

原 著

矯正学的歯の移動による荷重痛覚閾値と歯髄 および辺縁歯周組織の電氣的痛覚閾値の変動について

岩崎 浩一 山崎 健一 柴崎 好伸

昭和大学歯学部歯科矯正学教室

Koichi IWASAKI, Kenichi YAMASAKI and Yoshinobu SHIBASAKI

Department of Orthodontics, School of Dentistry, Showa University

キーワード：歯の移動，疼痛，炎症性反応，電氣的痛覚閾値，荷重痛覚閾値

矯正治療中の患者は，しばしば痛みに悩まされる。本研究は，歯の移動時に引き起こされる痛みの性質を調べることを目的とし，矯正力と同性質の荷重侵害刺激と，性質の異なる侵害刺激として，辺縁歯周組織電気刺激および歯髄電気刺激を用いて矯正学的歯の移動に伴う痛覚閾値の経時的変動を調べた。

予備実験として，3つの侵害刺激により31人の非矯正治療群と21人の矯正治療群について痛覚閾値の差異を調べた。その結果，矯正治療群は非矯正治療群に比べ痛覚閾値の低下がみられた。

本実験として矯正治療を開始する患者53人のなかで，個歯の痛覚閾値の経時的変動を知る目的でリングアーチを装着した患者22人について，また多数歯の痛覚閾値の変動を調べる目的でマルチブラケットを装着した患者31人について，それぞれ3つの侵害刺激の方法を用いて比較した。

リングアーチ群の痛覚閾値の経時的変動パターンは，矯正力負荷側では，コントロール側に比べすべての侵害刺激において閾値の急激な低下がみられた。その後，荷重刺激では矯正力負荷1日後に，歯髄電気刺激では2日後に，辺縁歯周組織電気刺激では，6時間後にそれぞれ最低値を示した。その後徐々に回復するものの，30日後においてもなお完全には回復しなかった。マルチブラケット装着群の痛覚閾値の経時的変動パターンは，荷重刺激，歯髄電気刺激，辺縁歯周組織電気刺激のいずれの侵害刺激においても，負荷後1日で痛覚閾値は最低値を示し，その後徐々に回復してくるが1カ月後でもなお完全には回復しなかった。以上3つの侵害刺激において痛覚閾値の経時的変動は，ほぼ同様なパターンを示したが，その最低値を示す時期はリングアーチ群において時間差がみられた。このことから矯正学的歯の移動に伴う痛覚の変化は，歯根膜から始まり歯髄へと波及することが示唆された。
(日矯歯誌 55(1) : 8~16, 1996)

The changes of threshold for loading force and electric pain perception thresholds in the dental pulp and the periodontal tissue in response to orthodontic tooth movement

This study was carried out to investigate the nature of pain associated with orthodontic tooth movement. The longitudinal change of the thresholds of pain were examined in three infringement stimulations : loading force, electric current to dental pulp and electric current to periodontal tissue in orthodontic patients. The thresholds for loading force were measured by compression of tension gauge on tooth surface.

The electric pain perception thresholds of dentalpulp were measured with a dental pulp tester. The electric pain perception threshold in periodontal tissue were measured using a electric stimulator. A modified #25 silver needle was used as an electrode, which was inserted into the marginal periodontal pocket.

In preliminary examination, the difference of threshold of pain were examined 31 non-orthodontic patients, and 21 orthodontic patients for three infringement stimulations. The orthodontic patients had lower pain thresholds compared with non-orthodontic patients.

Next, changes in the pain thresholds were examined over time in three infringement stimulation between 22 patients with an applied lingual arch with spring approximately 100 gram, 31 patients with an applied initial arch wire by multi-bracket system.

Results :

The decreases in the thresholds for three infringement stimulations were almost identical in the lingual arch and multi-bracket system.

1) The threshold of loading force began to decrease significantly after 3-6 hrs.

2) The maximum decrease of pain thresholds for the loading force, electric current to dental pulp, and electric current to periodontal tissue was observed in

1day, 2days or 6hrs, respectively.

3) In all stimulations, the original threshold was not regained after one month. These results suggest that teeth undergoing orthodontic treatment are sensitive to infringement stimulation such as occlusion stress.

(J. Jpn. Orthod. Soc. 55(1) : 8~16, 1996)

結 言

咬合異常を有する患者が、矯正治療に際し、歯の移動に伴い発現する疼痛に不快感を抱くことは少なくない。術者である矯正歯科医の側でも、経験的に強弱の差こそあれ歯の移動には疼痛が伴うものとの認識が定着している。そこで、矯正歯科医は歯の移動に伴う疼痛の性質を熟知し、事前に患者に対し疼痛出現の予測とその対応策を伝えておくことが必要である。

歯の移動に伴う歯周組織の変化に関する研究は各分野にわたり多くみられる。

まず、神経系の反応に対しては、河村ら¹⁾が歯に加える圧刺激の強さと誘発される歯神経放電パターンとの関係を、また清水²⁾は、歯に加えられた圧刺激負荷後の電氣的活動、およびその経時的変動を明らかにしている。さらに大竹³⁾は歯に矯正力を加えた際の歯根膜神経線維の動態について、組織学的に観察している。

一方、脈管系の動態の変化に対して、中村⁴⁾は矯正刺激後の血管や血流の変化を組織学的に把握し、飯田⁵⁾は歯根膜における毛細血管透過性亢進反応を経時的に検討し、炎症反応との関連性を示唆している。一方、Furstman and Bernick⁶⁾は臨床経験から、装置装着後2時間くらいで患者が痛みを訴える傾向にあり、これは局所の虚血、浮腫という一連の炎症による sensitization による痛覚閾値の低下によるものと推察している。この点に関し Yamasaki, *et al.*⁷⁾は、リンガルアーチによる歯の移動時、荷重侵害刺激による痛覚閾値の経時的変動を調べ、装置装着3時間後から閾値の低下が認められ、1日後に最低値に達し、その後およそ1週間低下の状態が続くことを知った。さらに種々の抗炎症剤を投与し痛覚閾値の変動を測定したところ、閾値の低下は抑制され、疼痛抑制効果がみられ、この種の痛みは炎症性の疼痛であることを報告している。同様に、Nagn, *et al.*⁸⁾も矯正装置の種類により疼痛の程度や時間は異なるが、抗炎症剤の服用により疼痛抑制効果があることを報告している。さらに藤田⁹⁾は、矯正治療患者の個歯咬合最大負担力の経時的変動を観察し、それは3時間後から減少し1日後にほぼ最低値を示し、その後回復するものの治療中を通じて低値であったと報告している。

刺激の種類として電気侵害刺激を用いて歯の痛覚閾値を調べた研究として、Shimizu¹⁰⁾は矩形波パルス刺激を用いて Pre-pain の存在を明らかにしている。大作¹¹⁾も同様に歯間離開を施した歯に対して矩形波パルス刺激を用い、歯髄の電氣的痛覚閾値の変動を調査している。また、鍵和田ら¹²⁾は、生活歯と失活歯の辺縁歯周組織の神経線維に電気刺激を作用させ、閾値に差がみられたことを報告している。

一方、痛みの自覚的評価方法としては、Nagn¹³⁾がビジュアルアナログスケールを用いて矯正治療中の患者自身の痛みの評価を行っている。また Burstone¹⁴⁾、坂本¹⁵⁾、一色¹⁶⁾らは、矯正治療に伴う痛みの程度を数段階に分けて矯正治療中の疼痛に対するアンケート調査をおこなっているが、いうまでもなくそれらはいずれも患者の自主的判断に因るもので客観性に乏しい。

そこで、著者らは矯正学的歯の移動に伴う痛覚閾値の変動に対して、矯正力と同性質の荷重侵害刺激と、性質を異にする侵害刺激として電気刺激を用い、歯髄ならびに辺縁歯周組織における痛覚閾値の変動を検討した。

資料ならびに方法

I. 被験者および矯正装置

1. 予備実験：マルチブラケット法（以後 MBS とする）により矯正治療が行われている患者が、再来時にアーチワイヤー（以後 AW とする）を再結紮する際の疼痛の訴えをしばしば経験する。そうだとすれば、非矯正治療者と矯正治療中の患者との間に痛覚閾値の差が当然存在するはずである。この点を明らかにするため MBS により矯正治療がすでに進行している被験者群（男性7名、女性14名、平均年齢17歳1カ月）を、矯正装置を装着していない対照群（男性13名、女性18名、平均年齢19歳4カ月）とを任意の来院時に比較検討を試みた。なお被験歯としては中切歯および側切歯を用いた。

2. 本実験：初めて矯正装置を装着してから経時的に痛覚閾値にどのような変化があるかを調べる目的で本実験を行った。本学学生および外来患者を被験者とし、個歯の痛覚閾値の経時的変動を知るために、1本の歯のみに矯正力負荷が可能な装置であるリンガル

図 1 上顎歯列に補助弾線付きのリンガルアーチを装着した。
右側中切歯が矯正負荷側 (Ortho)
左側中切歯が対照 (Control)

図 2 マルチブラケット法によるイニシャルワイヤー (0.014" ニッケルチタニウム, ラウンドワイヤー) を装着した様子

図 3 テンションゲージによる荷重刺激を被験歯に実施している様子

図 4 歯髄電気刺激実施図

アーチ (以後 LA とする) を装着した患者群 (男性 9 名, 女性 13 名, 平均年齢 15 歳 3 カ月) および多数歯に矯正力が負荷される MBS を装着した患者群 (男性 14 名, 女性 17 名, 平均年齢 17 歳 6 カ月) との 2 群について経時的変動を観察した。

LA には, 0.020" のステンレススチール製の複式弾線を蠟着し, 初期荷重 100 g となるよう調整した。被験歯は複式弾線の適用された中切歯および側切歯を用い, 反対側同名歯を非荷重の対照歯とした (図 1)。

MBS は, イニシャル AW として, 0.014" ニッケルチタニウム製 AW (Nitinol) を装着しエラスティックモジュール (O-リング) にて結紮した。AW 装着前の測定値を対照とした。被験歯は LA の実験歯と対比させるために, 中切歯および側切歯を用い, 測定は装置装着直前を 0 とし, 以後 3, 6, 9 時間, 1, 3, 7, 30 日後に行った (図 2)。

II. 侵害刺激の種類と痛覚閾値の評価法

1. 荷重刺激: Yamasaki, *et al.*⁷⁾ が測定した方法に準じた。すなわち, 市販のテンションゲージを被験歯唇面に垂直に押し当て, 被験者が鋭痛を感じた時の荷重 (g) を 30 秒間隔に 3 回測定した (図 3)。最大荷重 1500 g に至るのに, テンションゲージで 11 cm,

4 秒を要するような荷重速度で行った。

2. 歯髄電気刺激: パルプテスター (アナリティックテクノロジー社) を用いた。歯面防湿後, 被験歯唇面にチップを垂直に押し当て通電して, 被験者が電撃様痛を感じた時の電圧 (V) を 3 回測定した (図 4)。

3. 辺縁歯周組織電気刺激: 電気刺激装置 (日本光電社) を用いた (図 5-A)。被験者に測定方法を説明した後, 被験歯の歯頸部を乾燥防湿し, 関電極として用いる 25 号のシルバーポイントを被験歯唇側ポケットに挿入した。シルバーポイントは, 通電部の先端 0.5 mm を除きリークを防ぐ目的でエナメルコーティングを施した。ポイントは固定および再現性のために予め床用レジンを被験者に咬ませて作製した各被験者固有のコアを用い, 歯周ポケット内の同一部位に挿入できるようにした (図 6)。ポケットプローベにて被験者固有の生理的歯周ポケットを事前に測定し, ポイント先端部をこの生理的歯周ポケット底に位置させた。不関電極 (図 5-B) は, ステンレス棒を被験歯と同側の手に握らせた。検者の合図により, 被験者の保持している不関電極の先端部のスイッチを拇指で押させておき, 通電を開始し最初に針刺様痛を感じたところで指を放してスイッチをオフさせた。結果は刺激電流の強

図 5 辺縁歯周組織電気刺激実施図
不関電極先端にあるボタンを押して、Switch on-off
を行う
5-A：電気刺激装置 R-1, 5-B：不関電極, 5-C：プリンター

図 6 電極固定装置（コア）を口腔内に装着し、関電極のシルバーポイントを唇側面歯周ポケットに挿入した状態

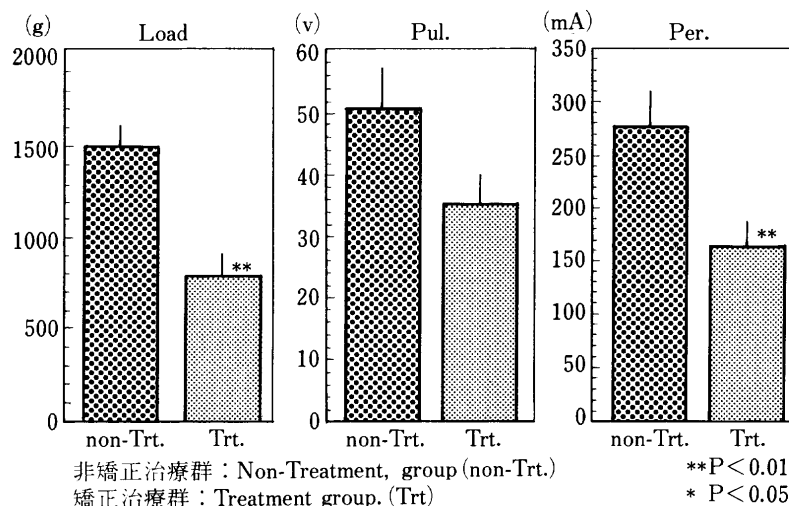


図 7 予備実験における、荷重刺激 (Load), 歯髄電気刺激 (Pul.), 辺縁歯周組織電気刺激 (Per.) による痛覚閾値の結果

さ (μA) として装置本体からデジタル表示され、同時にプリンターにて記録した (図 5-C)。これを 30 秒の間隔で 3 回繰り返した。通電は矩形波パルスを使用し通電時間を 5 msec で行った。

III. 統計処理

予備実験では非矯正治療者群と矯正治療者群との間で、また本実験の LA 装着群では対照側と実験側間で、さらに MBS 装着群では 0 time と各計測時のデータ間で Student の t-テストを用いて有意差の検定を行った。

結 果

I. 予備実験の結果

すべての侵害刺激において、矯正治療群は非矯正治

療群に比べ、有意に痛覚閾値が低下していた。特に、荷重刺激と辺縁歯周組織電気刺激においては、顕著な痛覚閾値の低下が観察された (図 7)。

II. 本実験の結果

1. LA による歯の移動に伴う痛覚閾値の経時的変化

1) 荷重刺激

対照側では、およそ 1500 g の負荷荷重で全実験期間を通じて推移した。一方、矯正力負荷側は、LA の複式弾線による負荷直後から 6 時間後まで急激な閾値の低下がみられ、その後さらに低下し続け、1 日後に最低値 425 g を示した。7 日後には約 800 g まで回復し、さらに 30 日後まで緩やかに上昇したものの、最後の観察日とした 30 日後においてなお完全には回復しなかった。6 時間後から 7 日までの値は、対照側との間

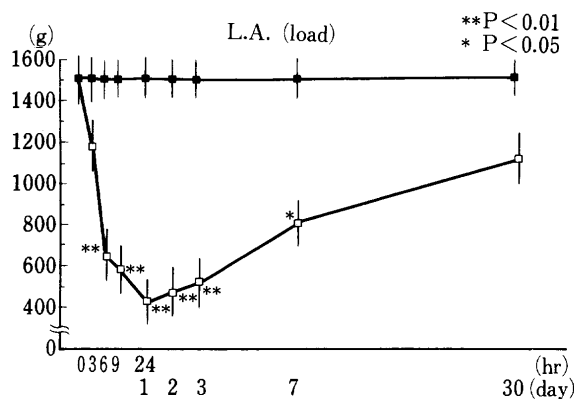


図8 複式弾線付きリングルアーチを装着後荷重侵害刺激による痛覚閾値の経時的変化

—■— 対照側 —□— 矯正治療側

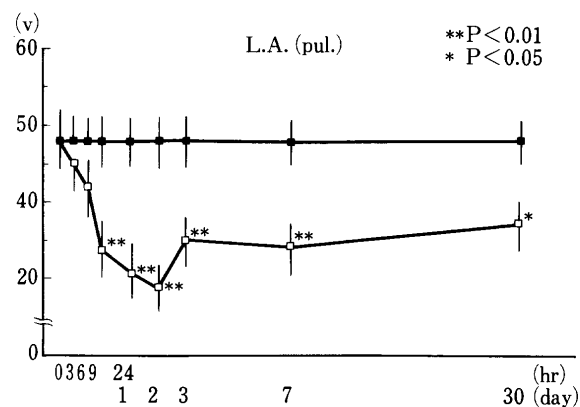


図9 複式弾線付きリングルアーチを装着後歯髄電気刺激による痛覚閾値の経時的変化

—■— 対照側 —□— 矯正治療側

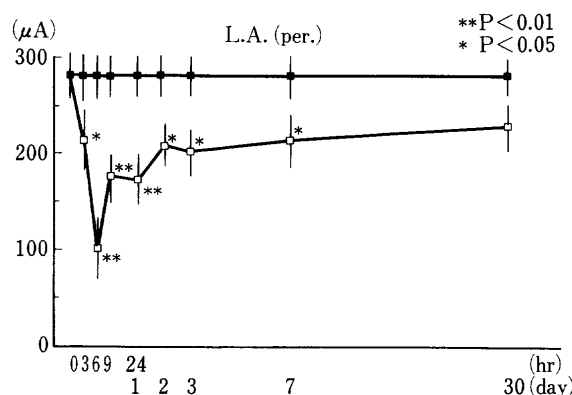


図10 複式弾線付きリングルアーチを装着後、辺縁歯周組織電気刺激による痛覚閾値の経時的変化

—■— 対照側 —□— 矯正治療側

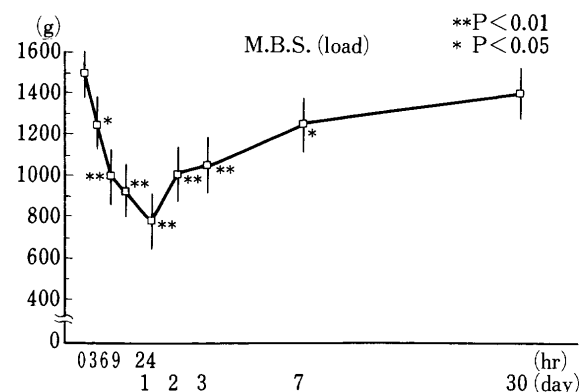


図11 マルチブラケット装置 (M. B. S.) 装着後、荷重刺激による痛覚閾値の経時的変化

に有意差が見られた (図8)。

2) 歯髄電気刺激

対照側はおおよそ 48V で推移した。一方、矯正力負荷側では、装着後 2 日後最低値 28V までに低下し、その後少し上昇し 7 日後に約 34V まで上昇したが 30 日後においても完全には回復しなかった。9 時間後から 30 日までの値は対照側との間に有意差が見られた (図9)。

3) 辺縁歯周組織電気刺激

対照側はおおよそ 280 μ A で推移した。矯正力負荷直後より、6 時間後までに急激な閾値の低下がみられ最低値約 100 μ A を示した。9 時間後には一度上昇するものの、1 日後には再び低下した。その後、徐々に回復し 7 日後に約 210 μ A、さらに 30 日後には 225 μ A まで緩やかに上昇したが、なお完全には回復しなかった。3 時間後から 7 日までは対照側との間に有意差がみられた (図10)。

2. MBS による歯の移動に伴う痛覚閾値の経時的変化

MBS においては、ほとんど全ての歯に矯正力を負荷されたこととなり、ブラケット非装着としての対照歯が存在しないため、対照は各被験歯のイニシャル AW 装着時の値とした。

1) 荷重刺激

AW 装着直前にはおおよそ 1,500 g であったものが、1 日後には最低値約 780 g を示した。さらに 7 日後約 1,250 g にまで回復し、暫時 30 日後まで緩やかに上昇したものの、なお完全には回復しなかった。この変動パターンは、LA の場合とほぼ同様のパターンを示している。3 時間後から 7 日後の測定値において、実験開始時との間に、有意差がみられた (図11)。

2) 歯髄電気刺激

AW 装着直前の約 52V が 9 時間後まで急激に下降し、1 日後に最低値約 38V を示した。その後 7 日目には約 49V まで上昇し、30 日目にはほぼ実験開始時のレベルにまで回復した。9 時間後から、1 日後までの測定値と実験開始時のそれとの間に有意差が認められた (図12)。

3) 辺縁歯周組織電気刺激

AW 装着直前約 260 μ A だったものがその後 3 時間

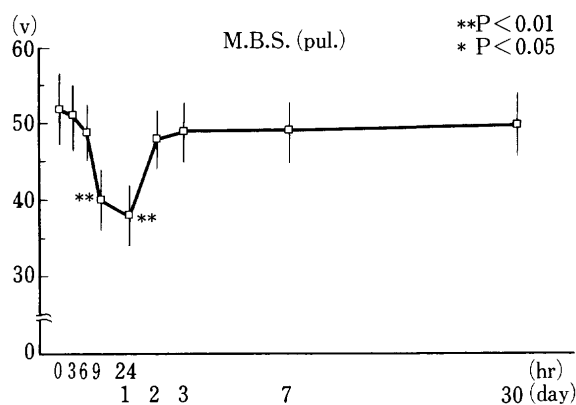


図 12 マルチブラケット装置 (M. B. S.) 装着後、
歯髄電気刺激による痛覚閾値の経時的変化

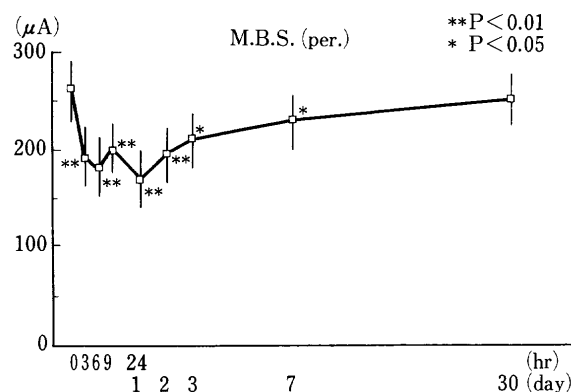


図 13 マルチブラケット装置 (M. B. S.) 装着後、
歯周組織電気刺激による痛覚閾値の経時的変化

急激に下降し、9時間後にいったん上昇に転じたが、1日後最低値約 $170 \mu\text{A}$ を記録した。その後徐々に回復し、7日後では約 $230 \mu\text{A}$ まで上昇した。30日後を除いたすべての測定値と実験開始時との間で有意差が認められた (図 13)。

考 察

I. 実験方法について

1. 侵害刺激の性質

Yamasaki, *et al.*⁷⁾ によると、荷重刺激は同じリングアーチによる矯正力負荷の歯で、唇・頬および舌側方向いずれの方向への荷重に対しても同じ程度の閾値の低下を示し、かつ矯正力を受けた歯は圧迫側・牽引側の区別なく誘発刺激に対して閾値の低下を示したと報告している。そこで今回は、上顎前歯に対し最も安定的にテンションゲージを適用しうる方向として唇側から舌側方向と規定した。すなわち LA の補助弾線による矯正荷重の方向とは逆方向へ向け測定した。歯髄電気刺激装置は北村¹⁷⁾によると、矩形波パルスが 10 発 1 組のパルストレインの後にそのトレインと同じ持続時間の休止期があり、最大出力電圧は約 230V を設定できる機能を有している。また出力範囲内では歯周組織の神経線維に影響を与えるものではないとされている。歯髄に通電する電気刺激は、定電流または定電圧のいずれの方式が痛覚の指標に適しているかが問題となるが、大作¹¹⁾が、定電流で歯髄に電圧を変えて経日的な痛覚閾値の変化を測定したところ、その電圧値は極めて安定していたと報告している。それから推測すると、本研究において測定に電圧値を用いた点で大きな支障が生ずると思われる。

辺縁歯周組織電気刺激装置は、矩形波パルスの通電時間を 1. 2. 5. 10 msec に設定でき、また直流刺激も選択可能であるが、周波数は 0.5 Hz に規定されている。本研究では刺激電流の通電時間を 5 msec に、0 ~ $500 \mu\text{A}$ まで 20 秒間で上昇するような矩形波パル

ス刺激を用いた。一般的に矩形波パルスは、直流刺激に比べ順応が起りにくいとされている。この点電気刺激の設定には、反応を測定するに必要十分でなければならないが、一方では刺激の継続は順応を招くおそれがあることに十分留意する必要がある。そこで順応が起り易い 10 msec を避け、最も安定した 5 msec を選択した。また可及的に本研究では高い電流密度をうために、シルバーニードルに先端の細いチップを用いた。Mumford¹⁸⁾ は歯肉溝に刺激電極を挿入し、30 msec, 20 Hz の矩形波パルス刺激を与えたところ、55 ~ $150 \mu\text{A}$ の分布域で痛覚閾値をえているが、本研究の測定値は $170 \sim 260 \mu\text{A}$ と高くなっている。その理由は通電時間が短く、電極の違いによるリークの電流量の差異によるものと考えられ、この点についての改善が今後の問題として残されよう。

2. 矯正装置の違い

矯正臨床では、種々な装置により治療が行われているが、装置による痛覚閾値の違いは不明の点が多く、ましてその刺激強度や痛覚閾値の経時的変動パターンについての情報はきわめて少ない。本研究では、代表的な矯正装置である LA と MBS を選択した。LA は、個々の歯に矯正力が負荷可能であり、補助弾線の力の強さを調節しやすく、また一定方向から矯正力を負荷することができる。一方、MBS は多数歯に矯正力が同時に負荷され、叢生の程度や AW の物性やサイズ、結紮方法などにより、歯に負荷される矯正力の大きさと方向はまちまちである。にもかかわらず、3 種の侵害刺激に対する痛覚閾値の変動は、LA のそれに酷似していた。このことは矯正刺激の強弱による反応の強弱の差こそあれ、矯正力の方向や歯種をとわず歯髄や歯周組織に普遍的に現れる反応としてとらえることができる。

3. 痛み感覚の識別

この研究を開始するにあたって、各刺激装置による痛みを確認した。その結果、テンションゲージによる荷重刺激の痛みは鋭痛に属するものであることがわ

かった。歯髄電気刺激の痛みは、電撃様痛であり大作¹¹⁾らの報告と一致するものであった。辺縁歯周組織電気刺激の痛みは、針刺様痛として感じられるものである。また、荷重以外の電気刺激装置の痛みには一様に明確な痛みの前にいわゆる pre-pain の存在が確認された。Shimizu¹⁰⁾は、刺激強度を徐々に強めていくと、空気挿入感ともいふべき特殊な感覚が存在し、刺激強度を増大して初めて明確な痛みを感じると述べている。このように痛みの感覚はいろいろに表現されるが、Joy と Barber¹⁹⁾ は痛覚閾値を定量化するために電気刺激を用いて、刺激強度により、被験者が最初に何らかの感覚を感知したという強さを感覚閾値とし、つぎに被験者に痛いといわせる刺激強さを痛覚検知閾値、痛みに耐えられないレベルの刺激強さを痛覚反応閾値と定義している。本研究の痛覚閾値は、痛覚検知閾値に相当するものである。また、神経生理学的には中浜²⁰⁾が痛みを3種類に分類している。すなわち1次痛、刺痛あるいは速痛と呼ばれる針で刺すような鋭い痛みを指す。これは刺激部位に局限し即座に反応し消失する痛みで、受容器は有髄神経の中で一番細いデルタ線維に由来するものと考えられている。2次痛は灼熱痛あるいは遅延痛とも呼ばれ、部位の不明確な耐え難い痛みで、受容器は無髄神経のC線維であるとされている。また、3次痛は連関痛とも呼ばれ、刺激部位から遠隔部位で痛みを感じる原発の不明確な痛みである。本実験で発現する疼痛は、侵害刺激を加えて、すぐ発現することからほとんど1次痛と考えられる。

II. 実験結果について

予備実験においてすべての侵害刺激に対して、矯正治療群は非矯正治療群に比べ痛覚閾値の著しい低下がみられた。荷重刺激と辺縁歯周組織電気刺激での閾値の低下は、歯髄電気刺激でのそれに比べると著しい。このことから、矯正治療中の歯は、常時外部刺激（咀嚼圧、咬合圧など）に対する痛覚閾値が低下している状態にあることが判明した。

藤田⁹⁾が歯の移動時の個歯咬合最大負担力の経時変化について報告しているが、それによると上顎側切歯に150gの矯正力を与えたところ、最大負担力は9時間経過後まで減少し、その後徐々に回復する経時変化のパターンは本研究の荷重刺激の痛覚閾値の変動と著しく類似している。また Yamasaki, *et al.*⁷⁾ は L. A. を用いて歯に荷重刺激を負荷した実験で矯正力適用1日後に、最も痛覚閾値が低下したことを報告しているが、本研究においても同様の結果をえた。一方、歯髄電気刺激では2日後に、辺縁歯周組織電気刺激では6時間後にそれぞれ最低値を示した。このように痛覚閾値の最低値を示す時期は、侵害刺激の種類や部位により異なるが、おおよそ、歯根膜が歯髄に比べ早期に知覚過敏の状態に陥ることを示している。この時間的な差異について鍵和田¹²⁾は、歯髄炎の罹患歯に対する電気刺激における、歯髄閾値の低下反応が歯根膜の反

応に先行することを報告している。本研究においては前述のごとく歯根膜の反応が歯髄のそれよりも先行することから、矯正刺激に伴う変化は、まず歯根膜から発現し、それが他の歯周組織、および歯髄へと波及するために、電気刺激への反応時間に歯髄炎の場合とは逆転が生じたものと考えられる。

また痛覚閾値の回復についてみると、いずれも30日経過後でも完全に実験前の状態に戻ってはいなかった。そのうち L. A. 負荷後の歯髄の回復が最も遅延した。野嶋²¹⁾は、ネコを用いて矯正刺激を与えた後、歯髄直接刺激と歯根膜直接刺激より得られる中枢での体性感覚誘発電位 (SEP と略す) の波形パターンに差がないことから、歯髄も歯根膜も同一の神経系統で包括されていると述べている。また、SEP の頂点潜時が歯髄刺激は歯根膜刺激に比べ有意に延長することを Biedebach, *et al.*²²⁾ は示唆しているが、それは歯髄内は石灰化した象牙質で取り囲まれている閉鎖系構造のため、電流密度が高くなり電気刺激が選択的に歯髄神経を刺激するが、歯根膜部は電流が根尖孔を出たところで拡散し、電流密度が低くなるために差が生じるものと思われる。本研究において、L. A. 群での歯髄電気刺激による閾値の低下の回復が、辺縁歯周組織電気刺激のそれより遅れたのは、上記の構造的要因によるものと推察される。

一方、大竹⁵⁾によると、犬の歯根膜神経線維は矯正学的移動開始後3日で牽引側で変性所見がみとめられ、7~14日後では多くが変性し、21~28日で再生化され、42~63日で正常となる。圧迫側もほぼ同様に再生されるが、牽引側に比べ神経線維の回復が遅れると報告している。それにもかかわらずその期間においても痛覚閾値の変動がみられるのは、切断消失した線維の末端が1~3週で神経腫を形成し^{23,24)}、一見神経線維が消失したようでも外部刺激に対して hypersensitive (痛覚過敏) となっていると考えられる。同様に、圧迫伸展された程度の神経線維でも機械的刺激が持続した場合や、直接神経線維自体に損傷がなくても周囲組織の破壊による炎症反応として刺激閾値の低下などに hypersensitive な状態を引き起こす可能性がある。これから推して、矯正力負荷の初期から30日後でも、神経線維の hypersensitive な状態が持続しているものと考えられる。

III. 機械的（圧）刺激と電氣的刺激の神経分布とその応答性について

歯周組織に分布する自由神経終末（侵害受容器）は、機械的变化に特異的に応答するもの（機械的侵害受容器）と多種類の刺激に応答するもの（ポリモーダル侵害受容器）のいずれかに属する。侵害刺激は多くの侵害受容器を同時に興奮させ、さらに同時に他の感覚受容器も興奮させている²⁵⁾。このことから、荷重刺激、すなわち機械的（圧）刺激と他の2つの電気刺激とは区別し難いが、歯根膜は歯髄に比べ機械的（圧）刺激に

敏感な $A\beta$ 線維が多く分布しているため荷重刺激に対しより特異的に応答するものと考えられる。本研究でも、Yamasaki, *et al.*⁷⁾と同様矯正力と同質の荷重侵害刺激に対しては歯周組織の反応がより敏感なことが示された。一方、電気刺激では矯正力という機械的刺激とは異種類の侵害刺激のために、僅かな閾値の変動をも識別できたものと思われる。

IV. 矯正治療に伴う痛みの発現機序について

歯の移動に伴う痛みが発現するまでの時間は、今回行ったいずれの侵害刺激の方法においても、3時間程経過した後に顕著に閾値が低下することがわかった。このことは、歯の移動に伴って歯根膜神経線維が強く圧縮や伸展を受け、痛みの神経終末が刺激されて、一時的に痛みや違和感を感じるような瞬時におこる反応ではなく、歯根膜に対する持続的な機械的刺激に生体防御反応としての炎症性反応が生じた結果と考えられる。すなわち、歯根膜組織の圧迫側および牽引側での血管拡張や透過性亢進などの循環障害を生ずる血管透過性因子、細胞遊走因子といったケミカルメディエータの放出により、炎症性浮腫⁵⁾と細胞浸潤を引き起こすと同時に種々の内因性発痛物質が産生、遊離され、痛覚閾値を低下させる⁷⁾ものと解することができる。ここまでの変化が矯正力適用数時間内におこる反応であり、通常では軽度の痛みしか生じさせないような刺激でも痛覚過敏の状態 (sensitization) を引き起こすことになる^{26,27)}。

本研究の結果矯正治療中の歯は、常時外部刺激に対する痛覚閾値が低下した状態にあることがわかった。特に矯正治療開始数時間から2,3日の間はその低下は著しく、わずかな刺激で自発痛を生じることもある。矯正治療を始めるに際し、予め痛みについての正確な情報を患者に提供しインフォームドコンセントをとっておくことは矯正治療を成功に導く上できわめて重要である。

稿を終えるに臨み、ご協力いただきました本学歯科保存学教室松本光吉教授、歯科矯正学教室斉藤 茂講師ならびに教室の皆様に対しまして、厚くお礼申し上げます。

なお、本論文の要旨は第51回日本矯正歯科学会大会(1992年10月14日、大宮)において発表した。

文 献

- 河村洋二郎, 西山 享, 船越正也, 他: 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: 65-72, 1965.
- 清水賢二: 歯に圧刺激を与えた際の神経生理学的観察, 口病誌 34: 310-329, 1967.
- 大竹正人: 実験的歯牙移動時における歯根膜神経線維の反応について, 日矯歯誌 41: 1-91, 1982.
- 中村進治: 歯根膜血管走向の矯正学的研究, 口病誌 34: 342-358, 1967.
- 飯田順一郎: 実験的歯の移動時の歯根膜における血管透過性亢進反応の経時的変化について, 口病誌 49, 1: 143-154, 1982.
- Furstman, L. and Bernick, S.: Clinical considerations of the periodontium, Am J Orthod 61: 138-155, 1972.
- Yamasaki, K., Shibata, Y., Shibasaki, Y., et al.: The nature of pain associated with orthodontic tooth movement. J Jpn Orthod Soc 44: 332-338, 1985.
- Nagn, P.: The effect of ibuprofen on the level of discomfort in patients undergoing orthodontic treatment. Am J Orthod 106: 88-95, 1994.
- 藤田邦彦: 閉顎力の測定による矯正治療後の閉顎筋の順応性についての研究, 第1報歯牙移動時の個歯咬合最大負担力の変化について, 九州歯会誌 31: 413-417, 1978.
- Shimizu, T.: Tooth pre-pain sensation elicited by electrical stimulation, J Dent Res 43: 467-475, 1964.
- 大作武彦: A Variation of tooth threshold obtained by electrical stimulation, 歯学 64, 6: 1310-1329, 1977.
- 鍵和田宏: 辺縁歯周組織より誘導した痛み知覚閾値について, 日歯保誌 29, 2: 762-765, 1986.
- Peter, Ngan.: Perception of discomfort by patients undergoing orthodontic treatment, Am J Orthod 96: 47-53, 1989.
- Burstone, C. J.: The biomechanics of tooth movement, in: Vistas in orthodontics (B. S. Kraus & R. A. Riedele, eds.): 197-213 Lea & Febiger, Philadelphia. 1962.
- 坂本輝雄, 小太刀健二, 野嶋邦彦, 他: 矯正力に起因する痛みについて—アンケート調査から—, 歯科学報 84, 4: 709, 1984.
- 一色康成, 野嶋邦彦: 歯科診療の実践 (II) 疼痛 医歯薬出版: 91-94, 1991.
- 北村隆行: 新しい電気歯髄診断器について—A. T. 社の Digital Automatic Pulp Tester—. 歯界展望 55, 6: 1045-1050, 1979.
- Mumford, J. M.: Pain perception threshold on stimulating human teeth & the histological condition of the pulp; Br Dent J 123: 427-433, 1967.
- Joy, E. D. and Barber, J.: Psychological, physiological, and pharmacological management of pain, Dent Clin N. A. 21: 577, 1977.
- 中浜 博: 痛覚研究におけるいくつかの知見, 医学のあゆみ 88: 257-262, 1974.
- 野嶋邦彦: ボンド型歯牙刺激電極による体性感覚

- 誘発電位と矯正力がそれに及ぼす影響について,
歯科学報 85, No. 8 1985.
- 22) Biedenbach, M. A., Van Hassel, Hassel, H. J
and Brown, A. C. : Tooth pulp-driven neuron-
sin somatosensory cortex of primates : Role in
pain mechanisms including a review of the
literature, Pain, 7 : 31-50, 1979.
- 23) Marshall Devor : The pathophysiology of-
damaged peripheral nerves, The text book of
pain. (Eds. by Wall, P. D., Merzack, R.) 3 : 63-
78, 1989.
- 24) Michael Cousins : Acute and post operative,
The text book of pain. 18 : 284-303, 1989.
- 25) 夕田 勉 : 歯の移動に伴う歯と歯周組織の神経線
維の消長に関する実験的研究, 九州歯会誌 35 : 5-
38, 1981.
- 26) 半場道子 : 歯科医のための痛みの生理学, 日歯内
協誌別冊 12/2 1991.
- 27) Bessou, P. and Perl, E. R. : Response of
cutaneous sensory units with unmyelinated
fibers to noxious stimuli, J Neurophysiol 42, 6 :
1669-1679, 1979.
-

主 任 : 柴 崎 好 伸 教 授 1995 年 7 月 10 日 受 付

連絡先 : 岩 崎 浩 一
昭和大学歯学部歯科矯正学教室
〒145 東京都大田区北千束 2-1-1