯周組織の生物学的活性が低下し歯の移動速度が遅れる上に、組織損傷の危険が大きいことが組織学的な研究の進歩により明らかになるに及ん

で、次第に弱い力 (light force) をより適正な力として用いるようになってきた<sup>1)</sup>。しかし、正しい矯正力の適用の仕方については現在でも多くの問題が残されており、いまだ十分な解答が得られていない。そこで矯正学的な optimal force について臨床応用の面から矯正治療中に生じる痛みや歯根吸収の問題に焦点をあてて再考をこころみたい。

### Optimal force の定義について

矯正学的 optimal force は“適正力”もしくは“至適力”と訳されている。この optimal force の定義については、Moyers<sup>2)</sup>によると「歯牙移動のための optimal orthodontic force とは、疼痛や歯根吸収を伴わず最大の組織反応を起こし、歯の移動期間中歯根膜の健康状態を保つ力のこと」であり、また Gianelly and Goldman<sup>3)</sup>は「歯牙移動のための optimal force とは、最少の組織損傷と最小の臨床的不快感で速やかに希望する歯牙移動ができる力である」と述べている。ところで Begg and Kesling<sup>4)</sup>などは、より臨床的な効果を狙うあまり、「optimal orthodontic force という語は、通常患者にとって苦痛が最少であり、歯および周囲組織への為害作用も最少であり、しかも歯の移動が最も速やかに行なわれるような力を意味する」という考え方にまで、やや定義のしかたを変えて来ている。これらは、いずれも患者の不快感や歯および歯周組織への為害作用が最小であって、かつ歯牙移動が速やかに行なわれるような力のことを optimal force と呼んでいる。臨床的矯正力に関して、Storey and Smith<sup>5)</sup>が人の犬歯と大臼歯

の相互牽引で 150~200 g の矯正力では犬歯が移動し大臼歯は移動の閾値に達しないため不動であるが、300~500 g の矯正力では犬歯は歯根膜の広範な硝子様変性をおこして移動しなくなり、大臼歯が移動してくるようになるという事実を報告し、被移動歯の歯根面積によって矯正力は変えなければならないことを示した。この差動矯正力<sup>1)</sup>の考え方により Jarabak<sup>6)</sup>は表 I の如く各歯牙の歯根の大きさによって変動する適正な矯正力の範囲を具体的に示している。また Bench<sup>7)</sup>はさらに歯の移動方向のちがひによる耐圧歯根面積の差によっても適正矯正力の大きさが異ってくることを示し、これを得るための算出表を作成している (図 1)。これら optimal force とされている矯正力を適用しても避け得ない痛みや組織損傷、特に歯根吸収の問題を検討することによって、より現実的な optimal force のあり方、その大きさ、加え方などが明らかになってくるものと思われる。

### 痛みについて

矯正治療の操作中操作後を問わず患者に疼痛や不快感を与えない方法で治療を行うことが理想ではあるが、前述の引用文中でもそれらを“皆無にできる”という語が見あたらないように、臨床上海痛みあるいは不快感はある程度までは避けられないものであるかもしれない。

通常、痛みは一時的なものであり、これは歯に加わる力の大きさと関係があり、大きな力は大きな痛みを誘発することが想像される<sup>3)</sup>。Burstone<sup>8) 9)</sup>は歯牙移動を行うための矯正装置を応用した際にもたらされるであろう痛みの程度を次

表 I : 各歯牙の optimal force (Jarabak<sup>6)</sup>より引用) 歯根の大きさによって適正な矯正力が異なる。

Teeth	Medium length roots		
	Short roots (gm.)	roots (gm.)	Long roots (gm.)
Mandibular incisors	50-55	55-65	65-70
Mandibular canines	85-95	95-110	110-130
Mandibular premolars	70-80	80-90	90-100
Maxillary first molars	280-300	300-320	320-360
Maxillary incisors	65-75	75-85	85-95
Maxillary lateral incisors	60-65	65-70	70-80
Maxillary canines	105-115	115-130	130-170
Premolars, single roots	85-100	100-115	115-135
Premolars, multiroots	100-110	120-130	130-140
Mandibular first molars	230-250	250-270	270-320

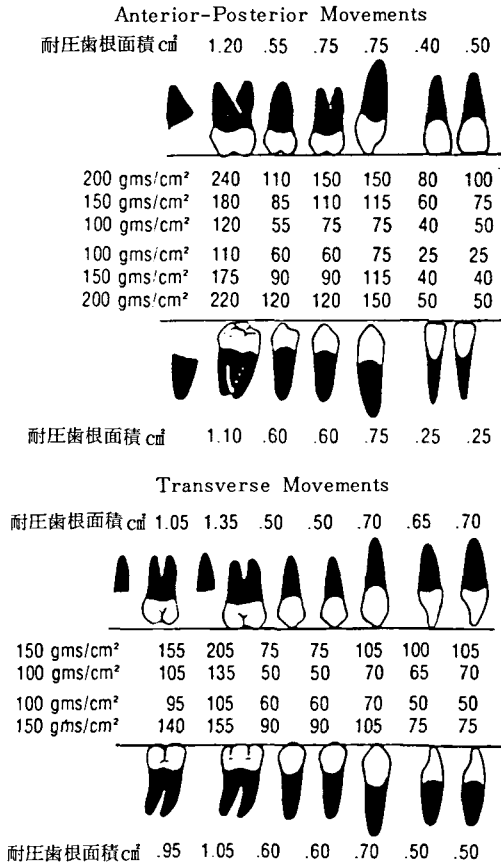


図1：歯の移動方向のちがいによる各歯牙の耐圧歯根面積と適正な矯正力の関係 (Bench<sup>7)</sup> より引用)

歯の移動方向のちがいによって耐圧歯根表面積が異なる。これにより適正な矯正力が変わってくることを示す。Bench<sup>7)</sup> のいう 100 g/cm<sup>2</sup> の optimal force を得るには、例えば上図では上顎中切歯の唇舌的移動に際し耐圧歯根表面積は平均 0.5cm<sup>2</sup> となり、当該歯に約50 g の力を加えればよい。下図では同歯の近遠心的移動に際して70 g の力を加えればよいことがわかる。

の三段階に分類している。第1度：矯正装置やバンドプッシャーなどによって歯を強く圧迫した時に生じる痛み。これは矯正装置が使用できる範囲内のものなら通常心配ないとされている。第2度：歯を咬みしめた時に被移動歯に生じる痛みないし不快感。普通の食事ができる程度のものをさす。第3度：自発痛や咀嚼不能におちいる痛み。この種の痛みが長時間継続する場合は危険信号と言わざるを得ない。

Heavy force つまり強い矯正力が急に歯に加えられた場合は、すぐに即時型の痛みを覚える。しかし、一般的な矯正力(歯根の大きさによっても、また歯の移動方向のちがいによっても異なるが、表1、図1参照)を用いて装置を調節した後にも数時間で痛みが発現してくることがあるが、その痛みは時間の経過とともに第3度、第2度、第1度と次第に減少し、最後には痛みがほとんどないか、もしくは全くなってしまう<sup>3)</sup>。このような矯正装置調整後の数時間後に痛みが遅れて発現する遅延型疼痛は歯根膜の知覚過敏によるものであるともされている<sup>9)</sup>。これらの痛みの発生のメカニズムについては不明な点が多いが、臨床的には加えられた力が大きいほど患者の受ける疼痛は大きく、その期間も長く続くようである。

口腔生理学的にみると、歯の表層を占めるエナメル質には感覚を生じさせる神経構造はなく、歯に痛みを感じるのには主に歯髓、象牙質、歯根膜に刺激が加わった時に生じるものであり、歯牙移動で問題となるのは歯根膜と歯肉に分布している感覚受容器である。歯に加えた圧刺激と生体反応について河村<sup>10)11)</sup>はネコを使った実験で、ネコの切歯を唇舌方向に5~100 g の力で牽引した場合、神経反応は一過性であるが、100 g にもなるとその加圧によりネコの前歯に痛みが生じている場合もあったらうとの推察をしている(図2)。また、

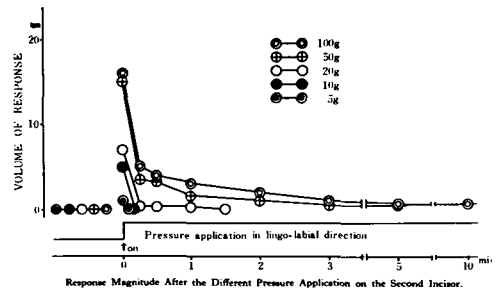


図2：歯牙牽引力と歯神経反応の順応

5~100gの荷重をネコ切歯に加えた時歯神経反応は一過性であった。

(河村<sup>10)</sup>より引用)

この実験からヒトの健全歯に100~300 g程度の矯正力を加えても歯根膜の感覚は十分順応するものであって、一過性の生理的局所反応は生じるとしても、持続性の病的な全身反応が誘発される可能性は少ないと述べている。また、その歯根膜感

覚の順応性によって、矯正力が歯周組織に損傷を与えない生理的範囲内であれば、まもなく歯が牽引されていることを感じなくなってしまうと述べている。

しかし、痛みが歯根膜の圧迫の結果として起こるものとすれば、一過性でなくて長期間にわたる痛みの持続がある時は歯周組織の血行障害をおこし歯根膜に硝子様変性が形成されつつあることを示すサインであろうとの推論もできる。この場合は歯牙移動に伴って圧迫側歯槽骨が吸収され歯根膜腔が拡大された状態になり当該部歯周構造に加わる圧縮の程度が減少されるため患者は不快感を訴えなくなるのであろう。

痛みは感覚的なものであり、個体差が非常に大きく、患者の年齢や矯正治療に対する認識などによって大きく変わってくるものと考えられる。一般に子供は矯正治療中の痛みに対してあまり敏感ではなく、ほとんどの場合苦痛を伴わないか、あっても1～2日間ほどでおさまってしまうが、成人では不快感を訴える期間が長くなる傾向にある。その背後には歯周組織の解剖学的、組織学的構造の差、組織反応、組織改造能力の差が大きく関与していることが想像できる。

著者らの経験では、全帯環装置を装着した成人では通常バンド装着時から既に圧迫感があり、咀嚼時に軽い疼痛がある状態が3日間から1週間ほど続き、leveling 操作のため細いアーチワイヤー（.014～.016 round wire）を装着した場合も約1週間のあいだは軽度の不快感や咬合痛のため、咀嚼困難を訴えることも多かった。しかし、その後のアーチワイヤーの調節では痛みの程度が軽くなり、それが回数を追うごとに低下するようである。また調節後は一週間以上経過すれば咀嚼時においても痛みは全く感じなくなり、矯正装置が口腔内に装着されていることさえ意識しないような状態となる。長い治療経過からみると成人では矯正治療の初期には暫時第2度程度の痛みが続くようである。

#### 矯正学的歯牙移動に伴う歯周組織の変化と組織損傷

人為的な歯牙移動とそれに伴う組織変化についての見解は Sandstedt<sup>12)</sup> (1904) 以来、Oppenheim,<sup>13) 14)</sup> Schwarz<sup>15)</sup>, Reitan<sup>16) ~ 22)</sup> らの多くの研

究者達によって詳細な実験、研究報告がなされている。

元来、矯正学では矯正治療操作によって、できるだけ自然の生理的歯牙移動に類似した歯周組織変化をおこさせることを理想とし、組織損傷の少ない歯牙移動を目標としている。しかし矯正力は人為的なものであり、自然に加わる力よりもより大きい力であるため歯周組織の変化も生理的歯牙移動に比してより著明で広範囲にわたってしまう。

矯正学的な歯の移動にあたって歯にきわめて慎重な操作により Schwarz<sup>15)</sup> の言うような毛細血管圧よりも高くないレベルのきわめて弱い矯正力（25 g/cm<sup>2</sup>）を加えることができれば歯根膜線維はある程度までしか圧縮されない。そしてこの圧迫側の歯槽骨表面に破骨細胞が直接形成されて、いわゆる直接性骨吸収がみられる（図3—左）。牽引側には形成性の変化がみられ骨形成に先だって線維芽細胞と造骨細胞の数が増加する。まもなく緊張した線維束に沿って骨様組織の沈着が始まり、漸次骨層板を形成していく。しかし、歯牙移動に際し、常に好ましい組織反応がみられるとは限らず前述の如く臨床的に optimal とされる力は毛細血管圧よりもはるかに高く、歯根膜の圧縮の程度も大きいと血行障害を生じ、その程度が強ければ歯根膜は硝子様変性におちいる（図3—右）。これに接した歯槽壁からは吸収機転は起こらず、少し離れた歯槽壁や骨髓腔から吸収が始まり、当該の硝子様変性部位の歯槽骨背後から吸収が進み、いわゆる穿下性の吸収機転をおこすこととなる。場合によってはさらに不適当な外力（矯正力の限界を越えた強大な力など）が作用すれば組織学的にも、臨床的にも為害作用を生じることになる<sup>13) 15) 21) 23)</sup>。

このように人為的歯牙移動における組織反応の中には、より生理的なものとやや病理学的なものがあり、また病理的な組織反応の中には一時的な組織損傷、すなわち組織損傷があっても後に修復されるものと、永久的な組織損傷を生じるものがある（図4）。

実際矯正臨床では、通常生理的歯牙移動に伴うような圧迫側歯槽骨面に直接性の骨吸収像が矯正力を応用した初期段階からみられることはきわめてまれである。普通の矯正学的歯牙移動では歯に

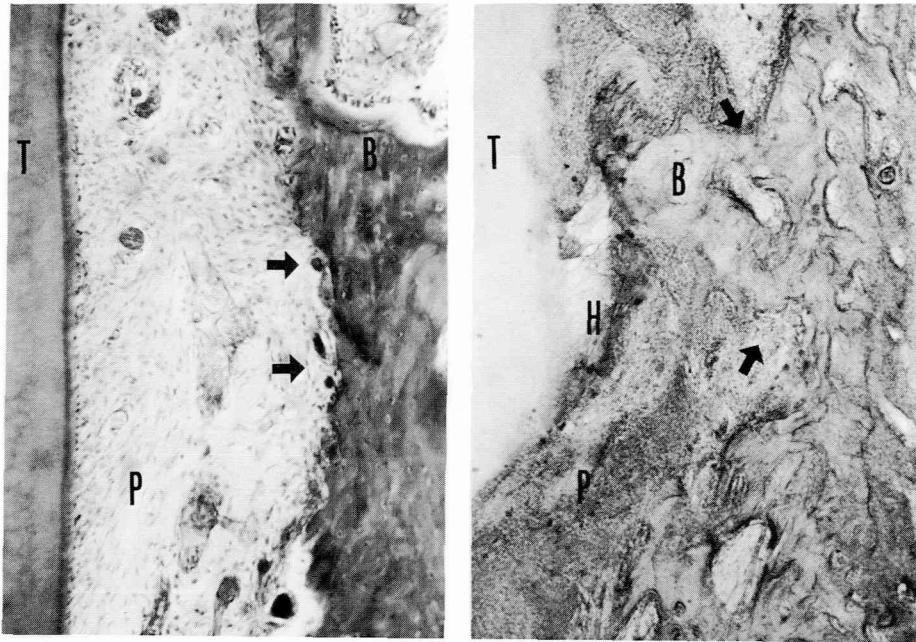


図3：人為的歯牙移動時の圧迫側の組織変化には直接性吸収(左)と穿下性吸収(右)がある。(イヌの切歯)  
 左：破骨細胞(矢印)の出現に伴ない歯槽骨の直接性吸収がみられる。  
 T：歯, P：歯根膜, B：骨  
 右：歯根膜に広範な硝子様変性を生じ歯槽骨は穿下性吸収(矢印)を起こしていると思われる。  
 T：歯, P：歯根膜, B：骨, H：硝子様変性

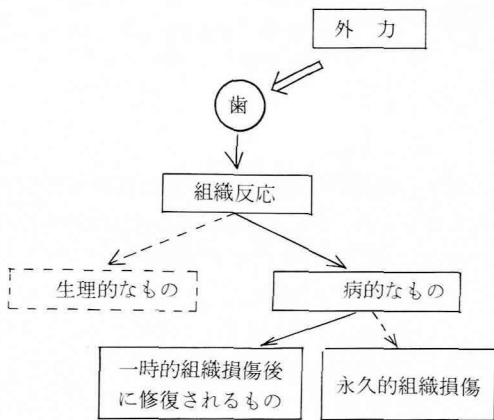


図4：人為的歯牙移動に伴う組織変化  
 一時的組織損傷が修復されない時は永久的組織損傷に至る

矯正力を加えると、まずわずかな歯根膜の被圧縮度の幅(約 0.2~0.3 mm)だけ初期移動を示した後、狭められた歯根膜腔の中で急速に歯根膜線維が歯根と歯槽骨の間に圧縮されるため硝子様変性をおこして歯牙移動が一時停止するといわれる。次いで、硝子様変性帯に近接した部位からの肉芽組織の新生増殖により、穿下性骨吸収がおこり、壊死した歯槽骨や変性した歯根膜組織が吸収除去された後に再び歯が動き出す。これを第2期の歯牙移動と呼んでいる(図5)、第2期では歯根膜腔はかなり広がっているので、一般的な矯正力を用いる限り圧迫側歯槽骨面には直接性の骨吸収が進行し、持続的な歯牙移動が可能である。したがって、このような回復可能な組織損傷である狭い範囲の歯根膜の硝子様変性ならびにこれを回復するための穿下性吸収機転を起こすような矯正力は optimal force の範疇に入れている。当然ながら広範囲にわたる歯周組織の退行性変性を生じて永久

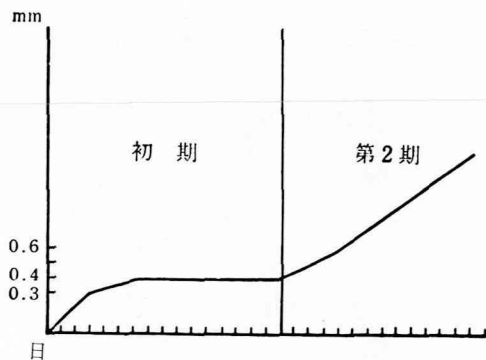


図5：硝子様変性前後の歯の移動の程度を示している。硝子様変性に引き続きおこる歯の移動は、第2期と呼ばれる。

(三浦不二夫他：現代歯科矯正学<sup>32)</sup>上巻より引用)

的な組織損傷を生じるような力は適正な矯正力とは言えない。

ところで、普通一般には妥当な矯正力として使用できるレベルの力を用いた場合でも患者側の個々の生体の内的条件、年齢、歯根、歯槽骨の形態などによって、あるいは術者側の歯牙移動に対する学識の不足や技術の未熟によっては思わぬ障害を引き起こし、歯根吸収、歯槽骨頂の退縮、歯髓壊死などの発現がみられることがある。このうち歯根吸収をとりあげ、臨床組織学的立場から障害がどのような場合に発現するかを矯正力の大きさや持続期間、歯牙移動様式等の関連において次に詳述する。

### 歯根吸収

元来、矯正治療に際して歯牙移動に多少の歯根吸収が伴うことは避けられないとされている<sup>22)</sup>。歯根吸収には吸収窩がセメント質内に限局するものと、象牙質にまで及ぶものがある。歯根表面の小さな吸収窩は二次セメント質によって修復されるが、修復され得ないような象牙質に及ぶ広範な歯根吸収は歯の正常な機能の維持を危うくするので極力避けなければならない<sup>3) 22)</sup> (図6)。

歯根吸収といっても矯正治療と関係なくおこる場合もしばしば日常臨床上観察される<sup>24)</sup>。歯牙の萌出途中での歯根吸収の発現や、甲状腺機能低下症のような代謝障害のある患者、外傷や感染などの既往歴のある歯などにも発現すると言われていたが<sup>3) 22)</sup>、その因果関係についてはいまだ明確で



図6：矯正治療による歯根吸収例

.019×.022 rectangular wire による anterior retraction 時に生じた著しい歯根吸収 (上顎左右中切歯)。男子 25才



図7：歯根吸収の素因を有すると思われる症例。

左：矯正治療前より11の歯根が短かく、根尖が丸くなっている。女子12才

右：Multibanded appliance で leveling 中 (治療開始6ヶ月後) に急速に歯根吸収が進行した。その後治療中止。

はないものが多い。

図7は矯正治療前から既に歯根吸収の素因のあった患者に、全帯環装置による矯正治療を行ったために歯根吸収が急速に悪化進行したと思われる症例のX線写真である。このような矯正治療によって歯根吸収をおこしやすい素質をもった症例では、通常矯正治療前から歯根が短かかったり、根尖が丸いかもしくは bottle-shape を示す傾向にあると言われている<sup>24) 25)</sup>。

しかし、一般的には歯根吸収は歯槽上の吸収とは異なり予知することが極めてむずかしいとされている<sup>22)</sup>。

(イ)矯正力と歯根吸収の関係について

前述の通り原因不明なものも含めて歯根吸収の

発現は種々の因子によって生じるものであるが、歯を移動するにあたってどのような大きさの、あるいは、どのような様式（ここでは傾斜移動と歯体移動の説明にとどめる）の矯正力が加わると歯根吸収を起こしやすいのかについて多少の関連事項を加えて考えてみたい。

まず、傾斜移動と歯根吸収の関係については、少年期(9~16才)の小臼歯を対象とした20日間の頬舌的歯牙移動の臨床実験結果を他の動物実験と照合して類推すると、傾斜移動を起こさせるような矯正力を歯に持続的に加えた場合、200~300gもの強い力では根尖部側面と歯根中央部側面に高度の吸収が、根尖端部に軽度の吸収が発現してくる。100~150g位の力では歯根中央部側面に中等度の吸収と根尖部側面に軽度の吸収像がみられ、また50g前後の矯正力では中等度の歯根中央部分の吸収を起こす。20~30gほどの弱い矯正力を加えた場合には根尖端部には吸収の発現がほとんどなく、わずかに根尖部側面と歯根中央部側面に軽微の吸収を生じるようである<sup>16) 21) 22)</sup>。これらの事象から矯正力が強いほど歯根吸収が起こりやすいことがわかる。ラットの切歯の傾斜移動時の

組織変化も、歯根形成を完了したイヌの切歯を傾斜移動させた時の成績結果も同様な傾向を示している<sup>26)</sup>(表2, 図8, 9)。

一般に傾斜移動では初期に歯の移動に伴って歯槽頂よりわずかに下部に歯根膜の硝子様変性帯が形成され、この部を支点として根尖は反対方向に移動されていく。加えられた矯正力の影響があらわれて傾斜が持続的に進行してくるほど根尖部にもより強い圧迫を伴うことになる。牽引側では当然

表2：矯正力の大きさと歯根吸収の関係

矯正力	300g	100g	50g	20g
歯根中央部	#####	+ #	+ #	+ +
歯根尖部	#####	# #	# #	+ #
実験歯数	4 歯	2 歯	2 歯	2 歯

+：軽度の吸収 #：中等度の吸収 #高度の吸収  
(対照の反対側同名歯にも軽度の歯根吸収がみられたものがあった。)

イヌ切歯(根完成歯)を傾斜移動させた時、矯正力が大きいほど歯根吸収の程度は強く現われる傾向にある。(植木<sup>26)</sup>より引用)

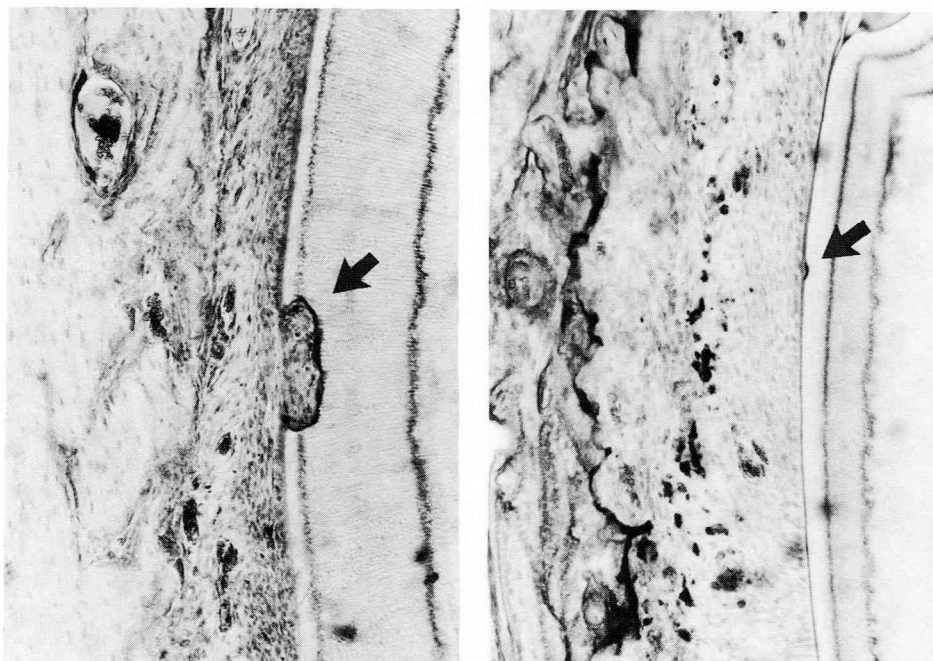


図8：ラット切歯を傾斜移動した時の組織変化。(3日間移動, 7日間保定)

左：著しい歯根吸収(100gの矯正力) 右：軽度の歯根吸収(20gの矯正力)  
歯及び骨にみられる黒線は硫化鉛。

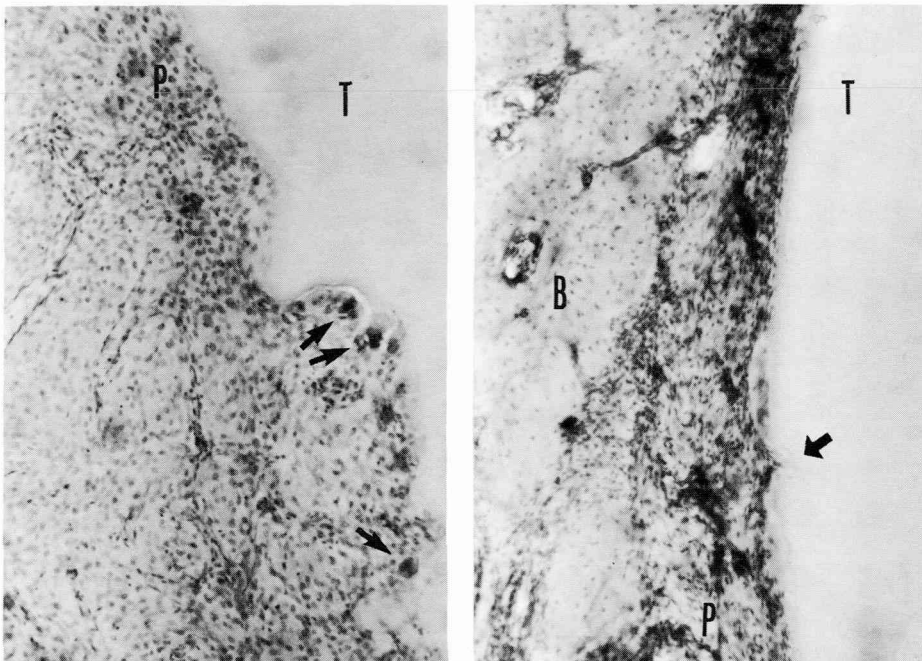


図9：傾斜移動時の組織変化（イヌ切歯，3週間移動，3週間保定）。

左：300gの矯正力。破歯細胞（矢印）の出現に伴う著しい歯根吸収が認められる。  
T：歯，P：歯根膜

右：20gの矯正力。軽度の歯根吸収（矢印）が認められる。  
T：歯，P：歯根膜，B：骨

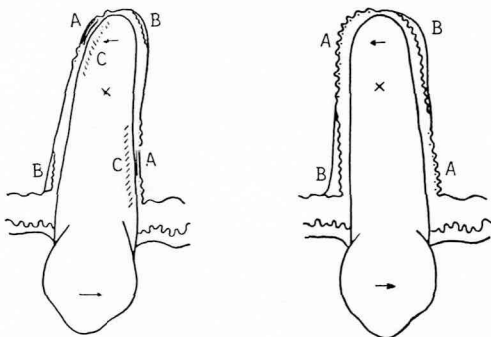


図10：傾斜移動応力が根尖部と歯頸部に集中し，同部に高度の歯根吸収が発現しやすい。

左：初期の移動

- A, 硝子様変性帯と穿下性吸収
- B, 牽引側における初期骨形成
- C, 応力が集中して硝子様変性をおこしやすく，歯根吸収が発現しやすい部位

右：移動の第2段階の組織変化

- A, 骨吸収 B, 骨添加

伸張された線維束に沿って骨の新生がみられるが，この傾斜移動では牽引側において移動に対して抵抗するような線維束が少ないため，他の移動様式よりも急速な歯冠部の移動もたらされる。したがって，応力が根尖部と歯頸部に急激に集中するため，他の部位に比較してこの両部位に歯根吸収が強く発現しやすい傾向にある（図10）。根未完成歯では，その根尖を包み歯根の形成をきめる Hertwig 上皮鞘の存在があるために，象牙前質の層が十分に発達しており，このような歯では傾斜移動を行っても根尖部には歯根完成歯に普通みられる吸収像とはかなり異った様相を示すようである<sup>22) 26)</sup>。いずれにしろ，傾斜移動では特に矯正力の集中する部位で比較的広範囲の長期にわたる歯根膜の硝子様変性がおこりやすく，その局面に近接して高度な歯根吸収を引きおこす危険性が高いと言える。

次に，歯体移動と歯根吸収の関係を考えてみる。一般に臨床上用いられている弱い持続的な力による歯体移動では傾斜移動よりも硝子様変性をおこしにくく，歯根吸収もおこりにくいとされている



<sup>16)</sup> <sup>18)</sup>。例えば大白歯の弱い持続的な力 (150~200 g) による歯体移動では、その歯根尖部の側面と歯根中央部側面にわずかな吸収を生じるが、その吸収窩は保定期間中に修復される程度のものであるために、このような場合大白歯、小白歯部の歯根吸収による歯根の短小化は少ない<sup>22)</sup>。歯体移動は歯を歯槽窩内側骨表面に平行に移動させる歯牙移動様式で、前述のとおり力がある限度を越えないときは歯根吸収をおこす危険性が少ないとされている<sup>16)</sup>。この場合、厳密な意味では必ずしも常に平行に歯が移動されているとは言えない。移動初期にはまずわずかな傾斜がおり、次いで矯正装置によってもたらされる偶力により歯が直立する。このわずかな傾斜と直立を繰り返しながら、加えられた矯正力の方向への移動が進行する (図 11)。

組織学的な考えを加えると、まず初期段階ではわずかな傾斜を示すので、圧力が集中する圧迫側歯頸部よりの歯根中央部に相当して、歯根膜に局在した小範囲の硝子様変性帯が生じる。しかし、これを支点としておこる歯の移動方向と反対方向への根尖部の動きは矯正装置の制限によってきわめて少ないので、この動きによる歯根尖部の初期圧迫はわずかである。適切な矯正力が加えられた場合には、圧迫側 (歯牙移動方向側) の硝子様変

性帯の上下、特に根尖側の歯槽骨表面一帯には Howship 氏窩の形成がみられ直接性の吸収を生じる。移動の初期に形成された硝子様変性帯は、わずかな期間で消失し、当該小部分の穿下性吸収の完了と共に牽引側の歯根膜線維束のゆるやかな伸長をもたらす程度の矯正力が持続的に加われば、二次的な硝子様変性を生じることもなく、スムーズな歯体移動が継続する。牽引側では、これらの伸張した線維束に沿って新生骨の形成が起こる<sup>22)</sup>。この種の移動では結局矯正力のもたらす圧力分布が圧迫側の歯根面全体にわたる広範囲で受けとめられることになる。このことはイスの切歯の歯体移動実験においても証明されている<sup>16)</sup>。

イスの下顎第3切歯に 85 g の持続的な歯体移動の様式の矯正力を加えた場合では、圧迫側の歯根中央部側面に軽度ではあるが比較的大きな象牙質に達する歯根吸収像をみとめ、また根尖部の歯根側面には一様なセメント質表層の軽度な吸収をみた。しかし、これと同条件のイスの小白歯に 50 g 以下の歯体移動様式の矯正力を加えた場合ではほとんど吸収が認められなかった<sup>16)</sup> (図 12)。このような組織反応の差は歯体移動においても矯正力が大きくなるほど歯根吸収の程度が強くなり現われる傾向があることを示している。

ところで、これらの事象をふまえて全般的に傾

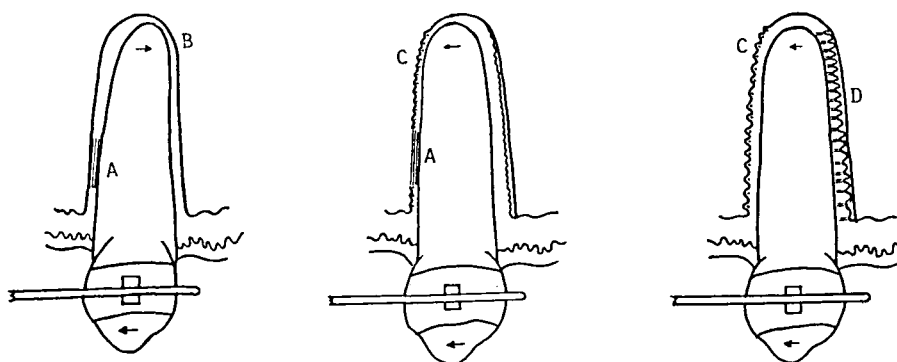


図 11: 歯体移動; この種の移動では圧力が結局圧迫側全体にわたって受けとめられるため歯根吸収は発現しにくい。あっても軽度である。

左: 持続的歯体移動の初期段階。A, 硝子様変性帯 B, 歯の傾斜によるわずかな初期の根尖部歯根膜の圧縮。

中央: 矯正装置によってもたらされる偶力により歯が直立してくる。A, 硝子様変性帯。近接部より穿下性吸収がおこる。C, 圧迫側の硝子様変性帯の上下に、特に根尖側の骨表面一帯に、Howship 氏窩の形成がみられ直接性吸収が生じる。

右: 穿下性吸収が終わった後のスムーズな歯体移動。C, 直接性吸収が圧迫側歯槽骨全面でみられる。D, 牽引側では伸張した線維側に沿って新生骨の形成がある。

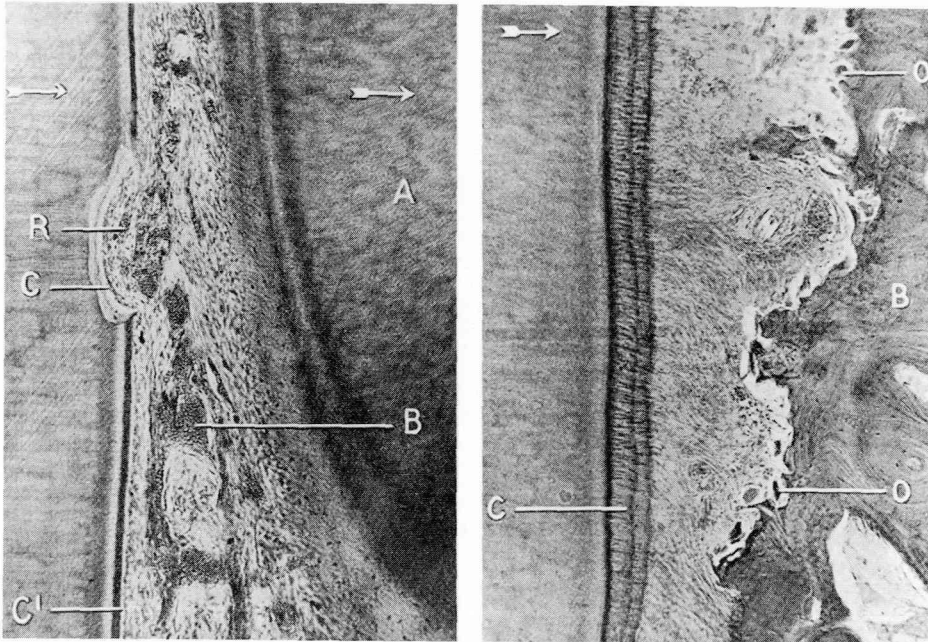


図12：歯体移動時の組織変化

左：85g の矯正力でイヌ切歯を 130日間移動。象牙質に達する歯根吸収が認められる。

A：隣在歯，B：変形した毛細血管，C：未石灰化セメント層，R：吸収窩

右：45g の矯正力でイヌ小白歯を47日間移動，歯根吸収はみられない。直接性骨吸収が

みられる。B：骨，C：セメント質，O：破骨細胞（Reitan<sup>16</sup>より引用）

斜移動と歯体移動とを比較すると同程度の弱い持続的な力を歯に加えた場合，歯根吸収の発現頻度および吸収の程度は傾斜移動を行った場合の方がより強く現われるということになる。

歯根吸収と歯の移動速度との関係については研究報告が少ないのであるが，移動速度の差によって歯根吸収の程度が著しく変化することはないようである<sup>26</sup>。

その他，歯根吸収の頻度や程度に影響を及ぼす要因として矯正力に対する組織反応の個体差が考えられる。同年齢グループ内においても歯周組織構造やその生物学的反応にかなりの差異があるので<sup>18</sup>，年齢差の要因が加われればさらに歯根吸収の程度や発現頻度に大きな差異がでてくる<sup>17) 27) 28)</sup>，特に成人では若年者と比較して歯根膜は成熟しており，歯周組織が休息期にあるものが多く，しばしば歯槽骨窩内側表面にはいわゆる resting line がみとめられ長期にわたってわずかな組織変化しかおこっていない様相を示している。歯槽骨は骨髓腔が狭く，層板骨組織が緻密であるなどその解

剖学的環境，組織構造あるいは組織活性に老化がみられ，一般的に矯正力の刺激に対する組織反応や線維性組織の改造も緩慢である<sup>17) 18) 22)</sup>。したがって高年齢者では矯正刺激に対して急速に対応できず，例えば歯牙移動に際して休息期にある成人の歯周組織を増殖期の状態にするにもかなりの期間（8～14日）にわたる弱い持続的な力を適用することが临床上必要といわれている<sup>22)</sup>。このように考えると，歯牙移動に際して歯根吸収を拡大させる重要な誘因である歯根膜の圧迫状態を永続させざるを得ないような種々の環境条件によっても高年齢者では吸収の程度が大きくなると考えられる。さらに2次セメント質の形成沈着能力の低下なども関係して増齢的に歯根吸収の発現が高くなってくる<sup>24) 27) 28) 29)</sup>。

#### (四)歯牙移動に伴う歯根吸収の予防に関する臨床的考察

日常臨床で歯根吸収を発見する方法はX線写真に頼らざるを得ない。しかし，X線写真では吸収がかなり進行してからでないと発見できない。定期的に撮影した歯牙X線写真のグリッドスケール

を応用した比較でも歯根尖部の吸収で少なくとも0.5 mm 以上の変化がないと吸収の有無を確実に判別できないと言える。セメント質層内に限局するような極めて小さな歯根吸収窩はX線写真上には現われないであろうし、まして歯根側面部の吸収はX線写真の性質上接線部での陰影でしか把握できないため、いきおい唇・頬・舌面での吸収を知ることはほとんど不可能である。また、歯牙X線写真の撮影条件の規格性が乏しいことも治療経過中の歯根吸収の検索を困難にしている。

X線写真で認め得る歯根吸収については従来多くの報告がみられてきたが<sup>27) 28) 30)</sup>、X線写真上でみられるような吸収状態を示すものでは、すでにその歯根の実質欠損はかなり大きくなっており、いわゆる初期の吸収像は歯牙X線写真上ではとらえ得ないのが普通である。

吸収窩が歯根歯頸部近くや歯根中央部あたりに限局するかぎり歯の機能や安定性をそこなうことはまずないが、根尖部の吸収によって歯根の短小化がおこると歯の動揺をきたし正常な咀嚼機能を果たすることができなくなる。臨床的に大切なことは根尖部の吸収が歯根短小化につながるような吸収過程に移行しないようにすることである<sup>22)</sup>。

本稿では傾斜移動と歯体移動についてのみ詳述したが、むしろ他の歯牙移動様式、特に圧下やトルクなどにおいて重篤な歯根吸収をみることが多い。Reitan<sup>22)</sup>は、特に臨床上前問題となる根尖部の歯根吸収の誘因となりやすい歯の移動様式として、①長期間にわたる前歯の傾斜移動、②大臼歯の遠心傾斜移動、③小さな歯の長期間にわたる連続的な歯体移動、④圧下移動、⑤トルクによる移動を挙げている。このような場合には特に入念な定期的な歯牙X線写真による診査が必要である。

一般に、ヒトの1カ月に満たないような歯牙移動実験では歯根吸収が硝子様変性帯に隣接する部位に著明に発現することはなく、あったとしてもきわめて軽度な小さい吸収窩を示すのみであるようである。しかし、一度歯根面に吸収窩ができてしまうと、一定の期間を経て硝子様変性帯が消失除去される時に同時に類セメント質や歯根膜のコラーゲン線維などの歯根表面を保護していた組織も除去されてしまうので、吸収の始まっているセメント質や、場合によっては象牙質を露出させてしまうことになり、破歯細胞による吸収がより進

行しやすい環境になる。そのような状態の時に、さらに継続して矯正力をかけ続けると、いきおい隣接する線維組織にもたらされる長期の持続的な圧迫によって吸収過程が連続する。このようにして矯正臨床上問題になるようなより大きい歯根吸収へと拡大されていくという<sup>22) 31)</sup>。

ヒトの歯とラットの歯の歯牙移動についての電子顕微鏡による検索からも、より強い力がある一定期間（少なくとも約1カ月以上）持続すると歯根吸収を生じること、および歯根吸収の著明な進行時期は硝子様変性帯の除去された後に引き続いて起こること、ヒトでは一般的な矯正力を加えた時硝子様変性帯の一次的な除去が20～25日間で行われることなどが明らかにされている。また、セメント質は象牙質よりも吸収に抵抗性があり、セメント質の中でも表層の方が深層より抵抗性があることなども示されている。石灰化の十分行なわれていない類セメント質、象牙質は破歯細胞に対して強い抵抗性を示し、これらは歯根周囲の成熟したコラーゲン線維と共に歯根吸収に対する防御壁としての役割を果たすと説明している<sup>31)</sup>。

従って、臨床的にX線写真上で歯根吸収が疑われた場合、さらに広汎な歯根吸収に移行することを避けるためには吸収窩が小さいうちに二次セメント質によって修復されるまでの間、歯の移動を中止するのが得策である。また歯根歯頸部と根尖部に限局して強い圧迫をもたらすような傾斜移動は中止し、より危険性の少ない歯体移動に切り替えるのも大切である。あまり強い力は使わないこと、休みなく長い距離を歯牙移動させないこと、歯根吸収の傾向が認められたらただちに休息期を与えることが肝要である。また特異な例として歯牙移動中に咬合機能の異常あるいは軟組織筋機能の異常、舌癖などが関連して歯根尖部の吸収を高めることがあること、また甲状腺機能低下症のような内分泌障害では矯正治療中には特に急速な歯根吸収が起こることなども考慮に加えるべきであろう。

## おわりに

本稿では矯正学的歯牙移動による歯周組織の変化と組織損傷に関して、主として痛みと歯根吸収の問題に焦点をあてて矯正力のあり方につき再考した。

なかでも、歯根吸収の発現はその程度によっては歯の正常な機能を危くするものであるので、特にその発生機序と予防について詳細な臨床組織学的考察を加えた。

矯正力の正しい臨床応用のためには矯正力の大きさ、その加え方、歯牙移動の様式、患者の年齢による歯周組織構造の差や組織反応、改造能力の差、内分泌障害など吸収をおこしやすい素因の有無等々、組織損傷を防ぐために考慮しなければならない点が多い。

本稿につき数々の御指導をいただいた広島大学歯学部歯科矯正学教室 山内和夫教授ならびに植木和弘先生に謝意を表します。

#### 参 考 文 献

- 1) 三浦不二夫, 井上直彦 (1972) ライトワイヤー・テクニック. 第一版, 28—43. 医歯薬出版, 東京.
- 2) Moyers, R. E. (1973) Hand Book of Orthodontics. 3rd ed., 440. Year Book Medical Publishers Inc., Philadelphia.
- 3) Gianelly, A. A., and Goldman, H. H. (1971) Biologic Basis of Orthodontics. 116—204. Lea & Febiger, Philadelphia.
- 4) Begg, R. R., and Kesling, P. C. (1977) Begg Orthodontic Theory and Technique. 3rd., 149. W. B. Saunders Co., Philadelphia.
- 5) Storey, E., and Smith, R. (1952) Force in orthodontics and its relation to tooth movement. Aust. J. Dent. 56: 11—18.
- 6) Jarabak, J. R., and Fizzell, J. A. (1972) Technique and Treatment with Light-Wire Edgewise Appliances. 2nd ed., 277—379. C. V. Mosby Co., Saint Louis.
- 7) Bench, R. W., Gugino, C. F., and Hilgers, J. J. (1978) Bioprogressive Therapy. J. C. O. 12:L24.
- 8) Burstone, C. J. (1962) The Biomechanics of Tooth Movement, in Vistas in Orthodontics, B. S. Kraus, and R. A. Reidel (eds.), 197—213, Lea & Febiger, Philadelphia.
- 9) Burstone, C. J. (1975) Application of Bioengineering to Clinical Orthodontics, in Graber, T. M. (2nd ed.): Current Orthodontic Concepts and Techniques. 230—258, W. B. Saunders Co., Philadelphia.
- 10) 河村洋二郎, 他 (1965) 歯牙に加える圧と歯神経反応の関係について, 阪大歯学誌, 10: 65—73.
- 11) 河村洋二郎 (1973) 口腔生理学, 第4刷, 94—97. 永末書店, 京都・東京.
- 12) Sandstedt, B. (1904) Einige Beitrage zur Theorie der Zahnregulierung. Nord. Tandlakere Tisdtr. Ht. 1. 2. 4.
- 13) Oppenheim, A. (1942) A human tissue response to orthodontic intervention of short and long duration. Amer. J. Orthodont. 28: 263—301.
- 14) Oppenheim, A. (1944) A possibility for physiologic orthodontic movement. Amer. J. Orthodont. & Oral Surg. 30: 277—328.
- 15) Schwartz, A. M. (1932) Tissue change incidental to orthodontic tooth movement. Int. J. Orthodont. 18: 331—352.
- 16) Reitan, K. (1947) Continuous bodily tooth movement and its histological significance. Acta Odont. Scand. 7: 115—144.
- 17) Reitan, K. (1954) Tissue reaction as related to the age factor. Dental Record. 74: 271—278.
- 18) Reitan, K. (1957) Some factors determining the evaluation of forces in orthodontics. Amer. J. Orthodont. 43: 32—45.
- 19) Reitan, K. (1960) Tissue behavior during orthodontic tooth movement. Amer. J. Orthodont. 46: 881—900.
- 20) Reitan, K. (1967) Clinical and histological observation on tooth movement during and after orthodontic treatment. Amer. J. Orthodont. 53: 721—745.
- 21) Reitan, K. (1974) Initial tissue behavior during apical root resorption. Angle Orthodont. 44: 68—82.
- 22) Reitan, K. (1975) Biomechanical Principles and Reaction, in Graber, T. M. (2nd ed.): Current Orthodontic Concepts and Techniques. 111—229. W. B. Saunders Co., Philadelphia.
- 23) 榎 恵, 本橋康助, 岩沢忠正, 他 (1974) 歯科矯正学, 第一版, 229—241, 医歯薬出版, 東京.
- 24) Massler, M., and Malone, A. J. (1954) Root resorption in human permanent teeth; A roentgenographic study. Amer. J. Orthodont. 40: 619—633.
- 25) Zachrisson, B. U. (1978) Dr. Bjorn U. Zachrisson on iatrogenic damage in orthodontic treatment (part 1), J. C. O. 12: 102—113.
- 26) 植木和弘 (1979) 歯根未完成歯の移動に関する実験的研究. 広大歯誌, 11: 印刷中.
- 27) 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.
- 28) 幸地幸子, 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.
- 29) 坂本敏彦, 伊藤学而 (1970) 矯正治療の時期を決定する要素は何か. 日矯歯誌, 29: 61—63.

- 30) Rudolph, C. E. (1940) An evaluation of root resorption occurring orthodontic treatment. *J. dent. Res.*, **19**: 367—371.
- 31) Rygh, P. (1977): Orthodontic root resorption studied by electron microscopy. *Angle Orthod.* **47**: 1—16.
- 32) 三浦不二夫, 井上直彦, 大坪淳造 (1971) 現代歯科矯正学, 上巻, 第一版, 92, 医歯薬出版, 東京.