
原 著 論 文

下顎の等尺性前方および側方力の発現に関する 筋電図学的研究

内田 慎爾

Electromyographic Studies on the Exhibition of Isometric Protrusive and Lateral Protrusive Mandibular Forces

Shinji Uchida

Abstract : To study the mechanism of exertion of horizontal mandibular force, the myoelectric effect of mandibular isometric protrusive and lateral protrusive contraction under four forces (1/4, 2/4, 3/4 or 4/4 of the maximum voluntary contraction) at three different jaw positions (O : centric occlusion, half : middle position between O and max, and max : maximum eccentric protrusive or lateral protrusive mandibular positions) was measured in six male subjects with normal jaw function. Electromyographic recordings of the inferior part of the lateral pterygoid (LPt), posterior temporalis (Tp) and masseter (Mm) muscles were taken bilaterally, and forces were measured with force transducer.

EMG activities in the bilateral LPt during isometric protrusive contraction and in the contralateral LPt during lateral protrusive contraction increased with load intensity. Mm bilaterally during protrusive contraction, ipsilateral Tp and contralateral Mm during lateral protrusive contraction played an auxiliary role in exertion of horizontal mandibular force.

EMG activities in the contralateral LPt during lateral protrusive contraction with every force and in the bilateral LPt during protrusive contraction with 1/4, 2/4, 3/4 force, were significantly increased under the eccentric mandibular position. However, EMG activities in the bilateral LPt during protrusive contraction with 4/4 force did not increase under the eccentric mandibular position.

EMG activity in the LPt during protrusive contraction were higher than that during lateral protrusive contraction at every mandibular position and with every force.

It was concluded that the LPt was predominantly concerned with exertion of horizontal mandibular force.

Key words : electromyography, isometric contraction, masticatory muscle

I. 緒 言

下顎の水平方向への力は、咀嚼時の閉口相終末や下顎の側方運動時などに垂直的な力とともに発現し^{1,2)}、側方力のベクトルとして咀嚼機能に重要な役割を果たしている。しかし一方では、これらの水平力が歯に外傷的に作用すると、歯周病の二次的原因ともなり^{3,4)}、また para-function としての持続的な水平力負荷は、顎関節症の誘因にもなりうる⁵⁾。したがって、これら水平力発現のメカニズムを明らかにすることは、歯科の広範囲の分野に重要な意義がある。

下顎の運動機能の研究は、解剖的な筋の位置や走行から下顎運動に関わる筋を推察したり、筋電図や筋張力(咬合力)からその機能を明らかにしようとする試みが古くから行われてきた。特に垂直的な咬合力の発現様式に関しては、閉口筋の等尺性筋活動について多くの研究が行われている⁶⁻⁹⁾。一方、下顎の水平的機能に関する研究は、下顎運動に伴う筋電図的研究がみられるものの¹⁰⁻¹²⁾、水平方向への力の発現に関与する筋や、その等尺性機能に関する報告は少なく¹³⁻¹⁶⁾、特に筋長と筋張力について筋電図学的に分析した研究はない。著者らは、下顎に加わる水平力発現のメカニズムを明らかにするため、まず顎位(筋長)の変化に伴う等尺性下顎前方、側方押し出し力の変化を観察した¹⁷⁾。本実験は、これらの前方、側方押し出し力発現に関与する筋を筋電図的に明らかにし、下顎の水平機能に関与する筋とその特性について筋電図学的に検討を行った。

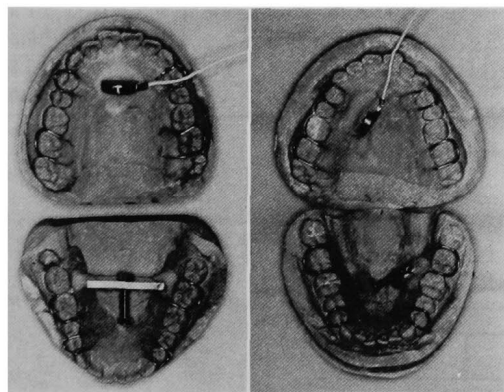


図 1 実験用シーネ
左：前方押し出し用
右：側方押し出し用

II. 実験方法

1. 被検者

被検者は、顎機能に異常を認めない 24~25 歳(平均: 24.3 歳, SD: 0.5 歳)の正常有歯顎者男子 6 名である。

2. 水平的押し出し力負荷のための口腔内実験装置

被検者の上下顎模型は、フェイスボウトランスファーを行って半調節性咬合器(Hanau Wide-View Arcon 咬合器)に装着し、この模型上で上下顎歯列に適合したレジンシーネを作製した(図 1)。上顎シーネの口蓋中央部には荷重測定用ロードセル(共和電業 LM 5 KA 型許容負荷改良品, 許容負荷 11.3 kgf/cm² 非直線性 0.16%RO ヒステリシス 0.05%RO)、下顎シーネにはロードセル受圧部に押し出し力を負荷するためのピンを設置した。ロードセル受圧部の位置は、上顎歯列弓の前後左右的な中央部(左右中切歯隣接面と左右第 2 大臼歯遠心面からなる三角形の中心)で下顎咬合平面の高さとし、荷重方向としてのピンの方向は、各被検者で描記したゴシックアーチの前方、側方経路に沿うように固定した。また押し出し用ピンの長さは可変にし、中心咬合位から偏心した位置での等尺性押し出しができるように設計した。

3. 被検運動

被検運動は、等尺性前方押し出しおよび側方押し出しである(以下前方押し出し、側方押し出しと記す)。本実験の前方、側方押し出しは中心咬合位から偏心側への等尺性押し出し運動であり、偏心側から内側(中心咬合位)へ向かう運動ではない。

押し出し顎位は、各被検者ごとのゴシックアーチに示されたアペックスの位置を中心咬合位付近(0 顎位)、0 顎位から前方、側方に下顎を偏位させた位置で力を発揮できる最大前方、側方偏心位を Max 顎位(前方: 7~11 mm, 側方: 5~6 mm)、さらに 0 顎位と Max 顎位の中央の位置を Half 顎位として、この 3 顎位における押し出しを行った。ロードセル受圧部と押し出し用ピンにより、下顎位がそれぞれの押し出し顎位に固定された状態で等尺性の前方および側方押し出し運動を行った。側方への押し出しは、被検者の得意側としたが、本実験においてはすべて右側であった。

基準となる押し出し力は、実験に先だって予備的に各顎位で各被検者の最大押し出し力を測定し、その 1/4, 1/2, 3/4 の力を各被検者ごとに決めた(表 1)。本実験は、

ロードセルからの出力をストレインアンプ（共和電業 DPM 210）にて増幅した後、オシロスコープ（ソニー テクニクス 5113）でモニターしながら、各押し出し [1/4, 1/2, 3/4, 最大随意押し出し (MVC)] をランダムな順序で約 4 秒間持続させ、これらの試行を 2 回ずつくり返した。

4. 筋電図の記録とデータ分析

被検筋は両側外側翼突筋下頭 (LPt), 側頭筋後部 (Tp), 咬筋中央部 (Mm) として筋電図の導出を行った。Tp および Mm は電極間距離 15 mm の皮膚上表面電極から, LPt は fine wire electrodes を口内法により刺入して双極誘導を行い, 生体電気増幅ユニット (日本電気 三栄 1253A) を経て, ポータブルデータレコーダ (TEAC SR-51) に記録した (図 2)。LPt への電極刺入の確認は筋電図のモニターから, 開口, 下顎前突時の著明な筋活動電位によって確認した。押し出し力と筋電図は同時にデータレコーダに記録し, 電磁オシログラフ (日本電気 三栄 VISIGRAPH 5 L) にて原波形を再生した。この筋電図原波形の観察から, 各被検者の 0 顎位における最大随意押し出し時 (MVC) の各筋活動を 4 段階表示 (±: ほとんど活動しない, +: わずかな活動, ++: 中等度の活動, +++: 著明な活動) で表した。

筋電図の定量化は, シグナルプロセッサ (日本電気 三栄 7T17) を用いサンプリングタイム 250 μ s にて最も安定した約 3 秒間をサンプリングし, EMG 電位の実効値 (rms 値) を算出した。得られたデータは, [筋: M], [被検者: I], [押し出し顎位: P], [押し出し力: F] を主変動因子とし, また同一筋の前方押し出し時と側方押し出し時の比較の際には, [被検者: I], [押し出し方向: D], [押し出し顎位: P], [押し出し力: F] を主変動因子として分散分析法による統計処理を行った。

III. 結 果

1. 等尺性前方, 側方押し出し時の咀嚼筋活動電位の観察

図 3, 4 に等尺性前方, 側方押し出し時の筋電図波形と押し出し力波形の一例を示す。前方押し出し時 (図 3) には両側 LPt が活発に活動し, 両側 Mm にも中等度の活動が認められた。側方押し出し時 (図 4) には対側 LPt が著明に活動し, 同側 Tp に中等度の活動がみられた。

表 2, 3 に 0 顎位 MVC における各被検者の筋電図波形の観察結果を示す。前方押し出し時 (表 2) には, 両側 LPt の著明な活動と両側 Mm の中等度活動を示すものが多く, 個人差が少なかった。側方押し出し時 (表 3) には, 全被検者中 5 名が対側 LPt の著明な活動と同側 Tp の中等度活動を認めたが, Sub. 5 は対側 LPt が中等度, 同側 Tp が著明な活動を示した。両側 Mm と対側 Tp は活動パターンに個人差がみられた。

2. 押し出し力の変化による等尺性筋活動量の変動

図 5, 6 に押し出し力を変えたときの筋別の rms 値の

表 1 各被検者の実験に先立って測定した各顎位の最大随意押し出し力 (目標値)

Subject No.	Mandibular position (kgf)					
	Protrusive			Lateral protrusive		
	0	Half	Max	0	Half	Max
1	6.5	4.5	2.0	8.5	7.5	5.0
2	10.0	7.5	6.0	9.0	8.5	7.5
3	7.5	3.0	1.0	8.0	4.5	1.0
4	7.0	6.0	3.0	7.5	6.5	5.5
5	9.0	7.0	6.0	7.0	6.0	5.5
6	8.0	5.0	4.0	7.5	7.0	5.0

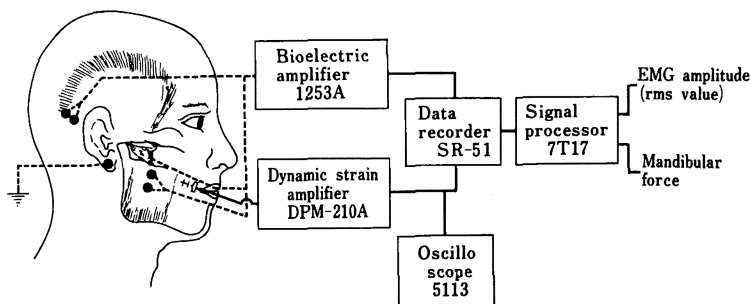


図 2 測定装置のブロックダイアグラム

変化を示す。

前方押し出し(図5)では、両側 LPt が 1/4 押し出し力においても他の筋に比べ大きな活動量を示し、力を増す毎に有意な活動量の増加がみられた(R: 114.4~230.1 μ Vrms, L: 171.3~325.8 μ Vrms, M×F: $p < 0.001$)。両側 Tp は、いずれの押し出し力でもわずかな活動でほとんど変化を示さなかった(R: 16.7~22.6 μ

Vrms, L: 10.3~13.5 μ Vrms)。両側 Mm の電位は小さいものの、押し出し力の増大に伴い上昇がみられた(R: 14.9~36.6 μ Vrms, L: 19.2~55.5 μ Vrms)。

側方押し出し(図6)では、対側 LPt が、1/4 押し出し力ですでに他の筋よりも高い電位を示し、押し出し力の増加に伴い有意に上昇した(47.5~107.3 μ Vrms, M×F: $p < 0.001$)。同側 Tp と対側 Mm の電位は、最

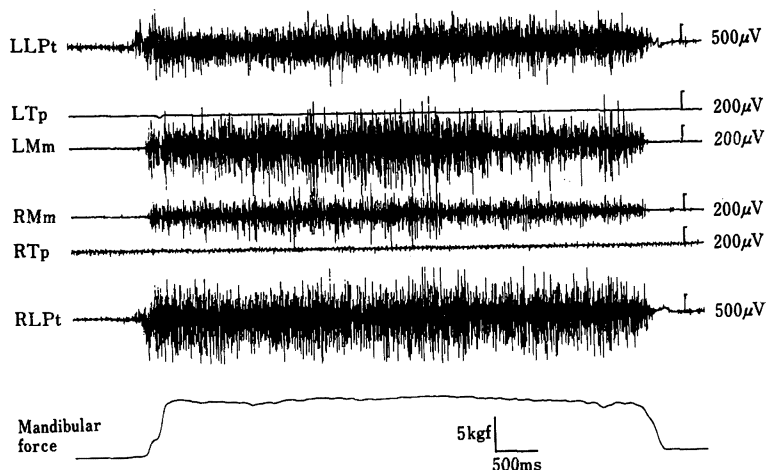


図3 前方押し出し時の各筋筋電図と押し出し力原波形(sub. 4, 0 顎位 MVC)

LLPt: 左側外側翼突筋下頭 LTp: 左側側頭筋後部 LMm: 左側咬筋
RMm: 右側咬筋 RTp: 右側側頭筋後部 RLPt: 右側外側翼突筋下頭

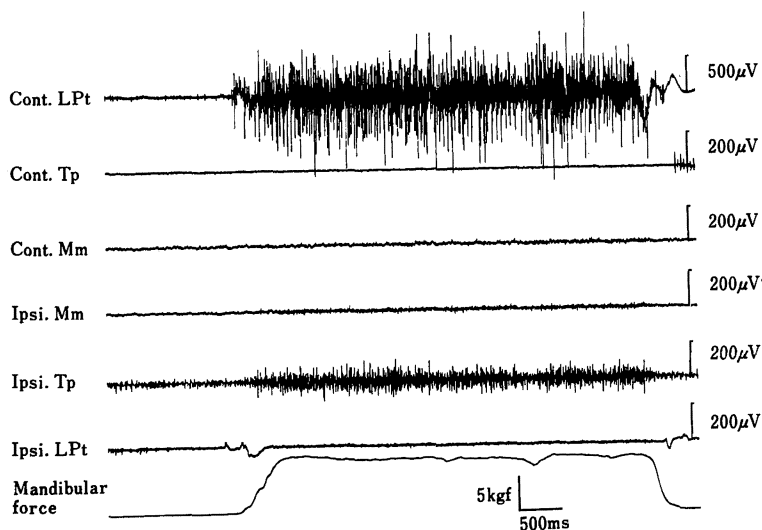


図4 側方押し出し時の各筋筋電図と押し出し力原波形(sub. 4, 0 顎位 MVC)

Cont. LPt: 対側外側翼突筋下頭 Cont. Tp: 対側側頭筋後部
Cont. Mm: 対側咬筋 Ipsi. Mm: 同側咬筋 Ipsi. Tp: 同側側頭筋後部
Ipsi. LPt: 同側外側翼突筋下頭

大押し出し時のみ有意に増加した (Ipsi. Tp: 14.95~36.86 μ Vrms, Cont. Mm: 10.93~27.56 μ Vrms). 同側 LPt と Mm, 対側 Tp は, いずれの押し出し力でもほとんど活動しなかった (Ipsi. LPt: 12.63~13.94 μ Vrms, Ipsi. Mm: 6.69~13.01 μ Vrms, Cont. Tp: 6.69~8.54 μ Vrms).

次に, 各筋の最大押し出し時の rms 値を 100% として, 各押し出し力における電位変化を表した.

前方押し出し時 (図 7), 両側の LPt と Mm は, 押し出し力の増加に伴い直線的な増加傾向を示し, 両側 Tp は, 一定傾向がみられなかった. また左右側同名筋は, いずれも類似した変化を示した.

側方押し出し時 (図 8), 対側 LPt は, 押し出し力の増加に伴い直線的な増加傾向を示したが, 同側 Tp, 対側 Mm は, 最大押し出し時に急激に増加し, 直線的な経過はとらなかった. 同側 LPt と対側 Tp は, 一定の傾向を示さなかった.

3. 押し出し顎位の変化による等尺性筋活動量の変動

押し出し顎位を変えて同一条件で, 等尺性押し出しを行ったときの筋別 rms 値の変化を示す (図 9, 10).

前方押し出し (図 9) では両側の LPt の rms 値が顎位を偏位させるにつれ有意に増加したが ($M \times P: p < 0.005$), その他の筋には有意の変動が認められなかった.

表 2 各被検者の前方押し出し時各筋筋活動 (0 顎位 MVC)

±: ほとんど活動しない, +: わずかな活動, ++: 中等度の活動, #: 著明な活動

Subject No	RLPt	RTp	RMm	LMm	LTp	LLPt
1	++	±	+	+	+	+++
2	+++	±	++	++	±	+++
3	+++	+	++	++	+	+++
4	+++	±	++	++	±	+++
5	+++	+	+	+	+	+++
6	++	±	++	++	±	+++

表 3 各被検者の側方押し出し時各筋筋活動 (0 顎位 MVC)

±: ほとんど活動しない, +: わずかな活動, ++: 中等度の活動, #: 著明な活動

Subject No	Ipsi. LPt	Ipsi. Tp	Ipsi. Mm	Cont. Mm	Cont. Tp	Cont. LPt
1	±	++	±	++	+	+++
2	+	++	+	++	+	+++
3	++	++	++	++	±	+++
4	±	++	±	±	±	+++
5	±	+++	+	++	±	++
6	±	++	+	+	±	+++

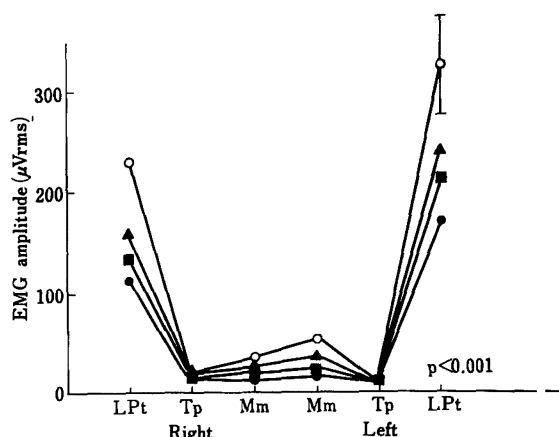


図 5 押し出し力の変化に伴う等尺性筋活動量の変化 (前方押し出し時)

● 1/4 押し出し力 ■ 1/2 押し出し力 ▲ 3/4 押し出し力
○ 最大随意押し出し力 (MVC) I 95% 信頼区間

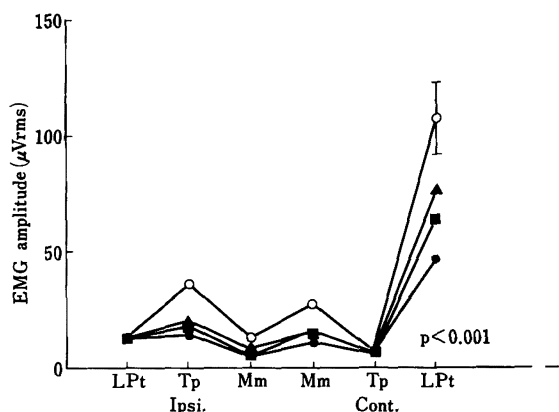


図 6 押し出し力の変化に伴う等尺性筋活動量の変化 (側方押し出し時)

● 1/4 押し出し力 ■ 1/2 押し出し力 ▲ 3/4 押し出し力
○ 最大随意押し出し力 (MVC)

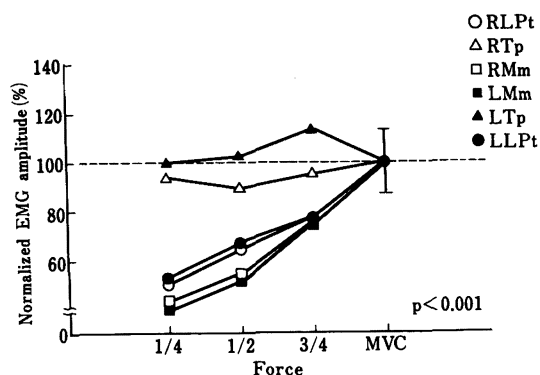


図 7 MVC 時活動を 100% とした押し出し力の変化に伴う等尺性筋活動量の変化 (前方押し出し時)

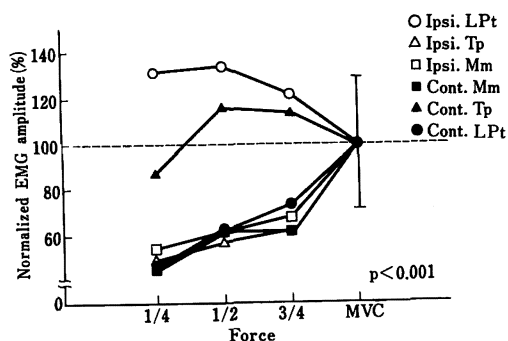


図 8 MVC 時活動を 100% とした押し出し力の変化に伴う等尺性筋活動量の変化 (側方押し出し時)

た。

側方押し出し (図 10) では押し出し側の対側 LPt の rms 値が偏位が大きくなるにつれ有意に増加し ($M \times P$: $p < 0.01$), 対側 Mm についても同様の増加傾向は認められるものの有意の変化はなかった。同側 Tp は, 押し出し力の増加により活動量の増大傾向が認められたのに対し (図 6), 顎位の変化によって活動量は影響されなかった。

押し出し顎位の変化に伴う各筋等尺性活動量の変動を押し出し力別に観察すると, 大きな変化は LPt にのみ認められ, 他の筋にはほとんど変化がなかった。LPt の筋活動については, 側方押し出し時に押し出し力が変わっても有意差がなく ($M \times P \times F$: $p > 0.4$), いずれの押し出し力でも顎位の偏位に伴い等尺性筋活動が上昇する傾向を示した。一方, 前方押し出しでは, 押し出し力が異なると顎偏位に伴う各筋活動の推移が一定傾向を示さず ($M \times P \times F$: $p < 0.05$, 図 11), 1/4 から 3/4 までの押し出し力では, 両側 LPt 活動が顎偏位に伴い増加傾向

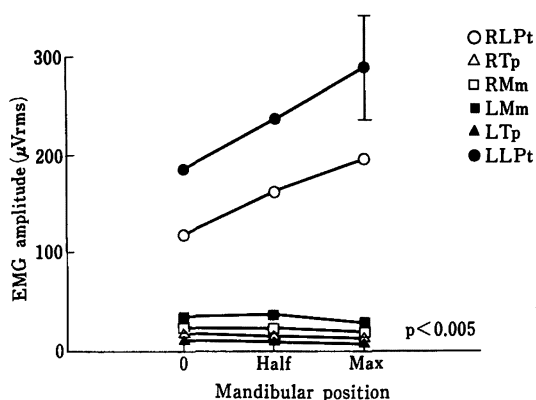


図 9 押し出し顎位の変化に伴う等尺性筋活動量の変化 (前方押し出し時)

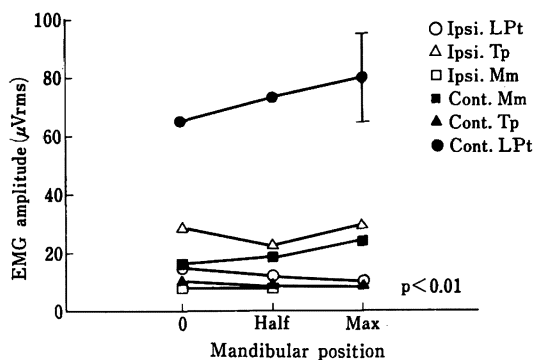


図 10 押し出し顎位の変化に伴う等尺性筋活動量の変化 (側方押し出し時)

をたどるが, 最大随意押し出し力 (MVC) では Half 顎位から Max 顎位にかけて LPt 活動量の増加がみられなかった。

4. 前方, 側方押し出し時の LPt 活動量の比較

側方押し出し時に活動を示す対側 LPt を対象として, 前方押し出し時と側方押し出し時の同一 LPt の rms 値を比較した (図 12)。前方, 側方押し出しで対応する異なった 3 顎位の押し出しを平均すると, LPt 活動は前方押し出しの方が有意に大きな活動電位を示した (前方 $236.32 \mu Vrms$, 側方 $74.00 \mu Vrms$, D : $p < 0.01$)。前方押し出し時の LPt 活動が側方押し出し時の活動を上回るという傾向は, すべての押し出し力, 押し出し顎位で認められた。

5. 筋活動量の個人差について

分散分析法を用いた統計処理の結果, 前方, 側方押し

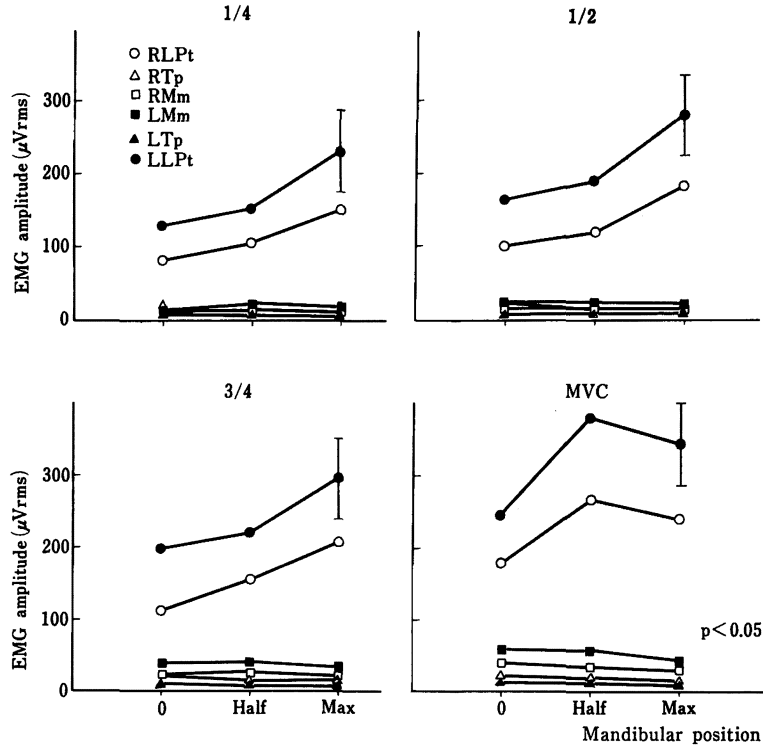


図 11 前方押し出し時の押し出し力別にみた顎位変化に伴う筋活動量の変化

出しともに個人差が関与する変動因子 (I, I×D, I×F, I×P×F および同一筋比較における I, I×D, I×F) は、すべて有意な影響を認めなかった。

IV. 考 察

1. 実験方法について

1) 実験装置および実験条件について

本研究は、中心咬合位付近から偏心側に向かう水平方向の等尺性押し出しにおいて、顎位や押し出し力の変化が各筋活動に与える影響を観察することにより、下顎の水平力発現のメカニズムを解明することを目的とする。

等尺性押し出し顎位の規制と押し出し力測定に用いたシーネおよび実験条件は、先の著者らの報告に示した¹⁷⁾。上下顎シーネ装着時には、前歯部で 1.5~2.0 mm 開口した状態となったが、この下顎位は下顎安静位の範囲内にあるものと思われ、筋電図的にみてほとんど変化がなかったことから本実験には影響を及ぼさなかったと考える。押し出し用ピンの方向については、咀嚼の第 5 相¹⁸⁾といわれる臼磨運動に關与する咀嚼運動路が空口時の側方滑走運動とほぼ一致する¹⁹⁾ことから、ゴシックアーチ

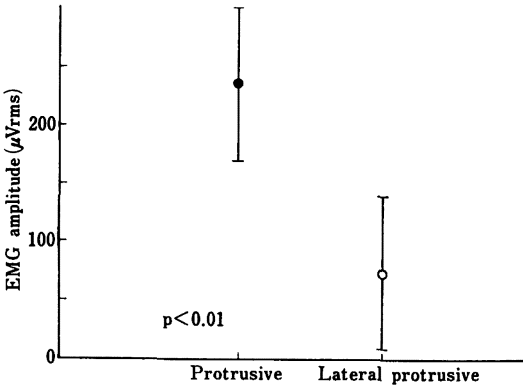


図 12 前方押し出し時と側方押し出し時の外側翼突筋下顎活動の比較

の方向に一致させて設置した。

各被検者は、骨格や筋の大きさに差があり、また筋力も異なる。そこで、個人差の影響をできるだけ少なくするため、さらに、前方押し出しと側方押し出しを同一条件で比較するために、押し出し条件の規定は各被検者の限界下顎位と最大力を基準にして決定した。

2) 筋電図記録について

被検筋の選択に当たっては、これまでの筋電図的研究^{10,11,20-23)}にて下顎の前方、側方移動時に大きな筋活動を示し、さらに解剖的な筋走行が水平方向への力の発現に関連すると思われる外側翼突筋下頭 (LPt) をまず被検筋とした。さらに、同側筋が側方移動時に活動する^{11,12)}側頭筋後部 (Tp), 下顎の垂直的な機能に重要な役割を果たすが、水平機能への関与については明らかでない咬筋 (Mm) を被検対象とした。筋電図の導出は、Tp と Mm が従来より教室で用いている双極表面電極から、LPt は fine wire electrodes を口内法により刺入して導出した。表面電極による導出と筋内電極による導出では、同一筋でも筋活動電位に差がみられるが²⁴⁾、両方の電極にて導出した筋電図積分値は力の増加に対して比例関係を示す²⁵⁾といわれており、押し出し力や押し出し顎位の変化に伴う筋活動変化の比較を各被検筋について行うことは問題がないと考えた。

外側翼突筋下頭からの筋電図誘導には、口内法^{15,20-23)}、口外法^{26,27)}があり、使用する電極は、単極針電極¹⁰⁾、同心型針電極^{23,28)}、双極封入針電極^{15,20)}などの針電極と、fine wire electrodes^{21-23,25)} が用いられてきた。本実験で使用した fine wire electrodes²⁹⁾ は、電極が細いため機能運動時の組織損傷が少なく、痛みが最小限で針電極にくらべて運動の妨げになりにくい利点がある。しかし、電極位置が不安定で、除去時の侵襲が大ききことが問題とされている。本実験は、等尺性運動という比較的下顎の移動が少ない運動にもかかわらず大きな力を発生すること、下顎の限界位で押し出し運動を行うこと、上下顎にシーネを装着するため電極は細い方が好都合であること、等尺性押し出しは下顎位が固定された運動のため筋内での電極移動が最小限であることなどの理由から、fine wire electrodes が本実験に適した電極であると考えた。なお刺入方法は、口外法に比べて筋との距離が短く血管神経への侵襲が少ないと考えられる口内法を選択した。

2. 実験結果について

1) 等尺性前方、側方押し出し時の咀嚼筋活動

0 顎位 MVC における各筋筋電図原波形の観察では、前方押し出しにおいてほとんどの被検者が両側 LPt の著明な活動と両側 Mm の中等度活動を示し、側方押し出しにおいて対側 LPt の著明な活動と同側 Tp の中等度活動を示した。LPt は前方、側方移動時^{10,11,20-23)}と同様に、等尺性前方、側方押し出し時にも大きな活動を示

し、主働的な関与が推察された。佐藤ら¹⁶⁾は等尺性側方押し出し運動において押し出し側 Tp の関与を報告しているが、本実験では等尺性側方運動時に同側 Tp の活動を認めるものの、対側 LPt に比べると筋活動は小さかった。しかしながら、電極の違いもあり各筋間の活動を電位のみで比較することは困難であると思われる。

また、今回の実験では、文献の考察から等尺性前方、側方押し出し運動において活動を予想しなかった前方押し出し時の Tp や側方押し出し時の対側 Tp、同側 LPt にも、被検者によっては活動を認めた。このような筋活動パターンは、力の負荷に伴う下顎の stabilizer としての役割を果たすため、より複雑なパターンを示すものと考ええる。

2) 押し出し力の変化による等尺性筋活動量の変動

等尺性収縮における筋張力と積分筋電図の比例関係は四肢筋^{30,31)}、閉口筋⁷⁻⁹⁾で明らかにされている。またこの比例関係が認められる筋は運動の主働筋として認められている³²⁾。本実験における EMG 電位の実効値 (rms 値) は積分 EMG に匹敵するものと考えられるが、押し出し力が増加すると、前方押し出し時の両側 LPt と側方押し出し時の対側 LPt の rms 値はほぼ直線的な上昇を示した。rms 値の直線的な上昇傾向は、四肢筋の主働筋としての特徴³²⁾であることから、LPt は等尺性水平押し出し運動の主働筋であると判断し得る。前方押し出し時の両側 Mm についてもほぼ同様の比例関係が認められ、筋走行からみて前方押し出し力への関与は十分に考えられるが、LPt の活動に比べると電位ははるかに小さく、また予備的な実験で行った同一被検者の中等度咬みしめ時の Mm 活動 (R : 81.1 μ Vrms, L : 100.3 μ Vrms) と比較しても小さな活動であることから (R : 14.9~36.6 μ Vrms, L : 19.2~55.5 μ Vrms)、顎位を垂直的に固定し、押し出し力発現に補助的に関与しているものと考ええる。

側方押し出しの同側 Tp と対側 Mm の活動は、力の増加に伴い対側 LPt のような直線的な上昇傾向を示さず、最大押し出し時にのみ有意な増加を示した。同様の傾向は、主働筋に協力的に作用する筋 (協力筋) の筋活動パターンとして、四肢筋でも報告されている³²⁾ことから、この筋活動も補完的な作用と考える。同側 Tp は、下顎側方移動時や側方押し出し時に働くと考えられている^{10,11,16)}、本実験の等尺性側方押し出しの際の筋活動量は、対側 LPt より著しく小さく、押し出し力増加に伴う活動量の上昇も、対側 LPt よりむしろ対側 Mm に似ており、MVC 時にのみ有意に増大する傾向を示したことから、

本筋が側方押し出しに主動的に働いているとは考えにくい。側方移動時には著明な活動を認めなかった¹²⁾ 対側 Mm の側方押し出し時の活動は、等尺性開口時の閉口筋活動³³⁾ に対応する下顎を安定させるための stabilizer と考えられる。いずれにせよこの 2 筋は、その活動パターンから等尺性側方押し出し運動における協力筋とみなされる。

本実験で観察しなかった筋の中で、文献的考察により等尺性水平力発現へのなんらかの関与が推察される筋は、内側翼突筋と舌骨上筋群である。内側翼突筋は、下顎前方、側方移動時に活動がみられ¹²⁾、咀嚼時には咬合相開始前後に同側筋優勢で最大活動を示す³⁴⁾ といわれている。宮下³⁵⁾ は、内側翼突筋の解剖学的走行からこの筋の収縮によって、下顎の挙上と側方偏心位からの内側への牽引が同時に行われていると推測しており、側方力発現への強い関与を示唆している。しかし、本実験のような偏心側へ向かう純粹の水平押し出し運動では、その筋走行からも咬筋に類似した補助的な活動を示すものと推察される。舌骨上筋群の顎二腹筋前腹についても、下顎前方、側方移動時に中等度の活動を示し、tooth gnashing でも活動が認められる³⁶⁾ という報告があり、内側翼突筋、舌骨上筋群の等尺性水平押し出しへの関与に関しては、今後さらに筋電図的に検討する必要がある。

LPt は等尺性前方、側方力発現に主動的な関与を示すことから、咀嚼時や bruxism による歯牙への側方圧発現にも当該筋が関与しているものと考えられる。田中¹⁾ は、咀嚼中に作業側の下顎第 1 大臼歯に発現する頬舌的側方力は、一般にまず頬側方向に押され、ついで舌側への力を受けるとしている。すなわち咀嚼側から閉口して咬頭嵌合位を通り、反対側に向かって閉口する第 4 相末期から第 5 相初期にかけて、作業側における上顎臼歯舌側咬頭内斜面に下顎臼歯頬側咬頭内斜面の押し付け運動が生じることになる。この押し付け運動は等尺性活動であり、本実験結果から LPt がなんらかの関与を示すことが推察される。Wood ら¹⁵⁾、井上³⁷⁾ は、咀嚼時の咬頭嵌合相後期から開口相にかけての LPt の活動が、この側方圧発現の等尺性活動に符合するものとの考え方を報告しているが、本実験結果はこれを筋電図学的に裏付けるものである。

同じ咀嚼時に発現する側方力でも、偏心側から中心咬合位への内側方向への力の発現もある。この時には、移動側の Tp の関与が報告されているが³⁸⁾、同期した LPt の関与はないとの見方がある³⁵⁾、偏心側から内側へ向かう力の発現と、中心咬合位から反対の偏心側へ向かう力

の発現は、全く異なる筋活動パターンを示すと考えられる。咀嚼時に発現する側方力の発現機構は、さらにより詳細な実験設定により明らかにされなければならない。

Bruxism における clenching や grinding 時には、等尺性水平押し出し運動が非生理的にくり返され、この時前方位、側方位での早期接触があれば、接触点部で等尺性の前方、側方への圧が発現することになる³⁹⁾。歯牙接触時、下顎を側方へ誘導する要素の強い実験的な水平的早期接触は、垂直的早期接触に比べて付与後の違和感が少なくても EMG の影響は逆に持続的で強いことが報告されており⁴⁰⁾、持続的水平力は顎口腔系にきわめて為害的に作用していることがうかがえる。特に LPt は本実験結果より等尺性水平押し出し運動の主働筋であることから、最も強く影響を受けられると思われる。顎機能障害患者において最も頻繁にみられる当該筋の圧痛は⁴¹⁾、このような水平方向への等尺性運動による過緊張のための筋疲労現象と推察される。

3) 押し出し顎位の変化による等尺性筋活動量の変動
前方押し出しにおける両側 LPt、側方押し出しにおける対側 LPt の等尺性筋活動量は、顎偏位に伴い有意の増加がみられた。しかし、最大押し出し力は有意に減少する傾向を示した¹⁷⁾。筋活動と筋長の関係について Inman³⁰⁾ は、上腕二頭筋で筋長が変化すると EMG と等尺性筋張力の間に比例関係が成立せず、筋が短い時には発現する張力が小さいが筋活動量は最大となり、筋が伸長すると最大努力時の張力は増大するが、筋電図電位は著明に減少すると報告した。咀嚼筋において閉口筋である咬筋は、開口量が増加（筋長が伸張）すると同じ咬合力でも筋活動量が減少するという報告や^{6,7)}、顎間距離が 7～15 mm 程度までは EMG 活動が低下しその後再び最大開口まで増加するという報告がある⁹⁾。一方、開口筋の顎二腹筋は、等尺性開口時に咬頭嵌合位で最も低い活動を示し、顎間距離が増加（筋長が短縮）すると筋活動が有意に増加するといわれている³³⁾。本実験から、筋の短縮に伴い活動量が上昇する LPt は、等尺性開口時の顎二腹筋とよく似た傾向を示し、四肢筋における屈筋群の特徴^{30,31)} に類似している。

咬筋、側頭筋後部の等尺性筋活動量は垂直的な顎間距離の変化に対して影響を受けるといわれているが^{6,7,9,33)}、本実験の水平的な顎偏位に対してほとんど影響されなかった。

4 種の異なる押し出し力別 (1/4, 1/2, 3/4, MVC) にみた押し出し顎位の変化に伴う等尺性筋活動量の変動の中で、MVC での前方押し出しは Half 顎位から Max 顎位

に活動量の増加を認めず、やや減少傾向を示した。これは、外側靱帯にある type III receptor が、顎頭の最大前方偏位と、MVC 押し出しによる関節への大きな力の発現⁵⁾により活性化して、LPt 筋活動を反射的に抑制した⁴²⁾ためと考えられる。

4) 前方、側方押し出し時の外側翼突筋活動の比較

等尺性水平押し出し時における咀嚼筋筋電図の観察で、LPt の当該運動への主動的な関与が示されたため、さらに前方、側方押し出し時の LPt 活動の比較から、本筋の特性について検討を行った。

対応する同等の力での前方、側方押し出しでは、前方押し出しの方が筋活動量が大きかったが、先に報告した最大押し出し力¹⁷⁾は、いずれの顎位でも側方押し出しの方が大きかった。したがって、側方押し出しは前方押し出しに比べて LPt の比較的小さな筋活動で大きな押し出し力を発現している効率のよい運動であると考えられる。外側翼突筋下頭は水平的に顎関節矢状面に対し約 45° の角度をなして内側に走行している⁴³⁾。前方滑走運動では顎頭はほぼ直線的に前方に移動するが、側方滑走運動における平衡側顎頭は水平面投影で約 11° 内側へ移動する⁴⁴⁾。側方押し出しでは筋走行と顎頭運動方向が比較的一致することから、等尺性押し出し力が効率的に発現するのかも知れない。さらに、側方押し出しは先に考察した通り同側 Tp と対側 Mm の補助的な筋が活動して力の発現を容易にしており、一方、前方押し出しは側方押し出しに比べると下顎の固定が不十分で安定した押し出しが行えないことがその原因と考えられる。

5) 個人差について

原波形の観察では、前方押し出しにおける両側 Tp や、側方押し出しにおける同側 LPt、対側 Tp、同側 Mm のような押し出し力発現に直接関与しなかった筋が、特に各被検者間でその活動様相に差がみられた。

しかしながら、統計処理の結果、下顎位や押し出し力の変動に伴う等尺性筋活動量の変化に個人差が認められないことが示された。前方、側方押し出しのいずれの実験においても、変動因子の中で筋 (M) の寄与率 (ρ) は 51.6~52.3% と最も高く、被検者 (I) の関与する変動因子は ρ が 0.2~6.5% と M に比べてきわめて低かった。したがって本実験で得られた傾向は、水平的等尺性押し出し時の動作学的な筋電図の特徴を顕著に現わしている。

V. 結 論

下顎の水平的な力の発現機構を明らかにするため、実

験的な前方、側方への等尺性押し出し運動時の咀嚼筋筋活動と押し出し力を観察し、次のような知見を得た。

1. 前方押し出しでは押し出し力の増加とともに両側の外側翼突筋下頭の活動が有意に増加し、両側咬筋の活動は電位が小さいものの増加する傾向を示した。側方押し出しでは対側外側翼突筋下頭の活動が力を増す毎に有意に大きくなり、同側側頭筋後部と対側咬筋の活動は最大押し出し時にのみ有意の増大を示した。

2. 4 種の異なる力での押し出し時筋活動量を平均すると、顎位が中心咬合位付近から偏位するに従って、前方押し出しでは両側外側翼突筋下頭、側方押し出しでは対側外側翼突筋下頭の等尺性筋活動量が有意に増加した。しかしその他の筋には有意の変化がなかった。

3. 押し出し力別にみた顎偏位による外側翼突筋下頭の等尺性筋活動量の変化は、側方押し出しではいずれの力でも顎偏位により上昇傾向を示したが、前方押し出しでは MVC 時のみ、Half 顎位から Max 顎位にかけて活動量の増加がみられなかった。

4. 前方、側方押し出し時の外側翼突筋下頭の活動を比較すると、すべての顎位、押し出し力で前方押し出し時の方が有意に大きな筋活動を示した。

5. 分散分析法による統計処理の結果、本実験結果には個人差が認められなかった。

以上の結果より、下顎の等尺性水平押し出し力の発現には外側翼突筋下頭が主動的に働いていることが明らかとなった。前方押し出し時の両側咬筋、側方押し出し時の同側側頭筋後部と対側咬筋は、下顎の固定、安定を図るため補助的に押し出し力発現に関与することが示唆された。側方押し出しは前方押し出しに比べ外側翼突筋の筋活動量が小さいにもかかわらず、大きな力を発揮することができ、より能率的な運動であることが示唆された。

稿を終るに当たり、ご懇篤なるご指導と、ご校閲を賜りました井上 宏教授に深甚の謝意を表します。

また、終始本研究に多大のご指導、ご援助をいただいた前田照太講師に厚くお礼申し上げます。

さらに、何かとご協力くださった教室員ならびに大学院生各位に感謝致します。

最後になりましたが、本研究に際し、ご協力いただいた被検者各位に心よりお礼申し上げます。

本論文の要旨は、第 81 回日本補綴歯科学会学術大会 (1989 年 5 月 26 日、長野) および第 384 回大阪歯科学会例会 (1989 年 5 月 16 日、大阪) において発表した。

文 献

- 1) 田中貴信：頬舌側方咬合力について，補綴誌，16：321～349，1972.
- 2) 岡崎正史：咀嚼力の三次元的解析に関する研究—下顎第一大臼歯における検討—，歯科学報，88：1643～1666，1988.
- 3) 加藤 薫：歯の動揺度（中）—臨床的ならびに基礎的な歯周組織の力学的研究—，歯界展望，48：679～691，1976.
- 4) 加藤 薫，石田哲彦：歯の動揺度（下）—臨床的ならびに基礎的な歯周組織の力学的研究—，歯界展望，48：855～870，1976.
- 5) Brehnan, K., Boyd, R.L. and Laskin, J. et al : Direct measurement of loads at the temporomandibular joint in *Macaca arctoides*, *J Dent Res*, 60 : 1820～1824, 1981.
- 6) Storey, A.T. : Physiology of a changing vertical dimension, *J Prosthet Dent*, 12 : 912～921, 1962.
- 7) Garrett, F.A., Angelone, L. and Allen, W.I. : The effect of bite opening, bite pressure, and malocclusion on the electrical response of the masseter muscles, *Am J Orthod*, 50 : 435～444, 1964.
- 8) Ahlgren, J. : Mechanism of mastication, *Acta Odontol Scand*, 24 : 100～104, 1966.
- 9) Manns, A., Miralles, R. and Palazzi, C. : EMG, bite force, and elongation of the masseter muscle under isometric voluntary contractions and variations of vertical dimension, *J Prosthet Dent*, 42 : 674～682, 1979.
- 10) Moyers, R.E. : An electromyographic analysis of certain muscles involved in temporomandibular movement, *Am J Orthod*, 36 : 481～515, 1950.
- 11) Woelfel, J.B., Hickey, J.C. and Stacy, R.W. et al : Electromyographic analysis of jaw movements, *J Prosthet Dent*, 10 : 688～697, 1960.
- 12) Vitti, M. and Basmajian, J.V. : Integrated actions of masticatory muscles : simultaneous EMG from eight intramuscular electrodes, *Anat Rec*, 187 : 173～190, 1976.
- 13) MacDonald, J.W.C. and Hannam, A.G. : Relationship between occlusal contacts and jaw-closing muscle activity during tooth clenching : Part 1, *J Prosthet Dent*, 52 : 718～729, 1984.
- 14) MacDonald, J.W.C. and Hannam, A.G. : Relationship between occlusal contacts and jaw-closing muscle activity during tooth clenching : Part 2, *J Prosthet Dent*, 52 : 862～867, 1984.
- 15) Wood, W.W., Takada, K. and Hannam, A.G. : The electromyographic activity of the inferior part of the human lateral pterygoid muscle during clenching and chewing, *Arch Oral Biol*, 31 : 245～253, 1986.
- 16) 佐藤博信，藤井哲則，中村 司ほか：ヒト下顎の等尺性側方押し出し運動と顎筋電図，補綴誌，30：895～902，1986.
- 17) 内田慎爾，前田照太，共田義和ほか：下顎の等尺性前方および側方力の発現に関する実験的研究—前方および側方押し出し力の測定—，歯科医学，52：648～654，1989.
- 18) 中沢 勇：下顎運動の補綴学的研究 有歯顎の運動，口病誌，13：81～98，1939.
- 19) 藍 稔：切歯点部における咀嚼運動の解析，補綴誌，6：164～200，1962.
- 20) 神山光男：外側翼突筋の活動様式に関する研究，口病誌，25：164～183，1958.
- 21) Lehr, R.P. and Owens, S.E. : An electromyographic study of the human lateral pterygoid muscles, *Anat Rec*, 196 : 441～448, 1980.
- 22) Mahan, P.E., Wilkinson, T.M. and Gibbs, C.H. et al : Superior and inferior bellies of the lateral pterygoid muscle EMG activity at basic jaw positions, *J Prosthet Dent*, 50 : 710～718, 1983.
- 23) Widmalm, S.E., Lillie, J.H. and Ash Jr, M.M. : Anatomical and electromyographic studies of the lateral pterygoid muscle, *J Oral Rehabil*, 14 : 429～446, 1987.
- 24) Møller, E. : Action of muscles of mastication, edited by Kawamura, Y., *Frontiers of oral physiology, Physiology of mastication*, 121～158, 1, Karger, Basel, 1974.
- 25) Bouisset, S. and Maton, B. : Comparison between surface and intramuscular EMG during voluntary movement, edited by Desmedt, J.E., *New developments in electromyography and clinical neurophysiology*, 533～539, 1, Karger, Basel, 1973.
- 26) Gross, B.D. and Lipke, D.P. : A technique for percutaneous lateral pterygoid electromyography, *Electromyogr Clin Neurophysiol*, 19 : 47～55, 1979.
- 27) 井上 宏，西浦 恂，佐久間泰司ほか：ヒトの外側翼突筋の筋電図 第1報 下関へのハリ治療時のハリを電極とした誘導方法について，補綴誌，28：989～994，1984.
- 28) 小野圭昭：下顎位の変化にともなう外側翼突筋下頭の筋活動について，補綴誌，33：639～653，1989.
- 29) Basmajian, J.V. and Stecko, G. : A new bipolar electrode for electromyography, *J Appl Physiol*, 17 : 849, 1962.
- 30) Inman, V.T. and Ralston, H.J. : Relation of human electromyogram to muscular tension, *Electroencephalogr Clin Neurophysiol*, 4 : 187～194, 1952.
- 31) Lippold, O.C.J. : The relation between integrated action potentials in a human muscle and its isometric tension, *J Physiol (Lond)*, 117 : 492～499, 1952.

- 32) 谷井克則：等尺性収縮形態における発揮しやすい筋力，労働科学，57：93～100，1981.
- 33) 加藤俊治：咬筋筋腹の伸展が表面筋電図の様相におよぼす影響，歯科医学，50：179～200，1987.
- 34) Wood, W.W. : Medial pterygoid muscle activity during chewing and clenching, J Prosthet Dent, 55 : 615～621, 1986.
- 35) 宮下英一郎：咀嚼ストローク終末相における側方力発現機構に関する実験的研究，歯科学報，88：435～478，1988.
- 36) Widmalm, S.E., Lillie, J.H. and Ash, Jr, M.M. : Anatomical and electromyographic studies of the digastric muscle, J Oral Rehabil, 15 : 3～21, 1988.
- 37) 井上 宏，西川久義，西浦 恂：ヒト外側翼突筋の筋電図その 7. chewing motion への関与，補綴誌，33. 第 81 回特別号：56，1989.
- 38) 加藤 博：咬合力の発現様式に関する筋電図学的研究，歯科医学，38：65～95，1975.
- 39) 石川 純，加藤 薫，佐藤文彦：顎運動と咬合調整，342～352，東京医科歯科大学歯学部顎口腔総合研究施設編，顎運動とそのメカニズム，日本歯科評論社，東京，1976.
- 40) 関根紀彦：実験的早期接触が咀嚼筋 EMG burst におよぼす影響，歯科医学，42：364～380，1979.
- 41) Franks, A.S.T. : Masticatory muscle hyperactivity and temporomandibular joint dysfunction, J Prosthet Dent, 15 : 1122～1131, 1965.
- 42) Clark, R.K.F. and Wyke, B.D. : Contributions of temporomandibular articular mechanoreceptors to the control of mandibular posture : an experimental study, J Dent, 2 : 121～129, 1973.
- 43) Honée, G.L.J.M. : The anatomy of the lateral pterygoid muscle, Acta Morphol Neerl Scand, 10 : 331～340, 1972.
- 44) 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.