原著論文

三次元咬合力に基づく下顎位と 咀嚼筋活動の関係に関する研究

川田 哲男

The Relationship between Jaw Position and Masticatory Muscles' EMG Activity Based on Three Dimensional Bite Force Registration

Tetsuo Kawata

Abstract : The purpose of this study was to examine the relationship between jaw position and masticatory muscle activities during static bite situation. The subjects were 4 males and 1 female. EMG activities were registered bilaterally from the masseter muscle (MAS), anterior temporal muscle (AT) and posterior temporal muscle (PT) in different jaw positions anteroposteriorly. During EMG registration, bite force was regulated both in magnitude and direction with visual biofeedback by means of a three-dimensional bite force measuring device. The relative activation pattern of the muscles during bites in specific directions was consistent irrespective of jaw position. During bites in a specific direction at a determined force, MAS activity increased as the jaw position was changed anteriorly, while AT and PT activities increased as the position was changed posteriorly. The difference between activities generated in different directions was dependent on jaw position in AT and PT, but not in MAS. The difference between the activities generated at different bite forces was dependent on jaw position in MAS and AT, but not in PT. It was suggested that these characteristics of muscle activity as changes of jaw position might be closely related to the shape and spacial location of muscles.

Key words : jaw position, masticatory muscle, EMG, three-dimensional bite force

I. 緒 言

顎関節症患者では、咬合時に下顎偏位がみられることがある。このような患者に咬合治療を施すと、咀嚼筋の疼痛などの症状が快方に向かうにつれて、下顎位の変化が観察されることが少なくない¹⁾。

下顎の偏位は、筋全体の走行、および複雑な構造を有する筋内部の筋線維走行に変化をもたらす。これらは、さらに筋線維長、ならびに筋力ベクトルすなわち筋の収縮方向とその空間的位置を変化させるものと推察される。咀嚼筋

を含め骨格筋では、筋長の違いにより筋活動および筋力は変化し²⁻⁴⁾、最も効率的な活動を示す至適な筋長が存在するとされている⁵⁾。また下顎の偏位は、筋力ベクトルのみではなく、顎口腔系の生体力学的平衡にかかわる種々の要素を変化させるものと考えられる。さらに下顎の偏位は、咀嚼筋活動の制御に関与する顎関節受容器や咀嚼筋の筋紡錘などの感覚入力の変化を惹起する。

以上の観点から、下顎の偏位は咀嚼筋活動に影響を及ぼすものと推察される。しかしながら、下顎位の変化と咀嚼筋活動に関するこれまでの研究では、下顎位が変化すると咀嚼筋活動は変化するとするもの⁶⁻²⁶⁾、あるいは変化しない場合があるとするものがあり²⁷⁻³¹⁾、変化する場合でも報告によりその傾向は一樣ではなく、未だに明確な結論は得られていない。

一方、咬みしめ時の咀嚼筋活動は、咬合力の方向と大き

東北大学歯学部高齢者歯科学講座 (指導: 渡辺 誠教授)
Department of Geriatric Dentistry, Tohoku University School of
Dentistry (Director: Prof. Makoto Watanabe)
平成7年11月24日受付

さによりさまざまに変化することが報告されている。咬合力を三次元的に測定した van Eijden らは、咬合力の方向により咬合力の大きさと筋活動の関係が変化すること³³⁾、咬合力測定部位によって咀嚼筋活動様式や³²⁾、モーメント³⁴⁾が変化することを、同様に Blanksma らは、ワイヤー電極を用いて側頭筋³⁵⁾、咬筋³⁶⁾について筋内部の筋活動様式が部位により異なることを報告した。咬合挙上量を最小にして咬合力を三次元的に規定して咀嚼筋活動を記録した菊池らは、咬合力方向の変化に際して咬筋と側頭筋は相反的に活動すること³⁷⁾を、服部は、針電極を用いて咬筋内部の運動単位を記録することにより、咬筋各部の運動単位は咬合力の方向、大きさにより選択的に活動し、機能的に分化していることを示した³⁸⁾。Sasaki らは、同様に咬合力の三次元的変化に伴う外側翼突筋³⁹⁾と内側翼突筋⁴⁰⁾の筋活動を報告した。

すなわち咀嚼筋の活動様式は、発揮する咬合力の大きさや方向によりさまざまに変化する。したがって、下顎位の違いによる咀嚼筋活動の変化を明らかにするためには、筋活動時の咬合力の大きさ、方向を厳密に考慮する必要がある。下顎位と咀嚼筋活動の関係についての報告の中で、発揮された咬合力の大きさや方向を明確にしているものは少なく^{13,26)}、両者を同時に規定している報告はみあたらない。過去の報告間で結果が異なるのは、これらの実験条件の相違に由来していると思われる。

そこで本研究では、下顎位と咀嚼筋活動の関係を明らかにすることを目的として、咬合力の大きさ、方向を三次元的に規定した実験条件下で下顎位を種々変化させ、下顎位が咀嚼筋活動に及ぼす影響について検索した。

II. 方 法

顎口腔系に機能異常とその既往を認めない成人男性 4 名、女性 1 名、計 5 名 (年齢 21~31 歳、平均 26.0 歳) を被験者とした。各被験者に、タッピングポイントを基準位とし、これより前方に 1, 2, 3 mm、後方に 0.5 および 1 mm 偏位させた計 6 種の下顎位において、規定の咬合力の発揮を命じ、その際の三次元咬合力と咀嚼筋筋電図を同時記録した。本実験に用いた被験者のタッピングポイントは 0.2 mm 以内に存在し、基準位はその中央とした。

被験筋は、左右側咬筋浅部、側頭筋前部および側頭筋後部の計 6 筋とした。上記被験筋を触診にて確認後、直径 12 mm の銀塩化銀皿状表面電極を、筋線維走行方向に沿って電極間距離 20 mm で貼付し、筋電図を双極導出した。導出した筋電図は、生体信号用増幅器 (日本電気三栄社製、バイオトップ 6 R 12) にて、10~1,500 Hz で帯域濾過後、増幅しデータレコーダ (TEAC 社製、XR 7000) に記録した。

三次元咬合力の測定には、当教室で開発した三次元咬合

力測定装置を用いた⁴¹⁾。本装置は 3 つの圧力トランスデューサを埋入した咬合力センサを設置する上顎シーネと、ベアリングボールを設置する下顎シーネからなる。上下顎シーネは、被験者ごとにコバルトクロム合金で製作した。咬合力センサの中心は、両側上顎第 1 大臼歯中心窩を結ぶ線と正中口蓋縫線の交点に位置させ、その基底面は咬合平面に平行とした。下顎シーネの基底面は、上顎と同様咬合平面に平行とした。下顎と上顎間に生じる咬合力は、下顎のベアリングボールが、上顎センサ内の角度の異なる三面に接触することにより測定され、それぞれの面に発するベクトルの合力として三次元咬合力が計算される。測定した咬合力は、歪増幅器 (日本電気三栄社製、6 M 82) を介し、データレコーダに記録した。実験では、上下顎シーネを歯科用仮着セメント (松風社製、ハイボンドテンポラリーセメントハード) にて、それぞれ上下顎歯列上に装着した。本装置装着時の開口量は、前歯部において約 3 mm 以下で、下顎偏位時においても、上下顎の歯牙の接触は存在しない。

被験者に、各下顎位において、規定の咬合力の発揮を命じ、三次元咬合力と筋電図を同時記録した。この時、発揮した咬合力の大きさと方向をリアルタイムでシグナルプロセッサ (日本電気三栄社製、7 T 18) のモニター上に表示することにより、被験者は随意的に咬合力を調節し、規定された咬合力を発揮することが可能である⁴²⁾。被験者に指示した咬合力の方向は、FH 平面の鉛直方向に対して前方に 10 度傾斜させた前方 10 度左右 0 度 (以下 [10, 0]) を基準方向とし、これより前後左右にそれぞれ 20 度ずつ傾斜した前方 30 度左右 0 度 (以下 [30, 0])、後方 10 度左右 0 度 (以下 [-10, 0])、前方 10 度左 20 度および前方 10 度右 20 度の計 5 方向である。また指示した咬合力の大きさは、各方向において 40 N, 80 N, 120 N の 3 段階である。すなわち被験者には各下顎位において計 15 条件の咬合力の発揮を命じた。

これらの実験を、6 種の下顎位において行った。下顎位の設定は、下顎シーネ上にゴシックアーチを描記し、まずそれぞれの下顎位に圧痕を付け、その圧痕にベアリングボールを即時重合レジン (ジーシー社製、ユニファースト II) にて固定することにより行った。すなわち、ゴシックアーチの前後の経路上のタッピングポイントとタッピングポイントより後方 0.5 mm, 1 mm および前方 1 mm, 2 mm, 3 mm の 6 点にベアリングボールを固定した。本三次元咬合力測定装置では、上下顎のシーネを咬合平面と平行に製作したことにより、開口量を変化させずに、下顎位を咬合平面に可及的に平行に移動することが可能である^{43~45)}。

実験終了後、記録した三次元咬合力と筋電図をシグナルプロセッサに入力し、規定の咬合力が連続して 2 秒間得られた記録区間の筋活動積分値を算出した。A/D 変換のサ

図 1 An example of masticatory muscles activities during bites in various bite forces and in different jaw positions

(a) Effect of bite force magnitude on EMG activities (bite force direction : referential direction, jaw position : referential position)

(b) Effect of bite force direction on EMG activities (bite force magnitude : 80 N, jaw position : referential position)

(c) Effect of jaw position on EMG activities (bite force magnitude : 80 N, bite force direction : referential direction)

咬合力の大きさ, 方向, および下顎位の変化による咀嚼筋活動の変化の一例

(a) 咬合力の大きさによる変化 (咬合力の方向 : 基準方向, 下顎位 : 基準位)

(b) 咬合力の方向による変化 (咬合力の大きさ : 80 N, 下顎位 : 基準位)

(c) 下顎位による変化 (咬合力の大きさ : 80 N, 咬合力の方向 : 基準方向)

R-MAS : 右側咬筋, R-AT : 右側側頭筋前部, R-PT : 右側側頭筋後部

40 N : 大きさ 40 N の咬合力発揮時, 80 N : 大きさ 80 N の咬合力発揮時, 120 N : 大きさ 120 N の咬合力発揮時, [10, 0] : 方向 前方 10 度左右 0 度の咬合力発揮時, [30, 0] : 方向 前方 30 度左右 0 度の咬合力発揮時, [-10, 0] : 方向 後方 10 度左右 0 度の咬合力発揮時, P 1 mm : 後方 1 mm, A 3 mm : 前方 3 mm

ンプリングクロックは 0.5 ms である。その後、筋活動積分値をパーソナルコンピュータ (日本電気社製, PC-9821 Nd 2) に転送し、咬合力方向が前後方向の時は、左右側の同名筋の筋活動積分値を合計し、側方方向の時は、咬合力方向に対する同側および反対側の各々の同名筋の筋活動積分値を合計した。このことから、同側および反対側の各々の同名筋の筋活動積分値を合計した咬合力方向をそれぞれ前方 10 度同側 20 度 (以下 [10, 20]), 前方 10 度反対側 20 度 (以下 [10, -20]) と表すこととした。合計した各筋の筋活動積分値は、基準位において大きさ 40 N, 方向 [10, 0] の咬合力を発揮した時の筋活動積分値を 100% とした相対的な値に換算され、以後の分析に用いられた。

統計学的分析には、Mann-Whitney U test および一元配置分散分析を行い、post hoc 比較として Tukey test を

用いた。

III. 結 果

1. 咬合力の大きさ, 方向ならびに下顎位による咀嚼筋活動の変化

図 1 は、咬合力の大きさ, 方向, ならびに下顎位を種々変化させた際の右側咬筋, 側頭筋前部, 側頭筋後部の筋電図波形の 1 例である。図 1(a) は、下顎位を基準位に設定し、咬合力の方向を [10, 0] と一定にした条件下で、咬合力の大きさを 40 N, 80 N, 120 N と変化させた際の結果である。各筋において、咬合力の増大に伴い筋活動が大きくなる傾向が観察された。図 1(b) は、下顎位を基準位、咬合力の大きさを 80 N に設定した条件下で、咬合力方向を [-10, 0], [10, 0], [30, 0] と変化させた結果

図 2 Patterns of muscle activities during bites in specific directions (bite force magnitude : 80 N)

(a) masseter muscle, (b) anterior temporal muscle, (c) posterior temporal muscle

咬合力方向を変化させた際の各筋の活動様式 (咬合力の大きさ : 80 N)

(a) 咬筋, (b) 側頭筋前部, (c) 側頭筋後部

A 10 : 方向 前方 10 度, A 30 : 方向 前方 30 度, P 10 : 方向 後方 10 度, 20 : 方向 同側 20 度, 0 : 方向 左右 0 度, -20 : 方向 反対側 20 度, P 1 mm : 後方 1 mm, A 3 mm : 前方 3 mm

である。咬筋活動は、咬合力方向が $[-10, 0]$ から $[10, 0]$, $[30, 0]$ へ、すなわち咬合力方向が前方に向かうにつれて、増大する傾向を示した。これに対し、側頭筋前部および側頭筋後部の活動は、咬合力方向が前方に向かうにつれて減少する傾向を示した。これらから、各筋の活動は咬合力の大きさと方向が異なることにより、さまざまに変化することが同えた。

一方、下顎位を基準位、基準位から後方 1 mm、および基準位から前方 3 mm と変化させた結果を、図 1(c) に示す。各下顎位において、咬合力の大きさは 80 N、方向は $[10, 0]$ と一定である。咬筋活動は、下顎位をより前方に設定した際に増大する傾向を示した。側頭筋前部および側頭筋後部では、下顎位をより後方に設定した際に大きな活動を示した。すなわち、各筋の活動は、一定の大きさ、方向の咬合力を発揮しているにもかかわらず、下顎位が異なることによりさまざまに変化した。

以上の結果から、咬合力の大きさ、咬合力方向、下顎位のいずれの因子が変化しても、咀嚼筋活動が変化することが示された。これらから、咀嚼筋活動に対する下顎位の影響を明らかにするためには、咬合力の大きさ、方向を規定した実験、分析が必要であると考えられた。そこで本研究では、各下顎位において咬合力方向を 5 方向、大きさを 3 段階とした計 15 条件の咬合力発揮時における咀嚼筋活動

を記録し、その筋活動積分値を算出することにより、下顎位の変化に伴う各筋活動の変化を定量的に検索した。

2. 咬合力方向の変化に伴う咀嚼筋の活動様式

異なった下顎位において咬合力方向を変化させた際の各筋の活動様式を検索した。図 2 は、下顎位を基準位、後方 1 mm および前方 3 mm に設定し、咬合力を $[10, 0]$, $[30, 0]$, $[-10, 0]$, $[10, 20]$ および $[10, -20]$ の 5 つの方向に発揮させた際の、筋活動積分値の 1 例である。(a), (b), (c) はそれぞれ咬筋、側頭筋前部、側頭筋後部の結果を示し、咬合力の大きさはすべての下顎位、咬合力方向において 80 N と一定である。

異なった方向への咬合力発揮時の筋活動積分値を、同一下顎位内において比較すると、いずれの下顎位においても側頭筋前部、側頭筋後部では、咬合力方向が後方および同側方向に傾くと有意に増加し、前方および反対側方向に傾くと有意に減少した (Mann-Whitney U test, $p < 0.05$)。一方、咬筋では、いずれの下顎位においても咬合力方向が後方に傾くと有意に減少し、前方に傾くと有意に増加した (同, $p < 0.05$)。また同側方向および反対側方向では概ね一定、もしくは減少の傾向を示した。

これらは、全被験者において実験を行った計 6 顎位、3 段階の大きさの咬合力について共通に認められた。すなわ

図 3 Relationships between the jaw positions and muscle activities during bites in a specific direction and a defined force magnitude (bite force magnitude: 80 N)
 (a) masseter muscle, (b) anterior temporal muscle, (c) posterior temporal muscle
 異なる下顎位における同一咬合力発揮時の各筋活動量 (咬合力の大きさ: 80 N)
 (a) 咬筋, (b) 側頭筋前部, (c) 側頭筋後部
 [10, 0]: 咬合力方向 前方 10 度左右 0 度, [30, 0]: 咬合力方向 前方 30 度左右 0 度, [-10, 0]: 咬合力方向 後方 10 度左右 0 度, [10, 20]: 咬合力方向 前方 10 度同側 20 度, [10, -20]: 咬合力方向 前方 10 度 反対側 20 度, P1: 後方 1 mm, P0.5: 後方 0.5 mm, A1: 前方 1 mm, A2: 前方 2 mm, A3: 前方 3 mm

表 1 Statistical result of muscles activities between various jaw positions
異なる下顎位における各筋活動量の統計学的結果

仮 定		仮定が認められた試行数
咬 筋	最後方位に比較し最前方位の活動量は有意に大きい	71/75
	基準位に比較し最前方位の活動量は有意に大きい	54/75
	最後方位に比較し基準位の活動量は有意に大きい	57/75
側頭筋前部	最後方位に比較し最前方位の活動量は有意に小さい	69/75
	基準位に比較し最前方位の活動量は有意に小さい	60/75
	最後方位に比較し基準位の活動量は有意に小さい	55/75
側頭筋後部	最後方位に比較し最前方位の活動量は有意に小さい	67/75
	基準位に比較し最前方位の活動量は有意に小さい	55/75
	最後方位に比較し基準位の活動量は有意に小さい	62/75

ち、咬合力方向の調節における咬筋、側頭筋の基本的な相反性活動様式は、下顎位が変化しても同様であることが示された。

しかしながら、同一方向の咬合力発揮時の筋活動積分値を、異なった下顎位間で比較すると、各筋の筋活動積分値は、下顎位によりそれぞれ異なった値を示していた。咬筋では下顎位が前方に位置するほど、側頭筋前部および側頭筋後部では後方に位置するほど、各々の筋活動量が大きくなる傾向が認められた。さらに各筋における咬合力方向の違いによる活動量の差、すなわち咬合力方向の変化に伴う筋活動の増加、減少は、下顎位が変化することにより異なり、またそれぞれの筋において一様ではないことがうかがえた。そこで、下顎位の変化による筋活動量の変化の詳細を明らかにするため、以下の分析を行った。

3. 異なる下顎位における咀嚼筋活動

1) 同一咬合力発揮時の各筋活動量

異なった下顎位における同一咬合力発揮時の筋活動の変化を明らかにするため、後方 1 mm から前方 3 mm までの 6 種の下顎位について、筋活動積分値を比較検討した。図 3(a)～(c) はそれぞれ、大きさ 80 N の咬合力発揮時の咬筋、側頭筋前部、側頭筋後部の筋活動積分値を、5 つの咬合力方向別に示したものである。図 3 の各々のグラフ内の異なったシンボルは、各々の被験者の結果を示している。

各被験者とも咬合力の方向にかかわらず、同一の咬合力を発揮する時には、咬筋の筋活動量は後方位に比較し前方位で大きく (図 3(a))、側頭筋前部および側頭筋後部の筋活動量は、前方位に比較し後方位で大きくなる傾向がみられた (図 3(b, c))。これは、咬合力の大きさが 40 N、120 N の場合においても同様であった。表 1 に、同一の大きさ、方向の咬合力発揮時の各筋活動量を、下顎位間で統計学的に比較した結果を示す (Mann-Whitney U test)。5 名の被験者における 5 方向、3 段階の大きさの咬合力発揮時、すなわち 75 試行中、各筋のいずれの仮定においても、有意差が認められた試行数は高い頻度を示していた。以上の結果から、同一の大きさ、方向の咬合力を発

揮する際の各筋活動量は下顎位によって異なり、咬筋活動量は後方位に比較し前方位で大きく、一方側頭筋前部および側頭筋後部活動量は、前方位に比較し後方位で大きくなることが明らかになった。

さらに、下顎位の変化に伴うこれらの筋活動量の変化量は、発揮した咬合力方向によって異なった様相を示した。例えば側頭筋前部および側頭筋後部では [10, 0], [-10, 0] および [10, 20] の咬合力発揮時に、基準位より後方位における筋活動量の増加が特に大きいことが認められた。この傾向は、咬合力の大きさが 40 N、120 N の場合においても同様であった。すなわち下顎位の違いによる咀嚼筋活動の変化は、発揮する咬合力の大きさや方向によって異なることが示唆された。

以上の結果は、下顎位が異なることにより、同一の大きさ、方向の咬合力を発揮するために必要な筋活動量が、咬筋、側頭筋前部および側頭筋後部においてそれぞれ変化するのみではなく、咬合力の大きさや方向の調節にかかわる各筋の活動量も変化することを意味している。したがって、咀嚼筋活動に及ぼす下顎位の影響を明らかにするためには、各下顎位間での同一咬合力発揮時の筋活動量の比較に加え、咬合力の大きさや方向が異なった際の筋活動量の変化量を、各下顎位間で検討することが必要となる。そこで異なる咬合力の大きさならびに方向における筋活動量の変化量を、下顎位間で比較検討した。

2) 大きさの異なる咬合力発揮時の筋活動量の相違

図 4(a)～(c) は、各下顎位において、異なった大きさの咬合力を発揮した際の各筋活動量の相違を、5 つの咬合力方向について示したものである。図 4(a) は咬筋の結果で、大きさ 120 N の咬合力発揮時の筋活動量から 80 N の際の活動量を差し引いた値を表したものである。図 4(b), (c) はそれぞれ側頭筋前部、側頭筋後部について、咬合力 80 N と 40 N の筋活動量の差を同様に示したものである。図 4 の各々のグラフ内のシンボルは、5 名の被験者の結果を示している。下顎位間での統計学的比較には、分散分析と Tukey test を用いた。

咬筋では、下顎位が前方に位置するに従い、大きさの異

図 4 Relationship between the jaw positions and the difference of muscle activities which were generated at two different bite force magnitudes (bite force magnitude : masseter muscle 120 N-80 N, anterior temporal muscle・posterior temporal muscle 80 N-40 N)

□ line mean significant difference between jaw positions ($p < 0.05$)

2つの大きさの咬合力を発揮した際の筋活動量の相違と下顎位の関係 (咬合力の大きさ : 咬筋 120 N-80 N, 側頭筋前部・同後部 80 N-40 N)

□ は統計学的に有意差の認められた下顎位間を記す ($p < 0.05$)

[10, 0] : 咬合力方向 前方 10 度左右 0 度, [30, 0] : 咬合力方向 前方 30 度左右 0 度, [-10, 0] : 咬合力方向 後方 10 度左右 0 度, [10, 20] : 咬合力方向 前方 10 度同側 20 度, [10, -20] : 咬合力方向 前方 10 度反対側 20 度, P1 : 後方 1 mm, P0.5 : 後方 0.5 mm, A1 : 前方 1 mm, A2 : 前方 2 mm, A3 : 前方 3 mm

なる咬合力発揮時の筋活動量の差, すなわち咬合力の増大に伴う咬筋活動の増加量が, わずかに増加する傾向がみられた. 分散分析では咬合力方向 [10, -20] において下顎位間での有意な差が示され, Tukey test で基準位と前方 3 mm 間での有意差が検出された. この傾向は, 80 N と 40 N の筋活動量の差においても同様であった.

側頭筋前部では, 下顎が後方に位置するに従い, 筋活動量の差が増加する傾向がみられ, 咬合力方向が [10, 0] の時には後方 0.5 mm と前方 3 mm 間で, [30, 0] の時には後方 1 mm と前方 1, 2, 3 mm 間, また後方 0.5 mm と前方 3 mm 間で有意差が検出された. しかし 120 N と 80 N との筋活動量の差に関しては, 一定の傾向は認められなかった. 一方, 側頭筋後部では特に一定の傾向は認められず, 120 N と 80 N との筋活動量の差についても同様であった.

すなわち, 咬筋および側頭筋前部では, 下顎位により咬合力の増大に伴う筋活動の増加量が異なり, 咬合力方向によっては統計学的にも有意に異なることが示された. しかしながら側頭筋後部では下顎位による違いが認められなかった.

3) 異なる方向の咬合力を発揮した際の筋活動量の相違

次に, 咬合力方向の変化にかかわる咀嚼筋活動に対しての下顎位の影響を把握するために, 異なった咬合力方向における筋活動の変化量, すなわち咬合力方向の変化に伴う筋活動の変化量を, 下顎位間で比較した. 図 5(a)~(c) は, それぞれ咬筋, 側頭筋前部, 側頭筋後部についての結果を示す. いずれの下顎位においても, 咬合力の大きさは 40 N で, 咬合力方向が [30, 0] の場合の筋活動量から [10, 0] の筋活動量を差し引いた値, 同様に [-10, 0] から [10, 0], [10, 20] から [10, 0], [10, -20] から [10, 0] の筋活動量を差し引いた値を表したものである. 図 5 の各々のグラフ内のシンボルは, 5 名の被験者の結果を示している. 下顎位間での統計学的比較には, 分散分析と Tukey test を用いた.

咬筋では, 異なる方向の咬合力を発揮した際の筋活動量の差は, いずれの下顎位においてもほぼ一定であった. これは咬合力の大きさが 80 N, 120 N の際も同様であった. すなわち下顎位によらず, 咬合力方向を [10, 0] から前・後方, 同・反対側方, それぞれの方向へ変化させる際に必要な咬筋活動の変化量は変わらなかった.

一方, 側頭筋前部においては, 咬合力方向 [30, 0] と [10, 0], [10, -20] と [10, 0] 間での筋活動量の差が, 下顎位により有意差が認められた (分散分析: $p < 0.05$). Tukey test により, [30, 0] と [10, 0] 間の差は, 後方 1 mm および 0.5 mm と前方 3 mm 間で, [10, -20] と [10, 0] 間の差は, 後方 1 mm と前方 1, 2, 3 mm 間でそれぞれ, また後方 0.5 mm と前方 2, 3 mm 間でそれぞれ有意差が認められた ($p < 0.05$). すなわち, 前方位に比

較し後方位において, 咬合力方向が前方あるいは反対側方へ変化した際の側頭筋前部の活動量の減少量が大きくなることが示された. 咬合力方向 [-10, 0] と [10, 0], [10, 20] と [10, 0] 間の差は, 下顎位による違いは認められなかった. すなわち咬合力方向が後方あるいは同側方へ変化した際の筋活動の増加量は, 下顎位が異なってもほぼ一定であることが示された.

側頭筋後部では, 咬合力方向 [30, 0] と [10, 0], [10, -20] と [10, 0], [-10, 0] と [10, 0] 間の筋活動量の差が, 下顎位により有意に異なっていた (分散分析, $p < 0.05$). [30, 0] と [10, 0] 間の差は, 後方 1 mm と前方 1, 2, 3 mm および基準位間でそれぞれ, また後方 0.5 mm と前方 2, 3 mm 間でそれぞれ, [10, -20] と [10, 0] 間の差は, 後方 1 mm と前方 1, 2, 3 mm および基準位間でそれぞれ, また後方 0.5 mm と前方 1, 2, 3 mm 間でそれぞれ有意差が認められた (Tukey test, $p < 0.05$). すなわち, 側頭筋前部と同様, 前方位に比較し後方位において, 咬合力方向が前方あるいは反対側方へ変化した際の側頭筋後部活動の減少量が大きいことが明らかになった. 一方, [-10, 0] と [10, 0] 間の差は, 後方 1 mm と前方 1, 2, 3 mm 間でそれぞれ有意差が認められた (Tukey test, $p < 0.05$). すなわち, 前方位に比較し後方位において, 咬合力方向が後方へ変化した際の側頭筋後部活動の増加量が有意に増大することが示された. [10, 20] と [10, 0] 間の差においても [-10, 0] と [10, 0] 間と同様の傾向を示していたが, 有意差は認められなかった. 側頭筋前部, 側頭筋後部におけるこれらの傾向は, 咬合力の大きさが 80 N, 120 N の場合でも同様に認められた.

以上から, 咬合力方向の変化に伴う筋活動の変化量は, 側頭筋前部および側頭筋後部では, 下顎位により有意に異なるのに対し, 咬筋では下顎位によらずほぼ一定であることが明らかになった. 特に基準位より後方の下顎位において, 咬合力方向の調節に関する側頭筋前部活動, 側頭筋後部活動の変化量が大きい特徴が示された.

IV. 考 察

下顎位は, 歯, 顎関節, 咀嚼筋などの顎口腔系の諸組織の形態学的, 生理学的要素と相互に関連しており, 正常な咬頭嵌合位では咀嚼筋群の筋活動の均衡が得られ, 顎関節にも機能的に負担のない安定した下顎位が保持されると考えられている. 一方, 下顎の偏位は, 顎関節症患者にしばしば観察され, 顎口腔系の機能異常の発症と密接な関係にあることが推察されている. しかし, 顎機能には多数の因子が関与しているために, 下顎偏位と顎機能あるいは顎機能異常との関係を定性的ないし定量的に明らかにすることは必ずしも容易ではなく, 現在まで明確な結論は得られて

図5 Relationship between the jaw positions and the difference of muscle activities generated in two different bite force directions (bite force magnitude: 40 N)

Anterior: difference between the activities in anterior direction and referential direction, Posterior: difference between the activities in posterior direction and referential direction, Ipsi: difference between the activities in lateral direction and referential direction, Contra: difference between the activities in medial direction and referential direction

— line mean significant difference between jaw positions ($p < 0.05$)

2つの方向の咬合力を発揮した際の筋活動量の相違と下顎位の関係 (咬合力の大きさ: 40 N)

— は統計的に有意差の認められた下顎位間を記す ($p < 0.05$)

Anterior: 前方方向の咬合力を発揮した際の筋活動量から、基準方向の咬合力を発揮した際の筋活動量を引いた場合、
 Posterior: 後方方向の咬合力を発揮した際の筋活動量から、基準方向の咬合力を発揮した際の筋活動量を引いた場合、
 Ipsi: 同側方向の咬合力を発揮した際の筋活動量から基準方向の咬合力を発揮した際の筋活動量を引いた場合、
 Contra: 反対側方向の咬合力を発揮した際の筋活動量から、基準方向の咬合力を発揮した際の筋活動量を引いた場合

P1: 後方1 mm, P0.5: 後方0.5 mm, A1: 前方1 mm, A2: 前方2 mm, A3: 前方3 mm

いない。そこで本研究では、下顎の偏位によって影響を受けると考えられる咀嚼筋活動に着目し、筋電図学的な解明を試みた。

1. 研究方法

下顎位と咀嚼筋活動に関する過去の報告では、一様な結果が得られていない。これらの報告では、発揮した咬合力の大きさや方向を明確に規定しているものは少なく、両者を同時に規定しているものはみあたらない。咬合力を三次元的に測定した van Eijden ら³²⁻³⁴⁾、Blanksma ら^{35,36)}、菊池ら³⁷⁾、服部³⁸⁾、Sasaki ら^{39,40)}により、咬みしめ時の咀嚼筋活動は、咬合力の大きさ、方向によって種々に変化することが報告されている。すなわち、下顎位と咀嚼筋活動の関係を明らかにするためには、咬合力の大きさ、方向を考慮する必要がある。過去の報告間で結果が異なるのは、咬合力の大きさと方向を規定していないためと考えられる。

そこで本研究では、三次元咬合力測定装置を用い、咬合力の大きさ、方向を規定した上で、下顎位の変化が咀嚼筋活動に及ぼす影響について検索した。今回の実験に用いた装置では、装着による咬合高径の挙上量が前歯部において約 3 mm と少なく、また咬合高径を可及的に変化させることなく下顎位を種々に設定し得た。そのため過去の報告に比較し、咬合高径の変化による影響を可及的に排除し、水平的下顎位の変化による咀嚼筋活動を分析し得たものと考えられる。さらに本研究では咬合力の大きさ、方向の違いによる筋活動の変化という因子を取り除いた上で、下顎位の違いによる咀嚼筋活動の変化を捉えることが可能であったものと考えられる。

2. 下顎位による咀嚼筋活動量の変化

下顎位が変化することによって、同一の大きさ、方向の咬合力を発揮した際の各筋の筋活動量は、それぞれ異なった変化を示した。咬筋では後方位より前方 3 mm まで緩やかに増加した。一方、側頭筋前部および側頭筋後部では前方位に比較し後方位で筋活動量が増加した。これは、河野ら¹⁶⁾の報告とほぼ同様であった。さらに、下顎位の変化量を規定した Sheng-gen ら²⁶⁾の報告と同様、基準位より前方位へ下顎位が変化した場合には、筋活動量の変化がわずかであるのに対し、基準位より後方位では急激に変化する様相が観察された。

中心咬合位と切端咬合位における筋活動量の違いを比較した深水ら¹¹⁾、MacDonald ら¹⁸⁾、Belser ら²²⁾は、中心咬合位に比較し切端咬合位では、咬筋、側頭筋とも活動が減少するとしている。また、中心咬合位と後方位を比較した Hickman ら³¹⁾は咬筋活動量は後方位で減少するが、側頭筋は変化しないと報告している。これらの研究では、咬みしめ強度を各下顎位における最大随意咬みしめとしてい

る。最大咬合力は下顎位により異なると報告されている⁴⁶⁻⁴⁸⁾。上記の研究における結果が、今回の結果と異なったことは、被験者が行った最大咬みしめの強度が下顎位により異なったためと推察される。中心咬合位と後方位における筋活動量の違いを比較した Jimenez ら²⁸⁾は、下顎位の違いにより筋活動量が異なるが、これは咬みしめの強さに起因すると報告している。以上のように過去の研究では、咬みしめ強度ならびに方向を規定していないため、下顎位の変化に伴う筋活動の本質的な相違を測定し得ていない。一方、本実験では咬合力の大きさ、方向を規定しているため、記録された筋活動の変化は咬合力の変化に起因するのではなく、下顎位を移動、それを保持するために必要な活動量を表している。すなわち、下顎をより前方に位置させるためには咬筋活動の増加が、またより後方に位置させるためには側頭筋活動の増加が必要であることが示された。

このように下顎位の変化により咀嚼筋活動が増加する理由の 1 つとして、各筋の走行方向の違いが考えられる。咬筋は、頬骨弓より起こり下顎枝外面に停止し、筋収縮方向が前内上方であるのに対し、側頭筋は側頭窩より起こり筋突起に停止し、筋収縮方向が後外上方である⁴⁹⁾。これら各筋の収縮方向となる下顎位に移動、つまり咬筋は前方位、側頭筋前部および側頭筋後部は後方位に移動すると各筋活動が増加すると推察される。また咬筋の構造も、前方位において咬筋活動が増加する理由の 1 つと考えられる。咬筋の筋線維走行をみると、深層では FH 平面の垂直方向よりやや後方であるが、表層に向かうにつれて前方方向に向かっている。一般に、咬みしめなど上方への咬合力発揮時には、力学的効率の高い咬合平面と垂直な方向の筋線維が主に活動すると考えられている³³⁾。咬筋における下顎位の前方位移動に伴う筋線維走行方向の変化は、より表層の筋線維の力学的効率の上昇を招き、その結果、表層部の筋活動が増大することが推測される。また本実験で用いた表面筋電図では、より表層の筋の電位差をより大きく導出する。これらのことより、下顎位が前方になるにつれて記録された咬筋活動量が増加した今回の結果は、これら咬筋内部の機能分化に起因している可能性が推察される。

さらに下顎位の変化に伴う筋活動量の変化には、筋走行方向のみならず、顎関節の形態、頭蓋と下顎に対する各筋の位置関係の変化が密接に関連していることが考えられる。すなわち、下顎位が後方位から前方位へ変化する時の咬筋活動量の増加が比較的緩やかであることの 1 因として、容易に下顎頭を前方に移動することが可能な顎関節の形態的特徴があげられる。一方、側頭筋前部および側頭筋後部では、基準位より前方位ではわずかに活動量が減少するのに対して、後方へ 1 mm 下顎位が変化した時には比較的急激な増加を示した。この増加は側頭筋後部で、より著明であった。ヒト顎関節においては、その骨構造、後部軟

組織の存在、ならびに下顎頭を前方に牽引している外側翼突筋の存在により、下顎頭の後方への移動は容易ではなく⁵⁰⁾、その移動量も少ない。そのため下顎を後方に位置させる際には、より大きな側頭筋活動が必要であるものと推察される。また側頭筋前部と側頭筋後部の走行方向の違いを考慮すると、後方位において側頭筋後部がより大きな筋活動の増加を示すことが理解される。

上記の他に、下顎位による各筋活動の変化には、内側翼突筋、外側翼突筋、顎二腹筋など他の顎筋群の協調活動による影響が複雑に関与していることが考えられるが、これらの筋は今回の実験では対象にしておらず、その詳細は今後の研究課題である。さらに、被験者により筋活動量の変化に差がみられるのは、筋の走行方向などの形態学的因子の他に、各被験者において下顎の偏位量の持つ意味が異なることが推察されるが、本研究では明らかではない。

3. 咬合力の調節に関与する咀嚼筋活動への下顎位の影響

同一下顎位内において、咬合力方向を変化することにより、各筋の活動は変化し、咬筋では咬合力方向が前方へ向くと増加、後方へ向くと減少、側方へ向くとほぼ一定あるいは減少する傾向が認められた。一方、側頭筋前部および側頭筋後部では後方および同側に向くと増加、前方および反対側に向くと減少する傾向が認められた。この咬合力方向の変化に伴う各筋活動の変化様式は、下顎位によらず一定の傾向であることが明らかになった。この変化様式は、中心咬合位付近における菊池ら³⁷⁾の報告と同様であった。このことは、咬合力方向の調節における咬筋、側頭筋前部、側頭筋後部の基本的役割、すなわち咬合力方向の調節にかかわる筋収縮力の作用は、各筋それぞれの起始、停止の位置、ならびに走行方向に依存し、これらは本実験で用いた基準位より後方1 mm から前方3 mm の範囲では、下顎位が異なっても大きくは変わらないことを意味している。

一方前述したように、下顎位の違いにより、同一咬合力発揮時の各筋の活動量は異なり、さらに、下顎位により、咬合力の大きさ、あるいは方向を変化させた際の筋活動の変化量も各筋それぞれに異なった。すなわち、下顎位の違いにより、咬合力方向の調節における役割は変わらないが、咬合力発揮時および咬合力の大きさ、方向変化時の筋活動量が異なっていた。

1) 大きさの異なる咬合力発揮時の筋活動量の相違

咬合力の大きさの違いによる筋活動量の差は、咬合力方向によらず、咬筋では基準位より後方位に比較し前方位で、側頭筋前部では基準位より前方位に比較し後方位で増加する傾向にあった。しかし側頭筋後部では、下顎位による違いが認められなかった。

前述した下顎位の違いによる同一咬合力発揮時の筋活動

量の変化に加えて、咬筋活動は下顎位がより前方位に位置するにつれて、側頭筋前部ではより後方位で増大する。咬筋、側頭筋前部はそれぞれ、他の下顎位と比較し、これらの下顎位で、咬合力の増大のためより大きな筋活動を要することを示す。すなわち前方位においては咬筋が、後方位においては側頭筋前部が下顎位の保持のみならず、咬合力の増大に関しても大きくかかわっていることが明らかになった。この咬合力増大に伴う側頭筋前部活動量の増加は、とりわけ基準位より後方位において著しい。

これは、側頭筋後部の筋走行方向が咬合平面に対してより平行であることと異なり、咬筋と側頭筋前部の筋走行方向が咬合平面に対してより垂直方向を向いているという形態的特徴、さらには側頭筋後部に比較し、側頭筋前部および咬筋では Type I 線維の含まれる割合が多く⁵¹⁾、咬合力の発揮に適しているとの組織化学的な特徴に関係するものと推察された。

2) 異なる方向の咬合力発揮時の筋活動量の相違

咬筋では、いずれの下顎位においても、咬合力の方向を調節する際には、均一な活動を行っていた。これは、咬筋では起始、停止の付着部位が広く、下顎位の違いによる筋全体の走行方向の変化が明瞭ではないこと、さらに筋線維走行が複雑に入り組んだ層状の内部構造を有し⁵²⁾、種々の方向への収縮力の発揮が可能であることと関係があるものと推察される。

一方、側頭筋前部と側頭筋後部では、咬合力方向の違いによる筋活動の変化量は、基準位より前方位と比較し、基準位より後方位で増大する傾向にある。このことは後方位における咬合力方向の変化に際し、側頭筋前部および側頭筋後部が大きく関与していることを示しており、後方位における下顎ならびに下顎頭の保持に大きくかかわっているものと思われる。このことは、後方位では、下顎ならびに下顎頭を前方に牽引する外側翼突筋下頭の活動が認められるという報告²⁹⁾や、外側翼突筋下頭は咬合力方向の調節において、側頭筋と拮抗的な働きを示す³⁹⁾という報告からも支持される。これらのことから、後方位における、咬合力方向の違いによる側頭筋活動の変化量の増大は、外側翼突筋など下顎位ならびに顎頭位の保持、安定にかかわる筋活動に抗するためのものとも推察させる。

ここで側頭筋前部では、前方位と後方位間で、基準方向から後方方向へ咬合力を変化させるのに必要な筋活動の増加量に、有意な違いが認められなかったのに対し、側頭筋後部では前方位に比較して後方位で有意に増大している。これは、側頭筋前部と側頭筋後部はともに、下顎を後方に位置するために活動するが、この位置でさらに咬合力を後方方向に発揮するためには、側頭筋後部のさらなる動員が必要であることを示している。つまり、側頭筋前部と側頭筋後部の筋活動は、咬合力方向の変化、また下顎位の変化に対し同様の变化傾向を示すが、後方位において後方方向

の咬合力を発揮する際には、側頭筋後部がより大きく関与する。これは、側頭筋後部は側頭筋前部に比較し、咬合力方向の調節への関与が大きいとする Blanksma ら³⁵⁾の報告に対応する。

本研究では、下顎位の前後の偏位によって咬合力発揮時の各咀嚼筋の活動が種々変化することが明らかになった。この変化は、基準位としたタッピング位より後方位において大きいことが示された。すなわち下顎位が前方に偏位した際に比較し、後方に偏位した際には咀嚼筋活動の変動、とりわけ側頭筋活動の増大が著しい。これらの結果は、顎関節症の臨床でしばしば観察される下顎後方偏位と臨床症状との関連を考える上での示唆を与えるものであり、また下顎偏位に起因する顎機能異常の発症機序の一端を示したものと考えられる。さらに、本研究結果は咀嚼筋活動を指標として下顎位を決定するための示唆を与えるものである。

V. 結 論

顎口腔系に機能異常とその既往を認めない成人 5 名を被験者とし、三次元咬合力測定装置を用いて、下顎位と咀嚼筋活動の関係を検索したところ、以下の結論が得られた。

1. 咬合力方向の変化に伴う各筋の活動パターンは下顎位によらず一定であり、咬筋と側頭筋前部および側頭筋後部は相反的な活動をする。

2. 同一咬合力を発揮する際の活動量は各筋とも下顎位により異なり、咬筋は下顎が前方位において、側頭筋前部および側頭筋後部は後方位において増大する。この際の側頭筋前部および側頭筋後部の変化量は、タッピング位より後方位で大きいことが示された。

3. 異なる大きさの咬合力を発揮した際の筋活動量の差は、咬筋と側頭筋前部では後方位と前方位の下顎位間で異なるが、側頭筋後部では下顎位による違いはみられない。

4. 異なる方向の咬合力を発揮した際の筋活動量の差は、側頭筋前部と側頭筋後部では後方位と前方位の下顎位間で異なるが、咬筋では下顎位による違いはみられない。

以上のように、下顎位が異なることにより咀嚼筋活動が変化することが明らかになった。下顎位の変化に伴う各筋の活動様式の違いは、各筋の解剖学的特徴のみではなく顎口腔系の種々の構成要素の形態学的、生理学的な関連に基づくものと推察された。

稿を終えるにあたり、本研究に、終始ご懇篤なるご指導およびご校閲を賜りました渡辺 誠教授に深甚なる感謝の意を捧げるとともに、懇切なるご校閲を賜りました本学歯学部歯科補綴学第二講座鹿沼晶夫教授ならびに歯科矯正学講座三谷英夫教授に心から拝謝します。また、日頃より、ご指導、ご支援、ご協力を頂きました高齢者歯科学講座の教職員各位ならびに本研究にご協力頂いた被験者各位に厚く御礼

を申し上げます。

文 献

- 1) 渡辺 誠, 菊池雅彦. バイオフィードバックを用いた咬合診断とスプリント療法. 歯界展望/別冊 顎関節症 治療のポイント 50 49-55, 1990.
- 2) Lippold, O.C.J. The relation between integrated action potentials in a human muscle and its isometric tension. J Physiol 117 : 492-499, 1952.
- 3) Toft E, Sinkjar T, Andreassen S. Mechanical and electromyographic responses to stretch of the human anterior tibial muscle at different levels of contraction. Exp Brain Res 74 : 213-219, 1989.
- 4) Lindauer SJ, Gay T, Rendell J. Effect of jaw opening on masticatory muscle EMG-Force characteristics. J Dent Res 72 : 51-55, 1993.
- 5) Manns A, Miralles R, 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.
- 6) Pruzansky S. The application of electromyography to dental research. J Am Dent Assoc 44 : 49-68, 1952.
- 7) 三浦不二夫. 筋電図法による咀嚼筋の活動様式に関する研究 (特に咬筋, 側頭筋, 顎二腹筋について). 口病誌 23 : 291-320, 1956.
- 8) Latif A. An electromyographic study of the temporalis muscle in normal persons during selected positions and movements of the mandible. Am J Orthod 43 : 577-591, 1957.
- 9) 六車寿男. 咀嚼筋筋電図の補綴学的分析に関する研究. 歯科医学 28 : 615-650, 1965.
- 10) 坂本正朝. 補綴学領域における下顎の垂直的ならびに水平的変位に関する筋電図学的研究. 九州歯会誌 23 : 544-572, 1969.
- 11) 深水皓三, 児玉 実, 森谷良彦ほか. 各種の有歯下顎位の咬合力および咬筋側頭筋の筋電図所見. 補綴誌 16 : 46-53, 1972.
- 12) Vitti M, Basmajian JV. Integrated actions of masticatory muscle : simultaneous EMG from eight intramuscular electrodes. Anat Rec 187 : 173-190, 1976.
- 13) 平尾文昭. 下顎の位置変化が咀嚼筋活動に及ぼす影響に関する研究. 歯科学報 77 : 1167-1204, 1977.
- 14) Buxbaum JD, Parente FJ, Ramsey WO et al. A comparison of centric relation with maximum intercuspation based on quantitative electromyography. J Oral Rehabil 9 : 49-51, 1982.
- 15) 河野正司, 坂東永一, 田中伐平ほか. 咀嚼筋の筋活動を指標とした咬合位の推定. 補綴誌 26 : 1271-1286, 1982.
- 16) 河野正司, 三浦宏之. 顎口腔系機能と噛みしめ. 顎機能 1 : 93-97, 1982.
- 17) Gibbs CH, Mahan PE, Wilkinson TM et al. EMG activity of the superior belly of the lateral pterygoid muscle in relation to other jaw muscles. J Prosthet Dent 51 : 691-702, 1984.
- 18) MacDonald JWC, Hannam AG. Relationship between occlusal contacts and jaw-closing muscle activity during tooth clenching : Part II. J Prosthet Dent 52 : 862-867, 1984.

- 19) Ahlgren J, Sonesson B, Blitz M. An electromyographic analysis of the temporalis function of normal occlusion. *Am J Orthod* 87 : 230-239, 1985.
- 20) Wood WW, Takada K, Hannam AG. The electromyographic activity of the inferior part of the human lateral pterygoid muscle during clenching and chewing. *Arch Oral Biol* 31 : 245-253, 1986.
- 21) 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筋電図. 補綴誌 30 : 895-902, 1986.
- 22) Belser UC, Hannam AG. The contribution of the deep fibers of the masseter to selected tooth-clenching and chewing tasks. *J Prosthet Dent* 56 : 629-635, 1986.
- 23) Wood WW. A functional comparison of the deep and superficial parts of the human anterior temporal muscle. *J Dent Res* 65 : 924-926, 1986.
- 24) Jimenez ID. Dental stability and maximal masticatory muscle activity. *J Oral Rehabil* 14 : 591-598, 1987.
- 25) 延原 浩, 田村秀俊, 野崎晋一ほか. 下顎偏心位咬みしめ時における咀嚼筋筋電図の周波数分析. 顎機能 8 : 19-24, 1990.
- 26) Sheng-gen S, Guan O-Y, Cheng-fan Z. Preliminary study of electromyographic characteristics for distinguishing centric relation and protrusion in edentulous patients. *J Prosthet Dent* 69 : 171-175, 1993.
- 27) Visser A, McCarroll RS, Naeije M. Masticatory muscle activity in different jaw relations during submaximal clenching efforts. *J Dent Res* 71 : 372-379, 1992.
- 28) Jimenez ID. Electromyography of masticatory muscles in three jaw registration positions. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 95 : 282-288, 1989.
- 29) 小野圭昭. 下顎位の変化に伴う外側翼突筋下頭の筋活動について. 補綴誌 33 : 639-653, 1989.
- 30) 内田慎爾. 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. 補綴誌 34 : 480-491, 1990.
- 31) Hickman DM, Cramer R, Stauber WT. The effect of four jaw relations on electromyographic activity in human masticatory muscles. *Arch Oral Biol* 38 : 261-264, 1993.
- 32) Van Eijden TMGJ. Jaw muscle activity in relation to the direction and point of application of bite force. *J Dent Res* 69 : 901-905, 1990.
- 33) Van Eijden TMGJ, Brugman P, Weijs WA et al. Coactivation of jaw muscles : recruitment order and level as a function of bite force direction and magnitude. *J Biomech* 23 : 475-485, 1990.
- 34) Van Eijden TMGJ. Three-dimensional analyses of human bite-force magnitude and moment. *Arch Oral Biol* 36 : 535-539, 1991.
- 35) Blanksma NG, Van Eijden TMGJ. Electromyographic heterogeneity in the human temporalis muscle. *J Dent Res* 69 : 1686-1690, 1990.
- 36) Blanksma NG, Van Eijden TMGJ, Weijs WA. Electromyographic heterogeneity in the human masseter muscle. *J Dent Res* 71 : 47-52, 1992.
- 37) 菊池雅彦, 服部佳功, 渡辺 誠. 三次元咬合力と咀嚼筋 EMG の動態. 顎機能 8 : 111-118, 1989.
- 38) 服部佳功. 三次元咬合力に基づく咬筋の機能的文化に関する研究. 東北大歯誌 10 : 1-11, 1991.
- 39) Sasaki K, Kawata T, Watanabe M. Lateral pterygoid muscle activity related to three dimensional bite force. *J Dent Res* 73(SI) : 113, 1994.
- 40) Sasaki K, Kawata T, Watanabe M. Medial pterygoid muscle activity related to three dimensional bite force. *J Dent Res* 74(SI) : 588, 1995.
- 41) 菊池雅彦, 渡辺 誠, 服部佳功ほか. 3次元咬合力測定装置の開発. 顎機能 7 : 205-210, 1988.
- 42) 服部佳功, 菊池雅彦, 渡辺 誠. 三次元咬合力のリアルタイム測定. 顎機能 8 : 45-50, 1989.
- 43) 川田哲男, 菊池雅彦, 服部佳功ほか. 下顎偏心位における三次元咬合力と咀嚼筋活動. 顎機能 11 : 173-178, 1993.
- 44) 川田哲男, 佐々木啓一, 服部佳功ほか. 下顎位の変化が三次元咬合力と咀嚼筋活動に及ぼす影響. 補綴誌 38・92 回特別号 : 130, 1994.
- 45) 川田哲男, 菊池雅彦, 服部佳功ほか. 三次元咬合力を応用した咀嚼筋活動様式に及ぼす下顎位の影響. 補綴誌 39・93 回特別号 : 44, 1995.
- 46) 平林健彦. 種々な下顎位における咬合力に関する研究. 補綴誌 18 : 337-360, 1975.
- 47) Widmalm S-E, Ericsson SG. Maximal bite force with centric and eccentric load. *J Oral Rehabil* 9 : 445-450, 1982.
- 48) 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.
- 49) 上條雍彦. 図説口腔解剖学 2 筋学 251-272, 東京 : アナトーム社, 1979.
- 50) Posselt U. Studies in the human mandible. *Acta Odontol Scand* 10 : 1-160, 1952.
- 51) Eriksson P-O, Thornell L-E. Histochemical and morphological muscle fiber characteristics of the human masseter, the medial pterygoid and the temporal muscles. *Arch Oral Biol* 28 : 781-795, 1983.
- 52) Schumacher GH. Funktionelle morphologie der kaumuskular des menschen. *Gustav Fisher* 41 : 13-52, 1961.