ヒト咀嚼筋の差動リサーチ筋電図とその応用

熊井敏文 野村浩道

松本歯科大学口腔生理学教室

〔受付：昭和63年9月9日〕

Differential Lissajous EMG of masticatory muscles and its application in man

Toshifumi Kumai and Hiromichi Nomura

Department of Oral Physiology, Matsumoto Dental College,
Goobara, Hirooka, 311, Shiojiri, 399-07, Japan

〔Accepted for publication: September 9, 1988〕

Key word: Electromyogram / differential Lissajous EMG / masticatory muscles / mastication

Abstract: Difference in the activity of masticatory muscles between subjects with normal teeth alignment and occlusion and patients with disorders at the oral region was investigated using a differential Lissajous EMG method. Surface EMGs were recorded from the right and left temporal and masseter muscles during peanut and chewing gum mastications. The difference of the integrated EMGs between both sides was obtained in both the temporals and masseters, then two differences were synthesized to a Lissajous figure. The figures generally showed the followings. 1) In the normal subjects, the muscle behaviour varied from stroke to stroke in peanut mastication, while it was constant in chewing gum mastication. 2) Activity of some muscles of the patients was quite weak, while that of the normal subjects was totally balanced. 3) In the patients, combination of use between the temporal and masseter muscles and contraction order among the muscles tended to be reversed compared to the normal subjects.

緒 言

咀嚼運動の解析においては、Moyers (1950)¹⁾以来筋電図が一つの有効な手段としてよく用いられている。筋電図の解析方法にはいろいろあるが、積分された筋電位をX軸とY軸にベクトル合成し、リサーチパターンとして表現すると異なる二つの筋活動の関連性をよく表現できる^{2,3)}。この方法における咀嚼筋の組み合わせは色々考えられるが、Kumai 等⁴⁾は左右咬筋の積分筋電位から得られたリサーチパターンが各々の咀嚼サイクルに対応した多くのループ状の軌跡から成り、全体のパターンは食品の種類に応じて、よくその咀嚼傾向を表現していることを示した。

表面筋電図法においては浅層咬筋と側頭筋前腹

がよく用いられるが、これらをそれぞれ左右でリサーチパターンにすると、それぞれの筋の左右の関連を示すことはできるが、個々の咀嚼サイクルを対応させて咬筋と側頭筋の活動関連をみることは難しい。そこでKumai (1988)⁵⁾は、このリサーチ筋電図の方法を更に発展させ4筋の活動関連を1つのパターンとして表現する方法を考案した。この方法は、咬筋の側頭筋でそれぞれの積分筋電位の左右差をとり、その差分同士をX軸とY軸にリサーチパターンとして表現するもので、このことにより筋活動の絶対値は差分に隠れてしまうが、4筋の活動の相対的な関連を1つの図形で表現できる。今回はこの差動型のリサーチ筋電図を正常者と歯科領域に何らかの異常を持つ人に適応し、そのパターンの違いを比較検討してみた（なお、本論文では筋レベルでのトータル

な活動電位を便宜上筋電位と呼び、なんらかの図として表現された筋電図とは区別することにする)。

方 法

被験者は、顎口腔系に異常がなく歯列の正常な20~25歳の男子4名と、異常被験者として(1)左上顎7番に大きなカリエスを持つ36歳の男性、(2)不正咬合(Class III)の13歳女子、(3)疼痛を伴った原因不明の左側顎関節障害の32歳の男性の3名を用いた。

筋電位は双極電極(電極間距離4cm)を用いて左右の浅層咬筋中央部と左右の側頭筋前腹の皮膚表面より同時に導出された。得られた筋電位は増幅、整流した後、RC回路(時定数0.1sec)で平滑化し、A/Dコンバーターを通してコンピューターシステム(PC-9801, NEC)に取込んだ。取込んだデータはいずれのチャンネルとも18sec間(1800ポイント, 10msec間隔)である。電極の貼付部位やアナログ回路の増幅度には左右のチャンネル間で差が生じないように注意を払った。

積分筋電位のデータは、まず咬筋と側頭筋でそれぞれの右側積分筋電位から左側積分筋電位を引くことにより差分を求めた(以下これを差動積分筋電位(図)と呼ぶ)。次に咬筋と側頭筋の差動積分筋電位をそれぞれX/YプロッターのX軸とY軸にプロットしリサージュ図形として表現した(以下これを差動リサージュ筋電図と呼ぶ)。咀嚼運動の経時変化をみるため、必要な場合は差動リサージュ図形を個々の咀嚼サイクルごとに分解した。またパターンを数量的な観点から把握するために4筋の積分筋電図のそれぞれの総面積と側頭筋、咬筋の左右の相関係数を計算した。総面積は側頭筋の左右の合計値を100とした時の個々の筋の相対値で表した。相関係数を求める際には全体を3secごとに6分割してそれぞれの部分での値を平均した。(これは例えばチューインガムのような場合咀嚼は左右に分離するので相関が全体として負になってしまい、これを避けるためである。従って18秒間全体の相関とはかなり異なる場合がある。)

用いた食品はピーナツ(3個, 約3g)とチューインガム(3.1g)で、チューインガムは口中で柔らかくなってからデーターをとった。ピーナツは自由に咀嚼してもらったが、チューインガム咀嚼の際は、9sec後に作業側を換えるよう指示した。

結 果

Fig. 1 A は正常者のピーナツ咀嚼時の側頭筋と咬筋の積分筋電図とそれぞれの筋の差動積分筋電図(Diff.)である。側頭筋のパターンは左右で余り差がみられないが咬筋の活動は平衡側の筋電位が作業側にくらべて顕著に小さく、全体的に変化に富んでいる(側頭筋の咬筋の左右間の相関係数はそれぞれ0.95と0.70)。この傾向はそれぞれの差動積分筋電図によく表われていて、咬筋のものは側頭筋に比べ振幅が大きい(もちろん差動積分筋電位の大きさは、それぞれの筋の増幅度に依存するが、この場合、咬筋の左右積分筋電位の総面積は側頭筋より小さかった(0.86倍))。Fig. 1 B は側頭筋と咬筋の差動積分筋電位をリサージュ合成したものである。ピーナツの差動リサージュ筋電図は様々な形をした多数のループ状の軌跡より成るが、多くはX(咬筋)軸の方向に伸びている。また、全体のパターンは明らかに咀嚼サイドと対応していると思われる右側と左側のループ群に分れている。図1 C はBのリサージュ筋電図を時間経過に従って個々のサイクルに分解したものである。一般的な傾向として、個々のサイクルはまず作業側の咬筋と側頭筋の領域に進行し、時計方向に回転(右回転)しながら後半は平衡側の側頭筋の領域に侵入した後原点に戻る。このような軌跡パターンは特に幅広のループに見られた。しかし個々のサイクルではループの形にかなり違いがある。また幅の狭いループは複雑な動きをし必ずしも右回転しない。

Fig. 2 A はFig. 1と同じ被験者のチューインガム咀嚼の際の側頭筋と咬筋の積分筋電図とその差動積分筋電図である(側頭筋と咬筋の総面積比は100対64)。この場合は側頭筋でも左右でピークの電位に差はみられるが、咬筋の平衡側筋電位は非常に小さい(相関係数は側頭筋が0.87, 咬筋が

Fig. 1 A: Integrated EMGs of the anterior part of the temporal muscle (TM) and the superficial masseter muscle (MM) on the right (R-) and left (L-) sides during peanut mastication, and the differences (Diff.) between the symmetrical muscles. Note that the left IEMGs are inverted to allow the differences to be obtained. B: The Lissajous figure synthesized from the differential integrated EMGs. C: The first 30 individual cycles of the differential Lissajous figure which were sequentially isolated. Allows the direction of the rotation of the trajectories to be indicated.

0.69)。Fig. 2B はAの差動リサージュ筋電図である。この場合個々のループの形と方向がよく似ていて、ほぼ同じ場所に単調な軌跡を描いている。Fig. 2C はこれを個々のサイクルに分解したもののだが、ループは右側咀嚼のものも左側咀嚼のものも右回転する。しかしピーナツの場合と異なりサイクル後期の平衡側側頭筋領域への侵入はみられない。

Fig. 3 は他の正常者三人のピーナツとチューインガム咀嚼時の差動リサージュ筋電図である。一般にピーナツのパターンはチューインガムのものより被験者によるバリエーションが大きいように思われる。ピーナツのパターンは三者共、左右両方の咀嚼がみられるが、被験者Cの右側咀嚼のサイクルは小さく、また、側頭筋も左側の活動が優

勢であることを示していた。ガムのパターンは三者共にいて左右のループの方向と形が割合そろっているが、被験者Aのものは右側咀嚼のサイクルが左側咀嚼のものよりかなり長い。Table 1 はこれら三者の積分筋電図の面積の相対値と相関を示したものである。傾向としては筋電図の面積は左右間で極端な差はなく相関は咬筋のほうが側頭筋より小さい。

Fig. 4 は口顎系に障害を持つ3人の差動リサージュ筋電図である。Aは上顎左7番に大きなカリエスを持つ者のパターンである。ピーナツのパターンはループが咬筋軸に沿って右側に集中している。また、個々のループはほとんどが正常者とは異なる左回転を示した。チューインガムのパターンは左側咀嚼のものが著しく短く形も右咀嚼のもの

Fig. 2 A: Integrated EMGs of the anterior part of the temporal muscle (TM) and the superficial masseter muscle (MM) on the right (R-) and left (L-) sides during chewing gum mastication, and the differences (Diff.) between the symmetrical muscles. Note that the left IEMGs are inverted to allow the differences to be obtained. B: The Lissajous figure synthesized from the differential integrated EMGs. C: The first 30 individual cycles of the differential Lissajous figure which were sequentially isolated. Allows the direction of the rotation of the trajectories to be indicated.

のとかなり異なる。回転の方向は左側咀嚼の場合は右回転だったが右側咀嚼のものは左回転を示した。Bは不正咬合者 (Class III) のものだがピーナツのパターンは右側咬筋と左側側頭筋の領域に集中している。個々のループは著しく幅が狭く回転は主に左方向を示した。チューインガムのパターンも個々のループの幅が狭くしかも右側咀嚼のものも左側咀嚼のものも側頭筋の使い方が逆である。またガム咀嚼特有の個々のループの定常性が低く軌跡は複雑である。Cは左側に顎関節障害のある者のパターンである。この場合もピーナツ咀嚼のループは右側だけとなっているが回転は右回転で正常だった。また、チューインガムのパターンは左側咀嚼の時だけ側頭筋の使い方が逆になっていて長さも短く軌跡が複雑である。回転はどち

らの側のものも右回転を示した。Table 2 はこれら三者の積分筋電図の面積の相対値と相関係数を示したものであるが特に面積に左右のアンバランスが現れている。

考 察

咀嚼時における側頭筋と咬筋の収縮順序は一般的にはまず作業側の側頭筋が収縮を開始し、ついで同側の咬筋が続く、ほぼ同時にピークに達した後減少に転じるが、平衡側の側頭筋は収縮が最後まで残るといわれている^{6,7,8,9)}。今回の正常者のピーナツの差動リサージュ筋電図においては多くのループが右回転を示し、又後半で反対側の側頭筋領域に侵入する傾向を示した。これは上述の側頭筋と咬筋の行動を強く示唆するものだが特に幅

Fig. 3 Differential Lissajous figures for peanut and chewing gum (gum) of three subjects (A, B, C) with normal tooth alignment and occlusion. R-TM and L-TM=right and left temporal muscle, R-MM and L-MM=right and left masseter muscle.

Table 1 Proportion (p) of amplification of the temporal signal to the masseter, relative value of area (a) of the integrated EMGs, and correlation(r) between the paired EMGs in peanut and chewing gum (gum) mastications of three normal subjects.

p	TM/MM	A		B		C	
		0.5		0.7		0.5	
a		peanut	gum	peanut	gum	peanut	gum
	R-TM	51}	52}	46}	45}	48}	47}
	L-TM	49}	48}	54}	55}	52}	53}
		100	100	100	100	100	100
r	R-MM	39}	37}	51}	52}	50}	38}
	L-MM	37}	23}	41}	33}	50}	27}
		78	60	92	85	100	65
r	R-TM * L-TM	0.97	0.94	0.94	0.89	0.89	0.95
	R-MM * L-MM	0.74	0.66	0.74	0.74	0.94	0.95

* Correlations were averaged among six parts of the sequences.

* R-, L-, TM, MM=right, left, temporal muscle and masseter muscle.

* Subjects A, B and C correspond respectively to those of (A), (B) and (C) in Fig. 3.

広のループでこれが強くみられた。しかし、このような軌跡傾向を示すループにおいても形はバリエーションに富んでいて側頭筋と咬筋の活動連関が画一的でなく、咀嚼ごとにより変化することを示している。またループの形から作業側の咬筋と側頭筋の活動が同時にピークに達するという点にはピーナツ咀嚼の場合疑問が残る。チューインガムのパターンは、正常者では個々のサイクルがよく似ていてバリエーションは余り無い。又、ループの後期に反対側の側頭筋に侵入がみられないことから咀嚼サイクル後期の側頭筋の活動は明らかに同側の方が優勢である。更にループの形からチューインガム咀嚼の場合は作業側の側頭筋と咬筋の活動はほぼ同時にピークに達すると思われる。Sicher (1980)¹⁰⁾ は筋の走向や生理学的性質から側頭筋は主に下顎の位置決めとして働き、実際の仕事は咬筋が主体であることを示唆している。ピーナツ咀嚼の場合臼磨動作で横にスライドした下顎を中心咬合位に戻さなければならないが、チューインガム咀嚼の場合は同側で連続して咀嚼するのでその必要はないと考えれば、今回見出された両食品の差動リサーチパターンは確かに側頭筋の下顎の位置決めとしての側面を強く支持している。

ところで正常な咀嚼とは何かという問題には咀嚼動作における個人間のバリエーションが関係し

ているので筋電図学的な定義は難しいが、今回の4人の正常者のパターンと3人の異常者のパターンを比較すると以下のような考察が可能である。

1) 異常者のピーナツ咀嚼ではほとんどのループが座標の特定の部分に集中する。これは筋活動のバランスがいずれかの筋に片寄っていることを示し、障害のある側を避けて咀嚼するか、あるいは障害のある側での咀嚼には力はいらないことが原因と思われる。ガム咀嚼でも障害のある側のループは小さい。不正咬合者の場合は下顎の動きがある範囲内でロックされてしまうので、正常人より習慣性咬合が増強されやすいことが原因とおもわれる。2) 異常者のパターンは作業時における側頭筋と咬筋の組み合わせが正常者のものと逆になる場合がある。このような咀嚼傾向は以前から不正咬合でよく報告されており^{6,8,11,12)}、今回も不正咬合者のパターンに顕著にみられた。また顎関節障害者のガム咀嚼のパターンでも障害のある側での咀嚼の際の側頭筋の使われかたが逆だったが、このような障害が側頭筋の活動に反映されてくるのは興味深い点である。カリエスの患者では使われる筋の組み合わせは正常者と同じだったが個々のループの回転方向が反対になる場合があり、やはり側頭筋と咬筋の活動のしかたが正常者とは異なることが推察される。3) 一般に異常者に比べて正常者の個々のループはピーナツのもの

Fig. 4 Differential Lissajous figures for peanut and chewing gum (gum) of three patients. (A) is the figures for a patient with deep caries at the upper second molar. (B) is the figures of a malocclusion patient (class III). (C) is the figures of a patient with temporo-mandibular joint disfunction on the left side.

Table 2 Proportion (p) of amplification of the temporal signal to the masseter, relative value of area (a) of the integrated EMGs, and correlation (r) between the paired EMGs in peanut and chewing gum (gum) mastications of three patients

p	TM/MM	A		B		C	
		0.5		0.4		0.5	
a		peanut	gum	peanut	gum	peanut	gum
	R-TM	50}	54}	36}	42}	56}	54}
	L-TM	100	100	100	100	100	100
	R-TM	49}	29}	58}	36}	62}	42}
r	L-MM	91	50	73	69	90	76
		42}	21}	15}	33}	28}	34}
	R-TM * L-TM	0.96	0.97	0.79	0.86	0.89	0.95
	R-MM * L-MM	0.80	0.89	0.76	0.89	0.72	0.87

* Correlations were averaged among six parts of the sequences.

* R-, L-, TM, MM=right, left, temporal muscle and masseter muscle.

* Subjects A, B and C are correspond respectively to those of (A), (B) and (c) in Fig. 4.

はバラエティーに富み、ガムのものは逆に定常性が高い。(しかしこの点は個々の症例によってかなり差があるのでもっと多くの例で検討してみる必要はある)。

ところで本方法により描かれる作動リサージュパターンは側頭筋と咬筋の増幅度がX軸とY軸の比率に直接影響を与えるので異なった被検者間での比較には注意を要する。また筋活動量や咀嚼リ

ズムも直接みることは出来ない。しかし原波形と併用して臨床的に応用すれば、特に個々の患者における治療前後の咀嚼状態の変化を見るといったような目的に対してはかなり有益な情報を与えてくれるように思われる。今後、他の種々の被検者で筋の組み合わせも変えてみて、筋活動様式と障害との関連を更に調べてみる予定である。

抄録：ヒトの左右側頭筋と左右咬筋から筋電位を同時導出し積分した後、差動型のリサージュ筋電図を求め、正常者と顎口腔系になんらかの異常のある人で咀嚼筋の行動にどのような違いがあるかを比較検討した。実験に供した食品はピーナッツとチューインガムだが、リサージュパターンは咀嚼時における4筋の活動の関連性をよく表現していた。正常者では一般に言われている側頭筋と咬筋の活動様式が確認されたが、個々のサイクルではバリエーションがあり例外も多かった。異常者の主な特徴としては、1) 特定の筋の活動が著しく低い。2) 咀嚼時における側頭筋と咬筋の全体組み合わせ、あるいは収縮順序が正常者と逆になる場合がある。3) ガム咀嚼における筋活動の定常性が低い、等が観察された。

文 献

- 1) Moyers, R. E.: An electromyographic analysis of certain muscles involved in temporomandibular movement. *A. J. Orthodontol.* 36: 481-515. 1950.
- 2) Yamashina, T., Arata, K., Munehisa, N., Nagasawa, T. and Tsuru, H.: A new Analysing method of the electromyogram-On the vectormyogram. *J. Jpn. Prothod. Soc.* 21: 520-524, 1977.
- 3) Yamashina, T., Fuji, H., Munehisa, N., Nagasawa, T. and Tsuru, H.: Effects of the oral sensory function on the activities of masticatory muscles. *J. Jpn. Prothod. Soc.* 21: 525-532, 1977.
- 4) Kumai, T., Masuda, T., Sadoyama, T. and Nagamura, N.: Lissajous figure method for ascribing masticatory movements. *Jpn. J. Oral Biol.* 28: 383-387, 1986.
- 5) Kumai, T.: Lissajous figures of differential electromyograms of the paired temporal and paired masseter muscles in mastication. *Arch. Oral Biol.* 33: 851-854, 1988.

- 6) Pruzansky, S.: The application of electromyography to dental research. J. Am. Dent. Assoc. **44** : 49-68, 1952.
- 7) Perry, H. T. and Harris, S. C.: Role of the neuromuscular system in functional activity of the mandible. J. Am. Dent. Assoc. **48** : 665-673, 1954.
- 8) Ahlgren, J.: Mechanism of mastication. A quantitative cinematographic and electromyographic study of masticatory movements in children, with special reference to occlusion of the tooth. Acta Odontol. Scand. **24** : Suppl. **44** : 1-109, 1966.
- 9) Møller, E.: The chewing apparatus. An electromyographic study of the action of the muscles of mastication and its correlation with facial morphology. Acta Physiol. Scand. **69** : Suppl. 280. 1-229, 1966.
- 10) Sicher, H.: Oral Anatomy, 7th edn Chap. 3, p. 142. The C. V. Mosby Company, St. Louis., 1980.
- 11) Perry, H. T.: Functional electromyography of the temporal masseter muscles in class II, division 1, malocclusion and excellent occlusion. Angle Orthod. **25** : 49-58, 1955.
- 12) Kawamura, Y., Kishi, K., Nobuhara, M. and Fujimoto, J.: Studies on masticatory function. I : An electromyographic analysis of the chewing pattern of the normal occlusion and malocclusion. Med. J. Osaka Univ. **8** : 229-240, 1957.