原 著 論 文

相互相関法からみた骨格性下顎前突症患者の咀嚼筋筋活動パターン

金田 龍洙 田中 昌博

Evaluation of EMG Profiles of Masticatory Muscles in Orthognathic Surgery Patients with Mandibular Prognathism Using Cross-correlation Technique

Tatsumi Kaneda and Masahiro Tanaka

Abstract : The purpose of this study was to investigate EMG profiles of masticatory muscles in orthognathic surgery patients with mandibular prognathism during deliberate unilateral gum chewing.

Vertical jaw movement and EMG activities from bilateral anterior temporal, masseter, and anterior belly of digastric muscles were recorded simultaneously from 12 healthy adults and 12 patients. EMG signal was divided according to the period of the maximum opening position of vertical jaw movement. EMG profiles of the chewing stroke were accomplished by normalizing each period to 100%. Normalization was achieved by setting the mean value of each EMG over the chewing cycle to 100%. The relationship of the EMG profile between normal subjects and patients was evaluated. The degree of similarity and the displacement for each EMG profile in all muscles was investigate by using a cross-correlation technique.

The results were as follows :

1. EMG profiles of patients were different for the "Peak" vale and "Duration" of the activity from those of normal subjects.
2. The similarity was little, and great displacement was found in patients.
3. In patients, the similarity and displacement of EMG profiles had large value on the working side.

Key words : EMG profiles, masticatory muscle, mandibular prognathism, cross-correlation technique

I. 緒 言

顎口腔系は、咀嚼筋、顎関節そして咬合などの構成要素の形態的、機能的調和によって正常機能が保たれている¹⁻⁵⁾。歯、顎および顔面頭蓋に何らかの原因で形態上あるいは機能上の異常をきたした状態が不正咬合で、顎口腔系の構成要素にも不調和が及ぶことにより顎機能異常を惹起する。

不正咬合の中でも、下顎前突症、特に骨格性下顎前突症患者（以下、下顎前突症患者とする）は、顔貌の問題だけ

ではなく、咀嚼障害や発育障害などの機能的な問題があることが多い。その原因として、より強い動機としての審美障害が、咀嚼障害の意識を隠蔽しているという可能性と、口腔周囲組織の順応と補償による咀嚼機能の学習および習慣があるといわれている⁶⁾。また、下顎前突症患者は咀嚼筋線維の走行状態、筋の長さあるいは筋付着部位にも異常をきたしていることが考えられる。そのため、下顎前突症患者の顎機能を検索することは、症状の重篤度の判定や治療効果の判定の手段となることから、臨床診断する上で有意義である。

下顎前突症の顎口腔機能状態を把握する手段として、従来から顎顔面の形態学上の観点から咀嚼運動時の筋電図が用いられ、筋放電パターン、各咀嚼筋間の協調性、咀嚼リズムあるいは筋電図周波数等から検索されている⁷⁻¹⁴⁾。しかし、いずれの検査項目においても、個人間の結果を比較

大阪歯科大学歯科補綴学第2講座（主任：川添堯彬教授）
Osaka Dental University, Department of Fixed Prosthodontics
(Chief : Prof. Takayoshi Kawazoe)
平成6年10月3日受付

する際に咀嚼周期や筋電位振幅が異なることによる影響をどのように排除するかが問題となる。

近年、咀嚼周期と筋活動量を正規化した EMG プロフィールが開発され、咀嚼中の筋活動状態を定型的に観察できるようになった¹⁵⁻¹⁸⁾。本研究では咀嚼筋筋電図から下顎前突症患者的顎機能を評価するため、ガムチューイング時の咀嚼筋活動パターンを相互相関法を用いて解析、比較した。

II. 研究方法

1. 被験者

健常者は、本学教職員あるいは学生で、頭頸部および顎顔面に疼痛や顎機能異常を認めず、歯列に欠如がなく修復も咬合面に限定し、さらに咬頭嵌合位の安定した成人有歯顎者 12 名（平均年齢 24.1 歳）である。

下顎前突症患者は、本学附属病院に来院し、骨格性下顎前突症と診断された患者 12 名（平均年齢 19.7 歳）である。また、術前矯正開始時の前後的な顎間関係を表す ANB 角は、平均 $-3.5 \pm 2.9^\circ$ であった。

2. ガムチューイング時の下顎運動および咀嚼筋筋電位の記録

健常者および下顎前突症患者に咀嚼得手側での片側ガムチューイング（ロッテ、グリーンガム 3.0 g）を行わせ、下顎運動軌跡と左右側の側頭筋前部（以下 Ta とする）、咬筋中央部（以下 M とする）および顎二腹筋前腹（以下 Da とする）の表面筋電位を同時記録した。得手側を自覚しない者は右側で行わせた。記録は、チューイング開始 60 秒後からの安定した 10 ストロークに限定した。

下顎運動軌跡は、Mandibular Kinesiograph (Myotronics, MKG-K 6, 以下 MKG とする) を用いて切

歯点の動きを記録した。表面筋電位は、直径 5 mm の銀皿表面電極（日本光電, NT-611 U）を用いて中心間距離 20 mm で、筋線維の走行に平行になるよう粘着カラーで貼付し、生体アンプ（日本光電, AB 621-G）を用いて利得 60 dB で差動増幅した。なお、アンプの高域遮断周波数を 1 kHz、時定数を 0.03 秒に設定した。

下顎運動軌跡と筋電位信号は 2 kHz で量子化し（SDS, DASBOX-8400 A）、光ディスク（Hewlett-packard, HP Series 6300 Model 650/A）に保管した。

3. 筋活動パターンの模式化

下顎前突症患者の下顎運動ならびに左右側の咀嚼筋筋電位は、柏木ら¹⁹⁾の方法に準じて、筋電位信号を実効値（RMS 値）に変換後、顎運動と共に平滑化し、ガムチューイング開始 60 秒後からの 10 ストロークについて、各々咀嚼周期と筋活動量を正規化した（Single EMG プロフィール）。また、健常者および患者ごとに 10 ストロークの EMG プロフィールを加算平均した（Averaged EMG プロフィール）。図 1, 2 は下顎前突症患者の EMG プロフィールの一例である。なお、1 ストロークは、ガムチューイング中の下顎運動軌跡を掃引した場合の最下点から最下点、すなわち最大開口位から最大開口位までとした。

EMG プロフィールを模式化するため、Averaged EMG プロフィールのオンセット（Onset）、Onset と活動のピークの中点（Onset-Peak）、活動のピーク（Peak）、Peak とオフセットの中点（Peak-Offset）およびオフセット（Offset）の 5 つの計測点での値を X, Y の各座標軸に標準偏差と共に表示した（図 3）¹⁹⁾。また、Offset と Onset の X 座標の値の差であるデュレーション（Duration）もこれらの計測パラメータに加え、各座標の値の平均値の差について t 検定を行い、健常者と患者の比較を行った。なお、筋活動の Onset および Offset 決定のスレッショールド値は、側頭筋および咬筋では正規化した RMS 値の

図 1 下顎前突症患者における 10 回のストロークの single EMG プロフィール

Ten strokes of single EMG profile in orthognathic surgery patients with mandibular prognathism

図 2 下顎前突症患者における 10 回のストローク（図 1）の Averaged EMG プロフィールおよび標準偏差

Mean and standard deviation of 10 strokes of single EMG profile in orthognathic surgery patients with mandibular prognathism

図 3 EMG プロフィール計測点のシェーマ (文献 19 より引用)
Scheme of measuring points for EMG profile

40%, 顎二腹筋では 80% とした。

4. 相互相関法²⁰⁾による筋活動パターンの比較

各ストロークにおける筋活動パターンのばらつきを定量化するため、各ストロークにおける EMG プロフィールを各時系列とし、相互相関法から類似度を観察した。2 組のランダムデータの相互相関関数は、1 組のデータと他の 1 組に対する依存性を表す。

すなわち、隣あう 2 組の時刻歴記録をそれぞれ $x(t)$, $y(t)$ とすれば、時刻 t における $x(t)$ の値と時刻 $t+\tau$ における $y(t)$ の値の相互相関関数 $R_{xy}(\tau)$ は、分析時間 T の時、下式によって求められる。つまり、 $R_{xy}(\tau)$ が最大値を示す時刻 τ が遅れ時間となる (図 4)。

$$R_{xy}(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T x(t) y(t+\tau) dt$$

$R_{xy}(\tau)$ が相互相関関数であり、その最大値をストロークごとに比較した際の EMG プロフィールの類似度の指標に用いた。また、時刻 τ は EMG プロフィールの前後的な変位を表す指標とした。 $R_{xy}(\tau)$ の最大値と時刻 τ との関係についても健常者、患者ごとあるいは作業側、非作業側で比較した。なお、差の検定には相互相関関数については、Mann-Whitney U 検定、前後的な変位については t 検定を用いた。

III. 結 果

1. 健常者と下顎前突症患者の EMG プロフィール

健常者群と下顎前突症患者群における筋活動パターンを 5 点の代表点として各筋について計測した。図 5 および図 6 は、作業側と非作業側について、いずれの群も 12 名の平均値と標準偏差を求め、EMG プロフィールを模式化したものである。表 1 に健常者と患者における有意差の検定結果を測定項目ごとに示した。

図 4 波形の類似度を表す相互相関関数 $R_{xy}(\tau)$ と前後的な変位を示す遅れ時間 (τ) の関係
Relationship between $R_{xy}(\tau)$ which indicates the similarity of two wave forms and τ which indicates the time lag in the two wave forms

1) 作業側の EMG プロフィール

(1) Onset, Offset および Duration

活動の開始時期である Onset は、健常者の T_a で 100% を 1 ストロークとした時の $12.5 \pm 5.8\%$, M で $11.8 \pm 5.7\%$ といずれも閉口相から認められたが、開口筋である D_a では $27.7 \pm 25.4\%$ で咬合相付近に認められた。これに対して、下顎前突症患者の T_a は $6.4 \pm 4.4\%$, M で $4.7 \pm 5.6\%$ となり、健常者に比べて有意に早い時期に認められた。また、 D_a の Onset は $14.5 \pm 19.7\%$ で健常者よりも早かったが、ばらつきが大きく、有意差は認められなかった。

活動の終了時期である Offset は、健常者の T_a で $49.3 \pm 4.6\%$, M で $48.8 \pm 4.1\%$ で、1 ストロークの中央まで活動があったが、 D_a で $99.5 \pm 1.1\%$ となり、開口相終期にまで活動がみられた。下顎前突症患者では、 T_a で $52.1 \pm 6.7\%$, M で $52.3 \pm 4.9\%$, D_a で $95.8 \pm 11.5\%$ となり、いずれの筋においても健常者との間に有意差は認められなかった。

Offset と Onset の差である Duration は、健常者の T_a と M ではそれぞれ $36.7 \pm 3.8\%$, $37.1 \pm 5.9\%$ であった。下顎前突症患者では、Onset が早くなったことと Offset が遅くなったことから、Duration が有意に延長した ($p < 0.01$)。 D_a においては、有意差は認められなかった。

(2) Peak

EMG プロフィールの模式図の頂点を示すパラメータである Peak は、その時期を (x)、そのときの値を (y) とした。健常者での Peak (x) は、 T_a で $31.4 \pm 3.7\%$, M で $32.4 \pm 3.6\%$ で、30% 前後に認められ、 T_a と M はほとんど差はなかった。 D_a では $77.8 \pm 6.9\%$ で 1 ストローク

図 5 作業側における EMG プロフィールのシェーマ

Ta: 側頭筋前部, M: 咬筋中央部, Da: 顎二腹筋前腹
 Working: 作業側, Normal: 健常者, Patient: 下顎前突症患者
 Scheme of EMG profile in the working side

図 6 非作業側における EMG プロフィールのシェーマ

Ta: 側頭筋前部, M: 咬筋中央部, Da: 顎二腹筋前腹
 Non-working: 非作業側, Normal: 健常者, Patient: 下顎前突症患者
 Scheme of EMG profile in the non-working side

表 1 健常者と下顎前突症患者における差の検定結果

Difference between normal subjects and orthognathic surgery patients with mandibular prognathism

		Onset	Onset-Peak	Peak	Peak-Offset	Offset	Duration
Working	Ta	*	(X)	NS	NS	NS	**
			(Y)	*	NS		
	M	**	(X)	*	NS	NS	**
			(Y)	**	**		
	Da	NS	(X)	NS	NS	NS	NS
			(Y)	NS	**		
Non-Working	Ta	NS	(X)	NS	NS	NS	**
			(Y)	NS	**		
	M	NS	(X)	**	*	**	**
			(Y)	*	**		
	Da	NS	(X)	NS	NS	NS	NS
			(Y)	NS	**		

** : $p < 0.01$ * : $p < 0.05$ NS : Not Significant

クの後方約3分の1あたりに認められた。下顎前突症患者でのPeak (y) は、いずれの筋においてもわずかに小さな値を示したが有意差はなかった。

健常者のPeak (y) は、Taで $414.5 \pm 51.5\%$ 、Mで $449.1 \pm 67.2\%$ 、Daで $218.8 \pm 30.8\%$ となり、Mで最も

高くDaで最も低かった。下顎前突症患者では、Taで最も高く $365.1 \pm 62.4\%$ 、Daで最も低く $176.6 \pm 37.3\%$ を示した。その結果、MはDaに比べて有意に高い値を示した。

(3) Onset-Peak および Peak-Offset

OnsetとPeakの中間の時期を示すOnset-Peak (x)

は、健常者の Ta で $21.9 \pm 4.4\%$ 、M で $22.2 \pm 3.7\%$ であったが、下顎前突症患者では Ta で $18.6 \pm 3.6\%$ 、M で $17.8 \pm 4.5\%$ といずれも健常者よりも早い時期にあり、特に M では有意差 ($p < 0.05$) が認められた。Da においても健常者で $52.6 \pm 11.5\%$ 、下顎前突症患者で $45.0 \pm 11.4\%$ で有意差は認められなかった。Onset と Peak の中間の時期の値を示す Onset-Peak (y) は、健常者の Ta で $212.2 \pm 52.4\%$ 、M で $215.8 \pm 62.6\%$ であったのが下顎前突症患者では、それぞれ $162.3 \pm 38.3\%$ 、 $140.4 \pm 43.8\%$ と有意に低くなった。Da も低くなったものの有意差はなかった。

Peak と Offset の中間の時期を示す Peak-Offset (x) は、健常者の Ta で $40.2 \pm 3.7\%$ 、M で $40.5 \pm 3.8\%$ であったが、下顎前突症患者ではそれぞれ $41.4 \pm 4.5\%$ 、 $41.8 \pm 4.3\%$ とわずかに遅れ、Da はわずかに早い値を示したが、いずれも有意差は示さなかった。また、Peak と Offset の中間の時期の値を示す Peak-Offset (y) は、健常者では Ta、M、Da でそれぞれ $240.9 \pm 37.9\%$ 、 $266.8 \pm 36.3\%$ 、 $172.5 \pm 27.1\%$ であったが、下顎前突症患者では $192.7 \pm 53.5\%$ 、 $175.9 \pm 34.3\%$ 、 $145.3 \pm 23.0\%$ といずれにおいても有意に低い値を示した。

2) 非作業側の EMG プロフィール

Onset では、いずれの筋においても下顎前突症患者のほうが早い時期を示したが有意差は示さなかった。Offset では、Onset とは逆にすべての筋で下顎前突症患者で遅くなったが、M 以外は有意差は認められなかった。Offset と Onset の差である Duration は、下顎前突症患者で Ta と M において有意な延長があったが、Da では認められなかった。Peak では、時期を表す Peak (x) において M のみが有意に早い時期となったが、その他の筋では下顎前突症患者との有意差は認められなかった。Peak の値である Peak (y) においては、いずれの筋においても下顎前突症患者は健常者よりも有意に低い値を示した。

これらのことから、下顎前突症患者の EMG プロフィールは、健常者に比べて Peak 値が低く、Duration が長くなるため上下的に圧平された形態となり、この傾向は非作業側 M で著明であった。

今回測定した 9 つのパラメータの中で、健常者と下顎前突症患者との間に有意差を認めたパラメータの数を作業側と非作業側に分けて図 7 に表示した。最も多くの有意差を示した筋は M で、次に Ta、最も有意差の少なかった筋は Da であった。作業側と非作業側では Ta と Da では同数であったが、M では非作業側のほうが有意差を示したパラメータが多かった。

2. 相互相関関数による筋活動パターン

健常者と患者の各 10 ストロークの筋活動パターンから 2 組ずつ抽出し、すべての組合せを表に示した。表 2 は、

図 7 健常者と下顎前突症患者との間に有意差を認めたパラメータ数

Ta: 側頭筋前部, M: 咬筋中央部, Da: 顎二腹筋前腹, working: 作業側, Non-working: 非作業側

Number of parameters which showed significant difference between normal subjects and orthognathic surgery patients with mandibular prognathism

下顎前突症患者の作業側における咬筋での一例である。EMG プロフィールの類似度を表す R_{xy} (r), すなわち相互相関関数の最大値をストロークのすべての組合せについて表 2-a に示した。この患者の場合、相関係数の最大値は 0.750 から 0.986 まで分布し、その中央値 (Median) は 0.949 であった。また、EMG プロフィールの前後的な変位を表す時刻 τ について表 2-b に示した。変位量は -16.7% から 14.7% まで分布したが、絶対値を平均すると 5.6% の変位となった。

10 ストロークから得た 45 組の組合せについて、相関係数の最大値については Median を、そのときの前後的な変位については絶対値に変換した後、平均値と標準偏差を求めそれぞれ観察した。

1) EMG プロフィールの相関係数

図 8 および図 9 に作業側と非作業側における相互相関関数の最大値 R_{xy} (r) をすべての組合せについて表示した。

作業側において、健常者の Ta では、最も低い相関係数で 0.876 (No. 1), 最も高い相関係数で 0.998 (No. 6, 9, 10 および 12), Median が 0.987 と高い相関を示し、ストローク間で EMG プロフィールの形態が近似していた。下顎前突症患者の Ta では、最も低い相関係数で 0.836 (No. 3), 最も高い相関係数で 0.997 (No. 4 および 7), Median が 0.977 となり、Mann-Whitney U 検定において危険率 1% で両群に有意差を認めた。健常者の M では、Median が 0.989 であるのに対し、下顎前突症患者の M では 0.969, Da においても健常者と下顎前突症患者の Median は、それぞれ 0.961, 0.938 となり、両筋において危険率 1% で両群に有意差を認めた (図 8)。

非作業側においても、いずれの筋でも健常者の Median は下顎前突症患者よりも高い値となり、1% の危険率で有意差を示した (図 9)。

また、健常者における作業側と非作業側を比較すると、

表 2-a 下顎前突症患者 (No. 4) の各ストロークの組合せにおける相関係数 R_{xy} (r)
Cross-correlation coefficients between 2 strokes in orthognathic surgery patients with mandibular prognathism

Stroke number	1	2	3	4	5	6	7	8	9
2	0.770								
3	0.983	0.790							
4	0.980	0.799	0.963						
5	0.974	0.810	0.966	0.978					
6	0.972	0.777	0.965	0.957	0.962				
7	0.924	0.850	0.899	0.948	0.921	0.896			
8	0.943	0.855	0.948	0.949	0.956	0.949	0.906		
9	0.981	0.750	0.971	0.965	0.956	0.971	0.917	0.935	
10	0.970	0.756	0.949	0.986	0.970	0.942	0.936	0.929	0.960

表 2-b 下顎前突症患者 (No. 4) の各ストロークの組合せにおける前後的な変位 (τ)
Time lags between 2 strokes in orthognathic surgery patients with mandibular prognathism

Stroke number	1	2	3	4	5	6	7	8	9
2	5.0								
3	0.0	-4.0							
4	6.0	0.0	6.0						
5	2.0	-3.0	1.7	-3.7					
6	-2.3	-7.7	-2.7	-8.7	-4.3				
7	10.3	0.0	10.0	3.3	6.7	12.7			
8	4.3	0.0	4.7	-1.0	2.0	7.3	-5.0		
9	-6.3	-11.7	-6.0	-12.7	-8.7	-3.7	-16.7	-11.0	
10	8.0	0.0	8.0	1.7	5.3	10.3	-1.3	3.0	14.7

unit : %

Ta と M ではそれぞれ 1% と 5% の危険率で作業側が高い値を示した。しかし、Da では差は認められなかった。下顎前突症患者でも同様の傾向を示したが、M においては 1% と健常者よりも高い水準で差が認められた (図 10)。

2) EMG プロフィールの前後的な変位

図 11 および図 12 に作業側と非作業側における前後的な変位を 45 組の組合せについて計測し、その平均値と標準偏差を表示した。作業側、非作業側いずれにおいてもすべての筋で、健常者が下顎前突症患者に比べて少ない前後的な変位を示した ($p < 0.01$)。

各筋について観察すると、健常者 Ta では作業側が非作業側より 5% の危険率で少ない変位を示したが、下顎前突症患者 Ta では逆に非作業側が作業側よりも 5% の危険率で少ない変位を示した。この傾向は M においても認められ、健常者では有意差はなかったものの、作業側に比べて非作業側のほうが大きな変位を示し、下顎前突症患者では 1% の危険率で作業側が非作業側に比べて大きな変位を示した。Da では、ばらつきは大きかったが、健常者、下顎前突症患者いずれも Ta や M よりも少ない変位を示した。しかしながら作業側と非作業側での差は認められなかった (図 13)。

3) 相関係数と前後的な変位の相関

図 14 および図 15 に EMG プロフィールの相互相関関数と前後的な変位との関係を作業側および非作業側について示した。すべてのケースにおいて、相関係数が 1 に近づくにつれて前後的な変位も減少する傾向を示した。

作業側については、Ta では健常者で 5%、下顎前突症患者で 1% の危険率で有意な負の相関を示したが、M ではいずれも相関は認められなかった。Da では健常者のみに 1% の危険率で負の相関が認められたが、下顎前突症患者では認められなかった。

非作業側については、作業側とは全く逆のケースで相関関係が認められた。すなわち、Ta では健常者、下顎前突症患者のいずれにおいても相関関係はなく、M において両群で有意な負の相関関係が認められた。また、Da においても健常者ではなかったが、下顎前突症患者で 1% の危険率で有意な負の相関関係が認められた。

IV. 考 察

下顎前突症を含む顎変形症は、その発症時期の違いにより先天的形態異常 (各種症候群を含む)、顎発育異常およ

図 8 各ストロークの組合せにおける相互相関関数 R_{xy} (τ) の最大値の分布 (作業側), **: $p < 0.01$

Ta: 側頭筋前部, M: 咬筋中央部, Da: 顎二腹筋前腹,
Working: 作業側, Number: 被験者, Normal: 健康者,
Patient: 下顎前突症患者

Distribution of maximum cross-correlation coefficients
between 2 strokes in working side

図 9 各ストロークの組合せにおける相互相関関数 R_{xy} (τ) の最大値の分布 (非作業側), **: $p < 0.01$

Ta: 側頭筋前部, M: 咬筋中央部, Da: 顎二腹筋前腹,
Non-working: 非作業側, Number: 被験者, Normal: 健康者,
Patient: 下顎前突症患者

Distribution of maximum cross-correlation coefficients
between 2 strokes in non-working side

図 10 各ストロークの組合せにおける相互相関関数 R_{xy} (τ) の中央値 (Median)

Ta: 側頭筋前部, M: 咬筋中央部, Da: 顎二腹筋前腹, P: 下顎前突症患者,
N: 健康者, Working: 作業側, Non-working: 非作業側

**: $p < 0.01$, *: $p < 0.05$

Median of cross-correlation coefficients between 2 strokes

図 11 各ストロークの組合せにおける前後的な変位 (τ) の平均値と標準偏差 (作業側), **: $p < 0.01$

Ta: 側頭筋前部, M: 咬筋中央部, Da: 顎二腹筋前腹,
Normal: 健常者, Patient: 下顎前突症患者, Working: 作業側

Mean and standard deviation of time lags between 2 strokes in working side

図 12 各ストロークの組合せにおける前後的な変位 (τ) の平均値と標準偏差 (非作業側), **: $p < 0.01$

Ta: 側頭筋前部, M: 咬筋中央部, Da: 顎二腹筋前腹,
Normal: 健常者, Patient: 下顎前突症患者, Non-working: 非作業側

Mean and standard deviation of time lags between 2 strokes in non-working side

図 13 各グループからみた各ストロークの組合せにおける前後的な変位 (τ) の平均値と標準偏差

Ta: 側頭筋前部, M: 咬筋中央部, Da: 顎二腹筋前腹, N: 健常者, P: 下顎前突症患者, **: $p < 0.01$, *: $p < 0.05$

Mean and standard deviation of time lags between 2 strokes in both sides

図 14 相互相関係数 R_{xy} (τ) と前後的な変位 (τ) の相関 (作業側)

Ta: 側頭筋前部, M: 咬筋中央部, Da: 顎二腹筋前腹,
Normal: 健常者, Patient: 下顎前突症患者, Working: 作業側

Interrelationship between cross-correlation coefficient and time lag in the working side

図 15 相互相関係数 R_{xy} (τ) と前後的な変位 (τ) の相関 (非作業側)

Ta: 側頭筋前部, M: 咬筋中央部, Da: 顎二腹筋前腹,
Normal: 健常者, Patient: 下顎前突症患者, Non-working: 非作業側

Interrelationship between cross-correlation coefficient and time lag in the non-working side

び後天的形態異常 (外傷, 腫瘍などに後遺する形態異常) に分類される²¹⁾。このような形態および歯の位置異常に起因する上下顎関係の不調和によって顎口腔機能に障害をもたらす場合も少なくない。

咀嚼運動は, 顎口腔領域における重要な機能の1つであることから, 咀嚼運動時の顎口腔系の動態は種々の方法により研究が進められてきた。切歯点の動きや咀嚼筋の表面筋電図, 咬合力, 咀嚼能率などに代表される手法は, 単一の現象を対象とするのみならず, 多現象を同時計測することによって, 咀嚼機能の全体像を明らかにする試みがなされている²²⁾。

本研究では, 下顎前突症患者の顎口腔機能をガムチューイング時の咀嚼筋筋活動パターンから検索するために, 切歯点の運動は MKG を用いて, 表面筋電図は咬筋, 側頭筋および顎二腹筋の筋電位を同時記録し, 健常者のものと比較・検討した。

1) 実験方法について

(1) EMG プロファイルの模式化

下顎運動と咀嚼筋筋電図を用いた顎口腔系の機能を把握

する手法は, 臨床的に有効となる情報にするため, 各ストロークに注目した分析が行われている²³⁻²⁶⁾。顎運動パラメータの1つである咀嚼周期は, 個人間あるいは各ストローク間で微妙に異なり, このばらつきが健常と異常の差異を示すといわれている^{25,26)}。

筋電位は, 筋線維の運動単位の活動電位 (MUAP) の集合であり, 筋線維から皮膚表面の電極までに距離が生じるため, 筋線維一皮下組織によるローパスフィルターの作用による修飾変化を受ける²⁷⁾。そのため, 筋電位導出に種々の手法が行われてきたが²⁸⁻³⁰⁾, 個体間の比較は困難である。

本研究では, 筋電図の時間的要素を揃えて咀嚼の1ストロークを筋活動の変化パターンとして捉え, 1ストローク中の EMG プロフィールを Onset, Offset, Peak, Onset-Peak および Peak-Offset の5つの計測点の座標に代表し, 筋活動パターンの模式化を図った (図3)。筋電位のオンセットやオフセットを認識するための閾値は蕭と徳永¹⁹⁾の報告を参考に, 側頭筋および咬筋では正規化した実効値の40%, 顎二腹筋では80%とした。この手法を用い

ることにより、個体内あるいは個体間の違いを容易に比較可能にした。

(2) 相互相関法によるパターンの類似度の観察

動作と筋電図パターンの対応を観察する際、筋活動パターンの基準化と筋電位の解析処理方法を一致させることが必要である³¹⁾。これまでの下顎運動と表面筋電図に関する研究では単に筋電位の振幅値を測定したり、平滑化したり、電位のオンセットやオフセットのタイミング等を判定したものにとどまっていた^{7-11,15,30)}。

近年、表面筋電図を用いた動作分析が報告されており、歩行分析から歩行時の表面筋電図をコンピュータにより linear envelope 処理した後、歩行周期で正規化し、一歩行周期の平均筋電位などで標準化して、被験者、筋ごとに比較を行っている³²⁻³⁵⁾。これらの標準化した筋電位パターンを比較する際に用いられる手法は、肉眼的な観察が主体で、いくつかのパターンを加算平均した ensemble average により求められる CV (coefficient of variation) 値³⁵⁾や平均筋電位パターンから求めたオンセット、オフセットあるいはピーク値などの任意の点から構成された模式図¹⁹⁾などが挙げられるが、活動パターンのすべてのポイントを十分に包括した分析方法はない。

そこで本研究では、筋活動パターンを比較する際に2つのパターンを時系列信号として扱い、相互相関法による分析を行った。相互相関法は、2つの信号の類似性を測定するために開発されたもので、同時に信号間の時間のずれを計測することができる^{20,36,37)}。2つの時系列から波形の類似度を推し量る手法には、ピアソンの相関係数³⁸⁾や級内相関係数³⁹⁾があるが、波形の前後的なずれを観察することは不可能である。相互相関法は筋活動パターンの前後的な位置関係を比較できることから本研究ではこの手法を用いた。

2) 実験結果について

(1) 筋活動パターンの模式図について

健常者と下顎前突症患者の筋活動パターンを5点の計測点で模式化して、図5および図6に示し、表1および図7に各ポイントにおける有意差検定結果を表示した。健常者のパターンは鋭いピークを示した Duration の短いものであったが、下顎前突症患者のパターンは作業側、非作業側のいずれにおいても、ピークの位置が低く Duration の幅が広くなり、上部から圧平された形態を示している。これは咬筋で最も顕著にあらわれ、顎二腹筋では有意な変化を示した点が最も少なかった。柏木ら¹⁶⁾や徳永ら¹⁷⁾は、ガムのチューイング中の咀嚼筋の EMG プロフィールを観察したところ、チューイングに伴って圧平されたパターンからシャープなパターンへと移行すると述べており、本研究で得た結果は、下顎前突症患者の EMG プロフィールは、健常者の正常パターンへ移行する前段階のプロフィールの様相を示していることが考えられる。

咀嚼運動が円滑に行われるためには、顎口腔系すなわち咀嚼筋、顎関節、歯根膜あるいは口腔粘膜からの求心性の情報がかみ合うことが肝要である^{2,3)}。これらの情報に何らかの乱れが生じた場合、規則正しい咀嚼運動が阻害され、顎運動パターンや筋活動パターンにも変化が起こる。顎機能異常患者、義歯装着者、咬合干渉を有する患者では、筋電図パラメータに変化が生じることが報告されている⁴⁰⁻⁴³⁾。しかし、下顎前突症患者のような形態的な差が筋活動パラメータに影響を及ぼすとの報告は少ない^{10,11,44)}。

今回、咀嚼周期と筋電位を正規化することによって、ガムチューイング時の筋活動パターンを両群間で比較することができた。その結果、咬筋が作業側、非作業側ともに、最も健常者と下顎前突症患者との形態的な差異を示すことが解明された(図7)。

徳永ら⁴⁴⁾の報告によると、下顎前突症患者は、健常者に比べて咬合接触点数が少なく、筋活動パターンにばらつきが大きいことが述べられており、各ストロークを加算平均すれば、ピークは低く Duration は長くなり、上部から圧平されたパターンを有することが考えられる。下顎前突症患者で圧平されたプロフィールを示すのは、各々の筋活動パターン自体に形態的なばらつきがあるか、形態的なばらつきがなくても各々のパターンに前後的なばらつきが存在するかが考えられる。これらのいずれかを特定するためには、ストロークごとのプロフィールの比較が必要となる。

(2) 相互相関法からみた筋活動パターン

2つの筋活動パターンを比較するために、両者の類似度と前後的なずれ、すなわち変位を同時に測定できる相互相関法を用いた。1度のガムチューイングで得た10個の筋活動パターン波形から2個ずつ抽出し、健常者と下顎前突症患者で比較すると、パターンの類似度を示す相関係数は、すべての筋において下顎前突症患者が低い値を示した。すなわち、下顎前突症患者は、個々の活動パターンに形態的なばらつきが存在することが判明した。このような咀嚼が不規則な理由として、下顎前突症患者のなかでも骨格性下顎前突症患者の場合、前歯部の接触がほとんどないことや、臼歯部においても接触点数や接触面積が少ないという報告⁴⁴⁾からも、健常者とは異なる咬合様式を有することが考えられる。また、北川ら⁴⁵⁾の咬筋の組織学的な研究から、下顎前突症患者は、咬合不全や悪習癖等の原因によって筋に病的な変化が生じ、筋線維組成が変化すると述べており、これらの変化が咀嚼運動様式に何らかの影響を与えていることも推察される。

活動パターンの前後的な変位は、作業側、非作業側共にすべての筋において、下顎前突症患者のほうが変位の度合いは有意に大きかった ($p < 0.01$)。また、側頭筋や咬筋において、作業側と非作業側の変位の度合いを比較すると、健常者では非作業側で変位が大きかったのに対し、下

顎前突症患者では作業側で変位が大きかった。通常、筋活動パターンの形態的なばらつきを観察するにあたり、パターンそのものに形態の差異がある場合と形態的な差異がないが2つの波形が前後的にずれているためにみかけ上パターンにばらつきが生じる場合が考えられる。本研究において、形態の類似度を示す相互相関関数は、健常者の場合、作業側では非作業側に比べて高く、前後的な変位は小さい傾向を示した。一般的に、筋活動パターンを観察する際に、前後的な変位が小さくなるほどパターンの相関係数は大きくなり、変位が大きくなるほど相関係数は小さくなる。しかし、下顎前突症患者の場合、相関係数は作業側で有意に高かったが、前後的な変位も作業側で有意に大きい傾向を示した(図7および図8)。つまり、下顎前突症患者では作業側と非作業側でパターンの形態的な差異の生じる要素に違いがあった。このことは、下顎前突症患者において、筋活動パターンのばらつきは、非作業側では、波形の前後的な変位よりもむしろパターンそのものの違いが影響している。ゆえに作業側では、パターンそのものの違いよりも波形の前後的な変位に寄与するところが大きいことが判明した。

(3) 相関係数と前後的な変位の相関

波形の類似度を表す相互相関関数と各ストロークにおけるパターンの前後的な変位は、側頭筋、咬筋および顎二腹筋で異なる様相を示した。側頭筋では作業側において、咬筋では非作業側において、健常者と下顎前突症患者のいずれにも負の相関関係を示した。顎二腹筋では、健常者の作業側と下顎前突症患者の非作業側において同様の相関関係が示された。側頭筋と咬筋は、隣接した筋で互いに協調活動を営むことから、顎二腹筋のような開口筋と違って、筋の活動パターンもほぼ同型を示す^{16,19,44)}。本研究で相互相関法のパラメータを用いることによって、肉眼ではみられなかった波形の類似度と前後的な変位における差異が認められた。

筋電位計測が時間的な精度に関しては、高精度の検査法とされているため、バーストのオンセット、オフセット、デュレーション、筋間のコーディネーションなどから咬筋と側頭筋に関する時間的な検索がなされている。筋活動の全過程の情報を比較したものは、下肢筋ではArsenault³³⁾やArsenault³⁴⁾がピアソンの相関係数を用いて検討している。咀嚼筋においては筋活動パターンを定量的に解析、処理した報告は少なく¹¹⁾、相互相関法は、下顎前突症患者の咀嚼筋筋活動パターンを検討する上で重要な情報となると考える。

V. 結 論

健常有歯顎者と骨格性下顎前突症患者におけるガムチューイング時の側頭筋前部、咬筋中央部および顎二腹筋

前腹の筋活動パターンを相互相関法を用いて比較したところ、以下の知見を得た。

1. 下顎前突症患者の筋活動パターンは、健常者とは異なっており、ピークの位置は低く、活動のデュレーションは長く、健常者のものより上部から圧平された形態を示した。
2. 相互相関法によって求めたストロークごとの筋活動パターンの形態の類似度は、すべての筋において、下顎前突症患者が健常者よりも有意に低い値を示した。
3. 相互相関法によって求めたストロークごとの筋活動パターンの前後的な変位は、側頭筋と咬筋において、下顎前突症患者が健常者よりも有意に大きかった。
4. 健常者の筋活動パターンは、作業側が非作業側よりもパターンの形態の類似度は高く、前後的な変位も小さかった。しかし、下顎前突症患者では、作業側が非作業側よりもパターンの形態の類似度は高かったが、前後的な変位は大きかった。
5. 筋活動パターンの類似度と前後的な変位との間に側頭筋では作業側で、咬筋では非作業側で健常者と下顎前突症患者のいずれにおいても有意な負の相関が認められた。また、顎二腹筋では、健常者の非作業側と下顎前突症患者の作業側において有意な負の相関が認められた。

稿を終えるにあたり、終始ご懇篤なるご指導とご校閲を賜った川添堯彬教授に深甚なる感謝の意を表します。

また、本研究に種々ご教示いただいた徳永 徹博士をはじめ、大阪歯科大学歯科補綴学第2講座柏木宏介大学院生および教職員各位、何れもご協力いただいた被験者および患者の皆様へ感謝いたします。

本研究の要旨は、第439回大阪歯科学会例会(1994年12月10日、大阪)において発表した。

文 献

- 1) Lund, J.P. and Dellow, P.G.: The influence of interactive stimuli on rhythmical masticatory movements in rabbits, *Arch Oral Biol*, 16: 215~223, 1971.
- 2) 阿部勝也: 顎関節よりの求心性神経情報に関する研究, *歯基礎誌*, 16: 117~128, 1974.
- 3) Thexton, A.J.: Oral reflexes and neural oscillators, *J Dent*, 2: 131~137, 1974.
- 4) Luschei, E.S. and Goodwin, G.M.: Patterns of mandibular movement and jaw muscle activity during mastication in the monkey, *J Neurophysiol*, 37: 954~966, 1974.
- 5) Lavigne, G., Kim, J.S., Valiquette, C. et al: Evidence that periodontal pressoreceptors provide positive feedback to jaw closing muscles during mastication, *J Neurophysiol*, 58: 342~358, 1987.
- 6) 菅原準二: 顎変形症の咀嚼能力と治療による変化—ATP吸光度法による評価—, *日顎変形誌*, 1: 153~156, 1991.

- 7) Moss, J.P. and Greenfield, B.E. : An electromyographic investigation and survey of Class III cases, *Dent Pract*, 16 : 349~358, 1966.
- 8) 小坂 肇 : 下顎前突症患者における手術前後の筋電図学的研究, *歯科学報*, 73 : 715~748, 1973.
- 9) Ingervall, B. and Thilander, B. : Relation between facial morphology and activity of the masticatory muscles, *J Oral Rehabil*, 1 : 131~147, 1974.
- 10) 梅澤富雄 : 咀嚼に関与する筋の筋電図学的研究—反対咬合治療前後の比較—, *日大歯学*, 50 : 676~697, 1976.
- 11) 吉村 弘 : 骨格性下顎前突症患者的咀嚼運動に関する筋電図学的研究, *歯科医学*, 45 : 337~356, 1982.
- 12) 宮内修平, 中南匡史, 西尾公一ほか : 臼歯部交叉咬合における咀嚼運動パターンに関する研究—前頭面における咀嚼運動パターンの分類について—, *補綴誌*, 33 : 938~951, 1989.
- 13) 中村康宏, 北川善政, 山田一郎ほか : 顎顔面変形症患者における咀嚼筋 EMG パワースペクトラム分析—特に筋疲労について—, *日顎変形誌*, 3 : 53~62, 1993.
- 14) 宮脇正一 : 形成手術を受けた片側性唇顎口蓋裂児の咀嚼機能について : 咬合状態と咀嚼機能との関連性に関する研究, *阪大歯学誌*, 39 : 96~122, 1994.
- 15) Hannam, A.G. and Wood, W.W. : Medial pterygoid muscle activity during the closing and compressive phases of human mastication, *Am J Phys Anthropol*, 55 : 359~367, 1981.
- 16) 柏木宏介, 徳永 徹, 蕭 美英ほか : ガムチューイング時における咀嚼筋 EMG プロフィールの観察, *補綴誌*, 37 : 1223~1231, 1993.
- 17) 徳永 徹, 柏木宏介, 長砂 孝ほか : 咀嚼運動時のヒト咬筋 EMG Profile, *脳波と筋電図*, 21 : 167, 1993.
- 18) Kashiwagi, K., Tokunaga, T., Nagasuna, T. et al : Influence of electrode location and interelectrode distance on masseteric EMG profile, *J Dent Res*, 73 : 902, 1994.
- 19) 蕭 美英, 徳永 徹 : 食品テクスチャーの違いが咀嚼筋活動パターンに与える影響, *補綴誌*, 37 : 1329~1343, 1993.
- 20) Bendat, J.S. and Piesol, A.G. : *RANDOM DATA : Analysis and Measurement Procedures*, 1~36, John Wiley & Sons, New York, 1971.
- 21) 柴田典典 : 各種顎変形症における咀嚼障害, *日顎変形誌*, 1 : 148~152, 1991.
- 22) 藤村哲也 : 顎運動と他現象との同時記録, 石岡 靖, 小林義典, 長谷川成男ほか編, *顎口腔機能分析の基礎とその応用*, 256~259, デンタルダイヤモンド社, 東京, 1991.
- 23) Ahlgren, J. : Mechanism of mastication, *Acta Odontol Scand*, 24 (Suppl. 44) : 1~109, 1966.
- 24) Pröschel, P. : An extensive classification of chewing patterns in the frontal plane, *J Craniomandib Pract*, 5 : 55~63, 1987.
- 25) 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.
- 26) 桑原俊也, 丸山剛郎 : 咀嚼運動, 石岡 靖, 小林義典, 長谷川成男ほか編, *顎口腔機能分析の基礎とその応用*, 66~77, デンタルダイヤモンド社, 東京, 1991.
- 27) Basmajian, J.V. and De Luca, C.J. : *Muscles Alive : Their functions revealed by electromyography*, 5th ed., Chapter 8, The Williams & Wilkins Co., Baltimore, 1985.
- 28) 木竜 徹 : 筋電図の測定, 石岡 靖, 小林義典, 長谷川成男ほか編, *顎口腔機能分析の基礎とその応用*, 260~273, デンタルダイヤモンド社, 東京, 1991.
- 29) Roy, S.H., De Luca, C.J. and Schneider, J. : Effects of electrode location on myoelectric conduction velocity and median frequency estimates, *J Appl Physiol*, 61 : 1510~1517, 1986.
- 30) Baba, S., Tokunaga, T., Tanaka, M. et al : Effects of electrode location on surface electromyogram in human masseter muscle, *J Dent Res*, 69 : 149, 1990.
- 31) 中村隆一, 長崎 浩 : リハビリテーションにおける運動学の研究の動向, *リハ医学*, 25 : 196~200, 1988.
- 32) Yang, J.F. and Winter D.A. : Electromyographic amplitude normalization methods : Improving their sensitivity as diagnostic tools in gait analysis, *Arch Phys Med Rehabil*, 65 : 517~521, 1984.
- 33) Arsenault, A.B., Winter, D.A. and Marteniuk, R.G. : Bilateralism of EMG profiles in human locomotion, *Am J Phys Med*, 65 : 1~16, 1986.
- 34) Arsenault, A.B. : Treadmill versus walk-way locomotion in humans : An EMG study, *Ergonomics*, 29 : 665~676, 1986.
- 35) Winter, D.A. and Yack, H.J. : EMG profiles during normal human walking : Stride-to-stride and inter-subject variability, *Electroencephalogr Clin Neurophysiol*, 67 : 402~411, 1987.
- 36) Naeije, M. and Zorn, H. : Estimation of the action potential conduction velocity in human skeletal muscle using the surface EMG cross-correlation technique, *Electromyogr Clin Neurophysiol*, 23 : 73~80, 1983.
- 37) Tokunaga, T., Kimura, K., Tanaka, M. et al : Measurement of muscle fiber conduction velocity in the human masseter muscle using the surface EMG cross-correlation technique, *Front Med Biol Eng*, 3 : 215~219, 1991.
- 38) 市原清志 : バイオサイエンスの統計学—正しく活用するための実践理論—, 203~259, 南江堂, 東京, 1990.
- 39) Shrout, P.E. and Fleiss, J.L. : Intraclass correlations : Uses in assessing rater reliability, *Psychol Bull*, 86 : 420~428, 1979.
- 40) 関 秀孝 : 顎関節症の補綴学的研究 第2報 顎関節症患者の筋電図学的研究, *口病誌*, 35 : 228~264, 1968.
- 41) Matthews, B. and Yemm, R. : A silent period in the masseter electromyogram following tooth contact in subjects wearing full dentures, *Arch Oral Biol*, 15 : 531~535, 1970.
- 42) 小川晴彦 : 実験的咬合干渉が咀嚼筋筋電図の時間的要素におよぼす影響, *歯科医学*, 39 : 421~440, 1976.
- 43) Skiba, T.J. and Laskin, D.M. : Masticatory muscle silent periods in patients with MPD syndrome before and after treatment, *J Dent Res*, 60 : 699~706, 1981.
- 44) 徳永 徹, 村田洋一, 田中昌博ほか : 顎変形症患者の筋活動パターンおよび咬合接触について, *日顎変形誌*, 3 : 219, 1993.
- 45) 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—, *日顎変形誌*, 1 : 72~79, 1991.