

学 位 論 文 題 名

歯に矯正力を負荷した際の歯根膜受容器の
応答特性の変化について

学位論文内容の要旨

【緒言】

歯に矯正力が加えられたとき、患者はさまざまな感覚の変化を経験する。その感覚の変化は矯正装置調整後約2日でピークを迎え、特に咀嚼時に変化の程度が増すことが知られている。これらの感覚は、歯根膜に存在する受容器で感受される。

歯根膜受容器の単一神経線維の応答は、1939年に Pfaffmann により初めて記録されて以来、さまざまな動物において数多くの報告がなされている。歯に力刺激を加えた際の歯根膜受容器の応答は、特殊神経終末に由来し、主に触圧覚を感受する機械受容であると考えられている。また、同じ受容器が侵害刺激に対しても応答していることから、侵害受容にも関与していることが示唆されている。

このように生理的状态における歯根膜の神経生理学的研究は数多く行われているが、歯根膜に矯正力を負荷させた際の受容器の応答特性の変化を調べた研究は少なく、しかも、矯正力の負荷方向と歯根膜受容器の応答特性との関連については全く明らかにされていない。しかし、現在までに解明されている3つの実験結果、すなわち、受容器は牽引側で反応する牽引受容器であること、力刺激に対する最大応答方向特性があること、根尖側3分の1の歯根膜に受容器が多く分布していることを考え合わせると、力刺激に対して応答する歯根膜受容器の位置を推測することは可能である。

そこで本研究の目的は、歯根膜受容器の求心性単一神経線維からの応答を末梢神経から導出記録し、矯正力の負荷による受容器の応答特性の

変化を明らかにすることである。

【材料と方法】

1. 矯正力負荷条件

ネコ下顎犬歯を実験歯、下顎第一前臼歯を固定源とした。犬歯の臨床的歯頸線の約 2 mm 歯頂側よりにつけた溝と第一前臼歯バンドのリングボタンとの間にクローズドコイルスプリングを装着して矯正力を初期荷重 100 g になるように負荷した。

矯正力の作用期間は、2 日間（以下 2 日間実験群）および 7 日間（以下 7 日間実験群）とし、他に対照として矯正力を負荷しないグループ（以下対照群）を設けた。

2. 歯根膜受容器からの機能的単一神経線維の応答の記録方法

固定装置にネコを背臥位に固定し、下顎下縁部の骨を削除し、下歯槽神経を剖出し、機能的単一神経線維に分離した。電極には直径 0.3 mm の白金線を用い、電極からの信号は増幅後、力刺激とともにデータレコーダに記録した。応答信号の解析は A/D コンバータで精度 12 bit、サンプリング周波数 20 kHz で量子化し、パーソナルコンピュータに取り込み解析した。

矯正力の除去直後に、実験歯の矯正力を負荷した溝に力刺激を加えた。力刺激の方向は近心、遠心の 2 方向とし、立ち上がり時間 100 ms、力の持続時間 3 s の力刺激を 0.01 N から 0.80 N までの範囲で加えた。

得られた計測値の統計処理には、Mann - Whitney の分散分析と χ^2 検定を適宜用いた。

【結果】

矯正力の負荷前後での単一神経線維（ユニット）の応答は、総計 59 ユニット観測された。その内訳は、速順応性が 5 ユニット、遅順応性が 54 ユニットであった。速順応性には on type、off type、on-off type の 3 型が認められた。遅順応性は、対照群で 19 ユニット、2 日間実験群で 21 ユニット、7 日間実験群で 14 ユニット記録された。

出現頻度の高かった遅順応性の応答を対象として以下の計測を行った。

1. 潜時

刺激開始から応答開始までの潜時は、力刺激方向にかかわらず加圧速

度が増加するにしたがって短くなった。さらに、3群間での差は認められず、矯正力の負荷による潜時の変化は認められなかった。

2. 応答方向特性

対照群、2日間実験群、7日間実験群との間に方向特性の差は認められなかった。また、3群内で方向別の応答数について検討を行ったが差は認められなかった。したがって、歯の横断面において歯根膜に存在する受容器の分布はほぼ一様で、また矯正力の負荷による分布の変化は認められなかった。

3. 応答閾値

近心方向に力刺激を加えた場合、応答閾値の平均値は対照群に比べて、2日間実験群、7日間実験群で有意に高い値を示した ($p < 0.01$)。

遠心方向に力刺激を加えた場合の応答閾値の平均値は、3群間に差が認められなかった。

4. dynamic index

3群の dynamic index、すなわち加圧初期の放電頻度と2秒後の放電頻度との差を求めた。3群の近心、遠心方向への力刺激に共通した傾向として、加圧速度が増加するに従って dynamic index が増加していた。

対照群と実験群の dynamic index を比較すると、2日間実験群の近心方向刺激で、対照群よりやや高い値を示すユニットが多く認められ、7日間実験群では遠心方向への力刺激で、対照群よりも低い値を示していた。また、7日間実験群の近心方向への力刺激において、非常に高い値を示した受容器が2ユニット観察された。この2つのユニットの方向特性は、近心と近心舌側であった。したがってこの2つの受容器は矯正力による歯根膜の圧迫側に位置していたことになる。

【考察】

今回の実験では、近心方向に力刺激を加えた場合、2日間、7日間実験群ともに有意に応答閾値の上昇が認められたのに対し、遠心方向へ力刺激を加えた際には、実験群と対照群との間に差は認められなかった。これは矯正力による歯根膜の圧迫側に存在する受容器の応答閾値が上昇したことを意味する。

矯正力の負荷による応答閾値の上昇の要因には、①受容器の直接的な損傷、②コラーゲン線維の走行の変化の2つが考えられている。

金子は、矯正力を負荷した際の圧迫側歯周組織の様相を3次元的に観察し、変性帯の分布は歯頸部に比べ根尖部では狭い範囲であるとしている。今回の実験結果では、近心方向以外の方向特性を持つ受容器においても、近心方向に力刺激を加えた場合の応答閾値が上昇した。これらを考え合わせると、受容器の直接的な損傷のみが原因とは考えられない。

コラーゲン線維の走行の変化については、Kannari et al. が電子顕微鏡での観察により、ルフィニ神経終末とコラーゲン線維との接続を確認しており、歯根膜受容器はコラーゲン線維と密接に絡み合い機械受容複合体を形成していることを示した。高橋は、歯根膜の変性帯の周辺部にあるコラーゲン線維の蛇行は矯正力負荷6時間後すでに観察されたと報告している。今回の研究では、さまざまな方向特性を持つ受容器のすべてが近心方向の力刺激にのみ応答閾値が上昇し、遠心方向に力刺激を加えた場合では対照群と同じ値を示した。これらを総合して考えると、機械受容複合体のコラーゲン線維は矯正力によって圧迫、または弛緩し、機械受容複合体に機能的な変化を起こしたために遅順応性の応答閾値に上昇が起こったものと推察される。また、矯正力によりコラーゲン線維が牽引された場合には、機械受容複合体は機能的な変化を起こさず、その環境に適応しやすいことが推察される。

7日間実験群近心方向刺激において、dynamic index が大きく変化した2ユニットは、歯根膜の圧迫側に位置していた。このことより、矯正力負荷7日後には矯正力によって圧迫された受容器に、何らかの器質的な変化が起こっていることが示唆された。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 中 村 進 治

副 査 教 授 亀 田 和 夫

副 査 教 授 脇 田 稔

学 位 論 文 題 名

歯に矯正力を負荷した際の歯根膜受容器の 応答特性の変化について

審査は亀田、脇田および中村審査員全員の出席のもとに申請者に対して口頭試問により提出論文の内容とそれに関連する学科目について行った。

矯正治療を行う際、特に装置装着直後に歯にいろいろな痛みや不快感が生ずることが多い。生理的状态における歯根膜の神経系については生理学的に組織学的に数多くの研究が行われているが、歯に矯正力を負荷した場合の歯根膜受容器の応答特性の変化についての研究は非常に少ない。そこで本論文は歯根膜受容器の求心性単一神経線維からの応答を末梢神経から導出記録し歯に矯正力を一定期間負荷した後の受容器の応答特性の変化を明らかにし、さらに矯正力の負荷による感覚変化を患者が認識する過程を考察している。

【方法】

ネコ下顎犬歯を実験歯とし、臨床的歯頸線の約 2mm 歯頂側よりにつけた溝に矯正力を初期荷重100 gになるように負荷した。矯正力の作用期間は、2日間（以下2日間実験群）および7日間（以下7日間実験群）とし、他に矯正力を負荷しない群（以下対照群）を設けた。

ネコを背臥位に固定し、下顎下縁部の骨を削除し、下歯槽神経を剖出し機能的単一神経線維に分離した。電極からの信号は力刺激と共にデータレコーダに記録した。

矯正力の除去直後に、矯正力を負荷した溝に力刺激を加えた。力刺激の方向は近心、遠心方向とし、立ち上がり時間100 ms、力の持続時間3 sの刺激を0.01 Nから0.80 Nの範囲で加えた。

【結果】

単一神経線維の応答は、59ユニット（速順応性5ユニット、遅順応性54ユニット）が観測された。遅順応性は、対照群で19ユニット、2日間実験群で21ユニット、7日間実験群で14ユニットが記録された。出現頻度の高かった遅順応性の応答を対象として以下の計測を行った。

1. 潜時

応答開始までの潜時は、刺激方向にかかわらず加圧速度が増すに従い短くなった。

3群間での差は認められず、矯正力の負荷による潜時の変化は認められなかった。

2. 応答方向特性

3群間に方向特性の差は認められなかった。また、方向別の応答数についても検討を行ったが差は認められなかった。

3. 応答閾値

近心方向に刺激を加えた場合、応答閾値の平均値は対照群に比べて、2日間実験群、7日間実験群で有意に高い値を示した。遠心方向に刺激を加えた場合の応答閾値の平均値は、3群間に差が認められなかった。

4. dynamic index

3群の両方向刺激に共通して、加圧速度が増加するに従い dynamic index が増加した。2日間実験群近心方向刺激で、対照群より高い値を示すユニットが多く認められ、7日間実験群遠心方向刺激で、対照群よりも低い値を示した。また、7日間実験群近心方向刺激において、非常に高い値を示した受容器が2ユニット観察された。この2つのユニットの方向特性は、近心と近心舌側であった。したがってこの2つは矯正力による圧迫側に位置していたことになる。

【考察】

矯正力負荷による応答閾値上昇の要因には、①受容器の直接的な損傷、②コラーゲン線維の走行の変化の2つが考えられている。

金子は、変性帯の分布は歯頸部に比べ根尖部では狭いとし、また今回の結果では、近心方向以外の方向特性を持つ受容器においても、近心方向に力刺激を加えた場合の応答閾値が上昇した。これらを考えると、受容器の直接的な損傷のみが原因とは考えられない。

Kannari et al. が、歯根膜受容器はコラーゲン線維と密接に絡み合い機械受容複合体を形成していることを示し、高橋は、歯根膜の変性帯の周辺部にあるコラーゲン線維の蛇行は矯正力負荷6時間後すでに観察されたと報告している。今回の研究では、さまざまな方向特性を持つ受容器が近心方向刺激でのみ応答閾値が上昇し、遠心方向刺激では対照群と同じ値を示した。これらを総合して考えると、機械受容複合体のコラーゲン線維は矯正力によって弛緩し、複合体が機能的な変化を起こしたために応答閾値の上昇が起こったものと推察される。

7日間実験群近心方向刺激において、dynamic indexが大きく変化した2ユニットは、歯根膜の圧迫側に位置していたことより、矯正力負荷7日後には矯正力により圧迫された受容器に、何らかの器質的な変化が起こっていることが示唆された。

臨床的には矯正力負荷で痛覚閾値が低下するにもかかわらず、今回、遅順応性応答の閾値が上昇した理由を、太い神経線維と細い神経線維との関係により痛覚に変調作用が起こるとするゲートコントロール説を用いて考察した。

本研究は矯正力の負荷により歯根膜機械受容器の閾値が上昇することを明らかにしそれをもとに矯正装置装着後の歯に生ずる痛みや不快感につき考察を加えた点、今後の矯正歯科臨床に大いに役立つものと考えられる。よって申請者は博士（歯学）の学位を授与される資格をもつものと認められる。