

骨格筋の形態及び機能的特性に及ぼすスポーツ活動の効果を探る－第4報－ －筋電図及び筋音図を用いた筋活動の評価－

The structural and functional characteristics of skeletal muscle and athletic performance － An evaluation of muscle activity using EMG and MMG methods －

角田直也*, 田中重陽**, 熊川大介**
高橋佑輔***, 伊原佑樹****, 池川繁樹*****

Naoya TSUNODA*, Shigeharu TANAKA**, Daisuke KUMAGAWA**
Yusuke TAKAHASHI***, Yuki IHARA**** and Shigeki IKEGAWA*****

プロジェクト研究の概要:

本プロジェクト研究では、骨格筋の形態及び機能的特性に及ぼすスポーツ活動の効果を探るために、以下の課題について検討してきた。

- 1) スポーツ選手の筋形態特性
- 2) スポーツ選手の無酸素性パワー発揮特性
- 3) スポーツ選手の筋出力特性

これまでに1)の課題については野球選手を対象に上肢、下肢及び体幹の筋形態特性について(平成19、20年度)報告してきた。また、2)の課題についてはペダリング運動時の無酸素性パワーを測定し、最大無酸素性パワーに及ぼす作業負荷値及び回転数の影響(平成19、20年度)や性差(平成21年度)について報告してきた。

本報では、3)の課題に関する内容について研究成果の一部を報告する。

筋電図及び筋音図を用いた筋活動の評価

An evaluation of muscle activity using EMG and MMG methods.

はじめに

筋電図は運動に関与する筋線維の活動電位量(神経系の活動)を表すものであり、筋の電気的活動量として生理学的観点での評価が可能である。これに対して、筋音図は筋収縮の機械的活動動態を圧波により表すものであり、力学的観点で評価することができる^{4) 5) 6) 7) 8) 9) 10)}。

これまでに筋の収縮特性について筋音図法を用いた研究^{5) 9)}によれば、運動単位の動員数に伴って筋音図は大きくなること、また、速筋線維が発生する筋音図は遅筋線維のそれよりも大きいこと、さらには、筋線維の収縮頻度が高くなるに従い筋音図は小さくなることが報告されている。筋音図はこのような特徴を持つものの、近年のバイオメカニクス研究の分野において、筋収縮時の特性を探るための手法として、筋音図法を用いたものはあまりみられない。その要因として、筋音図は加速度センサーによって筋線維の活動動態を計測するために、ノイズを拾いやすい⁴⁾といった特

* 国士舘大学体育学部身体運動学研究室 (Lab. of Biodynamics and Human Performance, Faculty of Physical Education, Kokushikan University)

** 国士舘大学大学院スポーツ・システム研究科 (Assistant of Graduate School of Sports System, Kokushikan University)

*** 国士舘大学体育学部教務助手 (Educational Assistant Faculty of Physical Education, Kokushikan University)

**** 国士舘大学体育学部附属体育研究所 (Institute of Health, Physical Education and Sport Science, Kokushikan University)

***** 十文字学園女子大学 (Jumonji University)

徴を持っておりダイナミックな運動時においては正確に筋の活動動態を評価することが困難であることが考えられる。筋音図を用いた筋の活動動態を探るためには、等尺性の運動、あるいは、極めて低速度での運動に限られてしまう。これまでの先行研究は、等尺性運動における基礎的な実験結果の報告であり、筋音図を活用した応用実験はなされていない。いずれにしても、筋の機能特性について検討する上で、実際の筋線維の活動動態を探ることは価値あるものであり、今後の筋機能の評価のために筋音図法の活用性について再検討することは意義あるものと思われる。

本研究では、肘関節屈曲運動及び膝関節伸展運動時において、筋力発揮条件を変化させた際の筋活動動態を検討するために、以下の3つの実験について、筋電図法により筋の活動電位量を、筋音図法により筋の機械的仕事量を圧波量として計測し、筋音図法の活用可能性について検討した。

- 実験①：肘関節最大屈曲筋力発揮時の上腕二頭筋の活動動態
- 実験②：連続的な肘関節最大屈曲筋力発揮時の上腕二頭筋の活動動態
- 実験③：膝関節最大伸展筋力発揮時の大腿直筋の活動動態

実験①：肘関節最大屈曲筋力発揮時の上腕二頭筋の活動動態

本研究では肘関節最大屈曲筋力発揮時の筋活動特性を筋電図及び筋音図を用いて評価した。被検者は、健康な成人男性8名（年齢：27.0 ± 4.0歳、身長：174.5 ± 5.7cm、体重：77.1 ± 14.0kg）とした。等尺性最大筋力の測定は、総合筋力測定装置（BIODEX社製）を用いて実施した。測定時の肘関節角度は完全伸展位を0°とし、75°屈曲位とした。測定時間は8秒間とし、運動開始から5秒間かけて徐々に筋出力発揮を高めるランプ上の力発揮を行わせ、5秒から8秒までの3秒

間は全力での力発揮を行わせた。被検者には測定前に十分なウォーミングアップを行わせた後、力発揮を2回ずつ行わせ、ピークトルク値の高い試技を分析の対象とした。肘関節屈曲筋力発揮時の生理学的観点による活動を評価するために、携帯型筋電計（Muscle tester ME6000、Mega社製）を用いて活動量を測定した。また、筋音計（AO社製）を用いて筋の力学的活動を評価するために圧波量を測定した。筋電図の電極添付位置及び筋音図の加速度センサーの添付位置は右上腕二頭筋の筋腹部位とした。得られたEMG及びMMGデータから、最大筋力発揮時の（5秒～8秒の間）活動量及び圧波量をそれぞれ積分し、単位時間あたりの値（iEMG/s、iMMG/s）を算出した（Fig.1）。

Fig.2は、代表的な被検者の肘関節屈曲筋力測定時のトルクの上昇に伴う筋電図及び筋音図波形値を積分値で示したものである。トルク値の上昇に伴い、筋電図による活動量は高い値を示す傾向にあった。同様に、筋音図による圧波量も増加する傾向にあった。上腕二頭筋を対象とした先行研究^{2) 3) 6) 7)}によれば、最大筋力発揮までは筋音図

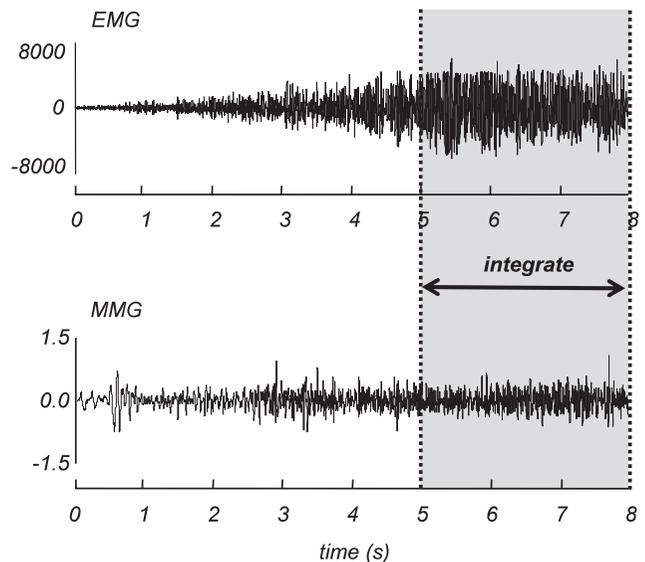


Fig.1. Analysis of EMG and MMG in elbow flexion.

により得られる値は直線的に増加することが報告されており、本研究の結果は先行研究を支持するものであった。次に、筋電図法によって得られた

単位時間あたりの活動量と、筋音図法によって得られた単位時間あたりの圧波量との関係についてみたところ、両者の間には有意な相関関係 ($r=0.842, p<0.05$) が認められた。この結果は、筋音図による力学的な指標が、筋電図による生理学的指標を反映するものであることを意味するものである。

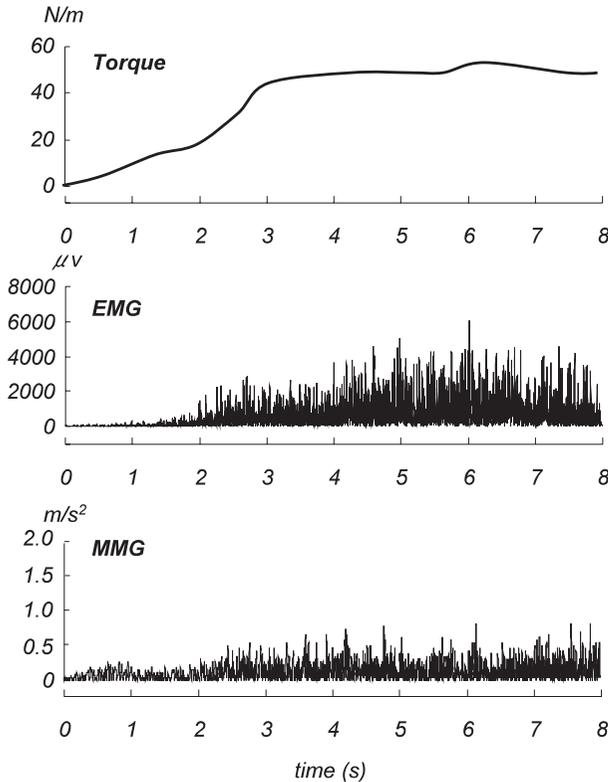


Fig.2. Torque, iEMG and iMMG data in isometric contraction.

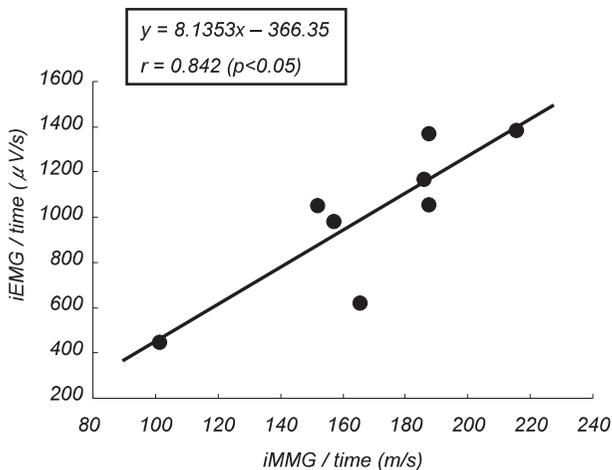


Fig.3. Relationship between iMMG and iEMG.

実験②：連続的な肘関節最大屈曲筋力発揮時の上腕二頭筋の活動動態

本研究では連続的な肘関節最大屈曲筋力発揮時の筋活動特性を筋電図及び筋音図を用いて評価した。被検者は、実験①同様の被検者とした。等速性における連続的な筋力発揮の測定は、肘関節角度を75°に設定し、5秒間の最大努力での力発揮を5秒間の休息を挟んで8回行わせた。また、実験①同様に、筋活動特性の測定を携帯型筋電計及び筋音計を用いて実施した。8回の最大筋力発揮測定によって記録された筋電図及び筋音図波形から、5秒間の活動量及び圧波量を単位時間当りの積分値として算出した。また、全被検者の8回の試技を1試技毎にまとめ、平均値のばらつき度合いを評価するために変動係数 (CV) を算出した。

運動回数に伴うトルク値、単位時間あたりの筋電図及び筋音図値の変化をFig.4に示した。トルク値は、回数の増加に伴い低い値を示す傾向にあった。本測定は5秒間の全力力発揮を5秒間の休憩を挟んで8回行うものであり、比較的短時間での運動であったために疲労に伴う著しいトルク値の低下はみられなかった。また、筋電図及び筋音図によって得られた単位時間あたりの値は回数に伴った著しい変化は認められず、トルクの変化と同様の結果を示した。次に、筋電図の変動係数は約30%から40%の値を示し、回数に伴う値の変化は認め

られなかった。また、筋音図の変動係数については筋電図のそれよりも低値を示す傾向にあったが、回数に伴う著しい変動は認められなかった (Fig.5)。本研究では、運動回数の増加に伴い筋の活動動態は著しく変化しなかったものの、疲労時の筋活動動態についても筋音図を用いた評価が可能であろうと考えられる。これまでに、筋音図を用いた連続的な力発揮時の筋の活動動態について調査されたものはみあたらない。今後、トルク値が著しく低下するような強度の高い運動条件や持続的な運動において筋の活動動態の変化を探っていくことは興味深いものである。

実験③：膝関節最大伸展筋力発揮時の大腿直筋の活動動態

本研究では膝関節最大伸展筋力発揮時の筋活動特性を筋電図及び筋音図を用いて評価した。被検者は、実験①、②同様の被検者であった。膝関節伸展筋力の測定は、総合筋力測定装置 (BIODEX 社製) を用いて実施した。膝関節角度は、完全伸展位を 0° とし、80° 屈曲位で行わせた。実験①同様に、ランプ状の力発揮を行わせ運動開始から 5 秒間のトルク値を 0.5 秒毎に平均値で示した。また、膝関節伸展筋力測定時の大腿直筋の筋活動特性を筋電図及び筋音図法によりそれぞれ測定し、トルク値同様に 0.5 秒毎の積分値として算出した (Fig.6)。

その結果、トルクの上昇に伴い筋電図による活動量は 4 秒まで漸増し、その後下降する傾向を示した。また、筋音図による圧波量については運動開始から 3 秒まで上昇し、その後下降する傾向を示した (Fig.6)。従って、膝関節伸展運動におけるランプ状の力発揮時の大腿直筋の活動の評価として、生理学的観点及び力学的観点ともに、ピークに達する時間に若干の相違は認められたもののほぼ同様の傾向を示すことが明

らかになった。これまでに、大腿直筋を対象に検討された報告^{1) 6)} によれば、筋の発揮張力に対して直線的に増加するものと、一定レベルまで増加

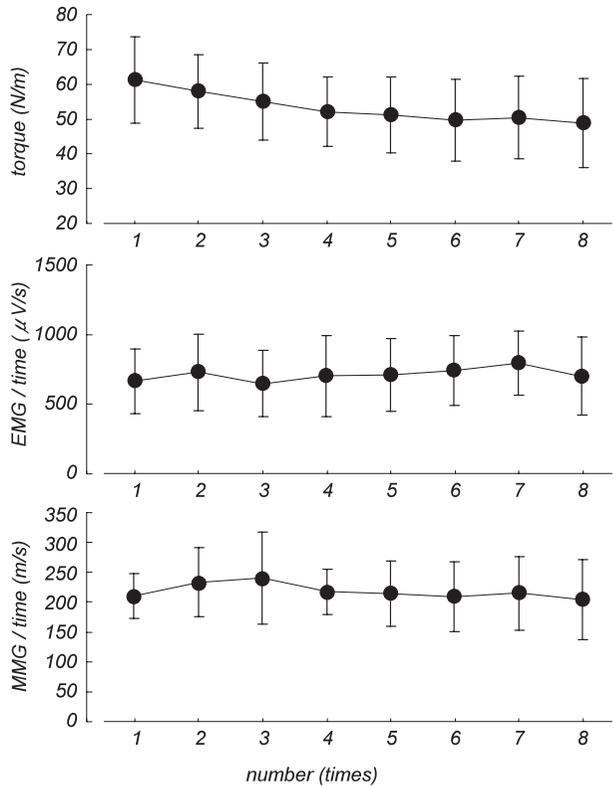


Fig.4. Changes of torque, EMG and MMG activities.

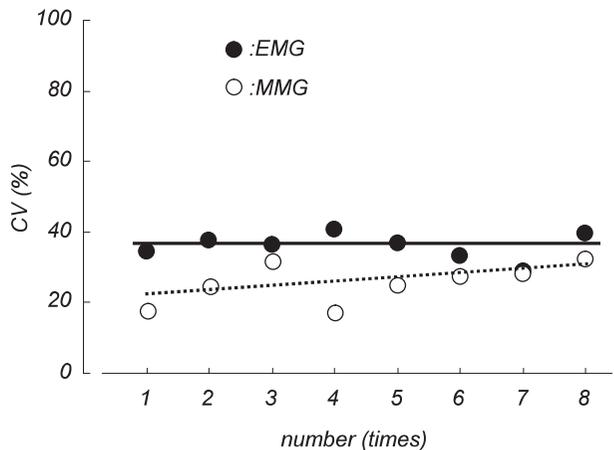


Fig.5. Changes of CV on torque, EMG and MMG activities.

しその後、平坦化あるいは減少するタイプが混在することが指摘されている。その要因として、大腿四頭筋は羽状筋であるために、筋線維の走行方向が筋音図の加速度センサーと平行に位置できないことを上げている。つまり、筋の羽状角度が異

なることで、得られる値は異なるものであることが考えられる。従って、筋音図を用いた筋の活動動態を探る上で、筋によって筋線維の走行方向が異なることや、対象者によって羽状角度が異なる可能性を十分考慮する必要性が考えられた。

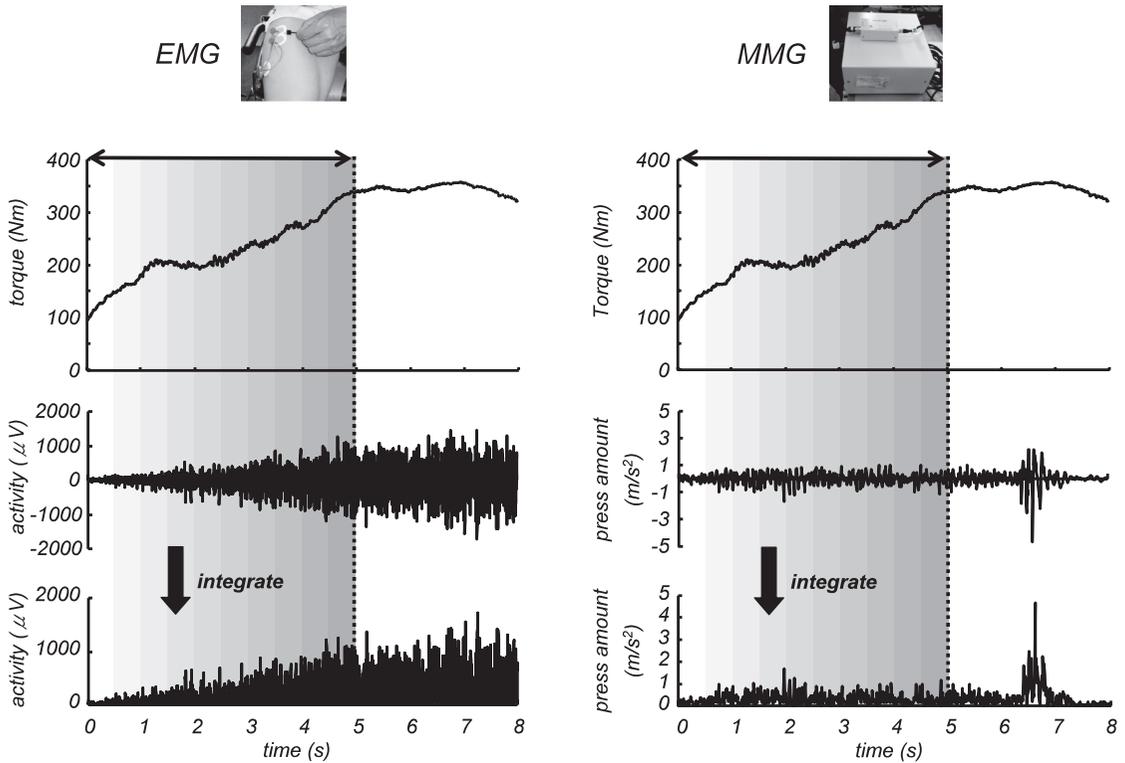


Fig.6. Analysis of EMG and MMG in knee extension.

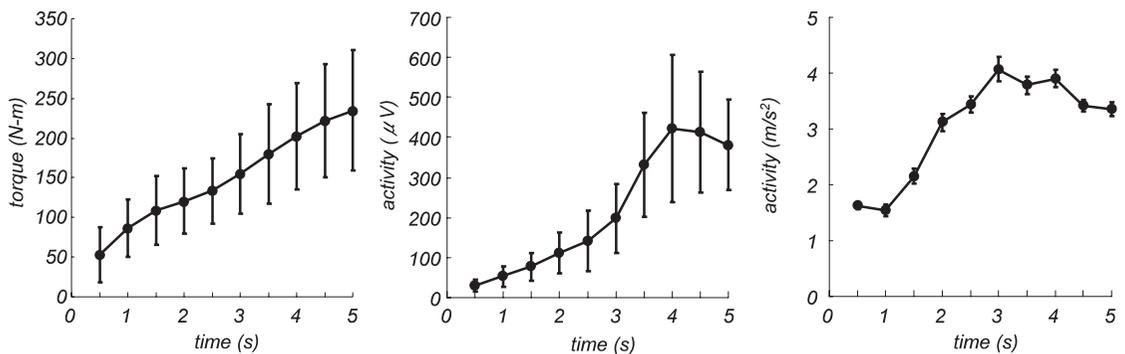


Fig.7. Changes of torque, EMG and MMG in isometric contraction.

ま と め

本研究では、肘関節屈曲運動時に主動的に活動する上腕二頭筋と、膝関節伸展運動時に主動的に活動する大腿直筋の活動特性を生理学的観点及び力学的観点から評価した。その結果、等尺性による肘関節屈曲筋力発揮時及び膝関節伸展筋力発揮時の筋活動は、あらゆる条件においても生理学的及び力学的観点での評価法共に同様な傾向を示すことが明らかになった。従って、筋の収縮特性について評価する手法として、これまで多く用いられている筋電図法による評価に加え、実際に筋線維の活動動態を評価する筋音図法（力学的観点）による評価も重要であり、今後の活用性をさらに検討する必要性が考えられた。

本研究は、国土舘大学体育学部附属体育研究所の研究助成によって実施した。

参考文献

- 1) Akataki K., Mita K., Ito Y. : Relationship between mechanomyogram and force during voluntary contractions reinvestigated using spectral decomposition. *Eur. J. Appl. Physiol.*, **80**, 173-179. 1999.
- 2) Akataki K., Mita K., Watakabe M., Ito Y. : Age-related change in motor unit activation strategy in force production : A mechanomyographic investigation. *Muscle & Nerve*, 505-512, 2002.
- 3) Maton B., Petitjean M., Cnockaert. J. C. : Phonomyogram and electromyogram relationships with isometric force reinvestigated in man. *Eur. J. Appl. Physiol.*, **60**, 194-201. 1990.
- 4) 三田勝己：筋音図法の基礎と応用（1）－概要と計測・解析－, *臨床脳波*, Vol.44, No.8, 532-542, 2002.
- 5) 三田勝己：筋音図法の基礎と応用（2）－誘発筋音図と筋の機械的特性－, *臨床脳波*, Vol.44, No.9, 595-606, 2002.
- 6) 三田勝己：筋音図法の基礎と応用（3-1）－随意収縮における筋音図－, *臨床脳波*, Vol.44, No.10, 669-674, 2002.
- 7) 三田勝己：筋音図法の基礎と応用（3-2）－随意収縮における筋音図－, *臨床脳波*, Vol.44, No.11, 729-736, 2002.
- 8) 三田勝己：筋音図法の基礎と応用（3-2）－臨床医学への応用－, *臨床脳波*, Vol.44, No.12, 795-804, 2002.
- 9) 三田勝己：筋音図法の概要－リハビリテーション医学における新しい筋機能評価の可能性, *リハビリテーション医学* Vol.40, No.11, 750-756, 2003.
- 10) 三田勝己：筋音図法による神経筋疾患の新しい診断・評価, *リハビリテーション医学* Vol.41, 628-636, 2004.