

氏 名	よし たけ やす ひで 吉 武 康 栄
学位(専攻分野)	博士 (人間・環境学)
学位記番号	人 博 第 58 号
学位授与の日付	平成 11 年 3 月 23 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当
研究科・専攻	人間・環境学研究科 文化・地域環境学専攻
学位論文題目	Muscle Contractile Properties Investigated by Electromyography, Soundmyography and Infrared Spectroscopy 筋収縮特性の電気生理学・エネルギー代謝的解明 (主査)
論文調査委員	教授 家森幸男 教授 田口貞善 助教授 森谷敏夫

### 論 文 内 容 の 要 旨

電気生理学は工学的手法による生体信号のデジタル解析が可能となり飛躍的に進歩した。さらに新たな測定機器の開発により、近年では筋の機械的な活動を示すといわれる“筋音図”や、筋内の酸素動態および筋血流量を相対的に測定できる“近赤外分光法”が登場し、総合的に生理学的情報を提供している。本学位申請論文は、これらの生体信号を同時測定し、工学的手法を駆使して、神経・筋生理学の基礎研究に新たな知見をもたらしたものである。本論文は3つの基礎研究から構成されており、得られた結果の要旨は次のとおりである。

第1章では筋音の発生メカニズムとその生理学的意義を明らかにするため、筋線維組成の大きく異なる腓腹筋とヒラメ筋を対象に、随意および電気刺激による筋収縮を行わせた。その結果、筋音図の振幅値は筋の収縮特性（収縮時間、弛緩時間）に大きく影響を受け、その要因は筋線維組成に関連すると考えられること、および記録された筋音の周波数成分は運動ニューロンのインパルス発射頻度と同期することか明らかになった。さらにspike-triggered averagingを試みた結果、運動神経細胞のサイズの大きい運動単位ほど大きな筋音を発生することが認められた。

第2章では腰痛の発生原因を明らかにするため、従来の筋電図を用いた解析だけではなく筋音図、近赤外分光法による筋内酸素動態および筋血流量を同時測定し、腰痛発生機序を総合的に検討した。その結果、成人男性に腰痛の発生率が高いのは、疲労しやすい速筋線維の面積が他の骨格筋よりも高いため、疲労時に筋が強縮状態に陥り、そのため筋内圧の上昇による血流障害が生じ、エネルギー供給不足になることが要因の一つであることが示された。この研究により、脊柱起立筋が他の骨格筋とは異なった収縮および代謝特性を有し、筋電図、筋音図および近赤外分光法で得られた解析結果は臨床医学への応用が期待できる。

第3章では脊髄損傷患者に対する機能的電気刺激で問題となっている疲労を軽減させるために、ヒトの骨格筋において様々な刺激パターンでの筋収縮を行わせた。その結果、一定頻度刺激中に単一のインパルスを付加することのみで発揮張力が増加・維持し(catchlike property)、しかも余剰なエネルギー代謝や電気生理学的変化を伴わず筋収縮が遂行できることを近赤外分光法と筋電図の解析で明らかにした。このことからcatchlike propertyを誘発させるような刺激パターンは筋疲労を軽減させエネルギー代謝効率が高く、脊髄損傷患者に対する機能的電気刺激法の新たな刺激パラダイムとなる可能性が示唆された。

以上、本論文は、種々の生体信号を同時に測定し、工学的解析を駆使することで新たな生理学的知見を見出したもので、神経・筋生理学や臨床医学の基礎研究に大きく貢献するものである。

## 論文審査の結果の要旨

本学位申請論文は、筋電図、筋音図および近赤外分光法を用い、これらの生体信号の同時測定と工学的解析法により、神経・筋生理学の基礎研究に新たな知見をもたらしたものである。

本論文は、3章からなり、第1章では筋収縮に伴う筋音の発生メカニズムおよび生理学的意義について、第2、3章では筋音、筋内の酸素需要供給動態および筋血流量を測定する近赤外分光法および筋電図解析を用い、腰痛の発生機序や麻痺した骨格筋への機能的電気刺激に関する基礎研究を行い、さらに、これらの生体信号の臨床面での応用について述べている。

近年、運動神経単位の活動状況を表す新しい非観血的な測定機器として筋音が注目されているが、発生メカニズムや生理学的意義については明確な結論は未だ得られていない。申請者は第1章では筋線維組成比の違いが筋音の発生に及ぼす影響について着目し、共同筋でありながら筋線維組成の大きく異なる下腿三頭筋(腓腹筋、ヒラメ筋)を被検筋とし、随意および電気刺激により誘発された筋収縮中の筋音図および筋電図を測定した。その結果、筋音の振幅値は筋の収縮スピードと運動神経のインパルス発射頻度に大きく依存することを明らかにした。また、筋音の周波数成分は運動神経のインパルス発射頻度に同期することも高速フーリエ変換によるパワースペクトル解析によって証明し、筋音は筋の機械的な活動を示すと結論づけた。さらに随意収縮中に、直接筋内から記録した運動神経のインパルス波形と筋音を同時測定し、**spike-trigger averaging**という高度な工学的解析手法を用いることで、単一運動単位が発する独自の筋音の分離・導出を試みた。その結果、運動単位の大きさに伴って発生する筋音も大きくなることを明らかにした。第1章で明らかにしたことは、詳細な筋音の発生メカニズムとその生理学的意義についてであり、応用生理学的、工学的手法を駆使した解析は非常に独創的で評価できる。

また、第2章で申請者は腰痛の発生原因を明らかにするため、従来の筋電図を用いた電気生理学的解析のみではなく、筋音および近赤外分光法を用いて、機械的、エネルギー代謝的考察を行った。その結果、脊柱起立筋から得られた筋音の振幅値は疲労に伴って減少することから、筋が強縮状態になり、筋内圧が上昇したことを示し、また近赤外分光法から観察された血流量が顕著に減少した結果と合わせて、脊柱起立筋は筋収縮中に虚血状態になっていることを明らかにした。そして、筋電図の振幅値が疲労とともに減少した結果から、他の骨格筋では余り観察されていない”**high-frequency fatigue**”が生じている可能性を指摘している。

第3章では脊髄損傷患者に行う機能的電気刺激療法で最も問題となっている筋疲労に着目し、研究を進めている。申請者は筋疲労を起こしにくい効率のよい刺激パターンを構築するため、張力増加現象を引き起こす筋の**catch property**に着目し、電気生理学およびエネルギー代謝的变化を筋内記録電位と近赤外分光法の解析で検討している。まず、**catch property**がヒトの個々の筋線維や筋全体のレベルで発生することを明らかにし、また余剰張力が維持されている状態でも電気生理学的、エネルギー代謝的特性に変化がないことを明らかにしている。これらの実験結果は**catch property**を用いた筋刺激形態は、脊髄損傷患者に対する機能的電気刺激法に応用ができる可能性を示唆するものである。従来から機能的電気刺激法で用いられている刺激パターンでは筋疲労の発生が早いことが問題となっており、本研究で開発された**catch property**を用いた刺激方法は、今後の臨床面での応用に期待が持たれ、非常に高く評価できる。

以上、本論文は、従来の筋電図解析にとどまらず、筋音図や近赤外分光法から得られる生体信号を同時測定し、工学的手法を駆使した解析により、神経・筋生理学の基礎研究分野で新しい知見を得たものである。本研究の成果は今後、臨床的研究にも大きな影響を及ぼすものと期待できる。成果の一部は既に国際学術雑誌に発表されており、高い評価を受けている。

よって本論文は博士(人間・環境学)の学位論文として価値あるものと認める。平成11年1月28日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。