原 著 論 文

犬歯の歯根膜感覚が下顎運動に及ぼす影響について

西田 圭一   古谷野 潔   水野 幹生   末次 恒夫

The Effect of the Periodontal Sensation of the Canine Teeth on Mandibular Movements

Keiichi Nishida, Kiyoshi Koyano, Mikio Mizuno and Tsuneo Suetsugu

Abstract : The purpose of this study was to investigate the effect of the periodontal sensation of canine teeth on lateral movement and masticatory movement in man. The mandibular movements of 20 healthy subjects were measured using Kyushu University 3-D movement analyzing system, before and after local anesthesia to upper and lower canine teeth.

The results were as follows.

1. The lateral movement was very stable before and after anesthesia. The stability was not affected by the periodontal sensation.
2. The chewing pattern and the chewing cycle did not alter before and after anesthesia.
3. In the group which showed small lateral displacement of the chewing path, the masticatory movement was not affected by the anesthesia.
4. In the group which showed large lateral displacement of the chewing path, the masticatory movement was not altered by the anesthesia.
5. In the group which showed intermediate lateral displacement, the amount of lateral displacement and gliding length in mastication increased after anesthesia. The amount after anesthesia was equal to that of the large lateral displacement group.

It was suggested that the lateral limitation existed in masticatory movement and the periodontal sensation of canine teeth controlled the amount of lateral displacement of mastication.

Key words : canine teeth, periodontal sensation, mandibular movements, masticatory movement

I. 緒 言

補綴学において側方指導要素は下顎運動を決定する一因子であり^{1,2)}, 側方指導によって規定される側方滑走運動経路は咀嚼運動経路と咬頭嵌合位付近で類似した経路をとる³⁾ことから重要視されている。有歯顎

九州大学歯学部歯科補綴学第2講座 (主任: 末次恒夫教授)
Prosthetic Dentistry II, Faculty of Dentistry, Kyushu
University (Chief: Prof. Tsuneo Suetsugu)
平成5年3月24日受付

の側方指導に関して1957年StuartらがCuspid protected occlusionを提唱し⁴⁾、さらに1958年D'Amicoによって犬歯誘導が推奨され⁵⁾、犬歯の側方指導要素としての役割が重要視されるに至った。

犬歯の側方指導要素としての働きは形態的側面からいくつかの研究がなされている。西尾²⁾、仁科⁶⁾および西川⁷⁾は、上顎犬歯の舌面形態は咀嚼パターンと関連していることを報告している。しかし、犬歯の生理的役割である歯根膜感覚による制御機構に関する臨床的研究は、わずかに1991年Mannら⁸⁾が犬歯の歯根膜に麻酔を行い咬筋および側頭筋の咀嚼筋活動が増大したことを報告しているにすぎない。

切歯あるいは臼歯の歯根膜感覚と開口反射、閉口反射等との関係が解明されている⁹⁻¹³⁾にも関わらず、犬歯の歯根膜感覚が下顎運動に及ぼす影響については検討されていない。

本研究では犬歯の歯根膜感覚が側方滑走運動と咀嚼運動にいかに関与しているかを明らかにすることを目的に、犬歯指導の咬合様式を有する正常有歯顎者の上下顎作業側犬歯に浸潤麻酔を施し同部位の歯根膜感覚を遮断し、この歯根膜感覚の変化が側方滑走運動および咀嚼運動にどのような影響を与えるか、特に咀嚼運動時の側方偏位にどのような影響を及ぼすかを知るために実験を行った。

II. 研究方法

1. 計測システム

下顎運動計測には九州大学式非接触三次元精密変位計測システムを使用した¹⁴⁾。

2. 被験者

顎口腔系に特に自覚的、他覚的に異常を認めない、咬頭嵌合位が安定した、いわゆる正常有歯顎者、男性10名、女性10名の計20名(年齢20~27歳、平均年齢22.3歳)を被験者とした。被験者は特に犬歯指導の咬合様式の者に限定し、実験内容について説明を行い、同意を得た上で実験を行った。

3. 解析部位

運動解析には切歯点および全運動軸を用いた。切歯点は左側下顎中切歯近心隅角とし、全運動軸は河野の方法に準じて¹⁵⁾コンピュータ演算結果から求めた。

4. 被験運動

側方滑走運動およびガム咀嚼運動を被験運動にした。側方滑走運動は咬頭嵌合位を起点とした上下顎歯の接触がある側方滑走運動である¹⁶⁾。側方運動は4回記録した。

また、犬歯指導の咬合様式を有する片側でのガム咀嚼運動を記録した。被験食品は咀嚼中に性状の変化が少なく、咀嚼リズムおよび運動経路が安定した¹⁷⁾ガム(フリーズンガム:(株)ロッテ、東京)とし、20ストロークを記録し、咀嚼開始5ストロークからの10ストロークを¹⁸⁾解析対象とした。

側方運動および咀嚼運動の速度は規定せず運動を行わせた。さらに続けて浸潤麻酔を行い、上下顎作業側犬歯の歯根膜感覚が喪失したことを確認後(平均11.8分)、同様の計測を行った。

5. 歯根膜感覚遮断法

上下顎作業側犬歯にエピネフリン含有塩酸リドカイン(藤沢製薬製2%キシロカイン®)0.4mlによる浸潤麻酔を施行し、歯根膜感覚を遮断した。刺入部は浸潤麻酔が可及的に犬歯に局限するよう歯根長の根尖側3分の1の歯肉とした。

浸潤麻酔の奏効の判定は50gの応力¹⁹⁾に対する応答の有無によって行った。また麻酔を行った歯の歯周ポケットにプローブを挿入し、疼痛感覚が喪失していることも同時に確認した。

6. 側方運動の安定性の評価

側方運動の安定性には切歯路の標準偏差を用い、この値をもって経路のばらつきの程度とした。

解析範囲は咬頭嵌合位から作業側へ側方0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0 mmの各6点とした。各点において前後の標準偏差(SDx)および上下の標準偏差(SDz)を算出し、さらに $[\{(SDx^2 + SDz^2)/2\}^{0.5}]$ の値を求めた。この値をばらつき度とし、側方運動の安定性のパラメータにした¹⁶⁾。

7. 咀嚼運動の解析パラメータ

1) 咀嚼リズム

開口相時間、閉口相時間、咬合相時間を求め、これら各相時間の合計値を咀嚼周期とした。

2) 咀嚼パターン(図1)

咀嚼運動の経路の前頭面投影を以下の3型に分類を行いその発現頻度を求めた。

図 1 咀嚼パターン分類 (前頭面投影図)

図 2 側方滑走運動経路の安定性の変化 (n=20)

I型：咬頭嵌合位から平衡側に向かって開口し、その後作業側に偏位し咬頭嵌合位へ閉口するパターンを呈するもの。

II型：咬頭嵌合位から作業側に向かって開口し、その後咬頭嵌合位へ閉口するパターンを呈するもの。

III型：I型およびII型の範疇に区分できないパターンを呈するもの。

3) 顎頭間軸回転角度 (回転角度)

咀嚼時の全運動軸の軸回りの最大回転角度を顎頭間軸回転角度²⁰⁾とした。

4) 顎頭間軸側方偏位角度 (側方偏位角度)

咬頭嵌合位の全運動軸と咀嚼時での全運動軸のなす3次元的角度の最大値を顎頭間軸側方偏位角度とした。

5) 滑走距離

図 3 時間リズムの変化 (n=20)

図 4 咀嚼パターンの変化 (n=20)

側方運動経路と咀嚼運動閉口路が3次元的に0.2 mm以内に存在した区間を滑走距離とした²¹⁾。

III. 結 果

1. 側方運動の安定性について (図2)

麻酔前後ともに側方運動の初期から側方3.0 mmまでの範囲を通じて、そのばらつき度は0.1 mm以下であり経路の安定性は高かった。

2. 咀嚼運動について

1) 咀嚼リズム (図3)

咀嚼周期と各相時間の平均値とその標準偏差を示した。咀嚼周期は麻酔前0.75±0.10, 麻酔後0.73±0.11であった。麻酔前後に咀嚼リズムの変化は観察されなかった。

2) 咀嚼パターン (図4)

被験者20人の各10ストロークの計200ストローク中、I型の発現頻度は36.0%, II型は47.0%であった。麻酔後は、I型が38.0%, II型が44.0%であった。麻酔前後での咀嚼パターンの発現頻度の変化は認

表 1 咀嚼運動の変化 (n=20)

	Before	After
回転角度 (degree)	7.08±1.77 **	7.96±2.27
側方偏位角度 (degree)	1.58±0.71 **	2.03±0.88
滑走距離 (mm)	0.47±0.22 **	0.63±0.32
(mean±1 SD) ** : P<0.05		

図 5 側方偏位角度の変化による分類

められなかった (分散分析, $P<0.05$).

3) 回転角度, 側方偏位角度および滑走距離 (表 1)

回転角度, 側方偏位角度および滑走距離は麻酔後に増加した (t 検定, $P<0.05$).

4) 側方偏位角度による分類について

麻酔前の側方偏位角度は図 5 のごとく約 0.4° から約 3.0° の範囲に分布し, 全被験者に麻酔前後で共通な変化はみられなかった。麻酔前の側方偏位角度が約 0.4° から約 1.0° の被験者は麻酔後に側方偏位角度の変化はなかった。しかし, 麻酔前の側方偏位角度が約 1.0° から約 2.3° のものは, 麻酔後に側方偏位角度が増加した。また, 麻酔前の側方偏位角度が約 2.3° 以上のものは, 麻酔後に側方偏位角度の変化はみられなかった。そこで麻酔前後における側方偏位角度の変化の有無と側方偏位角度の大小により, 図のごとく分類を行った。

図 6-1 咀嚼周期の変化

図 6-2 側方偏位角度の変化 (** : $P<0.05$)

S 型 (Small) : 麻酔前後で側方偏位角度に変化が存在しないもののうち側方偏位角度が小さいもの。

M 型 (Medium) : 麻酔前後で統計的有意差 (t 検定, $P<0.05$) をもって側方偏位角度が増加したもの。

L 型 (Large) : S 型と同様に側方偏位角度に麻酔前後で変化が存在しないもののうち側方偏位角度が大きいもの。

5) 型別の変化について

S 型および L 型は麻酔前後で各解析パラメータに変化は認められなかった。

M 型は, 側方運動のばらつき度については 0.1 mm 以下で側方運動は高い安定性を示し, また麻酔後でもその安定性に変化はみられなかった。また, 咀嚼パ

図 6-3 回転角度の変化 (**: $P < 0.05$) 図 6-4 滑走距離の変化 (**: $P < 0.05$)

ターンについても I 型の発現頻度は麻酔前 36.0%, 麻酔後 42.0%, II 型は麻酔前 53.0%, 麻酔後 46.0% であった。麻酔前後で変化はなかった。さらに咀嚼周期, 開口相時間, 咬合相時間および閉口相時間の咀嚼リズムの変化は観察されなかった。

一方, 側方偏位角度は麻酔前 $1.69 \pm 0.24^\circ$, 麻酔後 $2.52 \pm 0.42^\circ$ に増大した。回転角度は $7.84 \pm 0.95^\circ$ から $9.42 \pm 1.73^\circ$ に変化した。滑走距離は 0.44 ± 0.21 mm から 0.75 ± 0.31 mm に延長した (図 6-1~6-4)。

IV. 考 察

従来の歯根膜感覚と咀嚼運動との関連性についての研究では上下顎第 1 大臼歯に麻酔を施し咀嚼運動を観察したものがある。中村ら²²⁾の報告では, 大臼歯の麻酔によって変化したパラメータは存在したが全被験者に共通した変化は観察されていない。また, 加野²³⁾も同様に第 1 大臼歯に麻酔を行い, 開口距離が麻酔後に増加し, さらに咀嚼周期等の時間要素が短縮したが, 側方偏位は拡大しなかったとしている。その結果, 大臼歯の歯根膜は閉開口運動の調整に関与していることが示唆されている。このように大臼歯の歯根膜に関して若干の検討が行われているが, 咀嚼運動は側方指導要素との関連性が強く³⁾, むしろその側方指導を担っている犬歯の歯根膜感覚に注目すべきであると考えられる。

1. 側方運動の安定性の変化について

切歯点において咬頭嵌合位から側方へ偏位するに伴

いばらつき度は変化することはない, 常に 0.1 mm 以下であり, 側方運動の安定性が高いことが再確認された¹⁶⁾。側方運動時には犬歯の誘導面により下顎が側方へ接触滑走し, この形態的規制要素によって運動経路が決定していると考えられる。さらに, 歯根膜, 咀嚼筋の筋紡錘および顎関節の感覚受容器, 側方指導を行っている歯の形態, 歯種, 上下顎歯の接触点数が経路の安定性に影響を与えていると推測される。しかし, 麻酔後に側方運動の安定性は変化せず, 側方運動は高い安定性を示した。この結果から, 側方運動の安定性は歯根膜感覚の求心性情報の影響を大きく受けないことが考えられた。

2. 咀嚼運動の解析パラメータについて

咀嚼解析パラメータの設定に際し, 各被験者の下顎の大きさの差の影響を取り除いた上で下顎全体としての運動を評価する必要があると考えられる。その方法として, 本研究では開口距離は全運動軸の回転によって表現し, また側方偏位は全運動軸の偏位角度で表現することにした。この全運動軸は 1988 年に西ら²⁴⁾によって再現性が高いことはすでに確認されている。また, 全運動軸の回転は水野ら²⁰⁾の顎頭間軸回転角度の算出方法に準じて行い, 軸の偏位角度は咬頭嵌合位での全運動軸と咀嚼運動時の全運動軸のなす 3 次元的角度を求めることによって下顎全体の側方への偏位を求めた。

滑走距離は咀嚼運動経路と側方運動経路との関連性から算出した。側方運動経路と咀嚼運動閉口路は運動方向は逆であるが, 咬頭嵌合位付近で類似した経路を

有することが藍によって報告されている³⁾。側方運動は上下顎の歯と歯を滑走誘導させた運動であり、上下顎の歯が関与して生じた運動経路である。この経路と咀嚼運動経路が一致する区間は、咀嚼運動中に上下顎歯が関与した運動区間と考えられる。したがって、咀嚼運動と側方運動の近接した区間は上下顎歯が関与したものと考え、その区間をここでは滑走距離とした²¹⁾。

3. 咀嚼運動の変化について

1) 側方偏位角度による分類について

犬歯は側方指導を行う主要な歯であり、犬歯の形態的な要素が咀嚼の側方偏位に影響を与えることが検討されている。西川⁷⁾、土居²⁵⁾および篠ヶ谷ら²⁶⁾は、側方切歯路の前頭面投影角度が急になるにつれ側方への形態的な制限が増加し、それに伴って咀嚼運動の側方偏位が減少し咀嚼パターンはChopping patternを呈していることを報告し、側方指導を行っている歯の形態と咀嚼運動の側方偏位との関連性を明らかにしている。これに対して本研究では犬歯の歯根膜感覚と咀嚼運動の側方偏位の関係について着目し検討した。その結果、側方偏位角度の大小によって麻酔の影響が明確に異なって観察され、ある限られた範囲の側方偏位角度を有するものに麻酔の影響が咀嚼運動の側方偏位の拡大として現れた。そこで、麻酔前後の変化の有無と側方偏位の大小に注目し、S、M、Lの3型に分類を行い各解析パラメータについて検討を行った。

2) 咀嚼リズムの変化について

尾崎ら²⁷⁾は、20人の正常有歯顎者を被験者とし、本研究と同様にガムを被験食品とした実験を行い、咀嚼周期の平均は0.762秒、標準偏差は0.070秒と報告している。一方、本研究の咀嚼周期は麻酔前は平均0.75秒、標準偏差0.10秒である。この報告と本研究は同様な結果を得ており(t検定、 $P < 0.05$)、通常の咀嚼運動をサンプリングできたと考えられる。次に、犬歯に麻酔を行い咀嚼周期を求めた。麻酔後の咀嚼周期は平均0.73秒、標準偏差0.11秒であり、麻酔後に変化は認められなかった。咀嚼周期は犬歯の歯根膜感覚によって影響されなかった。

次に詳細に咀嚼各相時間について検討してみたが麻酔後に変化はなく、歯根膜感覚の遮断による各相時間の変化は認められなかった。

さらに各型別に分類しても咀嚼リズムに麻酔の影響は観察されなかった。従来の神経生理学的な研究か

ら、咀嚼運動は自動反復運動であり、一度咀嚼運動が開始されると中枢からの信号が脳幹部に送られ、そこでパターン・ジェネレータを介し、筋の活動のバランスが調整され咀嚼運動のリズムおよびパターンが決定され、末梢からのフィードバックを必要としないと^{28,29)}されている。本研究結果からも、一末梢感覚器官である犬歯の歯根膜からの求心性の情報が遮断されても咀嚼リズムに影響がないことが観察された。

3) 咀嚼パターンの変化について

咀嚼パターンは、咀嚼リズムと同様に主にパターン・ジェネレータに支配されているといわれており^{28,29)}、さらに咀嚼パターンおよび経路の安定性が高いことはこれまで多くの研究者によって報告されている^{2,6,30-32)}。本研究において全被験者20人について麻酔後の咀嚼パターンをみると、I型が2%増加し、II型が3%減少しているにすぎず、麻酔前後で咀嚼パターンに変化は観察されなかった。咀嚼パターンは咀嚼リズムと同様にパターン・ジェネレータの影響を末梢の感覚受容器より優位に受けられていると考えられ、犬歯へ麻酔を行っても咀嚼パターンそのものに影響を及ぼさないことが観察された。続けて本研究の分類によるS、M、L型別に咀嚼パターンを観察すると、側方偏位が大きいI型の発現頻度は、S、M、L型の順で多くなる。このことは、S型は側方偏位が小さく、L型は側方偏位が大きいことに一致した。さらに、S、M、L型の各型ごとに麻酔前後の咀嚼パターンを観察しても変化はなく、本研究における咀嚼パターン分類では犬歯の歯根膜感覚の影響は観察されなかった。

4) 回転角度、側方偏位角度および滑走距離の変化について

咀嚼パターンは主にパターン・ジェネレータによって決定されるとすると、側方偏位が小さいS型にはS型固有の咀嚼パターンが存在すると考えられる。S型は咀嚼時に側方偏位が小さい垂直的な開閉口を行い、さらに咬頭嵌合位付近では犬歯への接触滑走が少なく直接咬頭嵌合位に閉口している。事実、咀嚼パターンI型が26.7%と少なく、また側方偏位角度は 0.71° と小さく、さらに閉口時の滑走距離をみると平均0.35mmで犬歯への接触区間は短い。このことからS型の犬歯の歯根膜感覚と咀嚼運動との関連性は比較的低いものと考えられる。麻酔後の咀嚼運動を観察すると各パラメータに変化が観察されず、犬歯の歯根膜感覚と咀嚼運動との関連性が低いことを裏付けることになった。

仁科⁹⁾は、咀嚼パターンがChopping patternのように側方偏位が小さく、滑走距離も短い場合、末梢の感覚受容器からのフィードバックの影響を受けずに咀嚼運動が行われていると報告している。本研究においても側方偏位が小さいS型は麻酔の影響は認められず、末梢の感覚受容器からのフィードバックの関与は少なく上位中枢による制御が優位に働いていることが推察された。

M型は麻酔後に回転角度、側方偏位および滑走距離が増大し、犬歯の麻酔によって咀嚼運動に明らかな変化が認められた。Mannら⁸⁾は犬歯に麻酔を行い、咬頭嵌合位あるいは側方切端位でのかみしめにおいて咬筋および側頭筋の筋活動が増加したことを報告している。すなわち犬歯の歯根膜感覚が咀嚼筋の筋活動を抑制するフィードバック機構が存在すると考えられる。上田³³⁾は側方偏位が大きいものは外側翼突筋下頭の筋活動が大きいことを報告しており、外側翼突筋は側方運動の主たる筋であり外側翼突筋の筋活動が増大するほど側方偏位が拡大することが考えられる。これらの報告より、犬歯に麻酔を行ったことで歯根膜感覚を喪失し筋活動の抑制がとれ、その結果筋活動が増大し咀嚼運動時の側方偏位が拡大したものと考えられる。このことから、犬歯の歯根膜感覚は咀嚼運動時の側方制限要素として機能すると考えられる。

側方偏位が大きいL型は、滑走距離も0.70 mmと比較的長く、歯根膜感覚との関連性が強いことが予想されたが、麻酔に伴う咀嚼運動の変化は観察されなかった。下顎運動は靱帯や咀嚼筋の軟組織および骨などの硬組織による生体力学的拘束³⁴⁾により規制されており、咀嚼運動時の側方偏位にもある許容範囲が存在するものと考えられる。Jemtら³²⁾は側方偏位が大きい咀嚼運動の側方偏位距離の平均は4.4 mmであり、また川村³⁵⁾は側方偏位が大きいピーナッツを被験食品とした場合には4.5 mmであったと報告している。これらの研究結果と本研究での被験者の下顎の大きさが異なる可能性もあり一概には比較できないものの、L型の側方偏位距離は4.49 mmであり、同様な値を示している。したがって、L型はこの側方許容範囲の限界において運動を行っていたと考えられる。

ここで側方偏位が中等度のM型と側方偏位が大きいL型とを比較してみると、図6-2と図6-4のごとくM型は麻酔後に側方偏位角度が2.54°、滑走距離が0.75 mmでほぼL型と同程度の側方偏位が大きい値に変化した。つまりM型は犬歯の歯根膜感覚による側方制限

要素が機能していたが、麻酔後はその側方制限要素を喪失し、咀嚼の側方許容範囲まで側方偏位角度が拡大したことが考えられた。

以上のことより、本来咀嚼運動には側方許容範囲が存在し、この範囲内で犬歯の歯根膜感覚の関与により側方偏位の制御がなされていることが示唆された。

V. 結 論

犬歯指導の咬合関係を有する正常有歯顎者20名を被験者とし、上下顎作業側犬歯の歯根膜感覚を浸潤麻酔によって遮断させ、九州大学式非接触三次元精密変位計測システムにより側方滑走運動およびガム咀嚼運動の計測を行い、以下の結論を得た。

1. 側方滑走運動往路は咬頭嵌合位から側方3 mmまでの範囲内において高い安定性を示し、麻酔後も高い安定性を有した。

2. 咀嚼のリズムおよび咀嚼パターンは麻酔前後で変化は認められなかった。このことはパターン・ジェネレータ仮説を支持するものと考えられた。

3. 側方偏位が小さい垂直的な咀嚼運動を呈するS型は、麻酔の影響を受けず犬歯の歯根膜感覚と咀嚼運動との関連性は低いことが示唆された。

4. 側方偏位が大きいL型は麻酔前後で咀嚼運動の変化は観察されなかった。

5. 側方偏位が中等度のM型は、麻酔後に側方偏位ならびに滑走距離がL型と同程度に拡大し、犬歯の歯根膜感覚により側方偏位が制御されていることが示唆された。

6. 4, 5より咀嚼運動には側方許容範囲が存在し、その範囲内で咀嚼運動は行われていることが示唆された。

以上のごとく犬歯の歯根膜感覚が下顎運動に与える影響について新しい知見を得ることができた。

文 献

- 1) 中野雅徳：側方滑走運動における顎路と歯牙路に関する研究，補綴誌，19：647～665，1976。
- 2) 西尾公一：咀嚼運動における咬合様式の機能的意義に関する臨床的研究，阪大歯学誌，33：267～300，1988。
- 3) 藍 稔：切歯点における咀嚼運動の解析，補綴誌，6：164～200，1962。
- 4) Stuart, C.E. and Stallard, H. : Diagnosis and treatment

- of occlusal relations of the teeth, *Texas Dent J*, August : 430~435, 1957.
- 5) D'Amico, A. : The canine teeth-normal functional relation of the natural teeth of man, *J South Calif Dent Assoc*, 26 : 6~23, 49~60, 127~142, 175~182, 194~203, 239~241, 1958.
- 6) 仁科隆実 : 咀嚼運動形式の EMG 的特徴について, *歯科医学*, 42 : 1~27, 1979.
- 7) 西川啓介 : 顎運動と咀嚼筋活動に及ぼす咬合接触の影響, *補綴誌*, 33 : 822~835, 1989.
- 8) Mann, E., Garcia, C., Miralles, R. et al : Blocking of periodontal afferents with anesthesia and its influence on elevator EMG activity, *J Am Dent Assoc*, 9 : 212~219, 1991.
- 9) Goldberg, L.J. : Masseter muscle excitation induced by receptors in man, *Brain Res*, 32 : 369~381, 1971.
- 10) Lavinge, G., Kim, J.S., Valiquette, C. et al : Evidence that periodontal pressoreceptors positive feedback to jaw closing muscles during mastication, *J Neurophysiol*, 58 : 342~358, 1987.
- 11) Linden, R.W.A. and Millar, B.J. : The effect of rate of force application on the threshold of periodontal ligament mechanoreceptors in the cat canine tooth, *Archs Oral Biol*, 33 : 715~719, 1988.
- 12) Lund, J.P. and Lamarre, Y. : The importance of positive feedback from periodontal pressoreceptors during voluntary isometric contraction of jaw closing muscles in man, *J Biol Buccale*, 1 : 345~351, 1973.
- 13) Funakoshi, M. and Amano, N. : Periodontal jaw muscle reflexes in the albino rat, *J Dent Res*, 53 : 588~591, 1974.
- 14) 古谷野潔 : 後方運動時の下顎の三次元動態, *補綴誌*, 31 : 805~818, 1987.
- 15) 河野正司 : 下顎の矢状面内運動に対応する顎頭運動の研究 第二報 マルチフラッシュ装置による矢状面運動軸の解析, *補綴誌*, 12 : 350~380, 1968.
- 16) 西田圭一, 古谷野潔, 水野幹生ほか : 習慣性側方滑走運動の安定性に関する研究, *補綴誌*, 36 : 621~628, 1992.
- 17) 芳賀景嗣, 志賀 博, 小林義典 : 咀嚼運動の機能分析—正常者における各種食品咀嚼時の経路パターン—, *補綴誌*, 35 : 907~918, 1991.
- 18) 志賀 博, 小林義典 : 咀嚼運動の分析による咀嚼機能の客観的評価に関する研究, *補綴誌*, 34 : 1112~1126, 1990.
- 19) 天野仁一朗, 岩崎友昭, 吉田徹士ほか : 歯の機械刺激に対する方向弁別能について, *岐歯学誌*, 9 : 109~113, 1981.
- 20) 水野幹生, 古谷野潔, 末次恒夫 : 顎頭間軸回転角度パラメータを用いた下顎運動解析—算出法とその応用例—, *顎機能*, 7 : 91~96, 1989.
- 21) 西田圭一, 水野幹生, 古谷野潔ほか : 咀嚼時の三次元下顎運動の解析—咀嚼時歯牙滑走運動範囲について—, *補綴誌*, 35・85回特別号 : 117, 1991.
- 22) 中村康弘, 三間修司, 瑞森崇弘ほか : 咀嚼運動に歯根膜内麻酔が及ぼす影響に関する臨床的研究, *顎機能*, 6 : 125~130, 1988.
- 23) 加野精一 : ヒトの咀嚼運動の調整における歯根膜感覚の関与, *補綴誌*, 35 : 997~1006, 1991.
- 24) 西 克師, 林 豊彦, 石岡 靖 : 顎運動の解析法—運動学的解析点としての全運動軸点—, *補綴誌*, 32 : 1441~1419, 1988.
- 25) 土居 昂 : 実験的犬歯誘導咬合付与が咀嚼運動に及ぼす影響, *歯科医学*, 47 : 514~542, 1984.
- 26) 篠ヶ谷龍哉, 水谷 紘, 藍 稔 : 犬歯の舌面傾斜が咀嚼運動に及ぼす影響, *補綴誌*, 29 : 1156~1161, 1985.
- 27) 尾崎佳孝, 高野直久, 柴田孝典ほか : 顎関節症患者の咀嚼運動に関する研究, *顎機能*, 1 : 129~134, 1983.
- 28) 中村嘉男 : 咀嚼運動の大脳皮質性制御, *日生理誌*, 49 : 619~632, 1987.
- 29) 中村隆志 : 咀嚼運動調節機構の生理的特性に関する研究, *阪大歯学誌*, 32 : 36~55, 1987.
- 30) Pröschel, P. and Hofmann, M. : Frontal chewing patterns of the incisor point and their dependence on resistance of food and type of occlusion, *J Prosthet Dent*, 59 : 617~624, 1988.
- 31) Wood, W.W., Gelfant, H. and Hannam, A.G. : Effect of occlusal reconstruction on the reproducibility of chewing movement, *J Prosthet Dent*, 46 : 181~184, 1981.
- 32) Jemt, T. and Hedegård, B. : Reproducibility of chewing rhythm and of mandibular displacements during chewing, *J Oral Rehabil*, 9 : 531~537, 1982.
- 33) 上田龍太郎 : 外側翼突筋の活動様式, *補綴誌*, 36 : 94~107, 1992.
- 34) Osborn, J.W. : The temporomandibular ligament and the articular eminence as constraints during jaw opening, *J Oral Rehabil*, 16 : 323~333, 1989.
- 35) 川村貞行 : 咀嚼時の下顎切歯点の前頭面運動について, *歯科医学*, 36 : 61~89, 1973.