

調査・統計

矯正治療に伴う歯根吸収のリスクの診断法に関する研究（第2報） ——矯正治療中に歯根吸収を起こした上顎中切歯歯根の 治療前の状態に関する疫学的調査——

清水 義之 達谷 窟佳子 三 谷 英 夫

東北大学歯学部歯科矯正学講座

Yoshiyuki SHIMIZU, Yoshiko TAGAYA and Hideo MITANI

Department of Orthodontics, School of Dentistry, Tohoku University

キーワード：歯根吸収，リスク，異常歯根形態，歯根吸収像

矯正治療に伴う歯根吸収のリスクを治療前の段階で診断する方法をみつけだすことを目的として，矯正治療中に上顎中切歯に重篤な歯根吸収を発現した33症例の上顎中切歯の歯根の治療前の歯根形態，歯根吸収像の有無，前歯部の咬合状態について検索を行った。その結果，以下のような知見が得られた。

1. 歯根形態は，歯根吸収が軽症であった群（軽症者群）の約94%が正常であったのに対して，重症であった群（重症者群）では約36%に異常が認められた。

2. 軽症者群の治療前の歯根形態はその3%が短根状，他の3%が屈曲状であった。一方，重症者群では短根状が15.2%，ピペット状が15.2%，短根状でピペット状が6.1%であった。

3. 治療前に歯根吸収が認められたのは，軽症者群では9.1%，重症者群では36.4%であった。

4. 重症者群で歯根吸収を認めた症例の83%が外傷性咬合あるいは舌癖を有していた。

5. 治療前に歯根に異常形態もしくは歯根吸収像を認めたのは，軽症者群では12.1%だったのに対して，重症者群では51.5%であった。

以上の結果より，矯正治療前の歯根の異常形態所見が，治療による歯根吸収の発現と密接に関連していることが示唆された。

（日矯歯誌, Orthod. Waves 57(5) : 369~376, 1998）

A study of the risk of root resorption during orthodontic treatment (part 2) ——An epidemiological survey of initial characteristics of the upper central incisor roots that developed root resorption during orthodontic treatment——

The purpose of this study was to examine the initial characteristics of upper central incisor roots that developed root resorption during orthodontic treatment using multi bracket appliances. 33 patients that had developed severe root resorption in the upper central incisors after orthodontic treatment were randomly selected from the files of the Orthodontic Clinic at the Tohoku University School of Dentistry. 33 patients that had developed mild root resorption were selected as controls. The initial morphological characteristics of the upper central incisor roots and the amount of root resorption before active treatment were examined. The initial anterior bite and presence of tongue habits were also investigated. Abnormal root shapes were observed in 36% of the patients that developed severe root resorption. 42% of these had a short root, 42% had a pipette shaped root and 16% had both types of root. In contrast, only 6% of the patients in the control group had abnormally shaped roots. Initial root resorption before active treatment was observed in 36% of the patients that developed severe root resorption, but only in 9% of the patients in the control group. 83% of the initial root resorption cases were caused by traumatic occlusions or tongue habits. These results indicate that abnormal root shape and

the presence of initial root resorption may be related to the development of severe root resorption during

orthodontic treatment of the upper central incisors.
(Orthod. Waves 57(5):369~376, 1998)

緒 言

歯科矯正治療における歯の移動において、歯根吸収は程度の差はあれしばしば認められる所見である。しかし、その発現の予知に関しては、治療を進めながら定期的に X 線写真で診査しているのが現状であり、治療前にその発症のリスクを診断する方法はほとんどない。矯正治療に伴う歯根吸収は、矯正力を負荷された歯根の圧迫側に硝子様変性組織が形成されることにより歯周靱帯が剥離し、その結果セメント質が露出して破歯細胞が誘導されることにより起きると考えられている^{1,2)}。しかし臨床においては、同じような矯正装置で同じようなメカニクスを使って治療しても、歯根吸収をほとんど起こさない場合もあれば、それに反して重篤な歯根吸収を起こす場合もあり、その発症と程度については個人的なバリエーションが非常に大きい^{3,4,5)}。個人的なバリエーションが生じる要因としては、遺伝的要因⁶⁾、全身的要因^{7,8,9,10)}、治療メカニクス^{7,11)}、治療期間^{12,13)}、年齢^{7,14)}、歯根形態^{12,15,16,17)}、歯槽骨の骨化度¹⁸⁾などが関係しているといわれているが、現在までのところ定説はない。以上の要因の中で、特に治療前の歯根形態に関してはさまざまな研究がなされているが、短根¹⁹⁾やピペット状歯根¹²⁾が歯根吸収を発症するリスクが高いという報告や、逆に短根歯の歯根吸収は正常歯と変わらないという報告¹²⁾もあり、歯根吸収の発症リスクと歯根形態との関連は明確ではない。また、未治療の学童の 10% に著明な中切歯の歯根吸収が認められたという報告²⁰⁾や、外傷歯は歯根吸収を起こしやすいという報告¹¹⁾もなされている。このように、治療前の歯根形態、歯根吸収の有無や咬合状態と矯正治療に伴う歯根吸収との関連は非常に興味深いものがあるが、これらに関する知見はほとんどない。われわれは第 1 報において、重篤な歯根吸収を起こした症例では治療前の上顎前歯部に歯根形態に異常を有するものが著しく多いことを報告したが²¹⁾、本研究は、矯正治療に伴う歯根吸収発症のリスクを初診の段階でみつけだすことを目的として、上顎中切歯の治療前の歯根の状態と治療後の歯根吸収の発現との関連について、形態だけでなく、治療前の歯根吸収の有無や咬合状態についても検索を行った。

資料と方法

I. 研究資料

本研究では、東北大学歯学部附属病院矯正科に不正

咬合を主訴として来院した患者のうち、外科矯正治療適用症例以外でマルチブラケット装置にて矯正治療を行った患者の治療前後における、上顎中切歯のデンタル X 線写真、側面頭部 X 線規格写真および総合カルテを資料として用いた。また、それらのなかから歯根吸収を発症した者をその程度によって軽症のもの 33 名、重症のもの 33 名を抽出した。なお、治療開始時に中切歯の歯根が未完成の症例、著しい近遠心傾斜や捻転している症例、歯髓処置を施してある症例は除外した。

II. 歯根形態の評価法

矯正治療後の歯根吸収状態は、第 1 報²¹⁾と同様に Malmgren ら¹¹⁾の方法を参考にして、軽症と重症に分けた。すなわち、根尖が少し粗になっている吸収状態を 1 度、根尖が丸くなり歯根が 1/4 以下の吸収を起こしている状態を 2 度、歯根の 1/4 以上 1/3 以下の吸収を 3 度、歯根の 1/3 以上の吸収を 4 度に分類して評価した。症例の中で歯根吸収状態が 1 度以下を軽症者群、また、3 度以上を重症者群として両群を比較検討した。なお、吸収を示した歯根の形態については、同様に Malmgren らの方法¹²⁾を参考にして、正常、短根、根尖が丸い歯根、屈曲歯根、ピペット状歯根の 5 種類に分類した。短根歯の判断基準は、図 1 で示したように側面頭部 X 線規格写真のトレースより上顎中切歯の歯冠長と歯根長を計測し、歯根長と歯根長/歯冠長比が共に正常歯根と判断された 30 症例の平均値(表 1)よりも 1 SD を越えて著しく小さい歯根(歯根長 10 mm 以

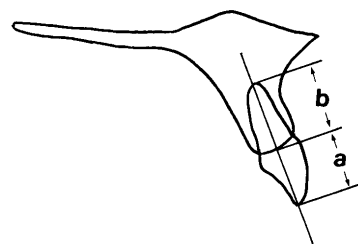
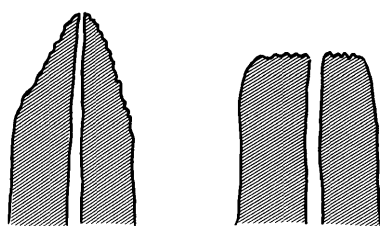


図 1 歯冠長と歯根長の計測法
a : 歯冠長 b : 歯根長

表 1 正常形態を有する上顎中切歯の歯冠長、歯根長、歯根長/歯冠長比

歯冠長 (mm)	11.7±0.83
歯根長 (mm)	13.0±0.91
歯根長/歯冠長比	1.11±0.07
計測値は平均値±SD で示す。 n=30	



Type 1

Type 2

図2 歯根吸収発現像の分類

Type 1: 根尖の側面が吸収しているタイプ

Type 2: 根尖全体が吸収しているタイプ

(Reitan の分類²¹⁾を参考)

表2 軽症者群と重症者群の治療開始年齢, 治療期間, 性別, 骨格系の分類

	軽症者群 (n=33)	重症者群 (n=33)	
治療開始年齢 (歳)	14.8±3.59	14.5±4.39	n. s.
治療期間 (年)	1.93±0.73	1.89±0.74	n. s.
男子 (%)	30.3	24.2	n. s.
女子 (%)	69.7	75.8	n. s.
C1 I (%)	57.6	48.5	n. s.
C1 II (%)	27.3	36.4	n. s.
C1 III (%)	15.1	15.1	n. s.

治療開始年齢と治療期間の値は平均値±SDを示す。

n. s.: not significant

下, 歯根長/歯冠長比 0.9 以下) とした。

III. 歯根吸収像の評価法

治療前のデンタル X 線写真より歯根吸収の有無と歯質の吸収状態を評価した。吸収状態は, Reitan の分類²²⁾を参考にして, 図2で示したように, 根尖の側面が吸収しているものを Type 1 とし, 根尖全体が吸収しているものを Type 2 とした。また, 歯根膜腔の拡大像の有無も観察した。

IV. 前歯部の咬合状態の評価法

側面頭部 X 線規格写真のトレースより, 前歯部の Overbite と Overjet を計測した。また, 外傷性咬合と舌癖の有無に関しては, 初診検査時の調査用紙より検索を行った。

V. 統計処理について

軽症者群と重症者群の計測値について, 正規分布および等分散の検定を行い, 2 群間の計測値の平均値の差の検定には t 検定を, さらに歯根形態, 治療前の歯根吸収状態等の評価は計測値間で χ^2 検定を用いて統計処理を行った。

結 果

I. 治療前の歯根形態

軽症者群と重症者群を比較すると, 第1報の結果と同様に治療開始年齢, 治療期間, 男女の比に差は認められなかった(表2)。不正咬合の分類別では, 重症者群の方に上顎前突の不正咬合が多い傾向がみられたが, 軽症者群と有意な差は認められなかった。上顎中切歯の歯根形態では, 図3, 表3で示したように, 軽症者群の 93.9% が正常形態を有していたのに対して, 重症者群では 36.5% に何らかの異常が認められ, 第1報

の結果と同様に重症者群で異常形態所見が認められる割合が著しく高かった。軽症者群と重症者群で認められた歯根の形態異常を分類すると, 軽症者群では短根が 50% (2 症例中 1 症例), 屈曲根が 50% (2 症例中 1 症例) であったのに対して, 重症者群では短根が 41.7%, ピペット状歯根が 41.7%, 短根でピペット状歯根が 16.6% であった。全症例中においては, 軽症者群では短根が 3%, 屈曲根が 3% 認められ, 重症者群では短根が 15.2%, ピペット状歯根が 15.2%, 短根でピペット状歯根が 6.1% であった。次に, 治療前の歯冠長と歯根長を比較すると, 軽症者群と重症者群において歯冠長では差は認められなかったが, 歯根長と歯冠長/歯冠長比に有意な差が認められ, 重症者群が軽症者群に比べて歯根が短い傾向にあった(図4, 表4)。

II. 治療前の歯根吸収状態

治療前の上顎中切歯の歯根吸収像を観察すると, 図5, 表3で示したように軽症者群では全症例中の 9.1% に吸収が認められたのに対して, 重症者群では 36.4% に吸収が認められた。すなわち, 重症者群の方が治療前の上顎中切歯に歯根吸収が認められる割合が高かった。重症者群で歯根吸収が認められた 12 症例中では, 短根が 41.7%, ピペット状歯根が 8.3% で, 短根歯の方が歯根吸収を伴う割合が高かった。重症者群で形態異常と吸収を共に示す症例は全体の 18.2% で, 形態異常と吸収のいずれかを示す症例は全体の 51.5% であった。このように, 約半数において治療前の歯根に何らかの異常所見が認められた。一方, 軽症者群では形態異常と吸収のいずれかを示す症例は全体の 12.1% で, 重症者群に比べると明らかに少なかった。また, 重症者群の歯根吸収像を形態的に分類すると, Type 1 が 50%, Type 2 が 50% であった(表5)。軽症者群では, 治療前に歯根吸収がみられたすべての症例が Type 1 であった。歯根膜腔の拡大像は, 軽症者群で 12.1%, 重症者群で 9.1% で, 両群に有意な差は認められなかった。

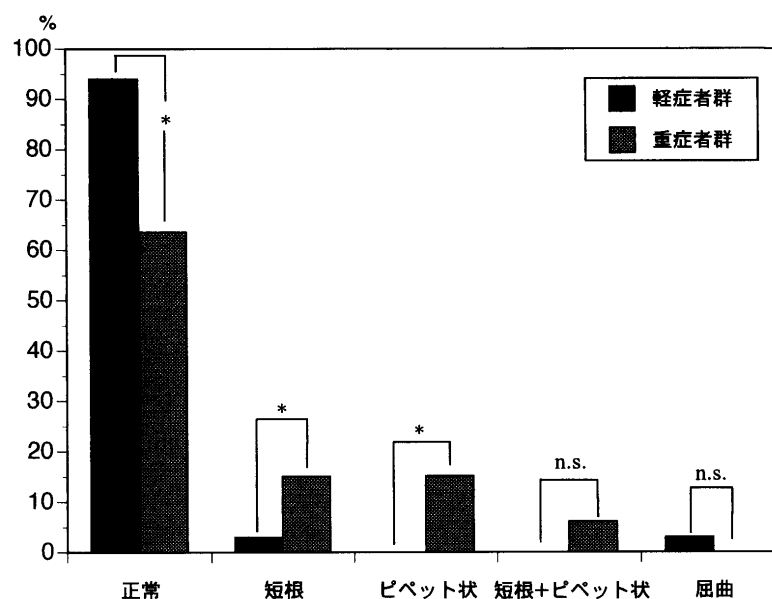


図3 治療前の上顎中切歯の歯根形態の分類

* $p < 0.05$, n. s. : not significant

表3 治療前の上顎中切歯の歯根形態の分類と歯根吸収像の有無

	軽症者群 (n=33)		重症者群 (n=33)		
	No.	%	No.	%	
正常形態歯根	31	93.9	21	63.6	*
短根	1	3.0	5	15.2	*
ピペット状歯根	0	0	5	15.2	*
短根+ピペット状歯根	0	0	2	6.1	n. s.
屈曲歯根	1	3.0	0	0	n. s.
歯根吸収像+	3	9.1	12	36.4	*
歯根膜腔拡大像+	4	12.1	3	9.1	n. s.
異常歯根形態で歯根吸収像+	1	3.0	6	18.2	*
異常歯根形態あるいは歯根吸収像+	4	12.1	18	51.5	**

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, n. s. : not significant

III. 治療前の前歯部の咬合状態

側面頭部 X 線規格写真の計測項目についてみると (表 6), 軽症者群と重症者群で有意な差は認められなかった。前歯部の咬合に関係する上顎中切歯の歯軸, Overbite, Overjet の平均値にも差は認められなかった。Overbite と Overjet の散布図を比較すると, 重症者群の方に Overbite と Overjet が共に小さい症例が多くみられ, なかには Overbite がマイナスの値を示すものもあった (図 6, 7)。治療前の歯根吸収の発現と Overbite, Overjet の関係を調べると, 重症者群では Overbite と Overjet が小さい症例と Overbite と Overjet がマイナスの値を示す症例が多い傾向にあったが, 逆に Overbite と Overjet が大きい症例も認められた。外傷性咬合および舌癖の有無と治療前の歯根吸

収の発現との関係を調べると, 重症者群 12 例中では, 外傷性咬合を伴うものが 6 例, 舌癖を伴うものが 4 例で, 約 83% において両者のいずれかを有していた (表 5)。また, 外傷性咬合を伴う 6 例についてみると, 前歯部反対咬合で早期接触により外傷性咬合が起きている症例, 前歯部が edge to edge で外傷性咬合が起きている症例, Angle Cl II division 2 で外傷性咬合が起きている症例がそれぞれ 2 例ずつであった。舌癖を有する 4 例の中では, open bite が 2 例, Angle Cl II division 1 が 2 例であった。吸収像のタイプ別に調べると, Type 1 の約 67% が舌癖を有しており, Type 2 のすべての症例が咬合性外傷を伴っていた。軽症者群では歯根吸収を認めた 3 症例中 1 例が舌癖を有していた。

表 4 治療前の上顎中切歯の歯冠長, 歯根長, 歯根長/歯冠長比

	軽症者群 (n=33)	重症者群 (n=33)	
歯冠長 (mm)	11.7±0.84	11.5±0.87	n. s.
歯根長 (mm)	12.9±1.16	11.3±2.16	**
歯根長/歯冠長比	1.10±0.10	0.98±0.17	*

計測値は平均値±SDで示す。

* p<0.05, ** p<0.01, n. s.: not significant

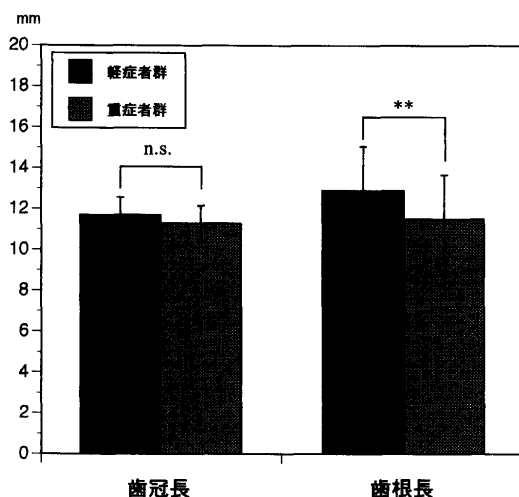


図 4 治療前の上顎中切歯の歯冠長と歯根長

** p<0.01, n. s.: not significant

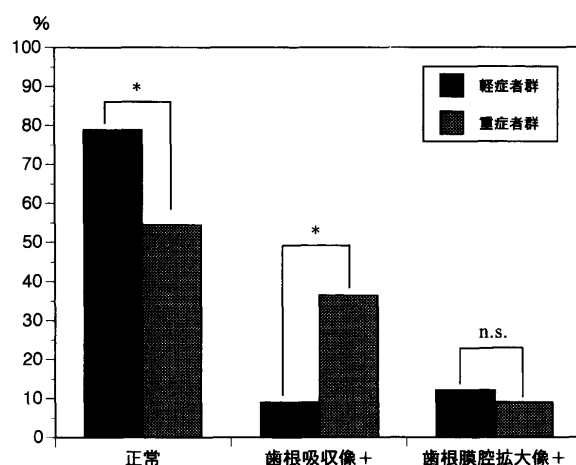


図 5 治療前の歯根吸収像と歯根膜腔拡大像

* p<0.05, n. s.: not significant

表 5 重症者群の治療前の上顎中切歯の歯根吸収像の分類

	No.	%	外傷性咬合 (%)	舌癖+ (%)	特記事項無し (%)
Type 1	6	50.0	0	66.7	33.3
Type 2	6	50.0	100	0	0

重症者群において治療前に上顎中切歯に歯根吸収像を認めた 12 症例の分類を示す。

考 察

本研究は、本学矯正科においてマルチブラケット装置により矯正治療を行った症例の治療前の中切歯歯根を、形態、歯根吸収状態、咬合状態という観点から調べたものである。その結果、治療中に重度の歯根吸収が発症した症例の治療前の中切歯歯根の約 50%に、歯根形態の異常や歯根吸収像などの所見が認められた。

治療前の歯根の状態と歯根吸収の発現との関係については、力学的機序と歯周組織の特性の 2 つの観点から考察する必要がある。まず力学的観点から考察すると、歯根吸収の発現の 1 つの原因として根尖への過度の応力集中が考えられる。すなわち、同じ大きさの矯正力が歯冠に加わったとしても、歯根長/歯冠長比が小さいほど、すなわち短根になるほど Moment/Force

ratio が小さくなり、しかも歯根表面積が小さいので根尖に大きな応力が加わることになる。また、同じ大きさの応力が根尖に加わったとしても、根尖の形態によって加わった応力の分散が異なると考えられ、したがって、根尖が細く尖ったピペット状歯根には正常形態の歯根に比べて大きな応力が加わると考えられる。Oppenheim²³⁾は根尖の形態が円錐に近い場合では、外力が根尖に集中しやすくなるために歯根吸収が起きやすいと報告しており、また、沼田²⁴⁾は上顎中切歯と側切歯を比較すると、側切歯の方が歯根吸収の発現が多いという報告をしていることから、歯根の長さや根尖の形態と歯根吸収の発現とは力学的な側面から密接に関連していると考えられる。歯の形態異常と歯根吸収の関係については、根尖がピペット状を示したり、すでに丸い形態を示す歯根は吸収が起きやすいという報告¹²⁾がある。また、短根に関しては正常歯根とほとんど

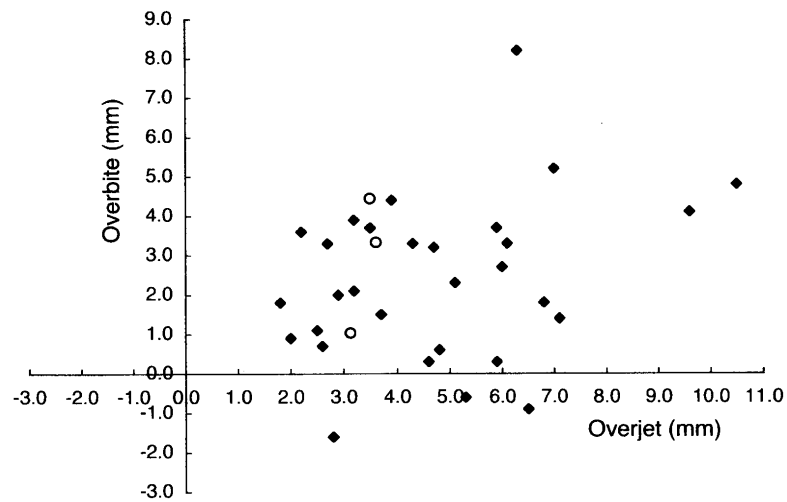


図 6 治療前の前歯部 Overbite と Overjet (軽症者群)

◆: 歯根吸収像- ○: 歯根吸収像+

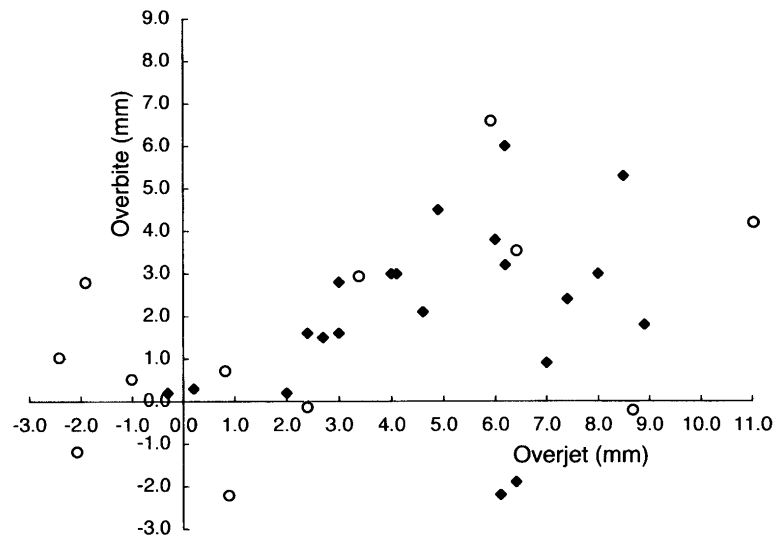


図 7 治療前の前歯部 Overbite と Overjet (重症者群)

◆: 歯根吸収像- ○: 歯根吸収像+

表 6 軽症者群と重症者群の側面頭部 X線規格写真の計測値

	軽症者群 (n=33)	重症者群 (n=33)	
ANB (°)	4.4±2.24	4.3±2.59	n. s.
Wits appraisal (mm)	-0.50±3.15	-0.93±3.95	n. s.
U1 to SN (°)	105.8±8.51	108.1±9.85	n. s.
Overbite (mm)	2.4±2.00	1.8±2.16	n. s.
Overjet (mm)	4.7±2.09	3.8±3.45	n. s.

計測値は平均値±SD で示す.

n. s.: not significant

差がなかったという報告¹²⁾があるが、それに対して、弱い相関ではあるがやはり短根の方が根尖は吸収しやすいという報告¹⁹⁾もあり、短根歯に関しては統一見解は

得られていない。本研究においては、歯根吸収が重篤な群に明らかに多くの短根とピペット状歯根が認められた。また、歯根長と歯根長/歯冠長比も重症者群の方

が軽症者群に比べて有意に小さかった。しかし、本研究において重症者群の短根歯7例中2例がピペット状歯根を伴っていたことや、軽症者群でも短根歯は少数ではあるが認められたことから、短根歯に関しては単純に歯根の長さの問題だけではなく、根尖の形態や太さ、歯根歯質、治療メカニクスを含めて総合的に判断する必要があると考えられた。

次に、歯根吸収の発現と程度に個人的なバリエーションが生じる要因の1つとして歯周組織の特性の問題が考えられる。歯根吸収の発現を組織学的に観察すると、矯正力が負荷された歯周組織には圧迫側に硝子様変性組織が形成され、その周囲の歯周靱帯が剝離されてセメント質が露出し、次いで破歯細胞が誘導されることにより歯根の吸収が開始すると考えられている^{1,2)}。しかし、応力に対する歯周組織の反応性には個人差があり⁹⁾、歯根膜線維芽細胞、セメント芽細胞、破歯細胞の前駆細胞を含む免疫系細胞の動態および歯根膜線維、セメント質、象牙質、歯槽骨の特性などが歯根吸収の発現と進行に密接に関与していると考えられ、これらについても検討することが必要である²⁵⁾。また、歯根吸収の個人的なバリエーションの要因に関する研究には、全身疾患との関係⁷⁻¹⁰⁾、骨代謝やCa代謝との関係¹⁸⁾を調べた報告はあるが、実際に吸収される歯周組織の特性に着目した研究はほとんどない。本研究の結果では、矯正治療前の歯根吸収像は重症者群の約36%に認められ、軽症者群よりも明らかに多かった。治療前に歯根吸収像が生じる原因として、外傷¹¹⁾、根尖性歯周炎²⁶⁾、咬合性外傷²¹⁾、舌癖²¹⁾などが考えられるが、本研究では重症者群で歯根吸収を認めた症例の約80%に、咬合性外傷もしくは舌癖が認められた。咬合性外傷もしくは舌癖の有無と矯正治療による歯根吸収発症のリスクとの関係については、open bite症例で歯根吸収の発現が多いという報告¹⁶⁾がある。しかし、本研究では咬合性外傷もしくは舌癖が存在すると必ず治療前から歯根吸収を生じるわけではなく、歯根膜腔の拡大で止まっている症例も多くあった。逆に治療前から咬合力や舌による外力が加わることで歯根吸収を起こしている症例は、もともと歯根歯質の吸収抵抗性が低く、歯根吸収発症のリスクが高い可能性が考えられる。さらに、動的治療中に咬合性外傷もしくは舌癖が継続して存在する場合は、矯正力の他にこれらの応力が歯根吸収に関与している可能性も否定できない。治療の初期の段階からわずかでも吸収が認められた場合では、治療終了後の歯根吸収の発現率と程度は、問題の認められなかった歯根に比べてはるかに高いという報告⁹⁾もあり、治療前および治療開始直後の歯根吸収像の発現と治療による歯根吸収発症のリスクとの関連は非常に興味深い。次に歯根形態と歯根歯質との関係についてみると、異常形態の歯根を有する症例の

中で、治療前から歯根吸収像を認める症例が約50%存在したので、異常形態と歯根歯質が関係している可能性はあるが、一方正常形態で歯根吸収像を認める症例もあったので結論は出せない。歯根の形態の形成には遺伝的要因が強く関わっているといわれているが¹⁶⁾、歯根形成期の全身疾患の有無や栄養状態、また、咬合状態などが形態や歯質に影響を与える可能性は否定できない。歯根形態や歯根歯質と歯根吸収発症のリスクとの関係については、今後基礎的背景を含めて明らかにすべき点が多くあると考えられる。

最後に、本研究では検索を行わなかったが、治療中のメカニクスの問題²⁷⁻²⁹⁾も歯根吸収の発現に密接に関与していると考えられる。本研究でも認められたように、治療前に歯根に異常所見を認めなかったにもかかわらず重度の歯根吸収を発現した症例には、治療中のメカニクスが強く関わっていると考えられる。今後は、本研究で明らかにした治療前の異常所見と歯根吸収の発現のリスクとの関係の結果も踏まえて、治療中のメカニクスとの関連についても詳細に検討していきたい。

本研究の一部は、平成7年度文部省科学研究費(基盤研究A(2)課題番号07557282)の補助を受けた。

文 献

- 1) Rygh, P.: Orthodontic root resorption studied by electron microscopy, *Angle Orthod* 47: 1-16, 1977.
- 2) Brudvik, P. and Rygh, P.: Root resorption beneath the main hyalinized zone, *Eur J Orthod* 16: 249-263, 1994.
- 3) Kurol, J., Owman-Moll P. and Lundgren, D.: Time-related root resorption after application of a controlled continuous orthodontic force, *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 110: 303-310, 1996.
- 4) Brezniak, N. and Wasserstein, A.: Root resorption after orthodontic treatment: Part 1. Literature review, *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 103: 62-66, 1993.
- 5) Brezniak, N. and Wasserstein A.: Root resorption after orthodontic treatment: Part 2. Literature review, *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 103: 138-146, 1993.
- 6) Harris, E. F., Kineret, S. E. and Tolley, E. A.: A heritable component for external apical root resorption in patients treated orthodontically, *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 111: 301-310, 1997.

- 7) Linge, B. O. and Linge, L. : Apical root resorption in upper anterior teeth, *Eur J Orthod* 5 : 173-183, 1983.
- 8) McLaughlin, K. D. : Quantitative determination of root resorption during orthodontic treatment, *Am J Orthod* 50 : 143, 1964.
- 9) Becks, H. : Root resorption and their relation to pathologic bone formation, *Int J Orthod* 22 : 445-482, 1986.
- 10) Smith, N. H. H. : Monostotic Paget's disease of the mandible, presenting with progressive resorption of the teeth, *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 46 : 246-253, 1978.
- 11) Malmgren, O., Goldson, L., Hill, C., *et al.* : Root resorption after orthodontic treatment of traumatized teeth, *Am J Orthod* 82 : 487-491, 1982.
- 12) Levander, E. and Malmgren, O. : Evaluation of risk of root resorption during orthodontic treatment : A study of upper incisors, *Eur J Orthod* 10 : 30-38, 1988.
- 13) VonderAhe, G. : Postretention status of maxillary incisors with root-end resorption, *Angle Orthod* 43 : 247-255, 1973.
- 14) Masseler, M. and Malone, A. J. : Root resorption in human permanent teeth, *Am J Orthod* 40 : 619-633, 1954.
- 15) Mirabella, A. D. and Artun, J. : Risk factors for apical root resorption of maxillary anterior teeth in adult orthodontic patients, *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 108 : 48-55, 1995.
- 16) Newman, W. G. : Possible etiologic factors in external root resorption, *Am J Orthod* 67 : 522-539, 1975.
- 17) Oppenheim, A. : Human tissue response to orthodontic intervention of short and long duration, *Am J Orthod* 28 : 263-301, 1942.
- 18) Goldie, R. S. and King, G. J. : Root resorption and tooth movement in orthodontically treated, calcium-deficient, and lactating rats, *Am J Orthod* 85 : 424-430, 1984.
- 19) Taithongchai, R., Sookkorn, K. and Killiany, D. M. : Facial and dentoalveolar structure and the prediction of apical root shortening, *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 110 : 296-302, 1996.
- 20) 大西 肇 : 学童期における上下顎歯槽基底部と中切歯傾斜度との関係-頭部 X 線規格側貌写真による経年的研究, *日矯歯誌* 28 : 12-32, 1969.
- 21) 達谷窟佳子, 清水義之, 古田樹己, 三谷英夫 : 矯正治療に伴う歯根吸収のリスクの診断法に関する研究(第1報)-東北大学歯学部附属病院における矯正治療に伴う歯根吸収に関する疫学的調査-, *日矯歯誌* 57 : 359-368, 1998.
- 22) Reitan, K. and Rygh, P. : Biomechanical principles and reactions. *Orthodontics Current Principles and Techniques*, Mosby-Year Book, 96-192, 1994.
- 23) Oppenheim, A. : Biologic orthodontic therapy and reality, *Angle Orthod* 6 : 82-85, 1936.
- 24) 沼田圭介 : 歯科矯正治療における歯根吸収について, *日大歯学* 68 : 763-771, 1994.
- 25) Wheeler, T. T. and Stroup, S. E. : Traumatic root resorption in dentine-immunized mice, *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 103 : 352-357, 1993.
- 26) Wiebkin, O. W., Cardaci, S. C., Heithersay, G. S. and Pierce, A. M. : Therapeutic delivery of calcitonin to inhibit external inflammatory root resorption. I. Diffusion kinetics of calcitonin through the dental root, *Endodontics & Dental Traumatology* 12 : 272-276, 1996.
- 27) Goldin, B. : Labial root torque ; Effect on the maxilla and incisor root apex, *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 95 : 208-219, 1989.
- 28) Linge, L. and Linge, B. O. : Patient characteristics and treatment variables associated with apical root resorption during orthodontic treatment, *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 99 : 35-43, 1991.
- 29) Dermout, L. R. and De, Munck, A. : Apical root resorption of upper incisors caused by intrusive tooth movement : a radiographic study, *Am J Orthod* 90 : 321-326, 1986.

主 任 : 三 谷 英 夫 教 授 1998 年 3 月 11 日 受 付

連絡先 : 清 水 義 之
 東北大学歯学部歯科矯正学講座
 〒 980-8575 仙台市青葉区星陵町 4-1