咀嚼筋 EMG 解析への running spectrum の応用

米田 優 村上 昌之 伊藤 弘昭

山内 六男 浅井 浩志 川野 襄二 天野仁一郎*

Running Spectrum Application for Masticatory Muscle EMG

Masaru Yoneda, Masayuki Murakami, Hiroaki Itoh, Kohji Asai,
Mutsuo Yamauchi, Johji Kawano and Niichiro Amano*

I. 緒 言

筋活動の表面 EMG スペクトラム解析に関する従来の研究は、数秒間の筋活動の連続記録についての定常的スペクトラム解析に限られてきた¹⁻⁶⁾。この方法では、再現性のあるスペクトラム結果を得るためには、スペクトラムを変化させる時間的要素をできるだけ固定化する必要がある。ほとんどの研究において分析の対象とされた筋活動は、等尺性条件下における一定の強さの持続的収縮であった。

著者らは、咀嚼運動時の顎筋 EMG パースト発射の瞬時スペクトラムを連続的に観察することを目的として、音声のスペクトラム分析に用いられている SONA-GRAPH を利用することを思いついた。本研究では、語音、心音、ドブラー偏位など幅広い非定常的音響現象 (nonstationary acoustic phenomenon) のスペクトラム解析のために開発された SONA-GRAPH (米, Kay 社製) が phasic な顎筋活動の瞬時的 EMG スペクトラムの観察に使用できるかどうかを検討した結果を報告する。実験の前半では SONA-GRAPH の周波数特性 (frequency characteristics) および時間周波数分解能 (time-frequency analyzing characteristics) 等について検討し、後半では SONA-GRAPH を実際に用いて顎口腔系に異常のない成人被検者の咀嚼時咬筋 EMG パーストの瞬時スペクトラムの経時的表示 (running

spectrum) を示す。

II. 実験装置および実験方法

使用した SONA-GRAPH は Kay 社製 Digital SONA-GRAPH Model 7800 とその付属プリンタ Type 7900 である。Table 1 にその主な特性を、Table 2 に入力周波数レンジによる特性を示す⁹⁾。Fig. 1 は本実験に用いた SONA-GRAPH と付属プリンタ、およびその特性試験装置である。Fig. 2 には SONA-GRAPH の block-diagram を示す。SONA-GRAPH の特性の中で、a. 入力周波数特性、b. 周波数時間分解能、c. A/D 変換の Nyquist 周波数について計測を行った。さらに、正常被検者 1 名について、咀嚼中咬筋 EMG の running spectrum を、各入力周波数レンジで、3 種のフィルターを使って観察したが、ここには代表として 3 枚のプリント例を掲載する。Fig. 3 には、EMG 採得に使用した実験装置の写真を示す。

1. Sona-Graph の特性の測定¹⁰⁾

a. 入力周波数特性

SONA-GRAPH には 6 段階の入力周波数レンジがあり、各々高域遮断周波数が、500 Hz, 1, 2, 4, 8, 16 kHz である。また、低域遮断周波数はすべてのレンジで共通であり、この低域特性と前述の高域特性を各レンジについて測定した。

計測には、YHP 社製 Function Generator 3300 A 型および、リーダー社製 C.R.O. LBO-508 A 型を使用した。測定方法は SONA-GRAPH を Rec 状態とし、CH 1 入力として CH 1 Aux In より Attenuator 0 db Vernier

岐阜歯科大学歯科補綴学第 1 講座

* 九州歯科大学口腔科学講座

Dep. of 1st prosthodontics Gifu College of dentistry

* Dep. of Stomatology Kyusyu dental college

昭和 59 年 8 月 13 日受付

Table 1 Specifications of Digital Sona-Graph Model 7800

Input	
Frequency range	DC-16kHz
Input channels	1 or 2
Recording Memory	65k word X 10 bits
Sampling rate	3.2X Input range frequency
Frequency response	± 0.3db across full range
Anti-aliasing filters	Automatically selected
Dynamic range	60db
Analysis	
Analyzing filter band width	See table 2
Recording time	See table 2
Display	
Spectrographic (3D)	Time(X-axis) vs frequency(Y-axis)
(Running Spectrum)	vs amplitude(Z-axis or grey scale)
Time wave form	Time vs amplitude
Power spectrum	Frequency vs amplitude
Printer resolution	100 lines per inch(X-axis) X
	100 lines per inch(Y-axis) X
	11 lines of grey scale

Table 2 Specifications with Frequency range

Ranges	1	2	3	4	5	6
Frequency range (kHz)	DC-0.5	DC- 1	DC- 2	DC- 4	DC- 8	DC-16
Recording time (sec)	40.96	20.48	10.24	5.12	2.56	1.28
Filter #1 (Hz)	2.68	5.27	11.30	22.50	45.00	90.00
Filter #2 (Hz)	9.38	18.80	37.50	75.00	150.00	300.00
Filter #3 (Hz)	18.80	37.50	75.00	150.00	300.00	600.00
Sampling rate (kHz)	1.60	3.20	6.40	12.80	25.60	51.20
Duration of smallest spliced segment (sec)	0.16	0.08	0.04	0.02	0.10	0.005

Fig. 1 Sona-Graph & Testing instrument

level 5 にて, Function Generator から, 0.4 V-peak to peak (以下 P-P と略す) の連続サイン波を入力した. この時あらかじめ計測周波数帯域全域に渡り, SONA-GRAPH の VU meter が 0 db ラインを越えないことを確認しておいた. 特性の測定は, C.R.O. の CH1 で観察して, 入力電圧が 2 div/P-P となるよう一定とし, SONA-GRAPH の Signal Out からの出力を C.R.O. の CH2 に入力し, P-P 電圧を計測して行った. この状態で Function Generator の入力周波数を変化させて, VU meter の指示が -16 db を越える周波数範囲までの測定を行った. この計測を 5 回くり返し, 平均して入力周波数特性とした.

b. 周波数—時間分解能^{7,8,11)}の測定

Fig. 2 Block diagram of Digital Sonagraph

Fig. 3 EMG Recoding System

本来、周波数分解能とはどれほど細かく周波数成分を分離できるかをいうのであるが、ここでは単一の周波数成分を持つ信号を、どれくらい広い周波数成分とみてしまうかによって、その周波数分解能とした。したがって、帯域幅が広いほど分解能は低いと考えてよい。また、時間分解能とは、信号停止期間がどれほどあれば running spectrum 上で信号停止が出現するか、すなわち断続信号を spectrum 上でも経時的に断続信号とするのに必要な最低時間のこととした。ここで特に周波数—時間分解能としたのは、どちらか一方の性能を向上させると、他方が悪化するという不確定性の関係があるためである。本論文では、まず各々の静的な特性を独立に測定

し、その後考察において、running spectrum の解釈に多大の影響をおよぼす両者の関係について言及したい。

1) 周波数分解能の測定

SONA-GRAPH による EMG running spectrum 測定時に、中心的な測定レンジとなる 2 kHz レンジについて測定を行った。このレンジには、11.3, 37.5, 75.0 Hz 幅のフィルターがある。このフィルターの周波数幅の、1/2, 1/1, 2, 4, 8, 16, 32, 64 倍に相当する連続サイン波を、3000 A から SONA-GRAPH CH 1 Aux In に、同 VU meter が -3 db を越えないように入力した。周波数マーカーを 100 Hz として、DC~1.3 kHz に渡る running spectrum をプリントした。また、同一用紙上に Time Wave を描いて入力に異常がないことをチェックした。このプリントされた spectrum の広がり、最も近いマーカー幅を、三豊製作所製ノギスで、1/20 mm まで各点 5 回測定し平均した。得られた結果は、プリントの 1 line が 5 Hz の分解能を示すため、5 Hz ごとの結果となるよう、2 捨 3 入、7 捨 8 入した。

2) 時間分解能の測定

SONA-GRAPH の入力レンジ 2 kHz について、自作 Function Generator より、Fig. 4 に示す 1 波出現—15 波休止の間歇サイン波 (Tone burst 波) を入力し、時間分解能を各バンドパスフィルターごとに測定した。一波出現サイン波を連続させた時の周波数は、フィルターのパスバンド幅から得られる理論時間分解能値付近とし、プリントされた running spectrum 上で目視で時間分解能値を計測した。なお、周波数の測定には自作水晶発振式周波数カウンターを使用した。

3) SONA-GRAPH 全入力周波数レンジにおける周波数—時間分解能の観察

Fig. 4 Tone burst wave (1 wave appear-15 waves stop)

自作 Function Generator より Fig. 5 に示す 16 波連続—16 波休止の Tone burst 波で、休止のない場合の周波数が、SONA-GRAPH の各入力周波数レンジの高域遮断周波数の 1/2, 1/4 にあたる周波数について入力した。これを各レンジ付属の三種のフィルターで分析し、running spectrum をプリントさせ、全入力レンジにおける周波数—時間分解能の傾向を観察した。

c. A/D 変換器 Nyquist 周波数^{12,13)}の測定

SONA-GRAPH の入力周波数レンジを 2 kHz とし、連続サイン波を周波数カウンタの監視のもとで入力し、A/D, D/A 変換後の波形を Signal Out より取り出して、C.R.O. にて観察、撮影し、A/D, D/A 変換の状態を含め、Nyquist 周波数を測定した。

2. 咀嚼中咬筋 EMG burst の running spectrum の観察

咀嚼中の咬筋 EMG の burst 波と SONA-GRAPH に入力し、running spectrum を得て変化を観察した。

被検者は顎口腔系に異常のない¹⁴⁾成人男子 1 名で、咀嚼得手側の右側で市販チューインガム一枚¹⁵⁾を任意に咀嚼させた。筋電図の導出は、触診により筋活動が強く触れる咬筋前縁の中央部から双極誘導で行った^{16,17)}。耳朶には不関電極を装着した。電極は直径 1 cm の日本光電社製銀電極を、歯科用即時重合レジンにて電極間距離を 8 mm 離して固定したものを使用した。電極貼着に先だって皮膚をエーテル、エタノールで清拭し、電極には市販の心電図用電極糊を塗って、絆創膏で電極が移動しないよう、しっかり固定した。固定直後に電極間皮膚抵抗を測定し^{18,19)}、本例では約 20 kΩ を示した。誘導した

Fig. 5 Tone burst wave (16 waves appear-16 waves stop)

EMG は、日本光電社製生体用プリアンプ RB-5 を、低域時定数 0.03 sec (5 Hz, -3 db), 高域時定数 Hi cut filter off (3 kHz, -3 db) で使用して約 30 db 増幅し、出力をソニーマグネスケール社製データレコーダ DFR-3515 に、19 cm/sec のテープスピードで記録した。この時の記録系全体の周波数特性は 5 Hz~3 kHz, -3 db であった。

この信号をくり返し再生して、SONA-GRAPH の入力レンジ 500 Hz, 1, 2, 4, 8, 16 kHz で入力した。この時の入力電圧の監視は、C.R.O. を用いて SONA-GRAPH の Signal Out の出力で行い、瞬間的な過大入力による波形歪からくる高調波の発生に注意を払った。

running spectrum の作成は、各入力レンジごとに付属の 3 種類のフィルターを用いて行い、同一記録紙上に対照として通常の EMG (time wave) を併記した。

III. 実験結果および考察

1. SONA-GRAPH の特性の測定

a. 入力周波数特性

計測した SONA-GRAPH の各入力チャンネルにおける高域周波数特性を、遮断周波数 F で規格化し、平均したものと、各入力チャンネルについて共通な低域特性をグラフにしたものを Fig. 6 に示す。低域遮断周波数は 1.15 Hz (-3 db) で 6 db/oct の遮断特性であった。高域遮断周波数は、入力レンジ周波数を F とした場合、平均値では 1.12 F (-3 db) で -46 db/oct の遮断特性であった。低域から高域まで通過帯域の周波数特性はほぼ平坦であるが、高域遮断周波数 F の 0.8 倍付近で +1.7 db

Fig. 6 Normalized Frequency Characteristics

Fig. 7 Frequency Analyzing Characteristics

のピークを持っていた。以上を公称特性⁹⁾と比べると公称では 3 Hz 以下を遮断しているが、3 Hz 付近では -0.52 db 程度の遮断であり、低域特性は公称特性より良いといえる。高域特性においても、前述のように公称特性より高い所まで延びていた。レンジ内の変動は、公称 1 db 以内であるが、高域遮断周波数付近で最高 1.7 db の増強が認められた。

以上より、通過帯域内での変動は多少公称値より大きいものの、通過帯域幅に関しては全く問題がないとい

て良い。

b. 周波数-時間分解能の測定

1) 周波数分解能の測定

周波数分解能を各フィルターについて測定した結果を Fig. 7 に示す。各フィルターにおいては、その分解能以上の周波数帯では、一定の分解能を示し、その値は、帯域幅 11.3 Hz では分解能 35 Hz、同様に 37.5 Hz では 110 Hz、70 Hz では 210 Hz であった。これは、Fig. 8 に示すようにフィルター通過帯域幅を示す周波数帯は、平

Fig. 8 Correspondence between Filter pass band width and Read out pass band width

平坦部に比較して -3 dB の帯域帯で公称されるのに対し、プリントされた結果は、平坦部より約 -40 dB 下まで表示されていることによると思われる。また、低周波部分で周波数分解能が向上しているようにみえるのは、Fig. 9 のように、低域では、D.C. 以下の表示が削除されるため、あたかも周波数分解能が向上したようにみえるためである。

2) 時間分解能の測定

Fig. 10 には時間分解能の測定に用いた代表的な running spectrum を示す。Fig. 10-a では、不連続波があたかも連続したスペクトラムとして観察され、同 b では、スペクトラム間の分離が始まった状態で、同 C では完全に不連続なスペクトラムとして分離された状態を示す。ここでは時間分解能を Fig. 10-b の状態として測定した。その結果、帯域幅 $11.3, 37.5, 75\text{ Hz}$ に対し、一波出現の波形を連続させた場合の周波数としては、 $170, 565, 1,125\text{ Hz}$ でほぼ分離がみられた。これを 15 倍した時間でみると、それぞれ $88.2, 26.5, 13.3\text{ msec}$ である。すなわち、テストに用いた 15 波休止の期間が、ちょうど帯域幅で与えられる周波数の一周期分に相当していることになる。つまり、帯域幅に相当する一周期の時間の間信号が停止していれば、波形は経時的に分離されたスペクトラムを示す。これらの事象は、running spectrum に特有の、周波数—時間分離能の不確定

Fig. 9 Frequency effect to the Read out pass band width

性の関係として周知の事実と一致する^{7,11~13}。周波数分解能を向上させようとするれば、経時的に長期に渡るデータが必要となって時間分解能が低下し、逆に時間分解能を向上させると、測定した信号の周波数分解能が低下してしまう。このような現象をできるだけ回避する目的で、SONA-GRAPH にはわざわざ 3 種類の帯域フィルターが準備されていて、各々の目的に合った計測ができる。この意味で running spectrum の周波数分布、あるいは時間的分布について言及する場合には、必ず両者に対応させて記載する必要がある、一方だけでは片手落ちのデータとしかいえない。

現在では、このような固定的なフィルターを脱し、電子計算機の利用でより高度なカルマンフィルター等の利用が進んでいる¹¹⁾。したがって running spectrum の研究にも、将来にはもっと優れた方法が取られることが予想される。しかし、現在の SONA-GRAPH は音声領域では多大の実績があり、特に running spectrum に関する研究には、多くの成果が期待できるといってよいと考えられる。

3) SONA-GRAPH 全入力周波数レンジにおける周波数—時間分解能の観察

プリンターで表示された running spectrum の模様は、全入力周波数レンジで全く同一のパターンを示した。測定は 1 つの入力周波数レンジで、2 種の入力周波数に対し、3 種のフィルターを用いて行ったが、そのうちの 1 種の入力周波数を 3 種のフィルターで表示した running spectrum を、Fig. 11 として示す。これと全く同一のパターンが 6 種の入力レンジで観察された。これは、SONA-GRAPH の内部では記録した波形の再生スピードを変化させることで、3 種のフィルターはみかけ

Fig. 10 Time analysing characteristics of Sona-Graph Model 7800.

上, 各入力周波数レンジに相当する 18 種の帯域幅のフィルターとして作用しているためであり⁹⁾, 当然の結果といえる。したがって一つの入力周波数レンジでの測定は, 周波数の倍数関係さえ一致させれば, すべてのレンジで成立することになる。

c. A/D 変換器 Nyquist 周波数の測定

Fig. 12 に SONA-GRAPH の入力レンジを 2 kHz とし, Function generator 3300 A の入力周波数を 1.6 kHz とした場合の SONA-GRAPH の signal out の出力波形を示す。Block diagram から予想される通り, ここでの出力は D/A 変換直後の信号であり, 元の sin 波とは似ても似つかない階段状の波形がみられる。しかし, この階段波は 2 kHz 以下のみを通すローパスフィルターを通すと, 元の sin 波と同様の波形となる。SONA-GRAPH では分析用のバンドパスフィルターがその役目を担っていて, しかも遮断周波数までしかプリント表示

しないので, このような階段波形の出力で間に合うのである。

Fig. 12 の写真より, A/D 変換のサンプリング周波数は Function generator の周波数の 4 倍, すなわち 6.4 kHz である。したがって Nyquist 周波数は 3.2 kHz であり, 入力周波数レンジ 2 kHz に比べて 1.6 倍あり, 適当と考えられる。これは Sona-Graph の公称仕様と一致していた。

2. 咀嚼中咬筋 EMG の running spectrum の観察

Running spectrum は 6 種の入力周波数レンジのすべてについて, 各 3 種のフィルターでプリントし観察したが, ここでは代表として 500 Hz, 2, 4 kHz の入力周波数レンジについて, 中間帯域幅のフィルター #2 (Table 2 参照) を用いてプリントしたものを Fig. 13 として例示する。Fig. 13-a では入力レンジ 500 Hz で, バンドパ

Fig. 11 Equality of all input range and band pass filter (•sea table II)

Fig. 12 Nyquist Frequency

スフィルターを 18.7 Hz とした場合のプリント例である。同図には、上部に time wave, 下部に running spectrum が 50 Hz のマーカーとともにプリントされている。この図より、咀嚼中の咬筋 EMG は、著明な優

勢周波数成分を持たない、連続的なスペクトラムの断続として観察される。また直流付近には、経時的に連続している弱い成分が認められる。最高分布周波数は解析範囲を越えていた。

Fig. 13-b は、入力周波数レンジ 2 kHz でフィルターが 37.5 Hz の場合のプリント例である。この図では EMG burst 変化に対応する running spectrum の変化が観察される。また、最高分布周波数は約 900 Hz 附近である。

Fig. 13-c は、入力周波数レンジ 4 kHz でフィルターが 75.0 Hz の場合のプリント例である。この図では、burst 変化にさらに良く対応した spectrum の変化が観察された。すなわち、burst が強くなるに従って周波数分布も高域まで広がっている。この変化の主な原因は明確ではないが、1. NMU の発射頻度の上昇、2. 発射

Fig. 13 Running Spectrum of Masseter EMG with Band pass filter #2°
(・see table-2)

NMU 数の増加, 3. NMU発射の非同期化, 4. 筋長の変化等の理由が考えられる。詳細については今後の研究を待たねばならない。

直流付近の経時的に連続している成分は, Fig. 13-a, b, c の順で成分周波数を延ばしているのが観察される。これが spectrum の周波数-時間分解能の不確定性の関係に由来すると考えて良いかどうか、今後の課題の一つといえる。

さて、今まで SONA-GRAPH の諸特性について計測してきたが、ここで EMG の諸要件から SONA-GRAPH 使用の可否を検討してみる。

① EMG の表示範囲と SONA-GRAPH の入力範囲について (入力 Dynamic range の検討)

筋電図として実際に使用されているペン書きオシログラフの表示性能は、グラフ上での最小認知振幅を 0.1 mm とし、最大振幅を ± 40 mm とすれば、約 400 倍の表示性能である。これをペン書きオシログラフの dynamic range と解釈すれば約 52 db といえる。これに対して SONA-GRAPH の dynamic range は入力アンプは 60 db であるが、A/D 変換器が 2^{10} ビットすなわち $\pm 2^9$ ビットのため、dynamic range は約 54 db と考えてよい。また、付属プリンターは、40 db の表示を観察し

たが, SONA-GRAPH には観察時のみに作用させられる出力抑圧装置 (Compression) が付属していて, 60 db まで十分表示可能である。したがって入力 dynamic range 上, SONA-GRAPH は EMG 波形を十分取扱えるといえる。

② EMG の周波数特性について

日本筋電図学会制定の「筋電計規格」によれば, 周波数特性は 10~1,500 Hz で $\pm 10\%$ 以内となっている。SONA-GRAPH では, 2 kHz 入力レンジの場合, 3 Hz~2 kHz の範囲で, $+20, -10\%$ である。ただし, $+20\%$ は高域の 1.5~1.8 kHz の範囲だけに分布し, 10 Hz~1.5 kHz の範囲なら, ほぼ $\pm 10\%$ を満し得る。この点では, 若干周波数特性にうねりを持つが, この程度なら実際の測定上差しつかえないと考えて良い。

③ 時間一周波数分解能について

従来行われてきた周波数分析は, たとえば加藤⁶⁾ (1975) では約 3 秒の筋収縮時間により定常的であるとした EMG の周波数分析を行って, DC~1 kHz 間での周波数分析値を得ている。これに対し, SONA-GRAPH による running spectrum では, 入力周波数レンジ 2 kHz でフィルターが 37.5 Hz の場合, 約 27 msec の信号で 3 Hz~2 kHz を分析している。つまり約 1/100 の時間を対象に, 経時的に周波数分析を行っていることになる。この点こそ running-spectrum による筋収縮の dynamic 性を調べる上での利点といえるのではないだろうか。

IV. 要 約

著者らは, 筋活動の dynamic な側面に注目しようとして筋電位の周波数分析に running spectrum の応用を考えた。Running spectrum の表示には, 従来音声の分析に利用されている SONA-GRAPH が利用可能かどうか, その特性の測定を通して検討を加えた。併せて running spectrum に特有の時間一周波数分解能の特性について実験と検討を加えた。また咀嚼中咬筋筋電図のバースト波形について running-spectrum を例示しつぎのような結論を得た。

1. SONA-GRAPH は EMG の running spectrum 表示に利用できる。Dynamic range は約 54 db と見積られ, また, 周波数特性も EMG 測定上の規格を十分満たしている。

2. Running spectrum 上で周波数一時間分布を言及する場合には, 必ず使用したフィルターの帯域幅, ある

いは分析の対象とした時間間隔の条件のもとに論ずべきであり, この点は定常分析, あるいは長時間スペクトラムと同一視して論ずることはできない。

3. SONA-GRAPH によるチューイングガム咀嚼の 1 例を running spectrum, time wave の対照図として例示し, 咀嚼運動中の咬筋の spectrum が dynamic に変化する様子を例示した。

稿を終えるにあたり, SONA-GRAPH の使用を許していただいた岐阜歯科大学補綴学第 2 講座の倉知助教授に心から深謝いたします。

文 献

- 1) 日野幹雄: スペクトル解析, 77~79, 朝倉書店, 東京, 1977.
- 2) 奥村修三: 表面筋電図の周波数スペクトルに関する基礎的研究, 岡山医学会雑誌, 69: 401~411, 1956.
- 3) J. Fex and C.E.T. Krakaw: Frequency analysis of the piper rhythm, Acta psychiat. Neurol. scand., 33: 54~68, 1958.
- 4) 鮫島宗弘: 表面筋電図のスペクトル解析, 臨床脳波, 15: 375~383, 1973.
- 5) 斎藤 陽一: 筋電図データの計量解析, 神経進歩, 19: 1172~1220, 1975.
- 6) 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.
- 7) 大泉充郎, 藤村 靖, 他: 音声学, 160~165, 東京大学出版協会, 東京, 1972.
- 8) 池田謙一, 他: 医用電子工学, コロナ社, 東京, 1980.
- 9) Kay Elemetric corp.: Digital sona-graph Model 7800 Inotruction manual, Kay Elemetric corp, USA, 1982.
- 10) 西野 治, 他: 電気計測, 356~378, 共立出版, 東京, 1969.
- 11) 三浦種敏, 他: 聴覚と音声, 307~315, 電子通信学会, 東京, 1980.
- 12) 安居院猛, 中嶋正之: コンピュータ音声処理, 121~123, 産報出版, 東京, 1980.
- 13) 安居院猛, 中嶋正之: FFT の使い方, 111~124, 産報出版, 東京, 1981.
- 14) 前田照太: 咬合性顎関節症の筋電図学的研究, 歯科医学, 43: 229~267, 1980.
- 15) 前田照太, 藤井弘之, 大伏義臣: 咀嚼筋表面筋電図のパワースペクトルの変動要因について, 補綴誌, 24: 186~192, 1980.
- 16) 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.

- 17) 山内六男：顎関節症の顎頭位修正治療に関する筋電図学的研究，*岐歯学誌*，10：48～103，1982.
- 18) 岡根秀明，津島 隆，他：電極の位置と極間抵抗が咬筋筋電図に及ぼす影響について，*補綴誌*，23：164～167，1979.
- 19) 豊岡博夫，佐々木元，他：咀嚼筋筋電図の規格化に関する実験的研究，*広大雑誌*，6：17～24，1974.