

氏名(本籍)	山田 洋 (静岡県)
学位の種類	博士(体育科学)
学位記番号	博乙第1645号
学位授与年月日	平成12年7月25日
学位授与の要件	学位規則第4条第2項該当
審査研究科	体育科学研究科
学位論文題目	表面筋電図変化パターンを指標とした疲労耐性の評価に関する研究
主査	筑波大学教授 理学博士 岡田 守彦
副査	筑波大学助教授 学術博士 西平 賀昭
副査	筑波大学助教授 博士(心理学) 吉田 茂
副査	筑波大学講師 博士(医学) 竹田 一則

## 論文の内容の要旨

### 研究目的

体育・スポーツの場面における筋疲労の定量的な測定およびその進行や回復経過の評価法の開発は、トレーニング、コンディショニング、障害予防等の立場より、重要な研究課題のひとつである。筋疲労の進行にともない、収縮筋の表面筋電図振幅が増大し、徐波化(周波数の低域シフト)が起こることはよく知られているが、とくに周波数シフトは比較的安定した結果が得られるため、非侵襲的な筋疲労の評価法として人間工学、リハビリテーションなどの分野で広く用いられている。しかし、徐波化の機構については、末梢機序として筋内pHの低下による筋線維伝導速度の低下が主因とされているものの、中枢の関与も否定できず、その機序は十分に解明されていない。

表面筋電図にはまた、その変化から疲労の進行過程をリアルタイムでモニターできるという大きな利点がある。しかし、それらの変化パターンには個人差が少なくなく、これらの違いがどのような要因によって生ずるのか、あるいはそれらとパフォーマンスとしての持久時間の間にどのような関係があるか、などについては殆ど明らかにされていない。表面筋電図による筋疲労評価の体育・スポーツ分野への応用を考える場合、これらの個人差の実態とその意味、それらに影響をおよぼす要因、とくに運動経験やトレーニングなど、いわゆる運動適応とのかかわりの解明は不可欠である。

これらのことを踏まえ、本研究では、等尺性の持続的筋収縮にともなう表面筋電図の変化パターンとこれに影響をおよぼす要因を明らかにし、さらに収縮の持久時間との関係を検討することにより、個人に依存する疲労特性を捉え、表面筋電図による筋疲労評価の体育・スポーツ分野への応用性について検討することを目的とした。

### 方法と結果

上述したように、局所筋疲労による表面筋電図(EMG)の変化は、もっぱら筋線維伝導速度(MFCV)を中心とする末梢生理機序との関わりで捉えられ、これ以外の要因については殆ど明らかになっていない。そこで研究課題Aでは、上位中枢から筋線維までの各部位が疲労によるEMGの変化にどのように関わっているかを調べた。

まず筋線維活動電位のシェイプ自体の変化が、EMGの徐波化にどのように関与しているかを検討するために、持続収縮中のEMG平均周波数(MPF)と径皮的電気刺激による重畳M波の瞬時周波数(IF)の関係(MPF-IF相

関)を調べた(研究課題A-1)。その結果、MPFは一貫して低下したが、収縮初期に高かったMPF-IF相関が徐々に低下し、さらに収縮中期以降、顕著な低下がみられた。これらのことから疲労に伴うEMGの徐波化には、MFCVの低下に加え、運動単位の振舞いの変化および活動筋線維の脱分極ゾーンの拡大の二要因が関与している可能性が示唆された。

次に筋と中枢を結ぶ神経・筋接合部および末梢神経における変化がどのように関与しているかを検討するために、持続的収縮中の重畳M波振幅を計測するとともに、collision法を応用して収縮前後の最大神経伝導速度および神経伝導速度分布を調べた(研究課題A-2)。その結果、収縮により重畳M波振幅は低下したが、収縮強度や持続時間に依存しないことから、神経・筋接合部の機能低下がEMGの変化に与える影響は小さいこと、また疲労進行にともない最大神経伝導速度には変化がみられないが、軸索、筋線維を含め、疲労耐性に優れる経路が選択的に賦活され、これらがEMGの変化に影響を与えている可能性が推察された。

さらに、中枢性要因に着目し、持続収縮中の筋に経皮的電気刺激を加えるtwitch interpolation法を用い、運動単位の動員能力を反映する随意的動員度VAの違いが、最大発揮トルクMVT、最大持久時間ET、および疲労進行にともなうEMG変化パターンにどのような影響を与えているかについて検討した(研究課題A-3)。その結果、被験者はVAの高い群(HVA群)と低い群(LVA群)に分けられ、前者は後者に比べてMVTが有意に大きかった。また、LVA群はHVA群に比べETが長く、MPFの低下幅とEMG振幅の増大幅が有意に大きかったことから、VAがETやEMG変化パターンにみられる疲労特性に大きく影響を及ぼしている可能性が推察された。

次に、研究課題Bでは、以上により明らかにされた、疲労によるEMG変化と各部位の関わりについてのより詳細な検証と、個人差の検討を行った。まず、EMGの変化とその個人差を生じさせる要因をより詳細に調べるために、持続収縮時のEMGと重畳M波について、MFCVと中央周波数MDFを計測し、それらの相互関係を調べた(研究課題B-1)。その結果、随意EMGおよび重畳M波とも、疲労進行にともないMDFとMFCVは単調減少傾向を示し、両者の間に有意な正の相関関係がみとめられたが、MDFの低下率はMFCVのそれに比較して大きかったことから、疲労にともなうEMGの徐波化に対してはMFCV低下と筋線維の脱分極ゾーンの拡大の両者が関与している可能性がさらに示唆された。

さらに焦点をVAに絞り、twitch interpolation法により推定した各個人のVAを用いて真のMVTを見積り、これを基準に負荷を設定して疲労課題を行い、ETおよびEMG、MFCVの変化が一定の範囲に収束するかどうかを調べた(研究課題B-2)。その結果、ETおよびMDFとMFCVの低下率の個人差を抑えることができた。これらの結果から、EMG変化パターンとETにみられる個人の疲労特性にVAが大きく関与していることをさらに検証するとともに、VAをもとにMVTを補正すれば、EMGの変化パターンとETから個人の疲労耐性が評価できる可能性があることが確認された。

疲労耐性の個人差と、これに対する運動適応の効果を検討することは、体育・スポーツ分野においてきわめて重要である。そこで最後に研究課題Cでは、運動経験の異なるトップアスリート群(TPA)、運動群(ODA)、非運動群(SED)を対象として、研究課題Bの結果をふまえ、EMG変化とMVT、ETから簡便に疲労耐性を評価することを試みた。その結果、MVTはTPA群>ODA群>SED群の順で有意に大きく、ET、MDFの低下率、振幅の変化率はいずれもSED群で大きい傾向を示したことから、運動適応により疲労耐性が異なることが示唆されるとともに、MVT、ETおよびEMG変化パターンによる疲労評価の妥当性が確認された。

## 結果

本研究における一連の実験結果より、表面筋電図変化パターンと最大持久時間ETにみられる筋の疲労特性は、筋線維の伝導速度や脱分極ゾーンの拡がりを含む代謝系能力と、運動単位の振舞いを含む随意的動員の二要因によって決定されること、およびその疲労特性は運動適応により異なることが明らかとなった。さらに随意的動員度を用いて最大随意トルクMVTを補正して負荷設定を行えば、表面筋電図変化パターンより筋疲労度を評価でき

ること、補正なしでもET, MVT, 表面筋電図変化パターンの関係から簡便に個人の疲労特性を把握できる可能性が示唆された。

## 審 査 の 結 果 の 要 旨

体育・スポーツ分野において疲労耐性の評価は重要な意義をもっている。表面筋電図法は局所筋の疲労を非侵襲的、かつリアルタイムで観測できる優れた方法であるが、体育・スポーツ分野ではあまり活用されていない。これは疲労時に表面筋電図の変化をもたらしている要因や、それらと個人の疲労特性の関係が十分明らかにされていないためである。本研究はこれまでパラメータごとに個人的に行われてきたEMG fatigueの研究をひとつに統合し、それらの変化パターンの相関性や個人差との関連からとらえ直したものである。その結果、1980年代以降、支配的となっているEMG fatigueの末梢代謝機構による理解を再考させ、上位中枢を含めたneuronalな要因が大きく関与していることを明らかにしたこと、さらに、それらの要因とスポーツ経験などの「運動適応」の個人差が関連する可能性を示したことは高く評価できる。

他方、非等尺性収縮を取り上げていないこと、動物実験等による直接的実証を試みていないこと、個人差の抽出が矢や不十分であること、各課題を横断する討論が少ないこと等が指摘されたが、これらはいずれも本研究の意義を本質的に損なうものではなく、今後に残された課題とみなされた。

よって、著者は博士（体育科学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。