原 著

多変量測定による咀嚼粉碎機能の評価

—— 第1報 顎位間筋電図による咀嚼の観察 ——

田 中 義 浩

東京医科歯科大学歯学部歯科補綴学第二講座 (主任・指導: 三浦宏之教授)

(1999年9月29日受付)

Evaluation of Masticatory Comminute Function Using Multiple Variables
—— Part. I : Observation of Mastication Using Inter-jaw Positional EMG ——

Yoshihiro Tanaka

Department of Prosthodontics II, Faculty of Dentistry, Tokyo Medical and Dental University
(Chief and Director : Prof. Hiroyuki Miura)

When masticatory efficiency is measured in the normal manner, it is necessary to collect samples. The purpose of this study was to devise a possible method of measuring masticatory efficiency, obviating the necessity for collection of the sample. Peanuts mastication by subjects whose degree of comminution was already known was observed by using an "Inter-jaw positional EMG" in which an element of the jaw positions is combined with EMG. Observation of the Inter-jaw positional EMG enables understanding the appearances of each 1-cycle chewing comminution. Moreover, changes in muscle activity and jaw movement caused by the progress of mastication can be observed by arranging the Inter-jaw positional EMG to record the chewing cycle, several times. In addition, three phases in peanut mastication was observed, and it was found that analysis of the first two phases when the changes appear is very effective because the changes move similarly with the changes of particle size. In addition, the Inter-jaw positional EMG and distribution of particle size were analyzed, and both changes caused by the progress of the cycle were similar. Thus, it is possible to estimate of the masticatory efficiency using the Inter-jaw positional EMG.

I. 緒 言

臨床において補綴物の機能を客観的に評価する方法には、いまだに通法がなく、歯科医の経験と感覚、患者への問診といった主観的方法に頼っているのが実状であり、簡便、かつ再現性のある客観的な評価法の確立が望まれている。

従来、顎口腔系機能の評価の一つである咀嚼効率¹⁾は、口腔内で咀嚼された食品の咀嚼による変化を定量化することによって推定されてきた。被験食品としては生米¹⁾、ピーナッツ²⁾、グミゼリー^{3,4)}、ガム⁵⁾、ATP 顆粒⁶⁾、カルバナ樹脂⁷⁾等が用いられてきたが、咀嚼効率を定量的に測定する場合には、いずれの被験食品を用いても試料の回収が前提となり、実際にデータを得るにあたっては煩雑な操作が必要で、被験者、術者の双方に負担を強いることになる。さらに、得られた咀嚼効率は被験食品の物性に依存するので、結果は咀嚼の切断、粉碎、臼磨等の

いずれかの機能を測定するにとどまり、その普遍性、再現性には問題があった。

そこで筆者は、試料の回収を前提としない咀嚼効率の評価の可能性を探るべく、評価に適した顎口腔系機能の要素を検討した。咀嚼効率と他のパラメータを比較する場合、その咀嚼の進行に伴う変化を観察する必要がある。すなわち、あらかじめ被験者に被験食品を咀嚼させ、篩分法にて粒度分布を得たうえで、咀嚼時の筋電図、顎運動の同時測定の結果とを照合することによって、咀嚼粉碎のさまざまな様相に関して定性的な検討を加えた。

II. 材料および方法

1. 被験者

被験者は、顎口腔系に特に異常が認められない26歳の男性(被験者A)と、下顎左側第一大臼歯が欠損した22歳の男性(被験者B)の2名である。被験側は、被験者Aにおいては preference side である右側、被験者Bに

図1 顎位間筋電図の構成

おいては欠損側である左側とした。

2. 測定方法

1) 被験食品

被験食品は、ピーナッツ（小林商事）半粒6個（試行前の計量で2.31～3.09 g）とし、これを各試行前に口腔内、舌上に置いた。

2) 咀嚼後の被験食品の粒度分布の測定

口腔内に置いたピーナッツを規定回数だけ咀嚼させた。規定した咀嚼回数は、被験者Aでは、5, 7, 10, 12, 15, 17, 20, 25回、また被験者Bでは、12, 15, 17, 20, 25, 30, 35, 40回とし、それぞれの咀嚼回数について2回ずつ試行した。被験者間の被験回数の相違は、予備実験として被験者にピーナッツを咀嚼させ、粒径の変化が目視により識別困難となった咀嚼回数が被験者Aで25回、被験者Bで40回であったことに基づいている。規定回数での咀嚼の後、十分に洗口し、探針等を用いて試料の回収を行い、口腔内の残留試料の有無を診査した。得られた試料は乾燥用篩（200 mesh）の上で水洗した。その後、できるだけ水分を取り除いて、 -80°C の冷凍庫内に30分以上放置し、試料を凍結させ、凍結乾燥機(Dura-Dry™, FTS® Systems, inc.)を用いて12時間以上の凍結乾燥を行った。乾燥後の試料には、粒の大きさを変えないように注意しながらほぐした後に、篩分けを行った。

篩分けには乾式全自動ふるい分け測定装置ロボットシフターRPS-85(セイシン企業)を用いた。vibration level 8, pulse interval 1秒にて、5分間の篩分けを行った。用いた篩の目開きは4,750, 3,350, 2,000, 1,700, 1,400, 1,000, 710, 500 μm (それぞれ5, 6, 9, 10, 12, 16, 24, 32 meshに相当)の8種である。

試行ごとに篩分けして得られた累積篩上%を平均し、咀嚼回数との関係を検討した。

3) 咀嚼時の顎運動、筋活動の測定

顎運動は6自由度顎運動測定装置ナソヘキサグラフ(小野測器)を用いて測定した。測定装置と歯列を連結するジグは咬頭嵌合位において口唇が自然に閉じられるように調整した。

筋活動の測定は、両側咬筋を被験筋とし、極間距離15 mm, 咬筋中央部に筋線維に平行に電極を貼付して、双極導出にて行った。筋電計のアンプ(BIOTOP 6 R 12, 日本電気三栄)からの出力はデータレコーダ(PC 208 Ax, SONY)に収録した。また、ナソヘキサグラフには顎運動と同時に収録した。

咀嚼の試行は以下のように行った。すなわち、舌上にピーナッツを置き、咬頭嵌合位による原点の設定を得た後に咀嚼をさせ、その際の顎運動、並びに筋電図を同時測定した。粒度分布の測定時と異なり咀嚼は被験者が嚥下したくなるまでとし、被験者からの合図を待って終えた。

3. 顎運動、筋電図データ処理

顎運動についてはフランクフルト平面を基準面、咬頭嵌合位における切歯点の位置を原点として、切歯点での運動解析を行った。咀嚼運動の閉口相を原点からの空間的距離で開口量10 mmの顎位から咀嚼終末位までを1 mmごとに区切り、それぞれの顎位間での筋活動量と運動に要した時間を同時にグラフ表示した(図1)。なお咀嚼運動の終末位は顎運動速度が10 mm/s以下になるところまでとした。このグラフを以後、「顎位間筋電図(Inter-jaw positional EMG)」と称する。

筋活動量は、咬頭嵌合位での最大噛みしめ時の単位時

表1 咀嚼回数に対する累積篩上%

	篩径	咀嚼回数							
		5 回	7 回	10 回	12 回	15 回	17 回	20 回	25 回
被験者 A	4,750 μm	49.6	27.0	9.58	10.2	1.93	1.40	0.37	1.00
	3,350 μm	64.3	38.8	27.4	20.8	5.14	3.57	2.60	1.91
	2,000 μm	76.1	55.2	46.1	38.7	23.1	17.1	17.4	7.23
	1,700 μm	80.0	61.4	51.7	44.2	30.0	26.7	24.9	13.5
	1,400 μm	84.0	67.6	59.3	52.0	40.1	39.7	36.3	21.7
	1,000 μm	90.4	77.9	71.9	66.2	56.4	59.2	55.2	41.6
	710 μm	95.0	86.3	82.6	78.0	72.1	75.0	72.6	63.8
	500 μm	97.7	91.9	89.7	87.2	84.6	86.2	84.5	80.2
被験者 B		12 回	15 回	17 回	20 回	25 回	30 回	35 回	40 回
	4,750 μm	40.2	38.3	43.1	35.6	22.2	14.7	6.08	4.89
	3,350 μm	59.9	61.7	61.1	53.7	42.3	38.1	19.9	19.5
	2,000 μm	78.7	77.2	79.1	74.6	67.7	62.2	56.1	48.7
	1,700 μm	82.2	80.8	82.1	78.8	73.0	68.1	63.4	57.3
	1,400 μm	86.8	84.7	85.5	83.0	79.5	74.7	70.9	65.5
	1,000 μm	91.6	89.4	91.3	89.0	88.0	83.3	82.0	78.8
	710 μm	96.2	93.9	95.2	94.3	93.7	90.3	90.6	88.7
	500 μm	98.2	96.4	97.0	96.8	96.7	94.7	95.1	94.1

数字は累積篩上%

図2 咀嚼回数に対する累積篩上%の推移

間当たりの筋活動量を基準として normalize した。その値は、被験者 A の左側咬筋が 0.224, 右側咬筋が 0.208, 被験者 B の左側咬筋が 0.129, 右側咬筋が 0.124 であった。いずれも左右差は 10% 以下であり, normalize により同一被験者内での左右側での筋活動の定性的な比較が

可能となった。

それぞれの咀嚼回数ごとに顎位に関する筋活動量と運動に要した時間のグラフ表示を行い, それを咀嚼回数に従って, 咀嚼 1 cycle ごとに 20 回目までを並列して, 咀嚼の進行に伴う顎運動, 筋活動の変化を観察した。

III. 結 果

1. 粒度分布

累積篩上% (表 1) と咀嚼回数の関係を表示して, 咀嚼の進行に伴う被験食品の粒度の変化を観察した (図 2)。

被験者 A では粒度の大きな粒子の粉碎が早く, 10 回咀嚼時に 4,750 μm より大きい粒子の全粒子に占める割合は 10% 以下となり, 2,000 μm 以下の粒子が 50% 以上となった。また, 20 回咀嚼時では 1,000 μm 以下の粒子が約 50% を占め, 咀嚼の進行に伴い 1,000 μm より大きい粒子はすべての粒度において急速に減少することを示した。すなわち, 粒子群全体の粉碎が進行していることが観察された。

これに対して被験者 B では, 被験者 A と比べて, 咀嚼の進行に伴う減少が緩やかで, 20 回咀嚼時でも 3,350 μm より大きい粒子が 50% 以上を占め, 40 回目に至っても 2,000 μm 以下の粒子が 50% を越えるにとどまっていて, 粉碎が遅延していることを示していた。

数字は咀嚼回数を表す。

図 3 a 咀嚼進行による顎位間筋電図の変動（被験者 A）

数字は咀嚼回数を表す。

図 3 b 咀嚼進行による顎位間筋電図の変動（被験者 B）

図4 咀嚼進行による各粒度の篩上%の推移

2. 顎位間筋電図

同時記録によって得られた咀嚼時の筋電図、顎運動データから顎位間筋電図を作成し、咀嚼の進行に伴う顎位間筋電図の形状の変化を観察した (図3 a, b)。

被験者 A では咀嚼開始後の数ストロークにおいて、粉碎によると思われる筋活動が開口量 10 mm～咀嚼終末位の各顎位において観察された。また、非咀嚼側である左側咬筋の活動が相対的に大きかったために、顎位間筋電図の形状は非咀嚼側において、咀嚼側より大きな鋸歯状を呈していた。咀嚼の進行に伴い筋活動は 5 mm～咀嚼終末位付近に移行し、さらに 14 回目以降は 2 mm～咀嚼終末位付近となり、咀嚼終末位付近において最大値を示したために、顎位間筋電図の形状は凹凸のない上に開いたロート状を呈して、その後 20 回目に至るまで安定した状態を持続した。顎運動に要した時間についても同様な傾向がみられたが、筋活動量と比較して変動は少なく、より早い咀嚼回数でロート状の形状になった。

被験者 B の、欠損側の左側咀嚼時の筋活動は、正常者において咀嚼の初期数ストロークに認められた、10mm～咀嚼終末位付近にみられる食品粉碎時のものと思われる筋活動とその変動に類似していたが、筋活動の変動は咀嚼回数が 20 回目に近くなっても見受けられ、20 回目に至るまで筋活動が安定して咀嚼終末位付近に収束する状態は得られなかった。また顎運動に要した時間も、同様に収束した値を示すことはなかった。

10 mm～咀嚼終末位での normalize した筋活動量の和は、咀嚼 1 回目から 5 回目までを合計すると被験者 A

では、咀嚼側で 1.09, 非咀嚼側で 1.24, 被験者 B では、咀嚼側で 0.375, 非咀嚼側で 0.960 となり、いずれも非咀嚼側のほうが優位であった。また、16 回目から 20 回目に関しても同様に求めたところ、被験者 A では、咀嚼側で 0.783, 非咀嚼側で 0.666, 被験者 B では、咀嚼側で 0.640, 非咀嚼側で 0.666 となり、咀嚼が進行するにつれて被験者 A では咀嚼側が優位となったが、被験者 B では左右ではほぼ同様の値であった。

IV. 考 察

試料を回収せずに咀嚼効率を評価することの可能性を粉碎される食品の側、被粉碎側からではなく、粉碎の原動力となる側、すなわち粉碎側の筋活動および顎運動から観察した。換言すれば、筋活動や顎運動に現れる変動と、実際に粉碎が行われた結果、すなわち、被粉碎側の結果である咀嚼粉碎後の食品の粒度分布とを比較して、検討を行ったといえる。被粉碎側からは試料の粒度分布を、粉碎側からは筋活動、および顎運動時間をパラメータとして選択し、多面的に咀嚼機能をとらえようと試みた。

1. 実験方法について

被験食品は、試料の均一性から非食品試料を被験試料として利用する研究もあるが^{6,7)}、食感、味などの点から、自然な咀嚼を阻害する可能性が考えられる。今回の実験の目的は、自然に近い状態での咀嚼の観察であるので、多少の試料の不均一は考慮したうえで、天然試料を被験試料とした。さらに、顎運動、筋電図上に現れる咀嚼に伴う変動と咀嚼効率 (咀嚼粉碎機能) との関連性を追求するために、顎運動・筋電図上に著明な変化が現れる粉碎相に着目し、粉碎性食品であるピーナッツを被験試料として選択した。

粒度分布の測定に関しては、乾燥状態の粉末を測定する機器を用いたので咀嚼後の試料の凍結乾燥が必要となったが、従来の手作業による篩分法と比べ、安定して比較的精度の良いデータを得ることができた。

筋電図測定の被験筋としては、閉口筋のなかで最も咬合力の発現に関与し、食物の粉碎時に主として活動する咬筋を選択した。

顎運動を解析する代表点としては、測定が容易で、咀嚼の研究では最も一般的な切歯点とした。咀嚼運動時、切歯点は顎運動を最も大きく、そしてその特徴を顕著に表すと考えられる。なお、被験者 A での咀嚼時における臼歯部の運動量は切歯点での約 80% であった。

2. 篩分法による咀嚼機能の評価

顎位間筋電図の解析に先立って、被粉碎側からの本被験者の咀嚼機能を篩分法により評価した (図2)。

被験者 A では各粒径の咀嚼回数に対する減少傾向が、

図 5 a 咀嚼進行による各顎位間の筋活動量の変動 (被験者 A, B, 咀嚼側咬筋)

図 5 b 咀嚼による各顎位間の運動に要した時間の変動 (被験者 A, B)

図 6 咀嚼による各顎位間の筋活動量の変動 (被験者 A, B, 非咀嚼側咬筋)

全体的に大きいのに対し、被験者 B では緩やかである。石原¹⁾によれば、累積篩上%と咀嚼回数との関係は指数関数で表され、その減衰率の比から咀嚼効率を定義している。すなわち、被験者 A では減衰率が大きく咀嚼効率が良いといえ、被験者 B では減衰率が小さく咀嚼効率は悪いことになる。また、被験者 A ではそれぞれの粒径の減

少傾向が等しく、粉碎が各粒度で行われていることを表している。これに対して被験者 B では $3,350 \mu\text{m}$ 以上の粒径では徐々には粉碎が行われているものの、それ以下の粒径では減衰率が小さく、ほぼ直線となって、粉碎が効率よく行われていないことを示している。20 回目付近での両者の累積篩上%の変動を比較すると、被験者 A では $3,350 \mu\text{m}$ より大きな粒子の粉碎は終了していて、それ以下の粒度では、なお粉碎が行われている。被験者 B では $4,750 \mu\text{m}$ の粒子が 40% 近くもあり、さらに減少していくことから、この粒度においてもなお粉碎の途上にあるものと考えられる。

従来は篩分法により得られた、累積篩上%の推移から、咀嚼の進行を検討してきたが¹⁾、本研究では咀嚼運動における各顎位間の筋活動量、運動時間と粉碎の結果との関係を考察する際に、上下顎の歯列間の距離と食品の大きさに注目すると、各顎位に相当する各篩径ごとの篩上%が有効であると考え、累積ではない各篩径の篩上%を咀嚼回数に対して表示して、検討を加えた (図 4)。

被験者 A では篩上%が最大値を示す粒度が、咀嚼の進行に伴い順次小さい粒度に移行し、25 回目咀嚼時には $710 \mu\text{m}$ 以下の粒子の全粒度に占める割合が 50% を越えて最も大きくなり、なおも増加傾向にあった。これは、咀嚼粉碎が大きい粒子から選択的に行われ、しだいに小さい粒子へと移行していることを示している。被験者 B では $4,750 \mu\text{m}$ 以上の粒子が咀嚼回数 17 回目以降に減少を示したが、それ以下の粒子は咀嚼の進行に従って緩やかに増加し、40 回咀嚼時で $3,350 \sim 2,000 \mu\text{m}$ の粒度

図7a 顎位間の筋活動, 顎運動に要した時間による咀嚼相の区分 (被験者A)

図7b 顎位間の筋活動, 顎運動に要した時間による咀嚼相の区分 (被験者B)

が占める割合が40%を越えて最も高かった。この現象は、4,750 μm 以上の最も大きい粒子の粉碎は進行しているにもかかわらず、それより小さい粒子をさらに粉碎する速度は遅延していることを示している。

3. 顎位間筋電図の意義

従来、筋電図を用いて咀嚼運動を解析する際には、時系列表示された筋電図の、縦軸方向の筋活動電位成分と横軸方向の時間成分は、それぞれ別個に検討されてきた。咀嚼は顎運動による粉碎を繰り返しながら進行するので、咀嚼粉碎時の顎運動は速度変化を伴うものと考えられる。したがって、時間に関する解析は咀嚼機能の全体像を解明するうえで重要である。

また、筋活動がどの顎位でどの程度発揮されているかを観察することも、咀嚼を理解するうえできわめて重要であるが、この観点から咀嚼を解析した報告は少ない。加藤⁹⁾は多現象同時測定により顎運動路に筋活動を重ね合わせることで、食品の粉碎された区間を明らかにしたが、筋活動量、運動時間については検討するまでには至っていない。松本⁹⁾は咀嚼運動における顎運動と筋活動の同時表示を行い、顎運動路から咀嚼筋活動の状態の把握を試みて、咬合異常の顎運動、筋活動への影響を述べているが、具体的な咀嚼進行の様相に対する考察には及んでいない。

今回、新たに考案した顎位間筋電図による咀嚼機能の評価法では、一定顎位間の運動時における筋活動量および運動に要した時間の、顎位の変化に伴う変動を観察でき、咀嚼時の閉口路上で起こっている現象を多変量で捉えることができる。さらに、顎位間筋電図を咀嚼回数に従って、咀嚼1 cycleごとに順次並べて表示することによって、咀嚼の進行を各顎位における筋活動ならびに、時間の要素を含む筋電図の変動として観察することが可

能である。したがって、顎位間筋電図は食品の回収を行うことなく筋活動、顎運動から粉碎現象の変化を捉えることができ、なおかつ再現性のある顎機能評価法といえよう。

また、顎位間筋電図は左右の筋活動を同時に表示しているので、咬筋活動の咀嚼側、非咀嚼側の相違が明らかとなり、両筋の咀嚼に対する作用の役割、協調性、顎運動との関連等、咀嚼粉碎の様相を総合的に観察しうる表示法でもある。

4. 顎位間筋電図による咀嚼の進行の観察

正常歯列を有する被験者において、筋活動量および顎運動に要した時間が、咀嚼粉碎の初期の段階では大きな変動を示すのに対して、咀嚼粉碎が進行した相では咀嚼終末位付近に変動が集中し、特徴あるグラフとなる。この形はさながらエッフェル塔を倒立したような形状をとるので、以後“Tower Figure”と呼称する。

咀嚼粉碎を顎位間筋電図によって観察する際、被験者AにみられるようにTower Figureが出現した時点で、筋電図、顎運動時間ともに定常状態に入ったと考えることができる(図3a)。これに対して下顎第一大臼歯欠損者の欠損側咀嚼においては、Tower Figureに至るまでに被験者Aより多くの咀嚼回数を要し、咀嚼回数20回目までにTower Figureは認められなかった(図3b)。このことは顎位間筋電図により観察された、欠損側の「かみにくさ」を示している。

顎位間筋電図の形状の変化は咀嚼の進行状況をよく表しているが、10 mm～咀嚼終末位の各顎位における粉碎の様子をより明確にするために、咀嚼回数に対する各顎位間の筋活動量、ならびに各顎位間の運動に要した時間の変化を検討した(図5a, b)。

筋電図については従来は咀嚼側のみで解析することが

図8 顎位間筋電図に対応させた左右対称の表示による粒度分布の構成

多かったが、顎位間筋電図の初期のストロークにおいて、非咀嚼側に認められた鋸歯状の著明な筋活動もピーナツの粉碎に関与したものと考えられるので、非咀嚼側の筋活動量も表示した(図6)。咀嚼側、非咀嚼側の筋活動量は単純には比較できないが、咬頭嵌合位から5 mm 以上高い顎位においては、非咀嚼側の筋活動は咀嚼側のそれに比べ優位であった。Byrd ら¹⁰⁾は、赤毛ザルを用いて咀嚼運動中の筋活動が顕著に現れる顎位を左右側咬筋について明らかにしている。それによると、作業側咬筋の筋活動が咬頭嵌合位付近ではほぼ最大となるのに対して、非作業側咬筋では筋活動が顕著な顎位が閉口相中に3カ所あって、それぞれは閉口路開始約3 mm 上方、閉口路半ば、咬頭嵌合位付近であると述べている。本研究においても咀嚼初期に非咀嚼側の筋活動が10~5 mm において顕著に認められ、この報告との一致を示した。

切歯点における10~2 mm までの顎位の筋活動量は咀嚼の進行に伴って減少傾向を示し、開口量の大きい顎位からしだいに定常状態となったが、開口量2 mm~咀嚼終末位までの顎位の筋活動量は減少傾向を示すことなくすべてのストロークにおいて観察された。咀嚼力の3次元発現様相を測定した寺村¹¹⁾によれば咀嚼力を各咀嚼回数ごとに、咬合相の開始時点で前後に二分し、おのおのの変化を観察したところ咬合相前の力積は咀嚼の進行に従って有意に減少したが、咬合相後の力積には変化が少なく、一定の傾向は認められなかったと述べている。また、遠藤¹²⁾は咀嚼運動と咀嚼力を同時に測定して、咀嚼力出現時の咬合面間距離は食品の大きさに左右され、最大咀嚼力の発現は上下顎最近接時であって、その範囲は1 mm 以内であると報告している。このことは今回の結果において、10~2 mm の筋活動量が咀嚼の進行に伴って減少するのに対し、2 mm~咀嚼終末位では収束に至

らず、かつ一定の傾向が認められなかったことと一致し、2 mm~咀嚼終末位の筋活動のなかにはこの区間において、粒子の粉碎に要した筋活動に加えて咬頭嵌合位付近での咬合接触後の噛みしめ様の筋活動が含まれていた可能性を示唆している。

そこで粉碎に対応する変動を示した10~2 mm 間の顎位の筋活動量と顎運動に要した時間に注目して、咀嚼の進行に伴う変化を検討したところ、今回の測定結果から以下に示す3つの咀嚼様相が観察された(図7 a, b)。

- 第1相：筋活動量は変動するのに対して、顎運動に要した時間は減少を示す相
- 第2相：顎運動に要した時間はほぼ一定を示し定常状態に入るが、筋活動量は減衰を示す相
- 第3相：筋活動量、顎運動に要した時間はともにほぼ一定で、定常状態を示し、粉碎の進行に呼応しない相

被験者Aでは咀嚼開始後7回目前後で第1相から第2相へと移行し、13回目以降は第3相に至ったことが観察された。一方、被験者Bでは顎運動に要した時間が減衰する第1相が遅延していて、それは咀嚼回数15回目前後にまで至った。また、咀嚼回数20回目以内では第2相の終末、第3相を確認することはできなかった。

従来の研究では、咀嚼機能の評価を筋電図、または顎運動から行う場合、咀嚼のごく初期のデータを棄却して解析する傾向があった¹³⁾。これは初期のデータにはばらつきが多く、解析に不相当と考えられていたことによる。しかし、咀嚼粉碎の様相を筋電図、顎運動から観察する場合には、粉碎によってその指標が変動する部分も含めて解析すべきと考えられる。本研究の目的である、被粉碎物を測定しない、すなわち粉碎を行う生体側から咀嚼効率を推定するという立場では、粉碎の進行が筋電図、

図9 a 顎位間筋電図に対応させた左右対称の表示による粒度分布の咀嚼による推移 (被験者 A)

図9 b 顎位間筋電図に対応させた左右対称の表示による粒度分布の咀嚼による推移 (被験者 B)

顎運動のデータに反映される第1相、第2相の解析が必要と考えられる。

5. 粒度分布と顎位間筋電図

顎位間筋電図における閉口相中の筋活動量と顎運動に要した時間の変動は、咀嚼粉碎に対応していると考えられる。このことを検証するために、粒径(粒度)を縦軸に、その篩上%を横軸にとり、顎位間筋電図と対比することのできる粒度分布の表示を試みた(図8, 9a, b)。

被験者Aにおいて、咀嚼のごく初期の段階では粒度分布は大きな粒度の篩上%が高いために、グラフは下方が

開いた形状を示すが、咀嚼の進行とともに徐々に中等度の粒子径に最頻値が移動し、最終的には顎位間筋電図でのTower Figureと同様にグラフは上方に開いた形状となる。この粒度分布のグラフの形状は顎位間筋電図の推移と類似しており、顎位間筋電図が咀嚼によって粒子が粉碎される様子を口腔外から観察するのにきわめて有効であることを示している。

被験者Bは咀嚼のごく初期の段階では被験者Aと同様に下開きのグラフ、すなわち粒径の大きな粒子の篩上%が多かったが、粉碎の進行に伴い3,000 μm 程度の

粒子が多くなりグラフは、ひし形を示した。この粒度分布のグラフの形状は咀嚼回数を追ってもほとんど変化せず、Tower Figure は得られなかった。グラフの粒度分布が変化しないことは咀嚼による粉碎現象が停滞あるいは遅延していることを意味しており、顎位間筋電図において 20 回目咀嚼に至っても 10～5 mm の顎位での筋活動がみられたことと対応している。

以上のように被咀嚼物が粉碎される状況は、咀嚼に関与する筋の活動に顎運動の要素を加えて解析することによって、口腔外から観察することが可能となったので、試料を回収せずに咀嚼粉碎機能を評価することへの道が拓けたといえよう。

V. 結 論

1. 顎位間筋電図を開発することによって咀嚼 1 cycle 内での咀嚼粉碎の様相を把握することができた。
2. 顎位間筋電図を各咀嚼 cycle ごとに並べて表示、検討することによって、各顎位間での筋電図上の変動から咀嚼の進行状況を観察することができた。
3. ピーナッツ咀嚼の場合には、咀嚼に 3 相が観察され、咀嚼粉碎現象を筋電図、顎運動で表現するには、咀嚼粉碎の変化に伴う特徴ある変動がみられる咀嚼初期の観察が重要であることが示された。
4. 顎位間筋電図においては第一大臼歯の欠損による咀嚼粉碎機能の影響は、咀嚼初期における咀嚼相の推移の遅延として現れた。
5. 粒度分布中の最頻値をとる粒子径は、顎位間筋電図中の筋活動が著明な顎位と対応し、その推移は類似していた。その結果、筋活動に、顎運動の要素を加えることによって、咀嚼粉碎効率を推定することの可能性が示唆された。

謝 辞

稿を終えるにあたり、終始ご懇切なご指導とご校閲を賜りました本学歯学部歯科補綴学第二講座の長谷川成男前教授、三浦宏之教授に深い感謝の意を表します。

また、本研究全般にわたって熱心にご教示いただいた加藤

均博士、新井 泉博士、実験にご協力いただいた被験者の方々、歯科補綴学第二講座の諸先生方、皆様に厚くお礼申し上げます。

なお、本研究の要旨は、第 100 回日本補綴歯科学会記念大会（1998 年 11 月 27 日、東京）において発表した。

本研究の一部は平成 9 年度科学研究費補助金（課題番号：09671981）、および平成 11 年度科学研究費補助金（課題番号：11470411）で行われた。

文 献

- 1) 石原寿郎：篩分法による咀嚼能率の研究. 口病誌 22：207-255, 1955.
- 2) Manly, R. S. and Braley, L. C. : Masticatory performance and efficiency. J. Dent. Res. 29 : 448-462, 1950.
- 3) 山本 誠：全部床義歯装着者の咀嚼能率、咀嚼筋活動および下顎運動による咀嚼機能評価. 阪大歯学誌 38：303-331, 1993.
- 4) 田中 彰, 志賀 博, 小林義典：グミゼリー咀嚼時のグルコースの溶出量の分析による運動機能および咀嚼筋筋活動の定量的評価. 補綴誌 38：1281-1294, 1994.
- 5) Watanabe, I., Hayakawa, I. and Hirano, S. : A simple method for evaluating masticatory performance using a color-changeable chewing gum. Int. J. Prosthodont. 11 : 173-176, 1998.
- 6) 増田元三郎, 藤山真正, 古賀一郎, ほか：ATP 顆粒剤を用いた吸光度法による新しい咀嚼能力測定法 第 1 報 測定方法と試料としての ATP の性質について. 口科誌 30 : 103-110, 1980.
- 7) 加藤光雄, 後藤忠正, 藍 稔, ほか：多変量解析を応用した咀嚼粉碎能力の評価法について. 補綴誌 39：165-170, 1995.
- 8) 加藤 均, 三浦宏之, 長谷川成男, ほか：多現象同時測定による咀嚼運動の解析法. 補綴誌 25 : 836-843, 1984.
- 9) 松本吉生：咀嚼運動経路と咀嚼筋活動の関連性に関する臨床的研究. 阪大歯学誌 42 : 173-201, 1997.
- 10) Byrd, K. E. and Garthwaite, C. R. : Contour analysis of masticatory jaw movements and muscle activity in *Macaca mulatta*. Am. J. Phys. Anthropol. 54 : 391-399, 1981.
- 11) 寺村美千代：咀嚼力の 3 次元発現様相に関する研究 —咀嚼の進行に伴う変化—. 歯科医学 57 : 58-75, 1994.
- 12) 遠藤義弘：臼歯部における咀嚼時の下顎運動と咀嚼力の発現様相との関係についての実験的研究. 歯科学報 71 : 1671-1711, 1971.
- 13) 松尾 卓, 志賀 博, 小林義典：グミゼリー咀嚼時における咀嚼能率と咀嚼運動の安定性との関係. 補綴誌 41 : 686-697, 1997.