原 著 論 文

開口運動における外側翼突筋下頭・顎二腹筋 前腹の筋電図学的研究

高橋 一也

An Electromyographic Study of the Inferior Head of the Lateral Pterygoid Muscle and the Anterior Belly of the Digastric Muscle during Jaw-opening

Kazuya Takahashi

Abstract : This study investigated the functional roles of the inferior of the lateral pterygoid muscle (LPt) and the anterior belly of the digastric muscle (Da) during jaw-opening, in which EMG activity was simultaneously recorded at the condylar and incisor points. The LPt was found to slide the condyle along the articular tubercles and the Da was moved the incisor region downward-backward for condylar rotation. Therefore, rotation of the condyle and sliding of the mandible downward-forward apparently combined in a coordinated movement. Direct relationships were found between LPt activity and the distance of condylar movement, and between Da activity and the velocity of incisor movement during opening of the mandible. Therefore, the muscles primarily engaged in wide opening movement were mainly the LPt, and for rapid opening, mainly the Da.

Key words : electromyography, lateral pterygoid muscle, digastric muscle, jaw-opening

I. 緒 言

ヒトの開口運動は、古くには顎関節内の回転運動のみによって行われているという考えがあった。しかし、人体の解剖学的研究¹⁾や生理学的研究^{2~6)}から、開口運動は筋活動の協調作用によって、顎関節内で回転と滑走運動によることが明らかになってきた。

しかしながら、開口運動における主動筋については、研究者間で見解の一致がみられていない^{2,5,7,8)}。このことは、開口運動に関与する外側翼突筋下頭および顎二腹

筋前腹の筋電図学的研究^{2~23)}は多くみられるが、開口運動経路と両筋の筋電図を同時記録した研究^{9,10,17)}は少なく、さらに、下顎運動の測定点が切歯部のみであるため、開口運動経路を下顎の回転と滑走運動に分離して分析できなかったことなどが原因として考えられる。一方、下顎運動の研究^{24~30)}、なかでも回転と滑走運動を分離して詳細に分析している報告^{26~28)}は数多くみられるが、あくまで下顎運動のみの研究であり、その原動力である開口筋活動を同時記録した報告は少ない。

そこで本研究では、顎頭部と切歯部の2点を測定点とした下顎運動と、開口筋である外側翼突筋下頭および顎

図 1 計測システムのブロックダイアグラム

図 2 測定装置の全景

二腹筋前腹の筋活動とを同時記録し、両筋の筋活動が開口運動における回転および滑走運動に果たす役割を分析することを目的とした。

II. 研究方法

下顎運動記録装置および筋電図記録装置を用い、種々の開口運動における顎頭部および切歯部運動経路と外側翼突筋下頭および顎二腹筋前腹の筋活動を記録し、両者の関連から開口運動を分析した (図 1)。

1. 被験者

被験者は、個性正常咬合を有し顎口腔系に自覚的および他覚的に異常を認めず、習慣の開閉口運動に異常のない、25~28 歳までの男性 5 名とした。

2. 下顎運動の記録

1) 顎頭部矢状面運動の記録方法 (図 2)

顎頭部矢状面運動の記録は、近赤外線発光ダイオード (シャープ社製 LED GL 513F) からの信号を、400 mm はなして設置した半導体位置センサ²⁸⁻³⁰⁾ (浜松ホトニクス社製 PSD C-1454) により検出し計測した。被験者への取り付け装置は、LED を Co-Cr 一塊鋳造で作製した下顎シーネとアルミパイプで連結固着して顎頭部の外側に設置するように、半調節性咬合器 (HANAU-158) に装着した模型上で作製した。なお、顎頭部の計測点は、各被験者のセファログラムを用いて解剖学的顎頭中央点³⁰⁾を求め、同点の皮膚面から 5 mm 外方の点とした。

2) 切歯部矢状面運動の記録方法 (図 2)

切歯部矢状面運動は MKG K-6 システム (MYOTRONICS 社製) を用いて計測した。なお、MKG マグネットはシーネの下顎中切歯部にフランクフルト平面と可及的に直角になるように固定した。

3. 筋電図の記録

1) 被験筋と誘導方法

本実験の被験筋は、右側外側翼突筋下頭 (LPt) と右側顎二腹筋前腹 (Da) の 2 筋とした。両筋の筋電図誘導には、bipolar fine wire electrode³¹⁾ を用いた。なお、不感電極は耳朶に貼付した。

外側翼突筋下頭への電極刺入は、上顎第 2 大臼歯遠心部の歯肉頬移行部から上内方へ約 25 mm 挿入し、同筋の筋膜の貫通を確認後、さらに 5 mm 電極針を進め、筋腹中央部とした。また、顎二腹筋前腹では、まず、触診により顎二腹筋前腹の走行を皮膚上から推定し、皮膚上にその外形を印記したのち、電極をその外形上の舌骨側から頤側に向かって同筋の走行に沿って前内上方に刺入し、同筋の筋膜の貫通を確認後さらに 5 mm 電極針を進めた位置とした。

外側翼突筋下頭へ電極が適切に刺入できたか否かの確認は、被験者に開口運動、前方運動および対側側方運動を行わせたときに、運動初期から筋放電を認め^{9,14)}、移動量の増加に伴って大きな放電を認めることによって行った¹²⁾。また、顎二腹筋前腹では開口運動および後方引き付け運動を行わせたときに、運動初期から筋放電を認め、移動量の増加に伴って大きな放電を認める^{8,13,21,23)}ことによって行ったが、深層にある顎舌骨筋の活動電位を導出している可能性を排除するため、開口運動時よりも嚙下時に放電が顕著である場合は、刺入をやり直した^{11,23)}。

2) 増幅

導出された筋活動電位の増幅には、生体電気増幅ユニット (三栄測器社製ポリグラフ 360 1253 A) を用いた。なお、誘導時の時定数は、両筋とも 0.01 秒とした。

4. 実験方法

実験はすべてシールドルーム内で行い、被験者のフランクフルト平面が床面と平行で、かつ、正中矢状面がPSDの受光面と可及的に平行になるように頭部固定装置を用いて3方向から固定し(図2)、以下の実験を行った。

1) 実験 1

開口運動時の開口経路の変化に対する外側翼突筋下

図3 被験運動の矢状面運動経路

頭、および顎二腹筋前腹の筋活動の対応について検討した。すなわち、習慣的開口運動（H-path）、習慣的開口路よりも前方を通る開口運動（A-path）、および後方引き付けを伴った蝶番運動に近い開口運動（P-path）をランダムにそれぞれ5回くり返し行わせた(図3)。

2) 実験 2

開口運動時の開口量および開口速度の変化に対する外側翼突筋下頭、および顎二腹筋前腹の対応について検討した。すなわち、習慣的開口路上で切歯部での上下方向の移動量（開口量）が5 mm（D1）、15 mm（D2）、25 mm（D3）で、さらにそれぞれの開口量における移動速度（開口速度）をslow（S1）、moderate（S2）、fast（S3）の3段階に変化させ、ランダムにそれぞれ20ストロークくり返し行わせた。

なお、これらの開口量や開口速度については、各実験に先立ち、術者がオシロスコープ（SONY TEKTRONIX 社製 5111 A）で確認を行いながら、被験者に各実験の被験運動を十分に練習させることによって、実験中の開口量や開口速度の規定はモニターによらず被験者の任意とした。

以上のようにして得られた下顎運動の顎頭部と切歯部の上下・前後方向の波形と筋電図波形を、データレコーダ（TEAC 社製 XR-50）にテープ送り速度 9.8 cm/s で収録し、サーマルアイレコーダ（日本光電社製 RTA-1200）上に記録した。

図4 計測ポイント（実験1）

図 5 計測ポイント (実験 2)

5. 計測と分析方法

データレコーダに収録した下顎運動波形ならびに筋電図波形は、12 ビット A/D コンバータ (SDS 社製 μ DASBOX-12) にてデジタル変換を行い、パーソナルコンピュータ (日本電気社製 PC-9801 VX) に転送してフロッピーディスクに収録したのち以下の分析を行った (図 1)。サンプリング周波数は 1 kHz、サンプリング数は 1 ch につき 30,000 ポイントとして 6 ch 同時に変換した。

1) 実験 1

各開口運動経路における両筋の筋活動の対応を分析するために、図 4 に示す外側翼突筋下頭 (OL) および顎二腹筋前腹 (OD) の筋活動開始点および、顎頭部 (MC)、切歯部 (MI) の移動開始点を咬頭嵌合位を基準として判定したのち、それぞれの時間差を算出した。また、A-path については、切歯部の前方から後方運動の変曲点 (T1) と OL, OD との時間差も算出した。そして、それぞれの時間差を分析し、両筋が対応する移動開始点および変曲点について検討した。

2) 実験 2

開口運動時の開口量および開口速度の変化に対する両筋の筋活動の対応を分析するために、筋電図波形では図 5 の BL, BD で示す 1 ストロークの整流波形積分値を算出し、1 秒間当たりの値に換算して $\mu V \cdot s$ 単位で表し、

安定した中期 3 ストロークの平均値を算出して、開口運動時の各筋活動量の代表値とした。また、下顎運動波形では DCA, Dcv, DIA, DIV で示した各ストロークの顎頭部と切歯部の最大移動量と両者の平均速度をそれぞれ前後・上下の方向別に、安定した中期 3 ストロークの平均値を算出し代表値とした。

分析は、まずそれぞれの開口運動における顎頭部および切歯部の上下および前後方向の移動量および移動速度について検討を行い、さらに、両方向の値の 2 乗和の平方根の値と両筋の筋活動量の値との相関を求め、両筋が対応する顎頭部および切歯部運動について検討を行った。

III. 実験結果

1. 実験 1：開口経路の変化

1) 顎頭部移動開始点と切歯部移動開始点との時間差
顎頭部移動開始点と切歯部移動開始点との時間差を表 1 に示した。全被験者の各開口経路における時間差の平均値は、P-path, H-path, A-path の順に危険率 5% で有意に小さくなった (表 1)。

2) 筋活動開始点と移動開始点との時間差

全被験者の両筋の筋活動開始点と顎頭部および切歯部

移動開始点との時間差を各運動別に表 2~4 に示した。

(1) H-path

両筋の筋活動開始点は、顎頭部移動開始点に比べて、平均では外側翼突筋下頭は 0.25 秒、顎二腹筋前腹は 0.43 秒先行しているものの、有意な差は認められなかった。また、切歯部移動開始点に比べると、平均では外側翼突筋下頭は 0.89 秒、顎二腹筋前腹は 0.71 秒遅れているが有意な差は認められなかった (表 2)。

(2) A-path

両筋の筋活動開始点は、顎頭部移動開始点に比べて、平均では外側翼突筋下頭は 0.13 秒先行しているが、顎二腹筋前腹の筋活動開始点は 3.92 秒遅れていた。また、移動開始点との時間差は、筋間に危険率 0.1% で有意な差が認められた。切歯部移動開始点に比べると、平均では外側翼突筋下頭は 0.36 秒、顎二腹筋前腹は 4.41 秒遅れていた。また、移動開始点との時間差は、外側翼突筋下頭の方が顎二腹筋前腹に比べ、危険率 0.1% で有意に小さかった (表 3)。

両筋の筋活動開始点と切歯部の前方から後方運動の変曲点との時間差は、平均では外側翼突筋下頭が 4.19 秒、顎二腹筋前腹が 0.14 秒先行していた。また、変曲点との時間差は、顎二腹筋前腹の方が外側翼突筋下頭に比べ

危険率 0.1% で有意に小さかった。

さらに、筋活動開始点と切歯部移動開始点、および切歯部の前方から後方運動への変曲点との時間差については図 6 に示した。

(3) P-path

両筋の筋活動開始点は、顎頭部移動開始点に比べて、平均では外側翼突筋下頭は 0.08 秒、顎二腹筋前腹は 3.90 秒先行していた。また、移動開始点との時間差は、外側翼突筋下頭の方が顎二腹筋前腹に比べ危険率 1% で有意に小さかった。また、切歯部移動開始点に比べると、平均では外側翼突筋下頭の筋活動開始点は 2.44 秒遅れており、顎二腹筋前腹の筋活動開始点は 1.38 秒先行していた。また、移動開始点との時間差は筋間で危険率 0.1% で有意な差が認められた (表 4)。

3) 時間差の各開口経路間での比較

全被験者の両筋の筋活動開始点と顎頭部移動開始点および切歯部移動開始点との時間差を各開口経路間で比較して図 7 に示した。

外側翼突筋下頭の筋活動開始点は、すべての開口経路で顎頭部移動開始点よりも先行していた。その時間差は、0.25 秒以内と小さく開口経路間に有意な差は認められ

表 1 顎頭部移動開始点と切歯部移動開始点との時間差

Sub.	H-path	A-path	P-path
1	0.64	0.52	4.42
2	2.40	0.35	2.03
3	0.66	0.06	1.99
4	0.51	1.16	0.71
5	1.52	0.38	3.45
mean	1.15	0.49	2.52
s.d.	0.72	0.37	1.29

(s)

表 2 筋活動開始点と移動開始点との時間差

Sub.	[H-path]		Lpt		Da	
	Condyle	Incisor	Condyle	Incisor	Condyle	Incisor
1	-0.51	0.13	-0.68	-0.04		
2	-0.14	2.26	0.26	2.66		
3	-0.10	0.55	-0.38	0.28		
4	-0.36	0.15	0.50	1.01		
5	-0.14	1.38	-1.86	-0.34		
mean	-0.25	0.89	-0.43	0.71		
s.d.	0.16	0.82	0.83	1.07		

(s)

表 3 筋活動開始点と移動開始点との時間差

Sub.	[A-path]			LPT			A/P		Da			A/P	
	Condyle	Incisor	turning pt.	Condyle	Incisor	turning pt.	Condyle	Incisor	Condyle	Incisor	turning pt.	Condyle	Incisor
1	-0.49	0.02	-4.28	3.97	4.49	-0.19							
2	-0.04	0.31	-4.93	4.25	4.61	-0.64							
3	-0.02	0.03	-3.69	2.76	2.82	-0.92							
4	-0.16	1.00	-4.63	4.93	6.09	-0.47							
5	-0.07	0.45	-3.41	3.69	4.06	0.20							
mean	-0.13	0.36	-4.19	3.92	4.41	-0.14							
s.d.	0.20	0.36	0.58	0.71	1.05	0.54							

(s)

なかった。また、切歯部移動開始点に比べると、同筋の筋活動開始点はすべての開口経路で遅れており、その時間差は A-path, H-path, P-path の順に危険率 5% で有意に大きくなった。

顎二腹筋前腹の筋活動開始点は、顎頭部移動開始点よりも A-path においては遅れているものの、H-path, P-path では先行していた。移動開始点との時間差は各開口経路間に危険率 0.1% で有意な差が認められた。また、切歯部移動開始点に比べると、同筋の筋活動開始点は A-path, H-path では遅れているが P-path では先行していた。各開口経路間での移動開始点との時間差には危険率 0.1% で有意な差が認められた (図 7)。

2. 実験 2: 開口量および開口速度の変化

1) 被験者の開口量および開口速度

各被験運動において全被験者の開口量の実測値を表 5 に、また、開口速度を表 6 に示した。

S 1, S 2, S 3 の開口量の平均値は、5.7 mm (D 1), 15.5

mm (D 2), 23.7 mm (D 3) と実験条件に従って危険率 0.1% で有意に増加していた。また、すべての開口量において S 1, S 2, S 3 の開口量には有意な差は認められなかった (表 5)。

D 1, D 2, D 3 の開口速度の平均値は、13.1 mm/s (S 1), 27.1 mm/s (S 2), 50.5 mm/s (S 3) と実験条件に従って危険率 0.1% で有意に増加していた。しかし、す

表 4 筋活動開始点と移動開始点との時間差

[P-path]	LPt		Da	
	Sub.	Condyle	Incisor	Condyle
	1	-0.20	4.22	-5.49
	2	-0.15	2.18	-3.14
	3	-0.08	1.91	-3.86
	4	-0.29	0.42	-2.95
	5	0.00	3.45	-4.06
	mean	-0.08	2.44	-3.90
	s.d.	0.15	1.31	0.90

(s)

図 6 筋活動開始点と切歯部移動開始点および移動変曲点との時間差

図 7 筋活動開始点と顎頭部移動開始点および切歯部移動開始点との時間差

表 5 切歯部（上下方向）の開口量

Sub.	D 1			D 2			D 3		
	S 1	S 2	S 3	S 1	S 2	S 3	S 1	S 2	S 3
1	7.5	6.5	7.1	14.9	17.8	17.3	26.4	24.6	24.3
2	5.0	6.7	4.4	18.2	16.5	16.6	24.8	26.0	23.2
3	6.9	7.4	5.5	10.1	13.1	16.3	24.3	24.4	22.8
4	5.8	4.9	4.3	14.4	18.2	16.5	22.2	21.7	20.9
5	4.5	4.3	4.4	15.7	13.4	13.6	24.5	22.8	23.4
mean	5.9	6.0	5.1	14.7	15.8	16.0	24.4	23.9	22.9
s.d.	1.1	1.2	1.1	2.6	2.1	1.3	1.3	1.5	1.1
total mean	5.7			15.5			23.7		
s.d.	1.2			2.2			1.5		

(mm)

表 6 切歯部（上下方向）の開口速度

Sub.	S 1			S 2			S 3		
	D 1	D 2	D 3	D 1	D 2	D 3	D 1	D 2	D 3
1	10.4	14.9	18.6	13.6	20.6	33.7	21.2	44.6	47.5
2	5.6	15.9	26.7	13.9	24.3	30.3	18.3	32.8	52.2
3	5.9	7.7	9.1	26.2	44.9	48.8	40.1	92.0	104.7
4	8.3	8.0	11.2	15.0	14.4	15.9	29.4	49.4	46.0
5	9.3	21.9	23.2	18.3	36.0	50.2	30.1	65.2	84.7
mean	7.9	13.7	17.7	17.4	28.1	35.8	27.8	56.8	67.0
s.d.	2.1	6.0	7.5	5.3	12.3	14.2	8.5	22.9	26.3
total mean	13.5			27.1			50.5		
s.d.	6.5			12.6			24.9		

(mm/s)

図 8 開口量別を示す顎頭部の移動量

すべての開口速度において D 1 の開口速度が D 2, D 3 に比べて小さく, D 3—D 1 間に危険率 5% で有意な差が認められた (表 6).

そこで以下の結果では, 開口量増加に対する分析の際

には, D 1 のデータを除外して分析を行った。

2) 顎頭部および切歯部の移動量

全被験者の顎頭部および切歯部の移動量を各開口量ごとに前後・上下の方向別に図 8, 9 に示した。

図 9 開口量別に示す切歯部の移動量

図 10 外側翼突筋下頭の筋活動量と移動量との相関

図 11 顎二腹筋筋腹の筋活動量と移動量との相関

図 12 外側翼突筋下頭の筋活動量と移動速度との相関

図 13 顎二腹筋前腹の筋活動量と移動速度との相関

顎頭部前後方向の移動量 (Condyle A/P) は、開口量が大きくなるに従って危険率 0.1% で有意に前方への増加を示していた。各開口量においては開口速度の増加に従い前方への移動量は減少傾向を示していた。顎頭部上下方向の移動量 (Condyle Vert) においても、開口量が大きくなるに従って危険率 0.1% で有意に下方への増加を示していた。しかし、各開口量では開口速度の増加に従っての移動量の変化は認められなかった (図 8)。

切歯部前後方向の移動量 (Incisor A/P) は、開口量が大きくなるに従って危険率 0.1% で有意に後方への増加を示していた。また、各開口量においては開口速度の増加に従い後方への増加傾向を示していた (図 9)。

3) 筋活動量と移動量との相関

全被験者の各開口速度別にみた外側翼突筋下頭および顎二腹筋前腹の筋活動量と、顎頭部および切歯部の移動量との相関を図 10, 11 に示した。

外側翼突筋下頭の筋活動量は、顎頭部の移動量とは開口速度 S1, S3 において危険率 1% で、開口速度 S2 では危険率 5% で、有意な正の相関が認められた。しかし、切歯部の移動量とはいずれの開口速度とも相関は認められなかった (図 10)。

顎二腹筋前腹の筋活動量は、いずれの開口速度においても顎頭部および切歯部の移動量とは、有意な相関は認められなかった (図 11)。

4) 筋活動量と移動速度との相関

全被験者の各開口量別にみた外側翼突筋下頭および顎二腹筋前腹の筋活動量と、顎頭部および切歯部の移動速度との相関を図 12, 13 に示した。

外側翼突筋下頭の筋活動量は、顎頭部の移動速度とは開口量 D1, D2 において相関は認められなかったが、開口量 D3 では危険率 1% で有意な正の相関が認められた。しかし、切歯部の移動速度とはいずれの開口量とも

相関は認められなかった (図 12)。

顎二腹筋前腹の筋活動量は、顎頭部の移動速度とは開口量 D 1 において相関は認められなかったが、開口量 D 2, D 3 では危険率 1% で有意な正の相関が認められた。また、切歯部の移動速度とは開口量 D 1 では危険率 1% で、開口量 D 2, D 3 では危険率 0.1% で有意な正の相関が認められた (図 13)。

IV. 考 察

1. 研究方法について

1) 下顎運動記録

今までの開口運動時の筋電図学的研究は、切歯部を計測点とする下顎運動を同時記録しているのみで^{4,16,17,19,22)}、下顎運動を回転と滑走運動に分離して考察することができなかった。このため、開口筋の機能的役割については解剖学的な研究の報告に基づいた考察がほとんどであった¹⁻⁴⁾。したがって、開口運動時の回転、および滑走運動に対する外側翼突筋下頭および顎二腹筋前腹の機能についての詳細な分析はなされていない。

そこで、本研究では開口運動時の外側翼突筋下頭と顎二腹筋前腹の機能的な役割を明らかにするため、開口運動時の下顎運動を滑走と回転運動に分解して分析²⁶⁻²⁸⁾することができるように、顎頭部と切歯部の 2 点を下顎運動の計測点とした。

また、本研究で使用した顎頭部運動の記録装置には、近年開発されたシリコンフォトダイオードを応用した方法²⁸⁻³⁰⁾を用いたが、この方法は顎頭運動を経時的に筋電図と同時記録することが可能であること、また、被験者に設置する器具が軽小型であり比較的簡便に装着できて下顎運動の妨げにならないこと、さらに、装置の精度が高く周波数特性などが安定しており操作性に優れていることなどの利点があげられる。

つぎに、顎頭部における基準点については、従来から分析の目的に応じて平均的顎頭点²⁴⁾、蝶番軸点¹⁰⁾、全運動軸点²⁶⁾などが用いられてきた。しかし、外側翼突筋下頭の機能と顎頭運動との関連についての分析を目的とする本実験では、セファログラムを用いて導いた解剖学的顎頭中央点³⁰⁾を用いた。

2) 外側翼突筋下頭と顎二腹筋前腹の筋電図記録

外側翼突筋下頭の筋電図誘導には、従来から使用されている単極針電極^{2-4,16)}、単極ならびに双極同心型針電極^{9,12,22)}などがあるが、これらに比べて、Basmajian and Stecko³¹⁾によって開発された fine wire electrode^{14,15,17)}

は顎運動時に違和感が小さく、筋本来の生理的な機能運動が障害されることが少なく、また、針電極のように近接する筋の活動電位が外套から混入する可能性¹⁹⁾が少ないなどの利点がある。一方、顎二腹筋前腹の筋電図誘導には、銀板表面電極¹⁷⁾や fine wire electrode を皮内に刺入した電極¹⁸⁾などが用いられている。しかし、Carlsöö⁷⁾、Ahlgren¹³⁾、Widmalm ら²¹⁾の報告によると、表面電極のみでの顎二腹筋前腹の筋活動導出は、他の舌骨上筋群の筋活動との識別が困難であると指摘し、筋肉内に直接電極を刺入する fine wire electrode が適切であると述べている。

本実験の目的である外側翼突筋下頭と顎二腹筋前腹の機能的な役割の分析には、両筋間の同期性と時間的關係を調べる必要がある。そのためには、両筋に同一の筋電図誘導電極を使用することが妥当であり、また、Widmalm ら^{20,21)}は筋肉間の同期性と時間的關係の記録には、fine wire electrode が適していると報告していることなどから、本実験における筋電図導出電極は fine wire electrode を用いた。この fine wire electrode は、前述した機能時の違和感が少ないという利点を持つ反面、電極先端が筋の収縮によって移動する可能性があるために電極間距離が一定せずアーチファクトが発生しやすいこと¹⁹⁾、ワイヤー先端がフック状で筋中にあるため電極除去時の生体への侵襲の可能性¹⁵⁾などの欠点も報告されている。しかし、本実験の被験運動は開口量が最大 25 mm 程度で、実験の所要時間が 30 分以内であったことから、実験中筋電図に大きなアーチファクトは認められず、実験後被験者に同筋部の違和感を訴えたものは少なく、また、違和感があっても翌日には消失していた。

つぎに、fine wire electrode を用いた両筋への刺入方法であるが、外側翼突筋下頭には、上顎第 2 大臼歯遠心部の歯肉頬移行部から刺入する口内法と、頬弓直下の皮膚面から刺入する口外法とが報告されており、口外法が口内法より有用であるという報告¹⁵⁾や、限界運動を行うときは口内法が、咀嚼運動などの小さな顎運動時には口外法が優れているという報告⁹⁾がある。しかし、一般的に口内法で刺入を行う方が被験者の違和感は少なく、特に、下頭の誘導では他の筋を穿通することなく筋活動を記録できる^{14,15)}ため、本研究においては口内法を選択した。刺入距離は、刺入点から内側翼突筋の被覆のない部位までの距離の解剖学的報告³²⁾を参考にして約 25 mm とした。顎二腹筋前腹への電極刺入の報告は、顎下部の皮膚面から刺入する方法^{7,8,13,21,23)}がほとんどであり、Widmalm ら²¹⁾は下顎下縁から 1 cm 正中寄りで頤部

から 4~5 cm 後方の大白歯部に相当する部位を刺入点とし、その点から同筋の中央部を目指し 2.5 cm の深さまで刺入している。三村²³⁾は顎二腹筋前腹が舌骨に近く、従い左右の筋束が分かれていくこと、皮膚面からの顎二腹筋前腹までの距離が下顎骨付近が最も短いことの 2 点から、刺入の確実性の高い部位として二腹筋窩近傍を刺入点にしている。本研究では、右側顎二腹筋前腹を誘導するため、左右側の筋腹の誘導の誤りをなくすこと、外側翼突筋下頭と同様の筋腹中央部を電極位置とすることの 2 点から、触診によって得られた外形に沿って頰部から 4~5 cm 後方の点を刺入点とし、前下内方に筋膜を貫通するまで約 25 mm 刺入し、貫通後さらに 5 mm 進めた。この方法によって被験者への侵襲も少なく、両筋の正確な筋電図が記録されたと考える。

2. 実験結果について

1) 実験 1：開口経路の変化

(1) 各種開口運動時の顎頭の回転と移動について

河野²⁶⁾は下顎運動の研究から全運動軸を導き、これに基づく下顎の回転量と移動量の関係についての検索から、切歯部の同一移動量で比べると開口運動経路が前方限界運動路から後方限界運動路に近づくに従って回転量は大きくなると述べている。

本実験で行った 3 種類の開口運動は、A-path, H-path, P-path の順に開口経路が前方から後方限界運動路方向に近づいていること、各開口経路の顎頭部と切歯部の移動開始点の時間差は P-path, H-path, A-path の順に有意に小さくなっていることから、下顎の回転量は P-path, H-path, A-path の順に小さくなっていると考えられる。すなわち、開口初期において A-path の顎頭運動は移動要素が回転要素に比べて大きく、P-path の顎頭運動は回転要素が移動要素に比べて大きく、H-path はこれらの中間的な存在であると考えられる。

(2) 筋活動開始点について

開口運動時の外側翼突筋下頭と顎二腹筋前腹の筋活動開始点に関しては、外側翼突筋下頭が顎二腹筋前腹に対して先行するという報告^{3,5)}、顎二腹筋前腹が先行するという報告⁸⁾、特定の順序を認めないという報告⁴⁾ などがあり意見の一致をみていない。

本実験では、H-path すなわち習慣的な開口経路では顎二腹筋前腹と外側翼突筋下頭の筋活動開始点との間に有意な差は認められないものの、A-path では平均で 0.45 秒外側翼突筋下頭が、また、P-path では平均で 3.82 秒顎二腹筋前腹が有意に先行していた。A-path に

おいて外側翼突筋下頭が先行していたのは運動初期では顎頭の移動要素が大きく、また、P-path において顎二腹筋前腹が先行していたのは、顎頭の回転要素が大きいためと考えられる。

つぎに、外側翼突筋下頭の筋活動開始点は、すべての開口経路で顎頭部移動開始点より先行したが、その時間差は 0.15 秒以内と小さく 3 種類の開口経路間に有意な差は認められなかった。一方、切歯部の移動開始点に対しては A-path, H-path, P-path の順に遅れが有意に大きくなっていった。このことから、外側翼突筋下頭の筋活動開始点は開口経路の種類には関係なく、顎頭の回転要素が大ききときには筋活動は著明ではなく、顎頭の移動要素が大きくなるに従って筋活動が顕著に認められ、顎頭の移動要素との密接な関係が認められた。これは神山⁹⁾、Woelfel ら¹⁰⁾の蝶番運動の際に外側翼突筋下頭からほとんど放電が認められなかったという報告と一致する。

顎二腹筋前腹の筋活動開始点は、切歯部移動開始点に比べると P-path では先行し、逆に H-path, A-path では遅れが有意に大きくなった。これは、本運動の初期に下顎の後方引き付けを常に必要とするための筋活動開始と考えられる^{8,21)}。また、H-path の方が A-path に比べて早期に筋活動が開始することは、H-path の方が早期に回転要素が大きくなる²⁶⁾ためと考えられる。さらに、A-path では筋活動開始点と切歯部の前方から後方運動への変曲点とが近接していることから、顎二腹筋前腹の筋活動の出現は、切歯部の後方への運動要素と関連している^{8,21)}ことが明らかになった。

2) 実験 2：開口量・開口速度の変化

(1) 開口量・開口速度が開口運動経路に与える影響について

福島²⁷⁾は習慣的開閉運動の経路は開口量の影響を受け、開閉経路とも開口量が多い方が小さいときよりも前方の経路をとる傾向があり、顎頭の移動量と回転の関係については開口量が小さい方が顎頭の同一移動量に対し回転量が大きいと報告している。また、東³³⁾はガム咀嚼において開口速度の増加に伴い、咀嚼経路の最下方の位置が後下方へ移動すると報告している。

本実験でも開口量が多いほど切歯部の運動経路はより前方を通るが、このことは大きい開口では顎頭の回転要素よりも移動要素が大きく、顎頭より早期に前方に出るためと推察する。また、開口速度が速いほど切歯部の経路は後方を通り、顎頭の前方向への移動量が減少し、切歯部の後方への移動量が増加を示していた。このことは、開口速度の増加には生理的に下顎を後方へ引き付け、顎

頭の移動要素よりも回転要素を必要とし、同時に下顎の安定をはかった現象と考える。

(2) 筋活動量について

外側翼突筋下頭は開口運動時に著明に活動するという報告^{2-4, 9, 14-17, 19, 20)}は数多くあり、研究者間で意見の一致をみているところであるが、開口量の変化に対する本筋の筋活動量についての報告はみあたらない。

本実験では、外側翼突筋下頭の筋活動量は開口量の変化(切歯部の移動量)とは有意な相関は認められないが、顎頭部の移動量とは有意な正の相関が認められた。このことは、外側翼突筋下頭の筋活動量が顎頭の移動に密接に関連していることを表している。そして大きな開口の場合、顎頭の回転よりは滑走が主体となり、外側翼突筋下頭が主動的に働き、顎頭をより前方へ移動させることによって大きい開口運動を達成すると考える。

顎二腹筋前腹も外側翼突筋下頭と同様に、開口運動時に著明に活動することは研究者間で一致した見解である^{7, 8, 13, 17, 21, 23)}。しかし、開口量の変化に対応する本筋の活動についての報告はみあたらず、その対応は不明である。本研究では、顎二腹筋前腹の筋活動量は顎頭部および切歯部の移動量とは、ともに有意な相関は認められなかったが、開口速度の変化に対しては有意な正の相関が認められた。このことは、速い開口時に顎二腹筋前腹の筋活動が増加したという Munro⁸⁾ の報告に一致している。また、咀嚼リズムを速くすると筋放電時間は短くなるが、単位時間当たりの顎二腹筋前腹の筋活動量が増加するという報告³⁴⁾や、開口速度の増加と咀嚼側の顎二腹筋前腹の筋活動の最大振幅値の増加との間に関連性がみられたとする報告³³⁾は、本実験結果の顎二腹筋前腹の筋活動量と開口速度との強い関連を裏づけるものである。速い開口の場合、顎二腹筋前腹が主動的に働き切歯部をより後方へ引くことによって顎頭の滑走を回避し、回転を主体とした下顎運動様式をとると考えられる。

3. 開口運動における主動筋について

開口運動の主動筋に関する見解は、従来から数多くあり統一されていないが、外側翼突筋下頭と顎二腹筋前腹の協調的な作用であるという考えが最も一般的である。さらに、協調的作用という報告の中でもどちらが主動筋であるかという見解については、Carlsöö⁷⁾、Munro⁸⁾ は顎二腹筋前腹が主動的に働くと述べており、一方、Moyers²⁾ は外側翼突筋下頭が開口初期から主動的に関与し、顎二腹筋前腹は開口後期から活動を始めると報告している。また、河村⁵⁾ は咀嚼運動時に行う軽い開口運

動は主として外側翼突筋下頭の働きと閉口筋の活動が反射的に抑制されることによって遂行され、顎二腹筋前腹など舌骨上筋群はそれほど強力に収縮せず、ある程度以上の開口とその状態を維持するのに働くと報告している。

本研究結果から考察すると、このような見解の相違は開口運動を一律に同一視し、その量や速度を無視することによるものと考えられる。たとえば、主動筋を判定する1つの基準に筋活動開始順序があるが、これは開口経路に大きく影響され、もう1つの基準と考えられる筋活動量は、開口量およびその速度に影響を受けることは前述したとおりである。

開口運動の主動筋がどちらであるかを判定することは必ずしも妥当ではなく、開口運動の様相に適応して両筋がそれぞれ主動筋になったり、補助的な筋になったり、そのつど協調的に変化するとの考え方が、より生理的な正しい見方であろう。

V. 総括と結論

実験的に開口運動時の経路、開口量および開口速度を変化させて外側翼突筋下頭および顎二腹筋前腹の筋活動を分析し、開口運動における両筋の機能的役割について検討した結果をまとめると、

1. 習慣的な開口路(H-path)では、外側翼突筋下頭と顎二腹筋前腹の筋活動開始順序には一定の傾向は認められなかった。
2. 習慣的な開口路より前方を通る開口運動(A-path)では、筋活動の開始は外側翼突筋下頭が顎二腹筋前腹よりも早期に認められた。
3. 習慣的な開口路より後方を通る開口運動(P-path)では、筋活動の開始は顎二腹筋前腹が外側翼突筋下頭よりも早期に認められた。
4. 外側翼突筋下頭の筋活動開始点は、すべての開口経路で顎頭部移動開始点よりも先行していたが、その時間差は0.25秒以内と小さかった。また、切歯部移動開始点よりもA-path, H-path, P-pathの順に遅れが大きかった。
5. 顎二腹筋前腹の筋活動開始点はA-pathでは、顎頭部移動開始点よりも遅れ、H-path, P-pathでは先行していた。また、切歯部移動開始点よりもA-path, H-pathでは遅れ、P-pathでは先行していた。
6. 切歯部の開口経路は開口量の増加に伴って前方を通る傾向にあり、一方、開口速度の増加に対しては後方

を通る傾向を示した。

7. 同一開口量における開口速度の増加に対し、顎頭部の前方への移動量は減少傾向を示し、切歯部の後方への移動量は増加傾向を示した。

8. 外側翼突筋下頭の筋活動量は、顎頭部の移動量と正の相関が認められたが、切歯部の移動量とは相関は認められなかった。また、移動速度とは開口量が 25 mm (D 3) の場合のみで正の相関が認められたが、他では認められなかった。

9. 顎二腹筋前腹の筋活動量は、顎頭部および切歯部の移動量ともに相関は認められなかった。また、移動速度とは開口量が 5 mm (D 1) の場合のみで相関は認められなかったが、他ではすべて正の相関が認められた。

以上のことから、開口運動時の両筋の機能的な役割は、外側翼突筋下頭については顎頭を前下方に動かすこと、すなわち、顎頭移動による開口量のコントロールであり、また、顎二腹筋前腹については切歯部を後下方に引き、下顎の回転運動を発現すると同時に、開口速度のコントロールであることが明らかになった。

稿を終えるにあたり、ご懇篤なるご指導を賜った故西浦 恂教授に深甚なる感謝の意を表します。

また、終始ご助言とご校閲をいただいた権田悦通助教授に厚くお礼申し上げます。最後に歯科補綴学第 1 講座教室員各位ならびに被験者諸氏に謹んでお礼申し上げます。

本論文の要旨は、第 82 回日本補綴歯科学会学術大会 (1989 年 10 月 22 日 神奈川) ならびに第 386 回大阪歯科学会例会 (1989 年 11 月 11 日 大阪) において発表した。

文 献

- 1) Sicher, H. : Oral Anatomy 2nd ed., 157~177, C.V. Mosby Co., St. Louis, 1952.
- 2) Moyers, R.E. : An electromyographic analysis of certain muscles involved in temporomandibular movement, Am J Orthod, 36 : 481~515, 1950.
- 3) Hickey, J.C., Stacy, R.W. and Rinear, L.L. : Electromyographic studies of mandibular muscles in basic jaw movements, J Prosthet Dent, 7 : 565~570, 1957.
- 4) Woelfel, J.B., Hickey, J.C. and Stacy, R.W. et al : Electromyographic analysis of jaw movements, J Prosthet Dent, 10 : 688~697, 1960.
- 5) 河村洋二郎 : 口腔生理学 3 版, 158~232, 永末書店, 京都, 1972.
- 6) 藍 稔 : 顎機能異常・咬合からのアプローチ, 164~200, 医歯薬出版, 東京, 1983.
- 7) Carlsöö, S. : An electromyographic study of the activity of certain suprahyoid muscles (mainly the anterior belly of digastric muscle) and of the reciprocal innervation of the elevator and depressor musculature of the mandible, Acta anat, 26 : 81~93, 1956.
- 8) Munro, R.R. : Coordination of activity of the two bellies of the digastric muscle in basic jaw movements, J Dent Res, 51 : 1663~1667, 1972.
- 9) 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.
- 10) Woelfel, J.B., Hickey, J.C. and Rinear, L.L. : Electromyographic evidence supporting the mandibular hinge axis theory, J Prosthet Dent, 7 : 361~367, 1957.
- 11) Lehr, R.P., Blanton, P.L. and Biggs, N.L. : An electromyographic study of the mylohyoid muscle, Anat Rec, 169 : 651~659, 1971.
- 12) Molin, C. : An electromyographic study of the function of the lateral pterygoid muscle, Swed Dent J, 66 : 203~208, 1973.
- 13) Ahlgren, J. : Relationship between integrated EMG and tension in opening of the mandible, Perryman, J.H., Oral Physiology and Occlusion, 41~54, Pergamon Press, New York, 1978.
- 14) Juniper, R.P. : The superior pterygoid muscle ?, Br J Oral Surg, 19 : 121~128, 1981.
- 15) Juniper, R.P. : Electromyography of the two heads of external pterygoid muscle via the intra-oral route, Electromyogr Clin Neurophysiol, 23 : 21~33, 1983.
- 16) 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.
- 17) 足立 敏 : 開口筋の機能と顔面頭蓋の形態との相互関係, 阪大歯学誌, 29 : 101~128, 1984.
- 18) 藤井哲則, 佐藤博信, 中村 司ほか : ヒト能動的開口力に関する研究, 補綴誌, 29 : 235~240, 1985.
- 19) 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.
- 20) 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.
- 21) Wildmalm, 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.
- 22) 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.
- 23) 三村 博 : ヒト顎二腹筋前腹運動単位の生理学的特性, 口

- 病誌, 56 : 75~92, 1989.
- 24) Beck, H.O. : A clinical evaluation of the arcon concept of articulation, J Prosthet Dent, 9 : 409~421, 1959.
- 25) 藍 稔 : 切歯点部における咀嚼運動の解析, 補綴誌, 6 : 164~200, 1962.
- 26) 河野正司 : 下顎の矢状面内運動に対応する顎頭運動の研究 第2報 マルチフラッシュ装置による矢状面運動軸の解析, 補綴誌, 12 : 350~380, 1968.
- 27) 福島俊士 : 習慣的開閉運動における顎頭運動の研究, 補綴誌, 15 : 267~290, 1971.
- 28) 塩澤恭郎, 林 豊彦, 野村修一ほか : 下顎任意点の運動解析 第1報 測定システム, 補綴誌, 25 : 499~507, 1981.
- 29) 中村修一 : 半導体光位置検出器 (PSD) を応用した下顎運動記録装置に関する研究, 九州歯会誌, 35 : 343~358, 1981.
- 30) 加藤一誠 : 切歯路傾斜度の顎頭運動に与える影響 第1報 矢状切歯路傾斜度, 補綴誌, 30 : 108~127, 1986.
- 31) Basmajian, J.V. and Stecko, G. : A new bipolar for electromyography, J Appl Physiol, 17 : 849, 1962.
- 32) 藍 稔, 中村和夫, 松浦基一ほか : 外側翼突筋下頭起始部の位置に関する解剖学的検討, 補綴誌, 25 : 288~294, 1981.
- 33) 東 和生 : 咀嚼運動と咀嚼筋活動の関連性に関する臨床的研究, 阪大歯学誌, 34 : 26~63, 1989.
- 34) 中村隆志 : 咀嚼調節運動機構の生理的特性に関する研究, 阪大歯学誌, 32 : 36~55, 1987.