

# 電気刺激による痛覚緩和の 定量的評価の検討

横浜国立大学 教育人間科学部  
保健体育講座

森本 茂

## 研究目的 高域変調多重複合波の“痛み感覚”に対する抑制効果を検討した

従来、感覚の強さの程度を表す指標としてVAS(visual analogue scale)が用いられてきている。主観的な感覚の程度を客観的に数値化する汎用性のある試みではある。しかし、相対的評価であることからVASを個人間、異なる日にち間での比較に適用することは困難と考えられる。

VASの相対的評価に対して、痛感覚抑制の効果を関節可動域から評価する報告がある。関節角度の絶対値評価が可能となるために、有効な手法と考えられる。高域変調多重複合波刺激による可動域の拡大も報告され、刺激の有効性が提唱されている。

関節可動域は、骨、腱を含む関節構造物、に加えて骨格筋(筋力)により制限される。筋力は骨格筋量とともに神経系の収縮指令の量、質によって決定される。そこで、本研究の目的は、高域変調多重複合波刺激の効果を発揮筋力と神経系の情報の二つの観点から検討することにおいた。

## 研究方法

- 被験者:**被験者は右膝関節半月板摘出手術後2ヶ月を経過し、膝関節痛を有するものとした。
- 記録:**右下肢膝関節伸展筋、内側広筋、外側広筋および大腿直筋から、銀 塩化銀電極(10mm ;双極導出法)を用いて筋電位を導出した。増幅は周波数帯域3~1 kHzにて差動増幅した。足関節部に生じる等尺性膝関節伸展筋力を、ロードセルを用いて導出した。
- 実験プロトコル:**被験者は実験台上に腰掛け、下腿を下垂した。足関節部にロードセルに直結したベルトを固定した。膝関節伸展筋力は被験者の目前に設置したモニター用ブラウン管に表示した。  
筋力発揮条件は、モニターブラウン管を見ながら、約 $20\text{N}\cdot\text{s}^{-1}$ の発揮勾配にて直線的に筋力発揮するものとした。膝関節痛により筋力発揮が不可能となる時点まで筋力を増大し、その後弛緩した。試行は1分間で行い、電気刺激前後に5から10試行を行った。
- 刺激方法:**電気刺激には、テクニク社製生体刺激装置を用いた。刺激電極は50mmの専用パッドを用い、膝蓋骨の内、外側に装着した。電気刺激は刺激感覚閾値電圧の約2倍の強度にて、10分間の連続刺激とした。ただし、筋収縮の発生が見られる場合は、刺激強度を弱めた。
- 解析方法:**被験者の膝痛の発現時点の筋力をPth(pain threshold)として計測を行った。表面筋電位は、コンピュータに取り込み、専用解析ソフトを用いて、積分値を、200msを解析区間として、求めた。また、被験者に痛覚発生時点の筋力を可能な限り持続することを依頼し、この区間の筋電位を高速フーリエ変換に適用し、特徴周波数を求めた。

## 結果

### 1. Pthからの高域変調多重合波刺激効果の検討

図1A(刺激前)B(刺激後)に筋電位、筋力記録の典型例を示した。図中の縦実線(M1)は被験者が膝痛を訴えた時点を示している(ただし、若干の遅延は存在する)。M1時点直近の最高筋力を刺激前後で計測した(Pth)。その結果を図2Aに示した。試行回数が進むにしたがって、Pthが減少する傾向が、刺激前後に共通して観察された。しかし、その平均値は、前=141N(S.D. 16.5)後=163.2N(S.D. 9.8)であり、有意に刺激後に高い筋力まで発揮可能となった(t-検定Welchの方法:両側検定  $p=0.0112$ )。

Pthは試行回数に依存して低下することが観察された。刺激前または後の第一試行に対する相対的变化から低下程度の比較を行った(図2B)。刺激後のPthは常に刺激前Pthより高い値となり、刺激効果に持続性の存在が示された。

図-1A 等尺性膝関節伸展時の筋電位信号 (刺激前)

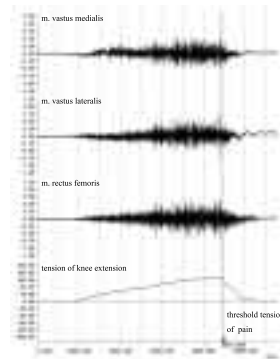
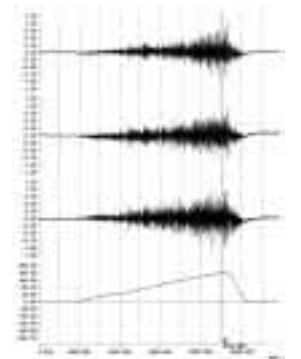


図-1B 等尺性膝関節伸展時の筋電位信号 (電気刺激後)



### 2. 表面筋電位積分値からの検討

図3に3種類の被験筋(上:内側広筋、中:外側広筋、下:大腿直筋)における表面筋電位積分値を示した。膝関節伸展筋力に伴って積分値は増大し、3筋間に増加傾向の差異は見られなかった。刺激後の積分値(緑実線)は、全ての被験筋で刺激前(赤実線)と比較し、高い値となった。これはPthの増大により活動する筋線維数が増大した結果であり、またひとつの筋が他筋に対して補償的に活動を強めることなかったことが示された。

図-2A 等尺性筋力発揮時の膝痛発現筋力(Pth)

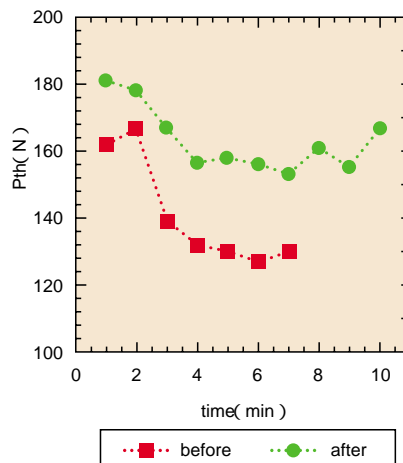
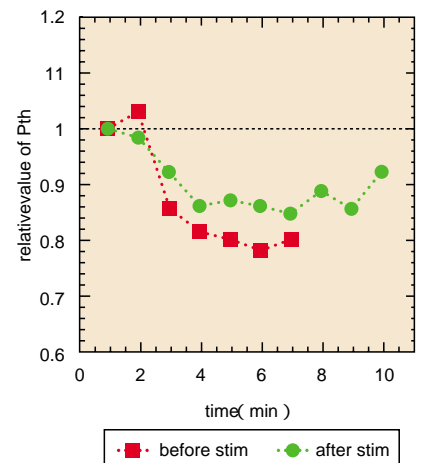


図-2B 等尺性筋力発揮時の膝痛発現筋力相対的变化からみた痛覚抑制効果の持続性



### 3. 表面筋電位波形の特徴周波数からの検討

図3に示す筋電位波形は非正常性の性質を有することから、フーリエ変換などの統計的処理を適用できない。そこで、表面筋電位の特徴周波数に刺激の影響が存在するものか検討するために、膝痛の存在するPth水準の筋力を約10秒間一定維持することを被験者に依頼した。一定筋力維持時の筋電位は正常性を示すとされているため、この期間の筋電位波形を高速フーリエ変換から周波数解析した。

刺激前後の筋力維持時に膝痛は共通して存在するものの、図4に矢印で示すように、刺激前(赤実線)に55Hz付近にピークが発現したが刺激後(緑実線)には周波数成分は存在するもののピーク値は低下した。

周波数構成は、運動単位(脊髄運動ニューロン)の活動様式が内在すると考えられている。今回得られた55Hzピークの実態は不明ではあるが、刺激後に運動単位の活動様式が変容したことが推測できた。

55Hzピークの出現は発揮筋力の刺激ごとの差異では説明できず、高域変調多重複合波刺激は痛覚抑制に作用する以外に、他の感覚に対しても何らかの作用を及ぼしていることが推測できた。すなわち、脊髄運動ニューロンへの感覚末梢性入力の変容が特徴周波数に出現したものと考えられる。

図-3 筋電位積分値の刺激前後の比較

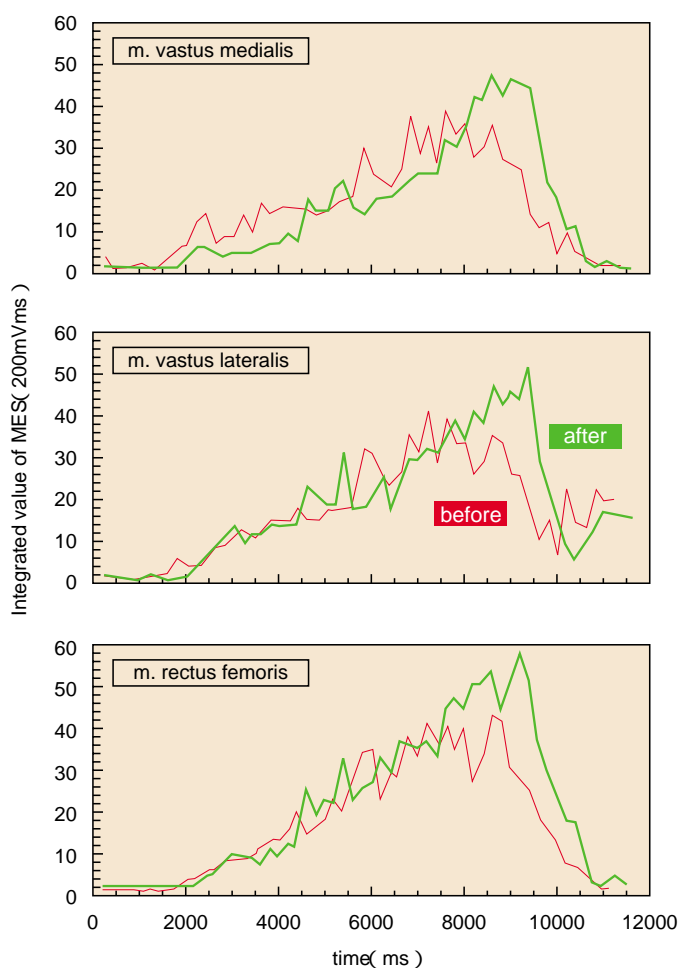
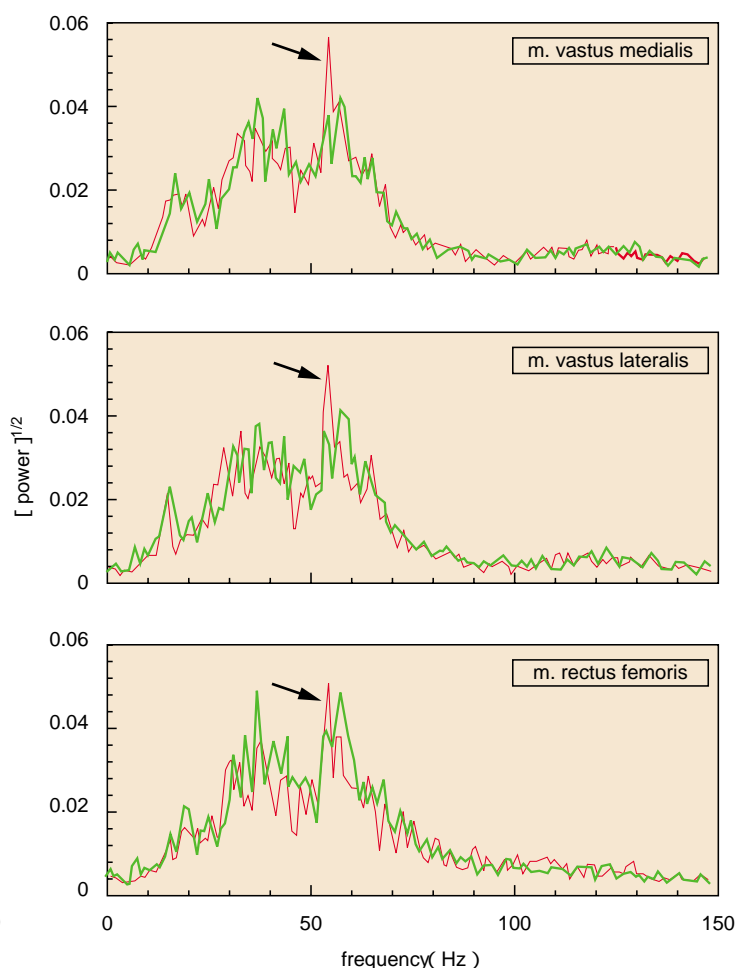


図-4 刺激前後での表面筋電位の周波数構成の比較



### 今後のこのテーマに関する課題

多くの被験者に参加を求め、実験的に筋傷害を誘発する誘発性筋痛を利用し、高域変調多重複合波刺激の効果を検討することが考えられる。

株式会社 テクノリンク

