

## M6 咀嚼運動時の筋活動を制御する神経回路網での筋紡錘のはたらき

牛腸哲也\*, 木竜徹\*, 山田好秋\*\*, 齊藤義明\*\*\*

(新潟大学大学院自然科学研究科\* 新潟大学歯学部\*\* 新潟大学工学部\*\*\*)

### 1. はじめに

運動時には、感覚器が筋の活動状態を運動中枢に伝え、それに基づいて適切な制御が行われている。近年の生理学の進歩によって生体の様々な生理的機能が解明され、運動制御に関する研究<sup>[1]</sup>や感覚運動統合に関する研究<sup>[2]</sup>など、多くの研究が行われている。

本研究では、運動中の筋活動と感覚器から伝えられる情報との間に存在している関係を、スペクトル解析によって表す事を目的としている。今回は咀嚼運動を例にとり研究を行った。咀嚼運動で特徴的な点は、感覚受容器である筋紡錘の活動に対応する細胞体が、感覚中枢の一つである三叉神経中脳路核に存在していることである。従って、三叉神経中脳路核から信号を計測する事によって筋紡錘の活動を間接的に調べる事ができる。咀嚼運動時の三叉神経中脳路核の活動電位を開閉口筋の筋電図及び下顎運動と同時に計測し、その神経活動電位をスペクトル解析する事によって、筋活動様式と感覚系神経の活動状態が周波数領域においてどのような関係を持っているのかを調べた。閉口筋に着目してみたところ、閉口筋の活動状態の変化に伴って三叉神経中脳路核のスペクトルの違いが見られた。

### 2. 実験

#### 2.1 計測<sup>[3]</sup>

実験には兎を用いた。兎に咀嚼運動を行わせ、予の時の三叉神経中脳路核、閉口筋である咬筋、閉口筋である顎二腹筋からそれぞれ信号を同時に計測した(図1)。咀嚼物として今回はパンと生米を選択した。神経活動電位はガラス被覆したエルジロイ電極を用いて、筋電図は直径2mmの銀製の小リングを筋に縫い付けてそれぞれ計測した。また、磁界センサにより切歯点の前頭面における軌跡を同時に計測した。サンプリング周波数は10kHz、量子化ビット数は12bitとした。なお、エルジロイ電極の位置は、麻酔下において電極を少しずつ侵入させ、咬筋を圧迫又は伸張させた時、すなわち、咬筋の筋

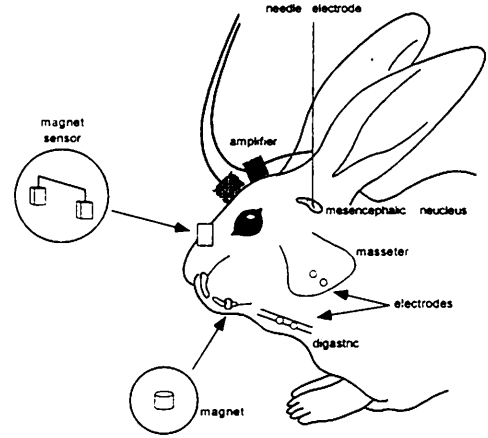


図1 計測条件

紡錘を活動させた時に電位が計測されるように決定した。咀嚼実験は麻酔が覚めてから行った。

#### 2.2 解析

三叉神経中脳路核の解析方法としてパイスペクトルを用いた。信号  $x(n)$  のパイスペクトル  $\Phi_{xx}(f_1, f_2)$  は信号の3次キュムラント関数の2次元フーリエ変換で定義される<sup>[4]</sup>。

$$\begin{aligned} \phi_{xx}(\tau_1, \tau_2) &= E[x(n)x(n+\tau_1)x(n+\tau_2)] \\ \Phi_{xx}(f_1, f_2) &= \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \phi_{xx}(\tau_1, \tau_2) e^{-j2\pi(f_1\tau_1 + f_2\tau_2)} d\tau_1 d\tau_2 \end{aligned} \quad (1)$$

ここで、 $E[\cdot]$  は標本領域での期待値操作、 $\tau_1, \tau_2$  は信号の時間ずれ、 $f_1, f_2$  は周波数を表す。ガウス性信号のパイスペクトルは0であるため、信号にガウス性の雑音が混入している場合でもその影響を受けずに解析を行う事ができる。

計測された信号を顎の動きにあわせて、閉口初期(Fast Closing)、閉口後期(Slow Closing)、最大閉口期(Maximum Closing)、開口初期(Slow Opening)、開口後期(Fast Opening)の5区間に分割し、各区間ごとにスペクトルの推定を行った。次に、咬合時の咬筋

活動と筋紡錘活動との関係を調べるために、咬筋筋電図を入力  $x$ 、三叉神経中脳路核活動電位を出力  $y$  とするシステムを考え、そのシステム関数  $H(f)$  を推定した。推定方法として相関法<sup>[5]</sup>を用いた。

$$\phi_{xx}(n) = \sum_{l=1}^{N-1} h(l)\phi_{xx}(l-n)$$

$$\therefore H(f) = \frac{\Phi_{xy}(f)}{\Phi_{xx}(f)} \quad (2)$$

ここで、 $\phi_{xx}(n)$  は  $x$  の自己相関関数、 $\phi_{xy}(n)$  は  $x$  と  $y$  の相互相関関数、 $h(l)$  はシステムのインパルス応答を表し、 $\Phi_{xx}(f)$ 、 $\Phi_{xy}(f)$ 、 $H(f)$  はそれぞれのフーリエ変換である。また、下顎運動に対する筋紡錘活動の変化を見るため、下顎運動と三叉神経中脳路核スペクトルの時間変化の関係を調べた。

### 3. 結果

閉口後期と閉口初期での、三叉神経中脳路核のスペクトル推定結果を図2に示す。パワースペクトルでは、閉口相において500Hz付近にピークがあったが、閉口相においてその成分が見られなくなっている。バイスペクトルでは、閉口相では低域にあったピークが、閉口相ではより高域へ移動していた。筋紡錘は閉口相では  $\gamma$ -drive により活性化されて活動しているが、閉口相では筋長の変化に反応して活動していると考えられる。スペクトルの違いは、閉口相と閉口相とでの筋紡錘の活動の機能的な違いを表しているものと考えられた。なお、咀嚼物の

違いによる差は顕著には現れなかった。システム関数の推定結果より、咬筋の整流化平均値とシステム関数の平均周波数が同様な時間変化を示した。これは、より強い咬合力を出す際に筋紡錘の活動が活発になっている事を表しているものと考えられた。また、下顎が素早く動いた時には、それにあわせて三叉神経中脳路核のスペクトルも変化している事がわかった。顎の開口によって咬筋の筋長が変化し、それに筋紡錘が応答していることを表していると考えられた。

### 4. まとめ

咀嚼運動時の三叉神経中脳路核活動電位を計測し、スペクトルの推定を行った。その結果、閉口相と閉口相とではスペクトルに違いが見られた。その理由は、筋紡錘活動の機能的な違いが現れたものと考えられた。しかし、データ数が少ないなど、問題点もまだ多く残されている。今後の課題としては、データ数を増やして解析を行うこと、解析結果に基づいたシミュレーションモデルの検討などが挙げられる。

### 参考文献

- [1] 田口英郎, 宗像浩一, 桐山公一, 藤井克彦: “脳による随意性筋活動制御”, 信学論(D), J70-D, Vol. 1, pp. 2762-2772, 1987.
- [2] 赤松幹之, T. Hasbroucp, I. Mouret, J. Seal: “感覚運動統合における大脳皮質部位間の活動の解析”, 第8回生体・生理工学シンポジウム, pp. 379-382, 1993.
- [3] Y. Yamada, N. Haraguchi, K. Uchida and Y. Meng: “Jaw Movements and EMG activities of limb-licking behavior during grooming in rabbits”, Physiology & Behavior, Vol. 53, pp. 301-307, 1993.
- [4] C. L. Nikias and J. M. Mendel: “Signal processing with higher-order spectra”, IEEE SP Magazine, pp. 10-37, 1993.
- [5] 森下巖, 小畑秀文: “信号処理”, 計測自動制御学会, pp. 196-197, 1990.

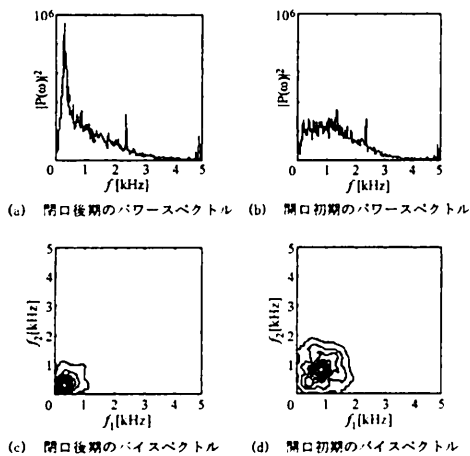


図2 スペクトルの推定結果