

# 疲労時の膝蓋腱反射と中枢神経活動

林 貴法、萩原 正和、石川 正道

北海道柔道整復専門学校

キーワード：筋疲労、腱反射、中枢性疲労、表面筋電計、脳波

## 抄録：

平成 23 年度研究助成金の研究で筋疲労と筋断裂の関連性について、疲労による筋柔軟性の低下・反射亢進が起こっている可能性を発見した。筋疲労に関しては末梢性の疲労と中枢性の疲労[1-3] が考えられているが、詳細は明らかにされていない。本研究では中枢神経活動を脳波形で記録する事で、中枢性の疲労を明らかにする事を目的として行われた。

北海道柔道整復専門学校の健康な卒業生 1 名を対象に大腿四頭筋の自発収縮を繰り返し行い、その前後で表面筋電図をとった。また実験全体を通して脳波計により脳波を記録した。実験全体をビデオカメラで撮影し、実験中の事象に関する時間での脳波の解析を行った。

反射の筋電図はサンプル数が少なく、最大エントロピー法が周波数解析に適しているため、筋電図の解析は最大エントロピー法により行った。脳波に関しては長時間記録のため、高速フーリエ変換により周波数解析を行った。

反射の筋電図の周波数解析は随意収縮と同様に、筋疲労で周波数が減少する事が分かった。脳波の周波数密度においては、筋疲労前後で周波数の分布に変化がみられた。また随意運動中の周波数密度に関しては、最初の周波数分布と 3 回目筋疲労以降の周波数分布に変化がみられた。

被検者が少ない、脳波計が簡易なものでノイズが大きいなどの問題点が挙げられる。また脳波の長時間解析を詳細に行うための解析ソフト、脳波と筋電図でコヒーレント解析を行うための解析ソフトがないなど設備の問題点もある。今後被検者を増やし、解析方法を改善し実験を行う予定である。

## 緒 言：

筋疲労の研究は代謝や電気生理学的な手法によりなされてきた[1-4] が、いまだにそのメカニズムは明確にされていない。我々は 2011 年度公益社団法人全国柔道整復学校協会の助成金による研究で、大腿四頭筋疲労時における膝蓋腱反射の周波数解析を行うことができた。この研究では被検者が一人であるものの、腱反射においても随意運動の周波数解析同様の結果を得ることができた。筋疲労は当該筋のパフォーマンス低下ととらえられているが、

その原因は中枢性の疲労と末梢性の疲労の両方が挙げられる可能性が示唆されている[5-7]。そこで本研究では神経・筋機構による筋疲労を評価するために、膝蓋腱反射の筋電図（EMG）と脳波（EEG）を同時に観測し、筋疲労と中枢神経活動の関係を調べた。なおこの研究は2012年度公益社団法人全国柔道整復学校協会の助成金を受けて行った。

## 方法：

### <被検者>

被検者は北海道柔道整復専門学校のOB 1名で運動器に外傷の既往がない者とした。また被検者は北海道柔道整復専門学校倫理規定に基づく同意書に署名の後に実験に参加した。

### <実験機器>

表面筋電計はパーソナルEMG（P-EMG-0404A01-2W，追坂電子機器製）を用いた。電極はBlue Sensor M（M-00-S/50，株式会社メッツ）を使用し、電極を貼付する前に剃毛し紙やすりで角質を落とし消毒用エタノールでふき取る前処理を行なった。レファレンスは右外果においた。

脳波計はPW-EEG-03，PW-EEG-02（有限会社パスワード）を用いて取得した。電極は皿電極を使用した。電極の設置部位は10-20法の電極部位のうち、C3，C4，Fz，Cz，Pzで測定した。C3，C4，FzをPW-EEG-03で、Cz，PzはPW-EEG-02で観測した。筋電図のサンプリング周波数は3000Hz，ローパスフィルターは500Hz，ハイパスフィルターは20Hz，脳波のサンプリング周波数は128Hzで観測した。

### <プロトコール>

膝蓋腱反射（PTR）を筋電計で測定した後、座位で右大腿四頭筋に70%最大収縮を可能な限り継続して行なわせ（VC）筋疲労を起こした。その後再びPTRのデータを取得した。これを5回繰り返し行い、筋疲労の時間的変化を見積もった。

### <解析>

各随意運動の開始直後の筋電図と終了直前の筋電図を高速フーリエ変換（FFT）で周波数解析し、その中央値を評価した。PTRの筋電図は最大エントロピー法（MEM）で周波数解析を行った。脳波は反射を起こしている瞬間に得られた脳波、随意運動を行なっている時間帯の中央での脳波に対して各電

極で FFT を行い、周波数密度を求めた。

#### 結果：

VC の筋電図に関しては筋疲労のための随意運動開始直後と終了直前の周波数の中央値を、PTR の筋電図は各反射の周波数の平均値を図 1 に示す。VC に関しては開始直後と終了直前では明らかに終了直前で周波数が低下していることがわかる。PTR に関しては疲労前の周波数よりも低下したのは 4 回目筋疲労後において起こっている。今回はデータ数が少ないために統計的にははっきりした事は言えない。

脳波に関しては、C3, C4, Fz, Pz, Cz の各電極で得られた脳波の周波数解析の結果を各電極ごとに時系列で並べた図を図 2 に示す。図中の vc1, vc2, vc3, vc4, vc5 は筋疲労のために行った 5 回の随意運動中の脳波の周波数解析を表している。

#### 考察：

EMG に関しては 2011 年度の研究の裏づけができた事になる。筋疲労を中枢性の疲労と末梢性の疲労に分けて考えると、PTR は筋自体の疲労を反映するため中枢性の疲労が末梢性の疲労に先んじて起こると考えられる。

筋疲労を起こす前の EEG 周波数密度は、どの電極も低周波数に鋭いピークがあり、低周波数成分がほとんどを占めることがわかる。最初の随意運動（図 2 の vc1 の時間帯）ではどの電極も周波数ピークが低下している。続けて行なった 3 回目、4 回目、5 回目の筋疲労の周波数密度は、Pz, Cz では低周波数と約 16Hz に周波数密度のピークが見られるが、他の電極では低周波数成分だけに周波数密度のピークがある。Cz は頭頂部の電極で大腿部の運動領域近傍での脳波を捉えており、Pz は大腿部の感覚領域に近い部位での脳波を反映していると考えられるので、3 回目以降、大腿部の運動領域・感覚領域に中枢神経活動に変化が起こったと考えられる。PTR を行なっている時の脳波に関しては、2 回目筋疲労後から低周波数成分から高周波数成分まで幅広い周波数がみられ、各電極間で特異的なことは見られない。

5 回目筋疲労後はどの電極も周波数密度は筋疲労前と同じ傾向に戻っている。これは 5 回目筋疲労後、被検者にこの反射のデータを取って終了だという事を告げたために起こった精神的な変化によるものなのか、脳波計の精度の問題かは明確には分からない。被検者の聴覚・視覚が脳の電気活動への程度影響するかを明確にするためには、随意運動をしている時間帯以外では被検者に暗算をさせるなどの実験方法を取り入れることも考えられる。

本来、脳波解析は全ての時間で連続して時間周波数解析を行うことで脳の電気活動の変化を考える事ができるが、そのためには解析ソフトが必要となる。今回は解析ソフトがないために各 VC, PTR のイベントごとでの解析しかできず、脳の電氣的活動の全体像を解明するには至らなかった。また脳波と筋電図のコヒーレント解析を行い、脳波周波数と筋電図周波数の関連を調べるべきであるが、これも解析ソフトがないためにできなかった。

今後は被検者数を増やし、脳波計の精度を見積もり今回の問題点を改善し、継続して実験を続ける予定である。

#### まとめ

今回の実験では4人の被検者のうち、脳波・筋電図の両方のノイズが少なく解析に採用できたデータが1名だけであり、統計的に確かなことは分からなかった。しかし、随意運動後に脳の広範囲にわたって高周波数成分が増加するという電気活動の変化が起こること、また随意運動を起こしている脳の一部における電気活動、高周波数成分と低周波数成分にがその他の部位と差異があることなどが観察できた。

#### 引用文献：

1. Kent-Braun JA. Central and peripheral contributions to muscle fatigue in humans during sustained maximal effort. *Eur J Appl Physiol.* 1999; 80:57-63.
2. Bigland-Ritchie B, Jones DA, Hosking GP, Edwards RH. Central and peripheral fatigue in sustained maximum voluntary contractions of human quadriceps muscle. *Clin. Sci. Mol Med.* 1978; 54: 609-614.
3. Boerio D, Jubeau M, Zory R, Maffiuletti NA. Central and peripheral fatigue after electrostimulation-induced resistance exercise. *Med Sci Sports Exerc.* 2005; 37: 973-978.
4. Petrofsky JS. Frequency and amplitude analysis of the EMG during exercise on the bicycle ergometer. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1979; 41: 1-15.
5. Basmajian JV, De Luca CJ. *Muscles alive* 5th ed. Baltimore: Williams & Wilkins; 1985. 89 p.

6. Merletti R, Conte L.R, Orizio C. Indices of muscle fatigue. J Electromyogr Kinesiol. 1991; 1: 20-33.

7. Sadoyama T, Miyano H. Frequency analysis of surface EMG to evaluation of muscle fatigue. Eur J Appl Physiol. 1981; 47: 239-246.

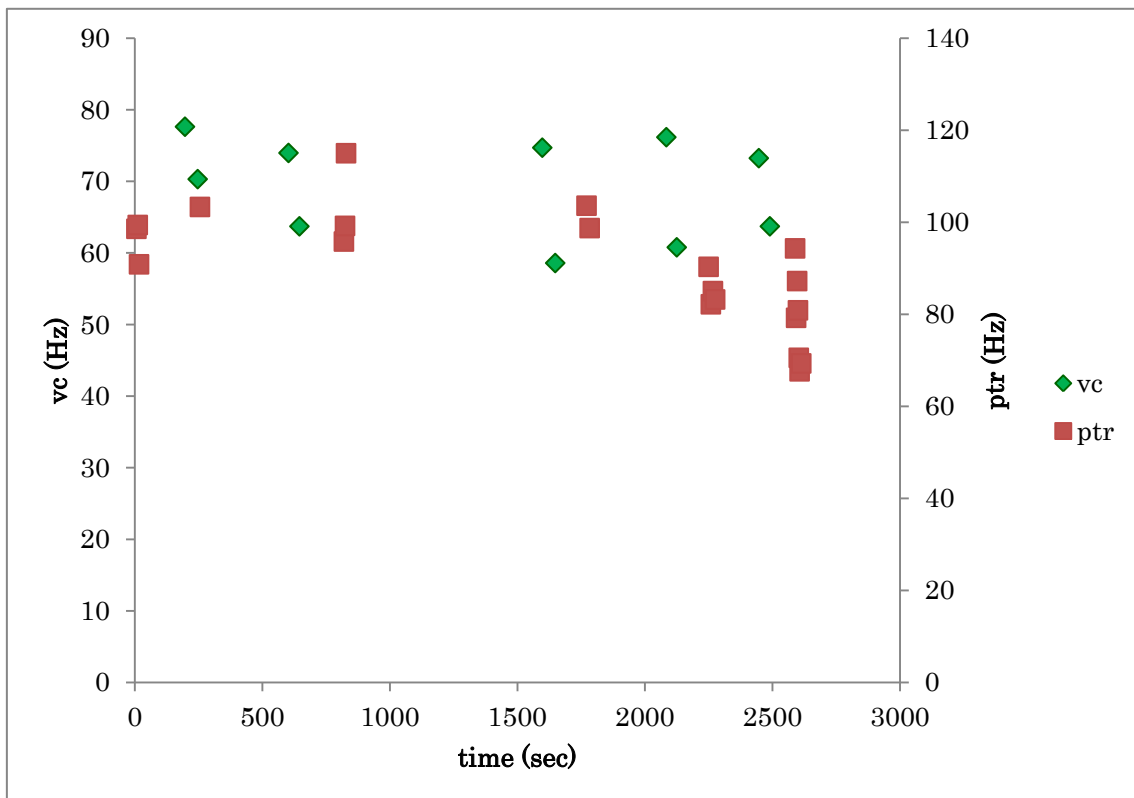


図1 随意運動による筋疲労時のFFTによる周波数解析の結果（vc）と、筋疲労後の膝蓋腱反射のMEMによる周波数解析の結果（ptr）である。

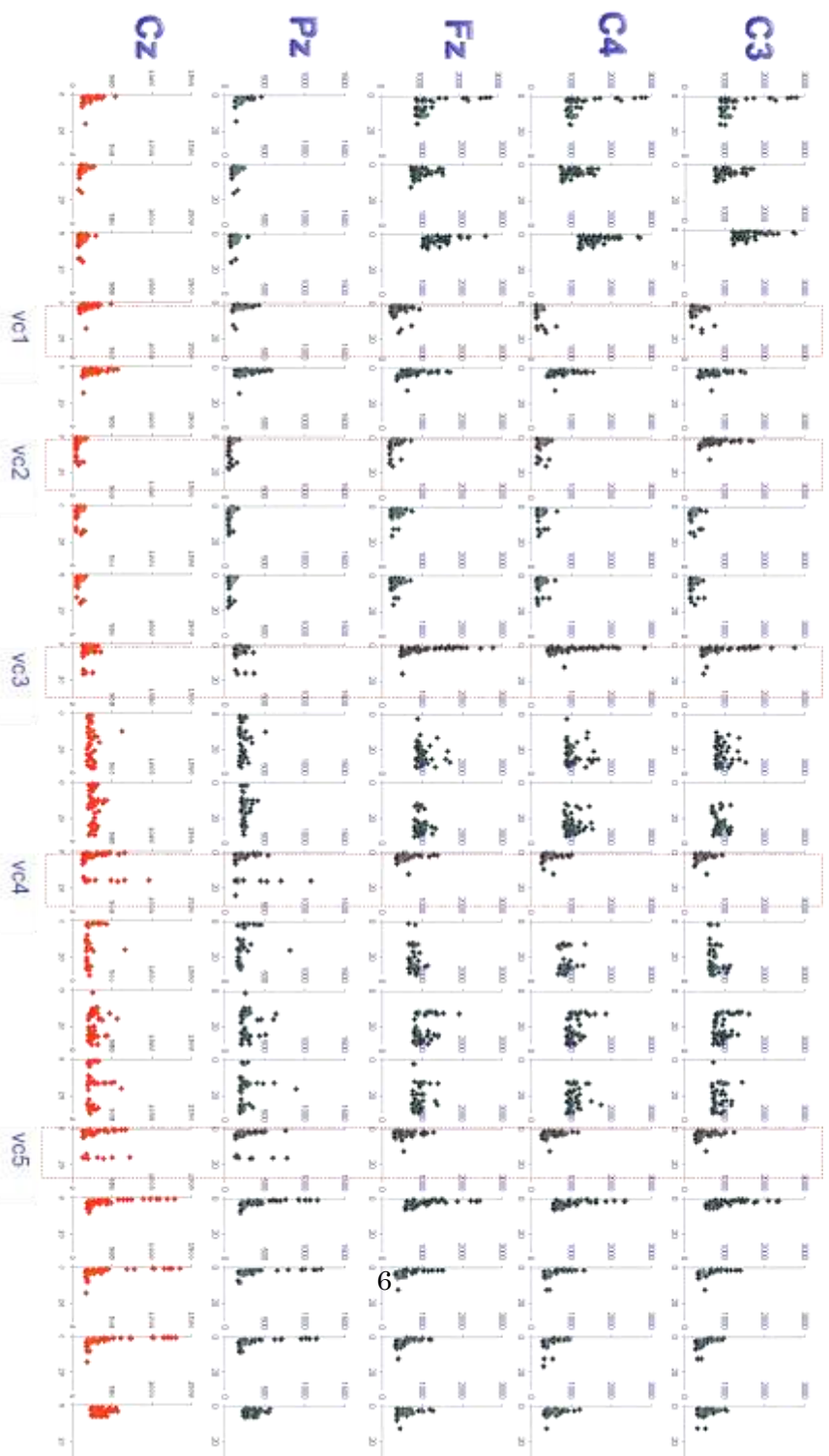


図 2 各電極で記録された脳波を FFT により周波数解析し周波数密度を電極ごとに表示し、膝蓋腱反射をしている瞬間での周波数密度、随意運動中の中間点での周波数密度を表して

