

咀嚼のパターンと咀嚼筋機能との関連性からみた 顎顔面形態の特徴について

佐藤 和 朗

〔受付：1993年12月22日〕

〔受理：1994年1月7日〕

岩手医科大学歯学部歯科矯正学講座

(主任：石川富士郎教授)

Abstract : The aim of this study is to investigate how masticatory patterns appearing characteristically at each masticatory movement are related to the function of masticatory muscles and to the maxillofacial morphology. The masticatory patterns of 60 adult male volunteers were into 8 types divided by multivariate statistical analysis using variables obtained from their EMG and MKG recordings during jelly mastication. The function of masticatory muscles represented by the biting force and the resistance of muscles to fatigue, as well as the thickness of the masseter muscle and maxillofacial morphology were compared among of the 8 groups.

The results showed that the masticatory pattern with fewer chewing strokes, shorter chewing time and smaller EMG integration tended to have a higher biting efficiency, while that with frequent chewing strokes, longer chewing time and larger EMG integration, to have a lower biting efficiency.

However, no distinct differences were found among the various groups in the changes in power spectrum median frequency and resistance to fatigue. The thickness of masseter muscle tended to be thinner in subjects with frequent chewing strokes and longer chewing time, but no clear differences were found among the other groups. No differences were observed in the maxillofacial morphology among the various groups.

In conclusion, the difference in masticatory pattern can influence the biting intervals or phasic movements. However, this difference does not necessarily influence the function represented by the resistance to fatigue or the tonic movements and maxillofacial morphology.

Key words : masticatory pattern, electromyogram, biting force, resistance to fatigue, maxillofacial morphology

結 言

咀嚼筋機能は日常の咀嚼運動に影響を受けて変化し、個体差となってあらわれることが考えられる。またこのような咀嚼筋機能は発達期における顎骨の形態形成に影響をおよぼしている

ことも示唆されている^{1,2)}。そのため、咀嚼運動と関連させて咀嚼筋機能および顎骨の形態的特徴について論じる場合には、咀嚼運動をより客観的に評価することが必要である。現在まで咀嚼運動を定量的に捉えるには、筋電図や下顎運動の解析、あるいは食品の粉碎度、混合度、圧

Masticatory pattern and its relation to masticatory muscle function and maxillofacial morphology.

Kazuro SATOH

(Department of Orthodontics, School of Dentistry, Iwate Medical University, Morioka, 020 Japan)

岩手県盛岡市中央通1丁目3-27 (〒020)

Dent. J. Iwate Med. Univ. 19: 30-46, 1994

縮度などの測定が行われている³⁻¹³⁾。しかしこれらの多くは咀嚼運動の一部について精細な解析を行っているのみで、咀嚼の開始から嚥下に至る咀嚼運動の全体像を解析しているものは極めて少ない。これは一般に筋電図や下顎運動の分析を咀嚼運動の解析手段として用いる場合、咀嚼運動のうちリズムなどが安定している部分を主に解析し、咀嚼開始直後あるいは嚥下の直前のように咀嚼運動の比較的不安定な部分など、解析困難な部分は解析の対象としていないことが多いためである。

また咬合力¹⁴⁻¹⁷⁾、あるいは噛みしめ時のEMG周波数分析値^{18,19)}からみた咀嚼筋機能や、咀嚼能力⁶⁾と顎顔面形態との関連性は個々には検討されてはいるが、咀嚼運動の解析結果と咀嚼筋機能および顎顔面形態の三者の相互の関連性については検討されていない。

以上のような観点から、本研究では特に咀嚼開始から嚥下に至るまでの運動に特徴的に現れる咀嚼のパターンを明かにし、そのパターンの相違が、咬合力あるいは一定負荷を与えたときの耐疲労性にどのように現れるのか、また特に下顎骨の形態的特徴とどのような関連をもつかについて検討することにした。

研究方法

1. 対象者

歯齢VI A以上で、上下顎の第三大臼歯を除いて他の欠損歯がなく、歯の実質欠損のない成人男子60名を対象とした。対象者の年齢は22歳4カ月から29歳2カ月で、平均年齢24歳4カ月であった。咬合は臨床的にみて正常咬合の者24名、上顎前突11名、反対咬合4名、過蓋咬合4名、叢生13名、上下顎前突3名、切端咬合1名であった。

2. 咀嚼運動の評価法

ゼリー(カムゾーゼリー、日本生活協同組合製)2個(1個平均 2.56 ± 0.11 g)を自由に咀嚼させ、咀嚼開始より嚥下までの咀嚼筋表面筋電図およびオトガイ点での下顎運動の同時記録を3分間隔で3回行った。

3. 咀嚼筋機能の評価法

(1) 咬合力

咬合力は対象者の上下顎に装着した金属プレート間で測定した。金属プレート(2mm厚、18-8ステンレス製)は咬合平面と平行に両側の犬歯から第一大臼歯までの歯で支持するように即時重合レジンで固定した。測定に用いた咬合力センサー(TJ-300 T、日本光電社製)は、下顎両側第一大臼歯遠心頬側咬頭頂を結んだ直線の中央で、上下顎第一大臼歯間が9.5~10.0mm(前歯部で10~20mm)の咬合高径を保つように装着した。この状態で対象者に咬合力計(MPM-3000、日本光電社製)の表示を確認させ、10kg、20kg、30kg、40kg、50kgの強さでそれぞれ約4秒間3回ずつ、また最大咬合力で約4秒間1回咬合させ、等尺性筋収縮時の咀嚼筋表面筋電図と咬合力電圧変換値の同時記録を行った。筋疲労を考慮し測定には十分な間隔をおいた。

(2) 一定負荷に対する咀嚼筋の耐疲労性

一定量の負荷試験は咬合力測定の方法に準じ、30kgの咬合力で1分間持続して咬合を行わせた。そのときの等尺性筋収縮時の咀嚼筋表面筋電図と咬合力電圧変換値の同時記録を行った。

4. 筋電図、咬合力、下顎運動の記録

表面筋電図は頭位が水平に保たれるように対象者を安頭台付椅子に座らせて導出した。筋電図の導出部位は主咀嚼側側頭筋前部(WTa)、主咀嚼側咬筋中央部(WM)、反対側側頭筋前部(BTa)、反対側咬筋中央部(BM)および主咀嚼側顎二腹筋前腹(Dig)の5筋とした。筋電図の記録に用いた電極は直径4mmのAg-AgCl表面電極で、これを筋の走行と平行に電極中央間距離15mmで貼付し双極誘導で記録した。また不関電極は対象者の左側頸部に貼付した。この時の表面電極間抵抗値はそれぞれ10k Ω 以下に設定した。導出した筋電図は生体電気増幅器(AB-621 G、日本光電社製)に入力し時定数0.03で増幅した。増幅した筋電図はデータレコーダ(KS-616、ソニーマグネスケール社

製) にテープ速度 19 cm/sec で咬合力電圧変換値, 下顎運動と同時記録した。オトガイ点での下顎運動の記録は mandibular kinegiograph (K 6 -I Diagnosistic system, マイオ. トロニクス社製) を用い記録した。運動記録は垂直, 前後, および側方成分についてゼリー咀嚼の咀嚼開始から嚥下までの全てを記録した。

5. 筋電図, 下顎運動および咬合力電圧変換値の分析

- (1) ゼリー咀嚼時の咀嚼筋筋電図および下顎運動の分析

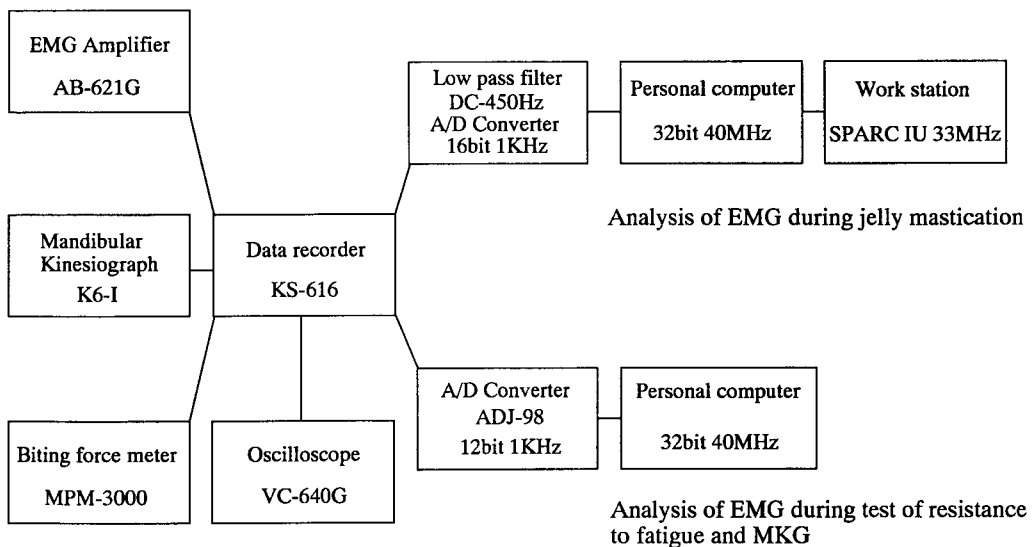


Fig.1 Block diagram illustrating processes of EMG and MKG data analyses.

Item of analysis	Abbreviation
chewing time	TIM
number of chewing stroke	STR
total value of duration time	T-DUR
mean value of chewing cycle	CYC
standard deviation value of CYC	CYC-S.D.
mean value of duration time	DUR
standard deviation value of DUR	DUR-S.D.
mean value of interval time	INT
standard deviation value of INT	INT-S.D.
mean value of ratio duration time to cycle time	D/C
standard deviation value of D/C	D/C-S.D.
mean value of integration in each stroke	ITG
standard deviation value of ITG	ITG-S.D.
total value of integration	T-ITG
value of integration per unit time	TI/TP
mean value of the power spectrum median frequency in each stroke	JPOWER
mean value of vertical movement of mandible	VER
mean value of anterior-posterior movement of mandible	AP
mean value of lateral movement of mandible	LAT

Table 1 Items of analysis of EMG and MKG during jelly mastication.

ゼリー咀嚼で得た筋電図 (WTa, WM, BTa, BM, Dig) と下顎運動から得た原波形を記録時と同じテープ速度で再生し, 450 Hz のローパスフィルターを通して, 16 bit A/D 変換ボード (Sound Master, カノープス社製) によって 1 kHz サンプリングでデジタルデータに変換した。さらにワークステーション上の長時間筋電図解析プログラムによって咀嚼開始から嚥下までの全波形を分析した (Fig.1)。分析は Table 1 に示す 19 項目について行った。

- (2) 咬合力測定時の咬合力電圧変換値と咀嚼筋筋電図の分析

咬合力測定で得た筋電図 (WTa, WM, BTa, BM) および咬合力電圧変換値の原波形を記録時と同じテープ速度で再生し, 12 bit A/D 変換ボード (ADJ-98, カノープス社製) を用いて 1 kHz サンプリングでデジタル化した。デジタル化したデータはパーソナルコンピュータ上の多用途生体情報解析プログラム (BIMUTAS, キッセイコムテック社製) を用い分析した。咬合力測定時の筋電図の分析については, 10 kg, 20 kg, 30 kg, 40 kg, 50 kg のそれぞれ 1 回の測定につき, 咬合力の安定している 1 秒間を 3 区間選択し, 3 回の測定から 1 筋あ

たり 45 区間を設定した。同部位の咬合力電圧変換値についても 45 区間を設定し、これら両者の積分値を算出した。さらに咬合力電圧変換値の積分値を横軸に、筋電図積分値を縦軸にプロットし、4 筋の 1 次回帰式 $y = ax + b$ を求め、その係数 a を“筋電図-咬合力”係数 (BF) とした (Fig.2)。最大咬合力に関しては、4 秒間咬合させている間の中で咬合力の安定している 1 秒間の咬合力電圧変換値を 3 区間選択し、このうち積分値が最大になるものを kg 換算して用いた。

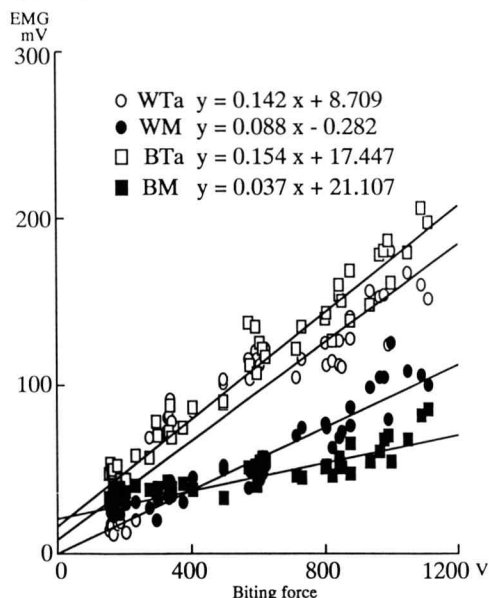


Fig.2 Determination of coefficients of "EMG-biting force".

(3) 負荷試験時の咀嚼筋筋電図の分析

負荷試験で行わせた咬合時の筋電図 (WTa, WM, BTa, BM) は、(2)の方法に準じデジタル化した。分析区間は咬合開始直後で 30 kg に達して安定した時点からの 5 秒間、および咬合開始から 25 秒後、55 秒後の 5 秒間の 3 区間を選択し、それぞれについてパワースペクトル分析を行った。分析には FFT のアルゴリズムを用い、分析基本周波数は $\Delta f = 0.122$ Hz で、ハニングの窓関数を用いた。算出したパワースペクトルより median frequency (MF) 値を求め、噛みしめ初期の MF 値を 100% としたとき、25 秒後、55 秒後の変化率で耐疲労性を評価した。

6. 習慣性主咀嚼側咬筋筋厚の測定

対象者の頭位を水平に保ち、汎用超音波診断装置 (SSD-500, Aloka 社製) を用い下顎安静時の習慣性主咀嚼側咬筋の最大筋厚を無圧下で測定した。測定プローブには電子リニア型、7.5 MHz を使用した。

7. 顎顔面形態の計測

顎顔面形態の計測には側貌頭部 X 線規格写真を用い、Fig.3-1, 3-2 に示す 7 項目の計測を行った。

8. 統計処理

ゼリー咀嚼時の咀嚼筋筋電図および下顎運動分析から得た変数 74 項目を用い、主成分分析を行い咀嚼のパターンの分類に必要な変数を求め、さらにこれを用いてクラスター解析 (最長距離法) によりゼリー咀嚼のパターンを分類した。咬合力と咀嚼筋積分値との関係、咀嚼筋の耐疲労性、習慣性主咀嚼側咬筋筋厚、顎顔面形態の計測に関し分類したそれぞれの群で棄却検定 (F 検定)、等分散検定 (F 検定) を行った後、各群の平均値の有意差検定 (F 検定) をした。

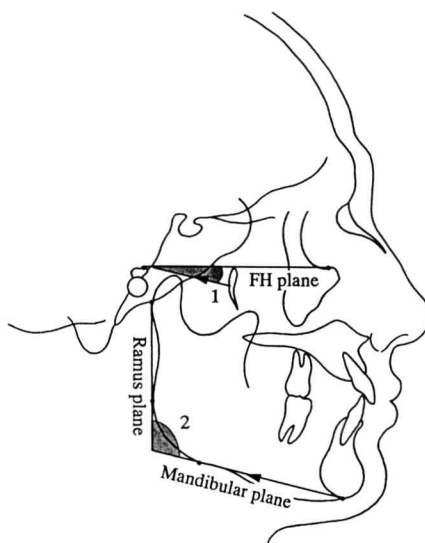


Fig.3-1 Reference lines for angular measurements of roentgenographic cephalometric analysis.

- 1 : Mandibular plane angle
- 2 : Gonial angle

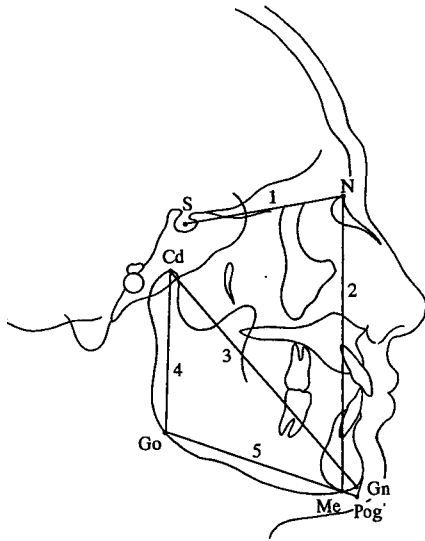


Fig. 3-2 Reference points for linear measurements of roentgenographic cephalometric analysis.

- 1 : Length of cranial base (S-N)
- 2 : Anterior facial height (N-Me)
- 3 : Mandibular length (Cd-Gn)
- 4 : Mandibular ramus length (Cd-Go)
- 5 : Mandibular body length (Pog'-Go)

研究結果

1. ゼリー咀嚼のパターンについて

ゼリー咀嚼で得た各変数の平均値と標準偏差値を Table 2-1, 2-2 に示す。それぞれの変数について被検筋5筋を比較すると、時間の変数で各筋の値は近似しており、咀嚼筋の活動性の変数では、主咀嚼側 (WTa, WM) が大きな値を示した。

これらの変数から主成分分析により咀嚼のパターンの分類に必要な変数を求め、累積寄与率 73.25% の第 6 主成分まで抽出した。第 1 主成分から第 6 主成分まで各主成分の意味は次のようである。

(1)第 1 主成分 (寄与率 30.35%) は咀嚼リズムの安定性と咀嚼の時間に関する因子。(2)第 2 主成分 (寄与率 14.28%) は閉口筋の積分値の大きさを表す因子。(3)第 3 主成分 (寄与率 9.91%) は活動電位出現の相違を表す因子、すなわち積

分値は等しくても、大きい電位で duration の短いものと、小さな電位であるが duration が長いものの違いを表すものである。(4)第 4 主成分 (寄与率 7.94%) は咀嚼周期の大きさと安定性を表す因子。(5)第 5 主成分 (寄与率 5.43%) は顎二腹筋の積分値の大きさと下顎運動の垂直、前後成分の大きさを表す因子。(6)第 6 主成分 (寄与率 5.34%) は D / C 比 (Duration / Cycle) の大きさを表す因子と解釈できた。

次に各対象者ごとの主成分得点を用い、クラスター解析を行いゼリー咀嚼の筋電図と下顎運動からのグループ分けを行った。その結果、咀嚼のパターンは 8 群 (A 群~H 群) に分類された。それぞれの群の人数は A 群 21 名, B 群 8 名, C 群 7 名, D 群 5 名, E 群 2 名, F 群 2 名, G 群 13 名, H 群 2 名であり、パターンの特徴と各変数の値を Table 3, 4 に示す。これより

(1)A 群は咀嚼リズムは比較的安定しており、咀嚼時間、咀嚼回数は平均的であり、総積分値

Variable	mean ± S.D.
VER (mm)	7.91 ± 1.83
AP (mm)	7.11 ± 2.21
LAT (mm)	7.30 ± 1.75
TIM (sec)	34.59 ± 11.74
STK (times)	49.69 ± 16.26

Table 2-1 Analysis of EMG and MKG data during jelly mastication. Data are shown as mean ± S.D..

- VER : mean of vertical movements of mandible
- AP : mean of anteroposterior movements of mandible
- LAT : mean of lateral movement of mandible
- TIM : chewing time
- STK : number of chewing strokes

Variable	WTa	WM	BTa	BM	Dig
T-DUR (sec)	14.79 ± 5.56	15.30 ± 5.93	14.63 ± 5.71	14.93 ± 5.65	22.45 ± 7.80
CYC (msec)	693.84 ± 101.95	693.31 ± 100.78	694.44 ± 101.54	691.87 ± 101.51	692.67 ± 107.37
CYC-S.D. (msec)	132.54 ± 52.90	132.69 ± 43.89	133.23 ± 52.24	128.15 ± 45.01	172.49 ± 67.41
DUR (msec)	297.19 ± 51.68	305.79 ± 54.43	293.28 ± 50.69	300.02 ± 48.96	428.21 ± 76.86
DUR-S.D. (msec)	56.99 ± 13.09	59.76 ± 15.39	58.82 ± 14.94	58.83 ± 15.33	118.29 ± 40.66
INT (msec)	396.65 ± 66.60	387.52 ± 67.51	401.16 ± 68.84	391.85 ± 71.03	264.46 ± 66.39
INT-S.D. (msec)	121.22 ± 52.97	117.59 ± 42.30	121.37 ± 50.72	114.15 ± 44.25	120.78 ± 57.91
D/C	0.43 ± 0.04	0.45 ± 0.05	0.43 ± 0.05	0.44 ± 0.04	0.63 ± 0.06
D/C-S.D.	0.08 ± 0.01	0.08 ± 0.02	0.08 ± 0.02	0.08 ± 0.02	0.10 ± 0.02
ITG (mV)	27.46 ± 12.45	24.09 ± 11.00	22.93 ± 10.97	17.87 ± 8.88	11.82 ± 4.43
ITG-S.D. (mV)	10.75 ± 4.99	12.04 ± 6.23	9.19 ± 4.34	9.92 ± 5.00	5.72 ± 2.91
T-ITG (mV)	1447.85 ± 873.93	1267.49 ± 687.74	1190.95 ± 664.86	941.75 ± 495.32	681.53 ± 372.89
TI/TD (mV/sec)	97.33 ± 39.08	85.88 ± 37.50	83.82 ± 40.07	66.18 ± 31.94	30.05 ± 10.41
JPOWER (Hz)	120.37 ± 31.43	128.37 ± 35.13	118.01 ± 31.23	125.18 ± 33.05	-

Table 2-2 Analysis of EMG data during jelly mastication. Data are shown as mean ± S.D.

- T-DUR : total duration time
- CYC : mean chewing cycle
- CYC-S.D. : standard deviation of CYC
- DUR : mean duration time
- DUR-S.D. : standard deviation of DUR
- INT : mean interval time
- INT-S.D. : standard deviation of INT
- D/C : mean of ratios of duration time to cycle time
- D/C-S.D. : standard deviation of D/C
- ITG : mean of integrations at each stroke
- ITG-S.D. : standard deviation of ITG
- T-ITG : total integration
- TI/TD : integration per unit time
- JPOWER : mean of power spectrum median frequencies at each stroke
- WTa : anterior temporal muscle on habitual masticatory side
- WM : masseter muscle on habitual masticatory side
- BTa : anterior temporal muscle on non-habitual masticatory side
- BM : masseter muscle on non-habitual masticatory side
- Dig : digastric muscle on habitual masticatory side

Group	Number	Schematic presentation of EMG	Rhythm	TIM	STR	VER, AP	T-ITG
A	21		stable	middle	middle	middle	small
B	8		stable	middle	middle	middle	large
C	7		stable	short	few	large	middle
D	5		unstable	middle	middle	large	large
E	2		unstable	short	few	large	small
F	2		stable	short	middle	large	small
G	13		stable	long	frequent	small	large
H	2		unstable	long	frequent	middle	large

Table 3 Characteristics of masticatory pattern in each group as classified by cluster analysis from principal component scores obtained by EMG and MKG during jelly mastication. Mastication in Group A has rhythmical strokes, medium chewing time and strokes, medium mandibular movement and smaller EMG integration. Mastication in Group B has rhythmical strokes, medium chewing time and strokes, medium mandibular movement and larger EMG integration. Mastication in Group C has rhythmical strokes, shorter chewing time, fewer chewing strokes, larger mandibular movement and medium EMG integration. Mastication in Group D has irregular strokes, medium chewing time and strokes, larger mandibular movement and larger EMG integration. Mastication in Group E has irregular strokes, shorter chewing time, fewer chewing strokes, larger mandibular movement and smaller EMG integration. Mastication in Group F has rhythmical strokes, shorter chewing time, medium chewing strokes, larger mandibular movement and smaller EMG integration. Mastication in Group G has rhythmical strokes, longer chewing time, frequent chewing strokes, smaller mandibular movement and larger EMG integration. Mastication in Group H has irregular strokes, longer chewing time, frequent chewing strokes, medium mandibular movement and larger EMG integration.

は小さい群。(2)B群は咀嚼リズムは安定しており、咀嚼時間、咀嚼回数は平均的であり、総積分値は大きい群。(3)C群は咀嚼リズムは比較的安定しており、咀嚼時間、咀嚼回数は小さな値を示し、総積分値は小さい群。(4)D群は咀嚼リズムは多少不安定であり、咀嚼回数は平均的であるが、duration, intervalの延長で咀嚼時間が多少長くなり、総積分値は大きい群。(5)E群は咀嚼リズムは多少不安定であり、咀嚼回数は少ないが、duration, intervalの延長で咀嚼時間は中間的であり、総積分値が小さい群。(6)F

群は咀嚼リズムは非常に安定しており、咀嚼時間、咀嚼回数は共に小さな値を示し、総積分値が小さな群。(7)G群は咀嚼リズムは比較的安定しているが、咀嚼回数は多く、咀嚼時間も長く、総積分値が大きな群。(8)H群は咀嚼リズムは非常に不安定であり、咀嚼回数は多く、咀嚼時間も長く、総積分値が大きな群であった。

以下の咬合力、咀嚼筋の耐疲労性、主咀嚼側咬筋筋厚、顎顔面形態の検定ではE群、F群、H群は2名であったため統計的検定からは除いた。

Group	CYC-S.D. of WM (msec)	TIM (sec)	STK (times)	VER (mm)	AP (mm)	T-ITG of WM (mV)
A	129.70 ± 37.71	32.94 ± 6.13	47.69 ± 9.15	7.91 ± 1.36	6.79 ± 1.63	1007.17 ± 524.54
B	106.76 ± 45.10	28.78 ± 7.96	47.09 ± 13.12	7.78 ± 1.57	7.77 ± 0.95	1416.58 ± 537.80
C	145.05 ± 40.23	21.86 ± 6.01	32.95 ± 8.90	10.09 ± 2.46	9.88 ± 2.55	1149.82 ± 520.64
D	157.64 ± 30.88	41.40 ± 12.81	47.23 ± 16.04	8.53 ± 1.10	7.60 ± 0.98	1502.23 ± 593.52
E	142.51 ± 0.27	28.88 ± 7.41	33.17 ± 9.07	8.13 ± 0.66	5.73 ± 1.24	996.53 ± 210.60
F	68.96 ± 13.31	23.45 ± 18.22	37.75 ± 23.75	9.22 ± 1.15	8.96 ± 2.75	485.98 ± 12.62
G	134.67 ± 42.96	47.11 ± 10.94	68.28 ± 15.42	6.43 ± 1.29	5.76 ± 2.53	1543.20 ± 859.98
H	218.60 ± 71.61	43.12 ± 5.55	59.91 ± 8.72	7.44 ± 3.95	5.16 ± 1.74	2306.90 ± 1504.40

Table 4 Variances obtained by EMG and MKG during jelly mastication in each masticatory pattern group. Results are shown as mean ± S. E..

2. 咬合力について

最大咬合力に関しては各群間で明かな差は認められなかった。“筋電図-咬合力”係数BFを被検筋ごとに比較すると、WTaはB群、G群がA群と比較して有意に大きく、WMはD群がA群と比較して有意に大きかった。BTaはB群、D群、G群はA群と比較して有意に大きく、G群はC群と比較して有意に大きかった。またBMではC群がA群と比較して有意に大きかった (Fig.4, 5)。

3. 一定負荷に対する咀嚼筋の耐疲労性について

咀嚼のパターンで分類した各群間に有意な差は認められなかった (Fig.6)。

4. 主咀嚼側咬筋の厚さについて

G群がC群と比較して有意に薄かった。その他の各群の間に有意な差は認められなかった (Fig.7)。

5. 顎顔面形態について

咀嚼のパターンで分類した各群間に有意な差は認められなかった (Fig.7)。

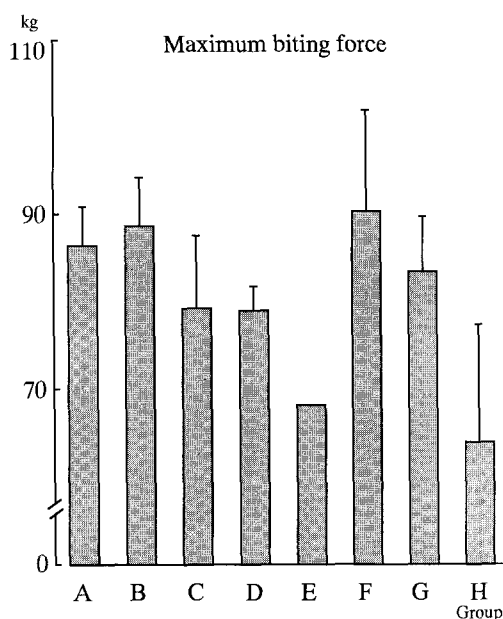


Fig. 4 Comparison of mean values of maximum biting force by masticatory patterns. Results are shown as mean + S. E..

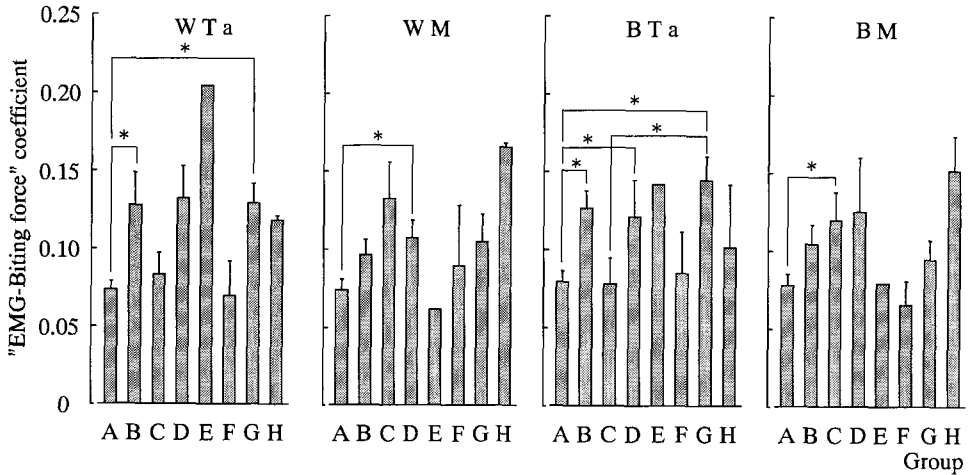


Fig.5 Comparison of mean values of coefficients obtained from "EMG-Biting force", by masticatory patterns. Results are shown as mean + S. E.. Statistically significant (* $p < 0.05$) differences are shown by brackets for paired groups.

WTa : anterior temporal muscle on habitual masticatory side
 WM : masseter muscle on habitual masticatory side
 BTa : anterior temporal muscle on non-habitual masticatory side
 BM : masseter muscle on non-habitual masticatory side

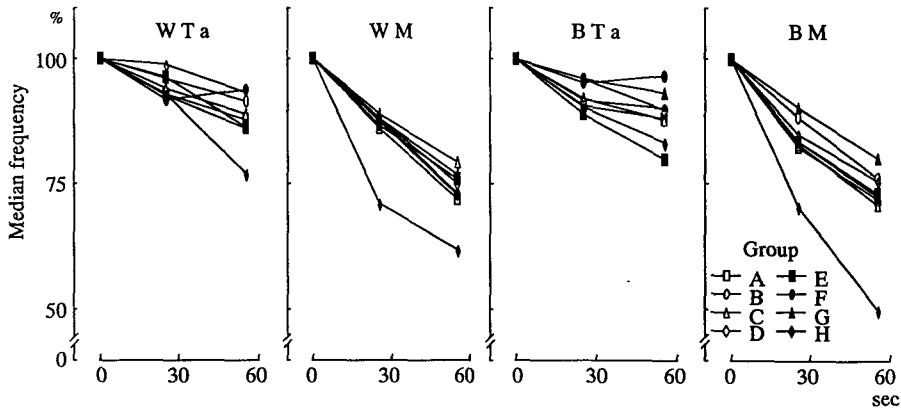


Fig.6 Comparison of mean values of median frequency changes, by masticatory patterns. Results are shown as mean.

WTa : anterior temporal muscle on habitual masticatory side
 WM : masseter muscle on habitual masticatory side
 BTa : anterior temporal muscle on non-habitual masticatory side
 BM : masseter muscle on non-habitual masticatory side

考 察

1. 研究方法について

(1) ゼリー咀嚼時の咀嚼筋筋電図および下顎運動の記録

今回用いたゼリーの物理的性質をテクスチュ

ロメーター (Tensipresser TTP-50 BX, TAKETOMO 社製) で測定した結果 (2.76 mm φ, 円柱型プランジャー, head speed 2 mm/sec), Table 5 に示すように脆さ, 粘着性はなく, ある程度の硬度を持ち, 弾力性, ガム性, 咀嚼性のある食品で, その性状がほぼ一定で

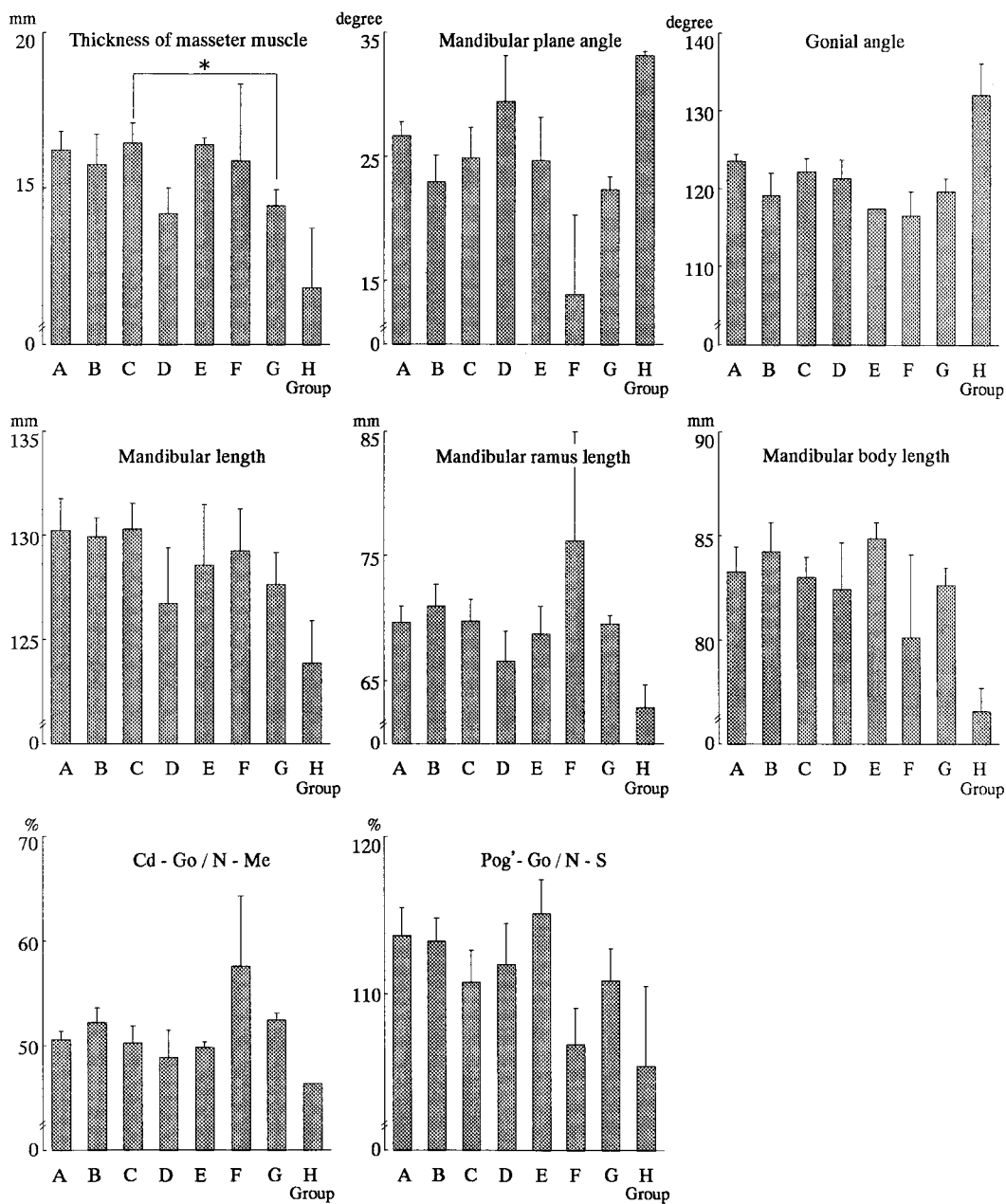


Fig. 7 Comparison of mean values of the thickness of masseter muscle and facial morphology by masticatory patterns. Results are shown as mean + S. E.. Statistically significant (*p < 0.05) differences are shown by brackets for paired groups.

Variable	mean	± S.D.
Sample weight	2.56	± 0.11 g
Sample thickness	9.47	± 0.46 mm
Hardness	3.30	± 0.28 kgw
Adhesiveness	0.00	± 0.00 kgw.sec
Stickiness	0.00	± 0.00 kgw
Cohesiveness	0.47	± 0.03 T.U.
Gumminess	1.56	± 0.19 kgw
Springiness	0.93	± 0.01 T.U.
Fracturability	0.00	± 0.00 kgw
Chewiness	1.46	± 0.19 kgw

Table 5 Texture of jelly analyzed with texturometer. Results are shown as mean ± S.D. in 30 samples. T.U. indicates texture unit.

あった。

咀嚼運動の観察で自由咀嚼を捉えるため、咀嚼側の規定は行わなかった。同様の理由で下顎運動の記録も磁気センサーを口腔内に置かずオートガイ点に設置した。

(2) 咬合力と咀嚼筋筋電図の記録

咬合力を測定する方法では片側の大白歯で測定したもの^{14,15)}、レジンプレートを介在させたもの^{16,17)}、金属プレートを介したもの²⁰⁾など様々な報告がある。片側の大白歯単独での測定は簡便ではあるが、前田²¹⁾によると咬合力は歯種別に異なっており、単独歯での測定では咀嚼筋機能を総合的に把握できるとは考え難い。このことは咬合力の測定が常に歯根膜感覚の支配を受けていることに起因すると考えられ、本研究では臼歯群で咬合圧を負担させる方法を選択した。

咬合力の大きさは顎位、開口距離、測定部位などにより変化するため^{21,22)}、前歯部開口距離が10～20 mmとなるように上下顎第1大白歯間の咬合高径を9.5～10.0 mmに設定した。またセンサーは下顎両側第1大白歯遠心頬側咬頭頂を結んだ線の中央で、咬合平面と平行になるように設定した。

咬合力の評価法には最大咬合力^{14,15)}、あるいは咬合力を段階的に上昇させて咀嚼筋活動電位との関係をみたもの^{16,17)}、一回の噛みしめでの

咬合力と活動電位より一次回帰式を求め評価したもの²⁰⁾などがある。本研究では最大咬合力だけではなく、一定の筋張力を発揮する際にどの程度の咀嚼筋活動電位が必要であるかという観点から一次回帰式 $y=ax+b$ を求め、その係数 a によって咬合力発揮の効率評価を行った。その際咬合力の範囲を10～50 kgとし、回帰式が曲線的にならない範囲で評価した。

(3) 負荷試験時の咀嚼筋筋電図の記録

対象者の筋張力と筋長を一定にするため咬合力測定の方法に準じ、“筋電図-咬合力”係数を求めた上限の60%に相当する30 kgで1分間持続して咬合させた。

表面筋電図のパワースペクトルに大きな影響を与える因子に、motor unit action potential (MUAP) 波形が考えられ、これは電極の条件、筋の種類、筋長、筋張力、筋線維の活動電位の伝導速度、筋疲労などで変化すると考えられている²³⁾。噛みしめによる一過性の咀嚼筋疲労状態をパワースペクトルの変化で捉えた報告では、最大噛みしめによるもの²⁴⁻²⁶⁾、活動電位の実効値²⁷⁾、あるいは咬合力で規定したもの^{18,19)}などがある。Boxtelら²⁴⁾は疲労の進行に従ってMF値は低周波帯域へ移行していくことを報告しており、本研究ではこれを一定負荷を与えたときの耐疲労性の評価法として用いた。

2. ゼリー咀嚼について

咀嚼運動は摂取する食品の物理的性状などにより変化することが考えられる。しかし食品の性状を一定にすると、丸山²⁸⁾は咀嚼時の下顎運動のパターンは個人毎に恒常性が認められると報告している。また堀尾と河村²⁹⁾はヒトには一定の嚥下閾があり、食品の性状や個人の嚥下中枢の支配を受けると報告している。さらに咀嚼運動におけるリズム形成においては各咀嚼筋の活動の協調性の差はあるが、成長発達期のかなり早い時期にその原型が形成される可能性が示唆されている^{30,31)}。しかし各個体固有の咀嚼運動は上位の中枢で制御されていると共に、その個体の発達期の食行動、あるいは歯列、咬合に現れる形態上の変化などに影響を受けながら形

成されると考えられる。以上のことから咀嚼にはさまざまな運動のパターンがあると推測され、咀嚼のパターンを分類する必要があると考えられた。

咀嚼のパターンを分類するには、一般に下顎運動の軌跡を解析することから行われているが、本研究ではゼリーの咀嚼開始より嚥下までの連続した筋電図と、これと同時記録した下顎運動によりパターン分類を行った。これらから得た測定値により、始めに合成変数を主成分分析で求め、累積寄与率73.25%になる第6主成分までの咀嚼運動に特に重みづけのある変数を選択した。これをみると咀嚼運動を筋電図と下顎運動に基づいて評価する場合、単に筋電図積分値や咀嚼時間、リズムという単独の変数についてのみ評価したのでは咀嚼運動の全体像を解析することは困難と考えられた。そこでさらに主成分得点を用いクラスター解析を行ったが、その結果互いに類似性の高い対象者が区分され、8群となった。それぞれの群の特徴はTable 3に示すように、リズムの安定性、咀嚼時間、総積分値などの変数が、おおよそ3段階に分けられ、それぞれの組み合わせで群分けされた。

これら8群の対象者の分布をみると21名のA群、13名のG群、8名のB群が成人男子の咀嚼運動に多くみられるパターンと考えられる。これに対して僅か2名の群として分類されたE、F、H群についてはさらに対象者を増やし検討する必要がある。しかしその出現の状態からみて、F群とH群はそれぞれ対称的な位置にあると思われた。

3. 咬合力について

分類した咀嚼のパターンによる各群間で比較すると、最大咬合力に関しては明かな差は認められないものの、咀嚼のリズムが安定しているA、B、F群と比較し、リズムが不安定なD、E、H群が小さい傾向にあった。また“筋電図-咬合力”係数(BF)では咀嚼開始から嚥下までの咀嚼回数が少なく、咀嚼時間が短く、筋電図積分値が小さく、リズムが安定している咀嚼

のパターンを示すA群と比較し、嚥下までの咀嚼筋積分値が大きいB、G群、あるいはリズムが不安定なD群が明らかに大きな値を示し、咬合力を発揮するときの効率が悪いと判断された。

前田と久米川³²⁾、Suzuki³³⁾は哺乳類の咬筋の筋線維の構成比を調べ、それぞれの比率は咀嚼様式と密接な関係にあると報告している。また北川ら^{34,35)}はヒトの咬筋においても構成する筋線維の比率はその咀嚼様式により変化し、それにともない機能も変化すると推測している。また小野³⁶⁾は成長発達期の初期には咀嚼の訓練をすることで最大咬合力が上昇することを報告しており、咀嚼運動が咀嚼筋の構成、機能を形成する重要な要因と考えられる。

今回の咀嚼のパターン分類でみると、A、F群のようにリズムが安定しており、嚥下までの筋電図積分値が小さいパターンでは、その咀嚼のパターンが咬合力の機能を亢進または発達させていると考えられる。逆にD、E、H群のようにリズムの不安定、G群にみられる嚥下までの筋電図積分値が大きいパターンでは、そのパターンが咬合力の機能を低下した状態にしているか、または発達を抑制させる一要因となっている可能性が推測される。

4. 一定負荷に対する咀嚼筋の耐疲労性について

パワースペクトルにみられるmedian frequency (MF) 値の変化率は、Boxtelら²⁴⁾の報告と同様に経時的に低周波帯域へ移行する傾向が認められた。その低下率を側頭筋と咬筋で比較するとFig.6に示すように、側頭筋より咬筋の低下率が大きい傾向を示す。これは側頭筋と咬筋は共に閉口筋であるが、咀嚼運動に関与する時の動作の違いを反映しているものであろう。すなわち咀嚼時に主動的に作動する咬筋と協動的に作動する側頭筋の違いに起因しているものと考えられる。

今回負荷条件を一定に設定したが、筋張力、筋長の変化などがパワースペクトルに影響するため、咀嚼筋の耐疲労性を絶対量として評価す

るにはなお問題がある。しかし本条件下で咀嚼のパターンによる各群間のMF値の変化率を比較すると明かな差は認められなかった。

一方前述した咬合力からみた咀嚼筋機能では、咀嚼のパターンによる各群間に有意な差が認められたが、これは生理学的、解剖学的にみた咀嚼筋の機能と構成の相違によることが考えられる。このことはRingqvist³⁷⁾の報告で咬合力の大きさは、type II fiber (fast twitch muscle fiber)の断面積と関係があり、type I fiber (slow twitch muscle fiber)やintermediate fiberとは関係がないと述べていることから説明できる。すなわち咬合力の測定は咀嚼筋の瞬発的な運動をみており、fast twitch muscle fiberについての機能評価であること、負荷試験では持続的な運動をみており、slow twitch muscle fiberについての機能評価であることの違いによると判断できる。

以上のことから個人の持つ食行動の全体像を推測することは不可能であるが、日常の咀嚼に現れるパターンの相違は、咬合力に関するfast twitch muscle fiberの機能、もしくはその占有量には影響をおよぼしてはいるものの、それがヒト咀嚼筋の主体をなすslow twitch muscle fiberについては影響をおよぼしにくいといえることができる。

しかしその一方でリズムが不安定であり、咀嚼回数が多く、咀嚼時間の長い、嚥下までの筋電図積分値が大きい咀嚼のパターンを示していたH群ではMF値の変化率も大きく、咀嚼にこのようなパターンを示す対象者ではslow twitch muscle fiberの機能が低下するような、あるいはその占有量が変化するような影響を受けている可能性があると考えられる。

5. 咬筋厚および顎顔面形態の比較について

筋電図の解析、咬合力、咬筋の断面積のそれぞれと、顎顔面形態との関連性に関する報告は多い^{6-11,14-19,38-42)}。咬筋の厚さと顎顔面形態の関連性についての報告では、Bakkeら³⁸⁾は咬筋浅層部前縁の厚さと咬合力とは有意な正の相関を認め、下顎下縁平面角(SN)などとは有意な負

の相関を認めている。同様にWeijsとHellen^{38,40)}、KiliaridisとKälebo⁴¹⁾、田中ら⁴²⁾も咬筋の厚さ、断面積と下顎骨の形態との間に相関を認めている。

一方、田部^{16,17)}は最大閉顎力と下顎枝高径、下顎体長、下顎骨効果長とは有意な正の相関を認め、下顎下縁平面角、下顎角と有意な負の相関を認めたと報告している。またIngervallとHelkimo⁸⁾は咬合力の強い者と弱い者の顎顔面形態を比較し前者は下顎角などが有意に小さいと報告している。Proffitら¹⁹⁾は下顎下縁平面角(SN)、下顎角、前顔面高と後顔面高の比などに有意な差が認められるnormal-face群とlong-face群では、前者の最大咬合力が大きいと報告している。

これに対し、咀嚼筋疲労と顎顔面形態との関連性について、新出ら¹⁸⁾は下顎角が大きく、ramus inclinationが小さいほど、持続的な噛みしめにおけるパワースペクトルのMF値の低下率が大きいと報告している。また朴¹⁹⁾はmesio, dolico, brachyo-facial typeの3群について持続的噛みしめにおけるパワースペクトルのMF値の変化を比較し、下顎下縁平面角などが有意に大きいdolico-facial type群の低下率が他の2群に比較し大きいと報告している。

今回の対象者60名について咬合力に関する変数、耐疲労性に関する変数、咬筋の厚さ、顎顔面形態の計測値の相関を求めてみた(Table 6)。その結果、咬合力に関する変数と下顎下縁平面角、下顎角、下顎枝長、前顔面高に対する下顎枝長の比と有意な相関を認め、耐疲労性に関する変数と咬筋の厚さ、下顎下縁平面角、下顎角、下顎枝長、前顔面高に対する下顎枝長の比と有意な相関が認められた。しかしそれぞれの相関係数は小さく、また咬合力に関する変数と耐疲労性に関する変数では主咀嚼側咬筋の“筋電図-咬合力”係数(BF)と噛みしめ25秒後のMF値のみに相関が認められたのみであった。これは咬合力からみた咀嚼筋機能が優れている者と劣っている者は、咀嚼筋の耐疲労性からみた咀嚼筋機能でも同様の傾向を示すと考えられる

	BF	MAXBF	MF25	MF55	MASS	Mand.P	Gonial A	Gn-Cd	Pog'-Go	Cd-Go	CGo/NM	PGo/NS
BF	1.000											
MAXBF	-.553 ***	1.000										
MF25	-.285 *	.217	1.000									
MF55	-.102	.094	.640 ***	1.000								
MASS	-.227	.181	.107	.264 *	1.000							
Mand.P	.202	-.337 **	-.250	-.404 **	-.295 *	1.000						
Gonial A	.212	-.338 **	-.210	-.268 *	-.298 *	.672 ***	1.000					
Gn-Cd	-.082	-.057	.064	.032	.127	-.244	.040	1.000				
Pog'-Go	-.031	.056	.040	.008	.035	-.217	-.377 **	.635 ***	1.000			
Cd-Go	-.307 *	.173	.192	.262 *	.368 **	-.729 ***	-.430 ***	.572 ***	.141	1.000		
CGo/NM	-.309 *	.282 *	.285 *	.396 **	.262 *	-.867 ***	-.512 ***	.334 **	.034	.890 ***	1.000	
PGo/NS	-.124	.151	.123	.115	-.031	-.034	-.297 *	.355 **	.765 ***	-.043	-.053	1.000

Table 6 Correlation matrix of parameters of biting force, resistance to fatigue and facial morphology. Statistically significant *p<0.05, **p<0.01, ***p<0.001

BF : "EMG-biting force " coefficients of WM

MAXBF : Maximum biting force

MF 25 : Median frequency changes until 25 sec after the beginning of biting

MF 55 : Median frequency changes until 55 sec after the beginning of biting

MASS : Thickness of masseter muscle on habitual masticatory side

Mand.P : Mandibular plane angle

Gonial A : Gonial angle

Cd-Gn : Mandibular length

Cd-Go : Mandibular ramus length

Pog'-Go : Mandibular body length

CGo/NM : Ratio of mandibular ramus length to anterior facial height

PGo/NS : Ratio of mandibular body length to length of cranial base

が、咬合力からみていわゆる平均的な咀嚼筋機能を有する対象者では、その関係が必ずしも当てはまらないためと考えられる。

この観点からも、咬合力からみた咀嚼筋機能と耐疲労性からみた咀嚼筋機能とは分けて考えなければならないと思われる。前田と久米川³²⁾は動物の咀嚼筋の筋線維の構成と配列は食性と顎運動様式と密接な関係にあることを指摘しており、ヒトの咬筋では red fiber (slow twitch muscle fiber) が 57.2%, white fiber (fast twitch muscle fiber) が 28.6%, intermediate fiber が 14.2% の構成比であるとの報告から示されるように、咀嚼運動は持続的あるいは繰り返しの運動と瞬発的な運動の合成された現象として捉える必要があり、その構成比は個体の咀嚼運動を反映し、変化するものと考えられ

る。

本研究での咀嚼のパターンによる各群間での顎顔面形態の比較では明かな差は認められなかった。このことは北川⁴³⁾、北川ら^{34,35)}の実験的および臨床的な考察から、顎顔面形態に影響をおよぼすのは主にタイプ1線維 (slow twitch muscle fiber) であると述べていることにより説明できる。すなわち前述した咀嚼筋の耐疲労性に関しての機能評価では、咀嚼のパターンが A, B, C, D, G の各群で相互に明かな差が認められず、slow twitch muscle fiber の機能、あるいは占有量に差がないと考えられる。このことが、C群と比較してG群の咬筋が薄いこと以外は、各群間で咬筋厚、顎顔面形態に明かな差を認めなかった要因として考えられる。

しかし、小数例ではあるがリズムが不安定

で、咀嚼回数が多く、咀嚼時間の長い、嚥下までの筋電図積分値が大きい咀嚼のパターンを示しているH群では、他の群と比較し負荷試験のMF値の大きな低下率を示し、さらに咬筋の厚さ、顎顔面形態で他の群と比較し大きい相違があった。このような咀嚼のパターンを持つものは、そのパターンがslow twitch muscle fiberの機能、構成、さらに顎顔面形態へ影響をおよぼしていることが考えられるが、この点についてはなお詳細な検討が必要であろう。

さらに今回分類された咀嚼のパターンと不正咬合の関係をみると、不正咬合ごとにみられる特徴的なパターンを推測することは困難であっ

た(Table 7)。このことは咬合異常が必ずしも筋電図と下顎運動からみた咀嚼のパターンと関係しているものでないと考える論拠となる。しかし一方で、G群13名中11名が何らかの不正咬合を有していること、F群2名はいずれも正常咬合であり、H群2名はいずれも不正咬合であることから考えると、咬合と咀嚼のパターンが密接な関係にある者も存在するとも考えられる。

顎顔面形態と咬合形態とが全ての正常咬合または不正咬合を有する者で関連しているものではないが、顎骨の形態的特徴が大きな不正要因となる場合が少なくない。このことが咀嚼のパ

Group	normal occlusion	maxillary protrusion	anterior cross bite	deep overbite	crowding	bimaxillary protrusion	edge-to-edge bite
A	10	3	-	1	6	-	1
B	3	-	-	1	2	2	-
C	3	-	2	-	1	1	-
D	3	1	-	1	-	-	-
E	1	-	-	-	1	-	-
F	2	-	-	-	-	-	-
G	2	6	2	1	2	-	-
H	-	1	-	-	1	-	-

Table 7 Appearance frequency of malocclusions in each group, classified according to masticatory patterns.

ターンと不正咬合の関係を把握することを困難にしている。しかし、今回の咀嚼のパターンから考えると、特にH群にみられるパターンを持つものは下顎角が開大し、下顎枝長が短い下顎骨の形態的特徴を示すと思われるが、このような形態的特徴は咀嚼筋機能の低下と咬合形態の異常に密接な関係があることも示唆されており⁴⁾、今後さらに不正咬合と咀嚼のパターンおよび顎顔面形態との関連について検討することが課題と考えられる。

結 論

1. 咀嚼のパターン分類に意味のある変数を抽出するため、ゼリー咀嚼時の筋電図と下顎運動分析から得た変数につき主成分分析を行い、6主成分を抽出することができた。このことは咀嚼運動の評価にあたっては、単独の変数のみではなく複数の変数の組み合わせにより客観的な評価が可能となると考えられた。

2. 第6主成分までの主成分得点を用いクラスター解析を行ったところ、咀嚼のパターンを8型に分類することができた。

3. 分類した咀嚼のパターンによる各群間で比較すると、最大咬合力に関し明かな差は認めないものの、咀嚼のリズムが安定している群と比較し、リズムが不安定な群で小さい傾向があった。また“筋電図-咬合力”係数は咀嚼開始から嚥下までの咀嚼回数が少なく、咀嚼時間が短く、筋電図積分値が小さく、リズムが安定している咀嚼のパターンを示す群と比較し、嚥下までの咀嚼筋積分値が大きい群、リズムが不安定な群が明らかに大きな値を示し、咬合力を発揮するときの効率が低いと考えられた。

4. 一定負荷に対する咀嚼筋の耐疲労性に関し、分類した咀嚼のパターンによる各群間で比較すると、各群に明かな差は認めなかった。

5. 咬筋厚と顎顔面形態に関し、咀嚼回数が少なく、咀嚼時間が短い群と比較し、咀嚼回数が多く、咀嚼時間が長い群の咬筋が薄いこと以外は、各群の間で咬筋厚、顎顔面形態で明かな差を認めなかった。

以上より咀嚼のパターンに現れる差は、咬合力を判断基準とした場合の咀嚼筋の瞬発的な運動能力の相違として捉えることができる。しかし負荷に対する耐疲労性の面から判断した咀嚼筋の持続的な運動能力や、咬筋厚、あるいは顎顔面形態のいずれにおいても、特徴的な相違としては捉え難いと考えられた。

謝 辞

稿を終えるにあたり、ご指導、ご校閲を賜りました岩手医科大学歯学部歯科矯正学講座石川富士郎教授に謹んで感謝の意を表します。本研究を進めるにあたり終始ご指導ご鞭撻頂きました同講座亀谷哲也助教授、三浦廣行講師に謝意を表します。また統計解析でご指導頂きました同数学科一戸孝七教授、ならびに筋電図分析プログラムの開発で御協力頂きました岩手大学工学部情報処理科三輪讓二助教授に深謝致します。ご協力頂きました教室員各位に厚く御礼申し上げます。

本論文の要旨の一部は、第51回日本矯正歯科学会大会(平成4年10月, 大宮), 同52回大

会(平成5年11月, 鹿児島)において発表した。

参 考 文 献

- 1) 添野一樹: 固形飼料ならびに粉末飼料飼育ラットの咀嚼筋機能および下顎枝の成長発育に関する研究, 岩医大歯誌, 17: 1-15, 1992.
- 2) 黒江和斗: 下顎頭と下顎窩の加齢変化に及ぼす咀嚼の影響, 日矯歯誌, 50: 196-209, 1991.
- 3) Manly, R. S. and Braley, L. C.: Masticatory performance and efficiency, *J. Dent. Res.* 29: 448-462, 1950.
- 4) 増田元三郎: ATP 顆粒剤を用いた吸光度法による咀嚼能力測定法について, 歯科ジャーナル, 16: 121-130, 1982.
- 5) 沼田 収: ポリカーボネートマイクロカプセル含有のチューインガムによる咀嚼の圧縮能力定量法, 口病誌, 56: 61-75, 1989.
- 6) 広瀬寿秀, 伊藤学而: チューインガム法で測定した咀嚼能力と咬合および顎顔面形態との関連, 日矯歯誌, 47: 746-756, 1988.
- 7) Ingervall, B.: Facial morphology and activity of temporal and lip muscles during sawllowing and chewing, *Angle Orthod.* 46: 372-380, 1976.
- 8) Ingervall, B. and Helkimo, E.: Masticatory muscle force and facial morphology in man, *Archs Oral Biol.* 23: 203-206, 1978.
- 9) Moss, J. P.: Function-fact or fiction?, *Am. J. Orthod.* 67: 625-646, 1975.
- 10) Ingervall, B. and Thilander, B.: Relation between facial morphology and activity of the masticatory muscles, *J. Oral Rehabil.* 1: 131-147, 1974.
- 11) Ahlgren, J. G. A., Ingervall, B. and Thilander, B.: Muscle activity in normal and postnormal occlusion, *Am. J. Orthod.* 64: 445-456, 1973.
- 12) 塩野幸一, 清水久喜, 小椋 正, 規工川浩: 咀嚼ゼリーの物性と咀嚼筋活動との関連, 小児歯誌, 28: 1036-1047, 1990.
- 13) Hannam, A. G., DeCou, R. E., Scott, J. D. and Wood, W. W.: The relationship between dental occlusion, muscle activity and associated jaw movement in man, *Archs Oral Biol.* 22: 25-32, 1977.
- 14) Proffit, W. R., Fields, H. W. and Nixon, W. L.: Occlusal forces in normal- and long-face adults, *J. Dent. Res.* 62: 566-571, 1983.
- 15) Proffit, W. R. and Fields, H. W.: Occlusal forces in normal- and long-face children, *J. Dent. Res.* 62: 571-574, 1983.
- 16) 田部孝治: 咀嚼筋活動と顎・顔面形態に関する研究 I. 咬筋活動の筋電図学的特性と閉顎力について, 日矯歯誌, 35: 239-254, 1976.
- 17) 田部孝治: 咀嚼筋活動と顎・顔面形態に関する研究 I. 咬筋の活動および閉顎力と顎・顔面形態

- との関係について, 日矯歯誌, 35: 255-265, 1976.
- 18) 新出 淳, 不島健持, 宮川泰郎, 小田博雄, 鈴木祥井: 咀嚼筋疲労と顎顔面形態との関連, 日矯歯誌, 45: 401-410, 1986.
- 19) 朴 仁權: 顎顔面骨格形態と咀嚼筋電図に関する研究一定量の咬みしめ時の咀嚼筋電図周波数分析について一, 歯科学報, 91: 837-869, 1991.
- 20) 岡島 努: 咀嚼筋電図による咬合力測定に関する基礎的研究, 鶴見歯学, 13: 367-390, 1986.
- 21) 前田佳英: 咀嚼筋の作業機能と咬合力発機構とに関する実験的研究, 歯科学報, 73: 434-461, 1973.
- 22) 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.
- 23) 木竜 徹: 筋電図の測定, 顎口腔機能分析の基礎とその応用, 1版, デンタルダイヤモンド社, 東京, 260-273ページ, 1991.
- 24) Boxtel, A., Van., Goudswaard, P., Molen, G. M., Van der., and Bosch, W. E. J., Van den.: Changes in electromyogram power spectra of facial and jaw-elevator muscles during fatigue, *J. appl. Physiol.* 54: 51-58, 1983.
- 25) Palla, S. and Ash, M. M., Jr.: Power spectral analysis of the surface electromyogram of human jaw muscles during fatigue, *Archs Oral Biol.* 26: 547-553, 1981.
- 26) Lindström, L. and Hellsing, G.: Masseter muscle fatigue in man objectively quantified by analysis of myoelectric signals, *Archs Oral Biol.* 28: 297-301, 1983.
- 27) 堀 久至: かみしめによる咀嚼筋疲労とその回復に関する筋電図学的研究 第1報 各種周波数分析法の比較, 補綴誌, 33: 37-42, 1989.
- 28) 丸山剛郎: 臨床生理咬合 顎口腔機能の診断と治療, 1版, 医歯薬出版, 東京, 159-172ページ, 1989.
- 29) 堀尾 強, 河村洋二郎: 咀嚼運動に及ぼす食品テクスチャーの影響, 歯基礎誌, 30: 481-488, 1988.
- 30) 旭爪伸二: 正常咬合者と叢生者の咀嚼筋活動差に関する研究-Hellmannの咬合発育段階に基づいて一, 小児歯誌, 26: 535-555, 1988.
- 31) アルバラード・ラリナガ・グアダルーベ, 實田貫, 西田文彦, 西野瑞穂: 成長発達に伴う咀嚼筋の筋活動量ならびに咀嚼リズムの変化に関する研究, 小児歯誌, 27: 895-906, 1989.
- 32) 前田憲彦, 久米川正好: 顎運動様式の異なる動物の咀嚼筋における筋線維構成, 日本歯科評論, 515: 171-178, 1985.
- 33) Suzuki, A.: A comparative histochemical study of the masseter muscle of the cattle, sheep, swine, dog, guinea pig, and rat, *Histochemistry.* 51: 121-131, 1977.
- 34) 北川善政, 橋本賢二, 塩田重利: 顎顔面変形症における咬筋の組織化学的研究—第1報: 女性例について一, 日顎変形誌, 1: 72-79, 1991.
- 35) 北川善政, 橋本賢二, 中村康宏, 八木教之, 福田廣志, 上田吉生: 顎顔面変形症における咬筋の組織化学的研究—第2報: 男性例について一, 日顎変形誌, 3: 31-41, 1993.
- 36) 小野芳明: 咀嚼の訓練, 文部省特定研究「咀嚼システムの基礎的研究」総括班編, 医歯薬出版, 東京, 89-95ページ, 1988.
- 37) Ringqvist, M.: Fiber types in human masticatory muscles. Relation to function, *Scand. J. Dent. Res.* 82: 333-355, 1974.
- 38) Bakke, M., Tuxen, A., Vilmann, P., Jensen, BR. Vilmann, A., Toft, M.: Ultrasound image of human masseter muscle related to bite force, electromyography, facial morphology, and occlusal factors, *Scand. Dent. Res.* 100: 164-171, 1992.
- 39) Weijis, W. A. and Hellen, B.: Relationships between masticatory muscle cross-section and skull shape, *J. Dent. Res.* 63: 1154-1157, 1984.
- 40) Weijis, W. A. and Hellen, B.: Correlations between cross-sectional area of the jaw muscles and craniofacial size and shape, *Am. J. Phys.* 70: 423-431, 1986.
- 41) Kiliaridis, S. and Kälebo, P.: Masseter muscle thickness measured by ultrasonography and its relation to facial morphology, *J. Dent. Res.* 70: 1262-1265, 1991.
- 42) 田中隆一, 小牧憲明, 村上久夫, 鈴木弘之: 下顎骨の形態と咬筋の走行・断面積との関係について, 西日矯歯誌, 35: 30-35, 1990.
- 43) 北川善政: 顔面神経切除の顎・顔面成長に及ぼす影響に関する実験的研究, 日口外誌, 34: 522-541, 1988.
- 44) 三浦廣行: Duchenne型進行性筋ジストロフィー症患者における咀嚼筋機能, 並びにその累年変化に関する研究, 岩手医誌, 40, 619-635, 1988.