原著論文

開・閉口筋筋電図による嚥下動作の評価法

虫本 栄子 田中 久敏 古山 智成

Electromyographic Study of Swallowing by Evaluating the Jaw Opening and Closing Muscles

Eiko Mushimoto, Hisatoshi Tanaka and Tomonari Furuyama

Abstract: To evaluate mastication, it is important to analyze the whole process from ingestion of foods to swallowing. However, correlation of masticatory sequence with swallowing or tongue movement is not clearly understood yet. The purpose of this study was to identify whether the timing of electromyographic (EMG) activity of jaw opening and closing muscles is differentiated between chewing and swallowing motions.

Five healthy young dentate subjects were asked to randomly chew the test foods (pudding, raisin, and mixed) until swallowing. The surface EMGs of the bilateral posterior temporal, masseter, myohyoid, and anterior belly of digastric muscles were recorded simultaneously with mandibular movements using Mandibular Kinesiograph (Myo-Tronics). An accelerometer was applied to the larynx for extracting the swallowing cycles. Time differences of burst onset (TDBO) among workingside jaw opening and closing muscles were observed until swallowing.

TDBOs among four muscles increased during the raisin chewing sequence, and decreased during pudding chewing. The results suggested that TDBO increases during crushing and/or chewing motions, and decreases during swallowing motion.

In conclusion, evaluating time differences of EMG burst onset among the jaw opening and closing muscles might be useful for evaluating swallowing behavior.

Key words: swallowing, electromyogram, tongue movement

I. 緒 言

咀嚼機能の評価には、従来より、摂取可能食品アンケート¹⁾や満足度評定²⁾などの主観的方法のほか、最終嚥下までの咀嚼回数(嚥下閾)³⁾、篩分法⁴⁾、下顎運動経路⁵⁾や筋電図法によるリズム性⁶⁾、時間的・空間的筋活動協調パターン⁷⁾などが客観的であるとして一般に用いられてきた。

しかし本来、咀嚼とは、食物を口腔内に摂取することにはじまり、舌による食塊の押しつぶしや歯による粉碎、そして食塊の形成と移送、それに続く嚥下で終了する一連の運動と定義⁸⁾されている。また、X線の観察から咀嚼運動の途中にも嚥下動作が頻回に生じている⁹⁾との報告もある。これらを考慮すると、前述の評価法は、食物粉碎の能率や効率、あるいは反復動作としてのリズム性、筋出力や協調パターンを評価するにとどまり、舌運動との協調が不可欠の嚥下運動や舌運動との関連にまで言及した報告は少ない。

一方、嚥下運動や舌運動の観察に、近年、video fluorography¹⁰⁾や超音波診断装置¹¹⁾を用いた研究も行われているが、被爆や高価な装置を必要とすることなどの問題があ

岩手医科大学歯学部歯科補綴学第一講座(主任:田中久敏教授)
Department of Removable Prosthodontics, School of Dentistry,
Iwate Medical University (Chief: Prof. Hisatoshi Tanaka)
平成11年12月1日受付

り、日常臨床において簡便かつ非侵襲的に嚥下動作を加味して咀嚼運動を評価する方法は未だ確立されていない。

そこで本研究では、嚥下動作の筋電図学的評価を目的に、食品咀嚼時の開口筋および閉口筋活動の時間的協調パターンから嚥下動作と咀嚼動作の判別が可能かどうかを検討した。

II. 研究方法

1. 被検者および被検食品

被検者は顎口腔系に異常を認めない男性5名（平均年齢 25.8 ± 1.2 歳）である。

被検食品は、ペースト状食品として5、10 gのプリン（以下P5、P10）、軟性線維性食品として2、4 gのレーズン（以下R2、R4）、また両者の混合食品（以下P5+R2、P5+R4、P10+R2、P10+R4）の合計8条件を選択した。

2. データの記録

被検食品をランダムな順序で嚥下に至るまで習慣側で咀嚼させたときの、咬筋（Mm）、側頭筋後部（Tp）、顎舌骨筋（My）、顎二腹筋前腹（Da）の表面筋電図（日本GEマーケットメディカルシステム社、ポリグラフ361システム）と、下顎切歯点部の運動経路（Myo-Tronics社、Mandibular Kinesiograph K6-I）をデータレコーダー（TEAC社製、SR-71）に同時記録した。

また、嚥下動作が行われたサイクルの確認と抽出を目的に、加速度ピックアップ（リオン社製、PV-90 B）を喉頭部甲状軟骨前方の陥凹部皮膚上に矯正用バンドおよびサージカルテープにて固定¹²⁾し（図1）、甲状軟骨の上下運動による衝撃波形を筋電図および下顎運動経路とともに記録した。

3. データの再生、計測および分析

1) 開・閉口筋の同期性による評価

筋電図原波形は下顎運動曲線、衝撃波形とともにサーマルアレイレコーダーにて感熱記録紙（日本光電社製、RTA-1300）上に掃引速度100 mm/secで再生し、最終嚥下までの全サイクルを分析対象とした。

各サイクルごとに垂直的下顎運動経路の開口開始点から、咀嚼側における開・閉口4筋の筋活動開始までの時間（ $\Delta t_1 \sim \Delta t_4$ ）を計測（図2）し、その平均値と標準偏差（Standard Deviation, SD）を各サイクルごとに求め、本研究ではこの標準偏差を ΔtSD と呼ぶことにし、開・閉口4筋の同期性を表すパラメータとした。開口筋と閉口筋が相反性に活動すると ΔtSD の値は大きくなり（図2-a）、逆に、開・閉口筋の同期性が増せば ΔtSD は小さくなる（図2-b）。すなわち、 ΔtSD の分布型には開・閉口

図1 Positioning of an accelerometer
加速度ピックアップの設置部位

図2 Time coordination pattern of jaw opening and closing muscles
開・閉口筋の時間的協調パターン

4筋活動の特徴が表されることから、全サイクルの ΔtSD を集計し、累積度数分布を作成した（図3）。この累積度数分布パターンから、嚥下パターン（左シフト）と咀嚼パターン（右シフト）の判別を試みた。

2) 咀嚼回数、嚥下発現頻度、 ΔtSD 度数分布中央値の評価

咀嚼回数は下顎運動曲線より最終嚥下が行われるまでのサイクル数を、嚥下回数は喉頭部に設置した加速度ピックアップから得られた衝撃波形の数を計測し、また、嚥下発現頻度（%）は咀嚼回数に占める嚥下回数を算出した。全被検者における8被検食品の咀嚼回数、嚥下発現頻度、 ΔtSD の度数分布中央値についてそれぞれ相互に相関関係を求めた。

3) 筋電図による嚥下動作判定の正解率

全被検者、全被検食品における、咀嚼開始から最終嚥下まですべてのサイクルについて、加速度ピックアップの衝撃波形の出現から咀嚼と嚥下を識別した。この咀嚼動作および嚥下動作と判定したサイクルの ΔtSD 平均値および

図 3 Schema of cumulative frequency distribution
累積度数分布模式図

標準偏差をそれぞれ求め、咀嚼動作については小さいほうの 1 標準偏差 (臨界値 A) 以下を、嚥下動作については大きいほうの 1 標準偏差 (臨界値 B) 以下を、筋電図学的嚥下動作と定義し、この臨界値で咀嚼と嚥下を弁別した。そして、加速度ピックアップにより判別した咀嚼と嚥下とともに、クロス集計して筋電図学的に判定した嚥下動作の一致度、すなわち正解率を求めた。

さらに臨界値 A, B それぞれにおける、真陽性率 (嚥下を嚥下と判定した割合) および偽陽性率 (咀嚼を嚥下と判定した割合) から ROC 曲線 (receiver operating characteristic curve) を求め、最適な臨界値と、その正解率を求めた。

4. 統計処理

累積度数分布は Kolmogorov-Smirnov 検定を用いて統計解析した。また、咀嚼回数、嚥下発現頻度、度数分布中央値の相関関係は、Spearman の順位相関にて検定した。

III. 研究結果

1. 開・閉口筋の同期性による評価

表 1 に各被検食品の ΔtSD 度数分布中央値を示す。プリンでは、5g で 38.5 msec, 10g で 54.0 msec と小さく、レーズンでは 2g で 95.2 msec, 4g で 110.3 msec と大きかった。

食品性状の異なるプリン、レーズン、およびそれらの混合食品について累積度数分布を比較した (図 4, 5)。プリンでは量の異なる 5g と 10g の累積度数分布に有意差を認めなかった。一方、レーズンの 2g と 4g では、それぞれの中央値 (95.2, 110.3 msec) の順に累積度数分布は

表 1 Mean value of median of the ΔtSD for each test food
各被検食品における ΔtSD 度数分布中央値の平均

被検食品	度数分布中央値 (msec)
P 5	52.3±26.7
P 5+R 2	84.7±17.4
P 5+R 4	85.5±13.7
P 10	50.7±31.2
P 10+R 2	84.7±12.7
P 10+R 4	85.8±13.3
R 2	87.2±17.3
R 4	112.3±16.3

有意に左シフトした (図 5-a, b)。

また、性状の異なる食品間において、P 5, P 5+R 4, R 4 の比較では、それぞれの中央値 (38.5, 86.0, 110.3 msec) の順に累積度数分布は左ヘシフトし、3 食品間に有意差を認めた (図 5-a)。また、この傾向は、中央値が 54.0 msec の P 10, 94.2 msec の P 10+R 4, および R 4 の比較でも同様で、食品が軟らかいほど累積度数分布は左ヘシフトした (図 5-b)。

2. 咀嚼回数、嚥下発現頻度、 ΔtSD 度数分布中央値の相関関係

各被検食品における咀嚼回数、嚥下回数、嚥下発現頻度の各平均値を表 2 に示した。咀嚼回数と嚥下発現頻度および嚥下発現頻度と度数分布中央値はそれぞれ相関係数 -0.683 , -0.412 にて有意 ($p < 0.05$) な負の相関関係を、また、咀嚼回数と度数分布中央値は相関係数 0.651 にて有意 ($p < 0.05$) な正の相関関係を示した (図 6~8)。

なお、咀嚼回数は R 4 咀嚼時が最も多く、最大で 49 回の被検者がいた一方で、P 5 の平均咀嚼回数は最も少な

図 4 Comparison of cumulative frequency distributions in different test food volumes
食品量の違いによる累積度数分布の比較

図 5 Comparison of cumulative frequency distributions in different test foods
食品性状の違いによる累積度数分布の比較

表 2 Mean values of chewing, swallowing, and swallowing/
chewing ratio for each test food

各被検食品における咀嚼回数, 嚥下回数, 嚥下発現頻度の平均値

被検食品	咀嚼回数 (回)	嚥下回数 (回)	嚥下発現頻度 (%)
P5	4.4 ± 2.1	1.4 ± 0.5	31.8 ± 0.23
P5+R2	26.2 ± 2.6	3.2 ± 0.4	12.2 ± 0.03
P5+R4	39.6 ± 11.9	4.0 ± 1.0	10.1 ± 0.04
P10	8.4 ± 3.4	1.8 ± 0.8	21.4 ± 0.24
P10+R2	37.2 ± 11.4	4.8 ± 0.8	12.9 ± 0.02
P10+R4	42.2 ± 7.1	4.4 ± 0.9	10.4 ± 0.03
R2	32.4 ± 10.7	3.0 ± 1.2	9.3 ± 0.03
R4	43.0 ± 5.4	3.6 ± 0.9	8.4 ± 0.01

く, 最小値は2回, 最大値は7回であった。嚥下回数は P10+R2 で最も多く, 最大で6回の被検者がいた。

3. 筋電図による嚥下動作判定の正解率

加速度ピックアップにより判別した咀嚼動作と嚥下動作それぞれの ΔtSD 平均値は, 咀嚼時に 106.2 ± 45.4 msec, 嚥下時に 30.8 ± 9.7 msec であった。咀嚼運動時の1標準偏差の範囲が $60.8 \sim 151.6$ msec, 嚥下運動時の1標準偏差の範囲が $40.6 \sim 21.1$ msec であることから, 筋電図学的に嚥下動作と判定するカットオフ値は ΔtSD が, 60.7 msec 以下 (カットオフ値 A) および 40.6 msec 以下 (カットオフ値 B) とした。カットオフ値 A および B での判定結果をそれぞれ表3, 4に示す。両者の判定結果から ROC 曲線を作成し (図9), 最適なカットオフ値を求めたところ, ΔtSD は 52.5 msec 以下であった。

この最適なカットオフ値に基づいて筋電図による判定を行ったところ, 正解咀嚼回数, 嚥下回数がそれぞれ 860, 118 回であった (表5)。以上の結果をもとに, 総合の正解率 (有効度) を求めたところ, 83.8% であった (表6)。

図 6 Correlation between swallowing/chewing ratio and number of chewing strokes
嚥下発現頻度と咀嚼回数の相関関係

図 7 Correlation between median of ΔtSD and swallowing/chewing ratio
 ΔtSD の度数分布中央値と嚥下発現頻度の相関関係

図 8 Correlation between median of ΔtSD and number of chewing strokes
 ΔtSD の度数分布中央値と咀嚼回数の相関関係

また、筋電図から嚥下動作と判定されたサイクル数は 294 回で、これは加速度ピックアップにより嚥下動作と判定されたサイクル数の 131 回に対して 2.2 倍多かった。一方、加速度ピックアップにより嚥下と判定したサイクルを、筋電図から咀嚼と判定したサイクル数は 13 回であった。

食品別に正解率をみると、レーズン咀嚼時は 4g で 89.8%、2g で 84.0% と比較的高かったが、プリン 5g で 72.7% と低く、混合食品では 79.3~85.8% であった。

表 3 Accuracy, sensitivity and specificity of electromyographic examination for chewing and swallowing (%)
(Cut off value A : 60.7 msec)

咀嚼・嚥下運動の筋電図による判定の正解率、敏感度、特異度 (%) (カットオフ値 A : 60.7 msec)

被検食品	正解率	敏感度 (嚥下の正解率)	特異度 (咀嚼の正解率)
P 5	59.1	100.0	40.0
P 5+R 2	82.4	100.0	80.0
P 5+R 4	77.3	90.0	75.8
P 10	59.5	88.9	51.5
P 10+R 2	82.8	91.7	81.5
P 10+R 4	82.9	90.9	82.0
R 2	82.7	100.0	81.0
R 4	87.9	94.4	87.3
総合	81.5	93.9	79.9

表 4 Accuracy, sensitivity and specificity of electromyographic examination for chewing and swallowing (%)
(Cut off value B : 40.6 msec)

咀嚼・嚥下運動の筋電図による判定の正解率、敏感度、特異度 (%) (カットオフ値 B : 40.6 msec)

被検食品	正解率	敏感度 (嚥下の正解率)	特異度 (咀嚼の正解率)
P 5	81.8	100.0	73.3
P 5+R 2	86.3	75.0	87.8
P 5+R 4	83.8	75.0	84.8
P 10	73.8	77.8	72.7
P 10+R 2	87.6	75.0	89.5
P 10+R 4	86.3	68.2	88.4
R 2	85.2	73.3	86.4
R 4	91.2	94.4	90.9
総合	86.3	77.9	87.4

図 9 ROC curve of chewing and swallowing
咀嚼、嚥下判定の ROC 曲線

IV. 考 察

1. 方法について

1) 被検食品

本研究の目的は、開・閉口筋活動から嚥下動作を判定で

表 5 Tables showing the number of chewing and swallowing judgements using an accelerometer and using EMG (times)
加速度ピックアップと筋電図による咀嚼、嚥下の判定回数 (回)

加速度ピックアップによる判定							
		P 5		P 5+R 2		P 5+R 4	
		咀嚼	嚥下	咀嚼	嚥下	咀嚼	嚥下
筋電図による判定	咀嚼	9	0	94	1	140	3
	嚥下	6	7	21	15	38	17
加速度ピックアップによる判定							
		P 10		P 10+R 2		P 10+R 4	
		咀嚼	嚥下	咀嚼	嚥下	咀嚼	嚥下
筋電図による判定	咀嚼	20	1	136	2	161	2
	嚥下	13	8	26	22	28	20
加速度ピックアップによる判定							
		R 2		R 4		総合	
		咀嚼	嚥下	咀嚼	嚥下	咀嚼	嚥下
筋電図による判定	咀嚼	124	3	176	1	860	13
	嚥下	23	12	21	17	176	118

きるかどうか検討することであったことから、被検食品には、舌と口蓋の圧迫咀嚼により、容易に嚥下へ移行するペースト状食品のプリン、逆に、積極的な食塊形成と咀嚼運動を必要とする軟性線維性食品のレーズンを選出し、さらに食塊形成面で困難性がより大きいと思われるプリンとレーズンの混合食品を加えた。

塩沢ら¹³⁾は、破壊応力の異なる寒天試料の咀嚼では、破壊応力が低い (0.7% 試料) と顎舌骨筋のみが活動 (舌と口蓋の圧迫のみ) し、破壊応力が高い (4% 試料) と咬筋にも活動がみられたと報告している。本研究において、舌運動主体の食品と咀嚼運動主体の食品を選定するうえで、この結果を参考にした。また、混合食品については、嚥下障害患者のケアにおいて「味噌汁誤嚥」という言葉も聞かれるが、プリンとレーズンを同時に口腔内に摂取すると、食品の知覚閾¹³⁾の面から口腔感覚に外乱が生じ、舌運動の円滑性は障害されるものと推測できる。混合食品はこのような観点から用いた。

レーズンの食品量については、4 g 咀嚼時に咀嚼筋活動周期がよりリズムカルで適量であったとした田中ら¹⁴⁾の報告を参考に、4 g と 2 g を設定した。また、ペースト状食品の嚥下運動を観察した穴倉ら¹⁵⁾は被検者がやや多いと感じるものの、5 g であれば一回の嚥下運動で嚥下可能であったことを報告していることからプリンは 5 g としたうえで、さらに倍量の 10 g を設定した。なお今回、5 g のプリンを一回で嚥下できた被検者はいなかった。

表 6 Accuracy, sensitivity and specificity of electromyographic examination for chewing and swallowing (%)
(Cut off value : 52.5 msec)
咀嚼・嚥下運動の筋電図による判定の正解率、敏感度、特異度 (%) (カットオフ値 : 52.5 msec)

被検食品	正解率	敏感度 (嚥下の正解率)	特異度 (咀嚼の正解率)
P 5	72.7	100.0	60.0
P 5+R 2	83.2	93.8	81.7
P 5+R 4	79.3	85.0	78.7
P 10	66.7	88.9	60.6
P 10+R 2	84.9	91.7	84.0
P 10+R 4	85.8	90.9	85.2
R 2	84.0	80.0	84.4
R 4	89.8	94.4	89.3
総合	83.8	90.0	83.8

2) 記録と分析方法について

筋電図による嚥下動作の観察について、開口筋である顎舌骨筋、顎二腹筋に加えて閉口筋である側頭筋後部と咬筋を観察した。開口筋群の選定は、嚥下運動を観察した塩沢ら¹³⁾の報告、顎舌骨筋や顎二腹筋は嚥下運動の Leading Complex であるとする Doty ら¹⁶⁾の報告を参考にした。しかし、オトガイ下部、顎下部における解剖学的複雑性から、筋の特定は難しく、本研究の顎二腹筋および顎舌骨筋の筋電図には、その他の舌骨上筋群や外舌筋の活動が含まれていた可能性は否定できないが、むしろ舌運動に関連する舌骨上筋群、外舌筋の活動を総合的に評価できたと考えている。また、側頭筋について、後部線維はわずかな下顎の側方偏位をも鋭敏に反映する¹⁷⁾ことから、閉口筋では咬筋と側頭筋後部を選択し、開口筋とともにその同期性を観察し、咀嚼動作と嚥下動作の判別に有用であったと考える。

しかし、顎舌骨筋や顎二腹筋は、嚥下時のほか舌による食塊移送時にも活動することがX線透視から報告⁹⁾され、開・閉口 4 筋活動開始時間の一致するサイクルすべてを嚥下動作とは断定できない。そこで喉頭部に加速度ピックアップを設置し、補助的に嚥下が行われたサイクルを抽出したところ、嚥下動作の直前にも 4 筋活動開始時間がほぼ一致するサイクルを認めた。この運動は、ウサギ¹⁸⁾やネコ¹⁹⁾の咀嚼運動で観察され (Stage II transport)、舌による咽頭方向への食塊移送運動であるとされている。この Stage II transport はヒトでも観察され、舌、舌骨、下顎の運動は嚥下時の運動に類似している⁹⁾と報告されている。このことから、嚥下運動と Stage II transport を厳密に判別することは困難であり、筋電図学的に嚥下動作と判定したものには食塊移送運動 (Stage II transport) も含まれていたと考える。

加速度ピックアップの設置に関しては、嚥下時のみの波形を明確に得るためには頸部前方が適切であり、周波数帯

域は 100 Hz 以下の遮蔽により安定した波形が得られたとする小原の方法¹²⁾に準じ、頸部前方の甲状軟骨部に、事前に嚥下運動、咀嚼運動を行わせたうえで設置方向、増幅率を試行錯誤的に決定して、被検者ごとに 50~100 Hz の遮蔽を適宜行い、明確な信号が得られた。

また衝撃波形出現のタイミングについて、Shaker ら²⁰⁾は顎二腹筋の活動開始から喉頭挙上開始までの時間差は 0.01~0.09 秒とほぼ同時であったと報告している。本研究では衝撃波形出現のタイミングは計測していないが、顎二腹筋活動と同一サイクル内に存在することを基準に嚥下動作が行われたと判定し、得られた結果から嚥下サイクルの抽出には十分有用であったと考える。

また、分析パラメータには、開・閉口 4 筋の活動開始時間の同期性を表す標準偏差 (ΔtSD) を計測、集計し、各被検食品ごとに中央値を求め、累積度数分布にて表示した。なお、各個人の代表値として度数分布中央値を求め、これを集計する方法も考えられるが、今回はまず、 ΔtSD の分布型そのものの特徴を把握するのが目的であったことから、全被検者から得た累積度数分布を用いた。いずれの表示法を用いるかについては今後さらに検討を加えたい。

3) 結果について

(1) 累積度数分布について

軟性線維性食品のレーズンと易嚥下性食品であるプリンの累積度数分布は明らかな違いを認め、プリン、混合食品、レーズンの順に食品が軟らかいほど累積度数分布は左シフトする傾向を示し、嚥下動作の発現増加がうかがわれた。

嚥下運動は食物の粉碎により誘発²¹⁾され、原形を崩しにくい性質をもった食品は、咀嚼に要する回数が多くなる²²⁾などから、レーズンは嚥下の誘発まである程度の咀嚼運動が必要であり、累積度数分布は右へシフトして咀嚼傾向を示した。一方、プリンのように軟らかく、原形を崩しやすい食品は舌と口蓋の圧迫咀嚼により、直ちに嚥下に移行したものと考えられ、累積度数分布は嚥下傾向を示した。Palmer ら⁹⁾によれば、咀嚼運動、Stage II transport、嚥下運動の変換は、舌骨運動との関連から、開口筋および閉口筋の相互作用によってなされるものであり、嚥下運動への変換は食塊の流動性によって誘発されると述べている。また、嚥下運動は食物粉碎度のほか、食塊の潤滑性が重要であるとの報告²³⁾もあり、プリンのように軟らかく、含有水分量の多い食品は、容易に嚥下食塊が形成され、嚥下動作へ移行したものと考えられた。

口腔感覚の外乱を目的として用いた混合食品は、舌により圧迫咀嚼され容易に嚥下に至るプリンと、歯で咀嚼されるレーズンの食品性状を選別し、舌による押しつぶし運動あるいは咀嚼運動を巧みに調節していたものと考えられ、プリンとレーズンの中間的結果となった。

食品量による影響について、レーズンでは量が多いと累

積度数分布の右シフトを認めたが、プリンでは差がなかった。斎ら²⁴⁾は嚥下発現までの咀嚼時間を観察し、食物粉碎が比較的困難な食品では体積の増加によって咀嚼時間は延長すること、反対に原形を崩しやすい食品では量的影響を受けないことを報告している。プリンは原形を崩しやすい食品であったことから、量の違いによって嚥下動作の発現も変化しなかったものと考えられる。

このように、累積度数分布は食品性状や量に応じて調節される咀嚼、嚥下動作の様相の違いを反映していた。

(2) 咀嚼回数、嚥下発現頻度、 ΔtSD 度数分布中央値の相関関係について

咀嚼回数、嚥下発現頻度、 ΔtSD 度数分布中央値の相関関係は、嚥下発現頻度と ΔtSD 度数分布中央値の間に有意な負の相関関係を認め、嚥下発現頻度の増加に伴って度数分布中央値は小さくなり、累積度数分布は左シフトした。したがって ΔtSD の累積度数分布の分布型は、嚥下発現頻度を反映しうるものと考えられた。また、咀嚼回数との関係において、度数分布中央値とは正の相関を示したことから、累積度数分布の左シフトにより咀嚼回数は減少した。Hiemae ら²⁵⁾は、一回目の嚥下が起こるまでの咀嚼回数は食品の硬さに依存し、一回目の嚥下時にほとんどの食塊を嚥下できれば、その後の咀嚼回数は減少すると報告している。また、嚥下発現頻度と咀嚼回数は有意な負の相関関係を示した結果から、嚥下動作の増加に伴って、咀嚼回数は短縮することが示唆された。このように、咀嚼運動中に生ずる嚥下動作は口腔内食物の容積を減少させ、後続の食物粉碎や食塊形成を容易にし、咀嚼回数減少の一要因になるものと考えられる。

(3) 筋電図による嚥下動作判定の正解率について

また、加速度ピックアップによる判定から咀嚼、嚥下を判別し、ROC 曲線から ΔtSD が 52.5 msec 以下をもって嚥下動作と定義したところ、咀嚼と嚥下の判別率は 83.8% と、比較的高い正解率となった。

正解率を食品間で比較すると、レーズン 4 g 咀嚼時の 89.8% が最も高く、レーズン 2 g 咀嚼時も 84.0% と比較的高率であった。しかし、プリン 5 g は 72.7% で最も低かった。これは、プリンのようなペースト状食品咀嚼時には嚥下運動のほかにも Palmer ら⁹⁾の報告した舌による咽頭方向への食塊移送運動、すなわち Stage II transport が頻発したためと推察された。一方、レーズン単一食品でリズムカルに咀嚼、粉碎が行われ、舌による押しつぶしをそれほど必要としない食品では、筋活動パターンが嚥下運動に似ている Stage II transport の発現も少なく、正解率が上昇したと考えられる。

なお、嚥下運動の誘発は、食物粉碎度、味覚刺激による唾液の分泌量や精神状態など、多くの因子に影響⁹⁾されることも知られており、今後の検討課題として残された。

V. 結 論

開口筋および閉口筋の時間的協調パターンの観察から、咀嚼時に生ずる嚥下動作の筋電図学的パラメータを検索し、次の結論を得た。

1. 開・閉口4筋活動開始時間の同期性から咀嚼傾向と嚥下傾向の動作判定ができ、同期性を表すパラメータとしては標準偏差 (Standard Deviation) が有用であった。そしてこの標準偏差から構成した累積度数分布により、食品性状、食品量の違いによる咀嚼傾向と嚥下傾向の特徴を評価できた。

また、このような開・閉口筋活動開始時間の標準偏差を度数分布中央値から比較すると、度数分布中央値と嚥下発現頻度は負の相関を認め、嚥下動作の増加に伴って累積度数分布は左へシフトし、嚥下発現頻度を反映した。さらに、嚥下発現頻度と咀嚼回数は負の相関を示し、嚥下動作発現の増加に伴い、咀嚼回数は短縮した。

2. 筋電図による正解率 (有効度) は 83.8% で、咀嚼と嚥下を筋電図学的に判別できた。

なお本論文の一部は第9回日本咀嚼学会学術大会 (平成10年9月4日, 京都), 第16回日本顎口腔機能学会学術大会 (平成10年9月11日, 大阪), 第8回国際歯科補綴学会 (平成11年7月8日, ストックホルム, スウェーデン) において、その概要を発表した。

文 献

- Waylar AH, Kapur KK, Feldman RS et al. Effects of age and dentition status on measures of food acceptability. *J Gerontol* 37 : 294-299, 1982.
- Helkimo M. Studies on function and dysfunction of the masticatory system II. Index for anamnestic and clinical dysfunction and occlusal state. *Svensk Tandlakaretidsskrift* 67 : 101-121, 1974.
- Shiere FR, Manly RS. The effect of the changing dentition on masticatory function. *J Dent Res* 31 : 526-534, 1952.
- Manly RS, Braley LC. Masticatory performance and efficiency. *J Dent Res* 29 : 448-462, 1950.
- Ahlgren J. Pattern of chewing and malocclusion of teeth. *Acta Odontol Scand* 25 : 3-13, 1967.
- Mitani H, Mushimoto E. In jaw position and jaw movement 48-61, Berlin : Veb Verlag Volk und Gesundheit, 1980.
- Mushimoto E, Mitani H. Bilateral coordination pattern of masticatory muscle activities during chewing in normal subjects. *J Prosthet Dent* 48 : 191-197, 1982.
- 河村洋二郎. 口腔生理学, 京都: 永末書店, 1982.
- Palmer JB, Rudin NJ, Lara G et al. Coordination of mastication and swallowing. *Dysphadia* 7 : 187-200, 1992.
- 新井映子, 山田好秋, 西坂 剛. 摂取食品の形状が咀嚼運動に与える影響. *歯基礎誌* 34 : 221-229, 1992.
- 大塚義顕. 超音波による舌矢状断描出法の検討. *障歯誌* 15 : 3-12, 1994.
- 小原久和. 嚥下時における顎運動の様相について. *補綴誌* 19 : 335-356, 1975.
- 塩沢光一, 神山かおる, 柳沢慧二. 口腔内での舌による微細な球状試料の知覚と運搬について. *日咀嚼誌* 3 : 51-56, 1993.
- 田中康隆, 虫本栄子, 三谷春保. 咀嚼運動の EMG 的検査に用いる各種被検食品の適量について. *歯科医学* 48 : 242-257, 1985.
- 穴倉潤子, 渡辺 聡, 大塚義顕ほか. 食塊量の違いが嚥下時舌運動に及ぼす影響—前額断面における陥凹について—. *昭歯誌* 17 : 120-135, 1997.
- Doty RW, Bosma JF. An electromyographic analysis of reflex deglutition. *J Neurophysiol* 19 : 44-60, 1956.
- 加藤 博. 咬合力の発現様式に関する筋電図学的研究. *歯科医学* 38 : 65-95, 1975.
- Schwartz G, Enomoto S, Valiquette C et al. Mastication in the rabbit : a description of movement and muscle activity. *J Neurophysiol* 62 : 273-287, 1989.
- Thexton AJ, Hiimeae KM, Crompton AW. Food consistency and bite size as regulators of jaw movement during feeding in the cat. *J Neurophysiol* 44 : 456-474, 1980.
- Shaker R, Dodds WJ, Dantas RO et al. Coordination of deglutitive glottic closure with oropharyngeal swallowing. *Gastroenterology* 98 : 1478-1484, 1990.
- Thexton AJ. Mastication and swallowing : an overview. *Br Dent J* 173 : 197-206, 1992.
- 高橋類子, 永田 晟. 食品と咀嚼運動の関係. *Ann Physiol Anthropol* 6 : 197-205, 1987.
- Prinz JF, Lucas PW. Swallow thresholds in human mastication. *Arch Oral Biol* 40 : 401-403, 1995.
- 斎 美英, 河野 亘. 食品テクスチャーの違いが嚥下までの咀嚼時間に与える影響. *補綴誌* 37 : 172-181, 1993.
- Hiimeae K, Heath MR, Heath G et al. Natural bites, food consistency and feeding behavior in man. *Arch Oral Biol* 41 : 175-189, 1996.

著者連絡先: 虫本 栄子

〒020-8505 岩手県盛岡市中央通 1-3-27

TEL : 019-651-5111 (内線 4441)

FAX : 019-651-0185