

等尺性膝伸展・屈曲筋力と主働筋及び拮抗筋の形状変化量の関係 ～Muscle Contraction Sensor法による評価～

Relationship between isometric knee extension/flexion muscle strength and deformation amount in agonist and antagonist muscles. ～Evaluate by MC sensor method～

田 中 重 陽*, 新 井 千 江**, 畑 島 一 翔**
宮 崎 大 佑***, 飯 田 周 平*, 熊 川 大 介*

Shigeharu TANAKA*, Chie ARAI**, Kazuto HATASHIMA*
Daisuke MIYAZAKI***, Shuhei IIDA* and Daisuke KUMAGAWA*

プロジェクト研究の概要:

骨格筋の形態及び機能的特性がスポーツパフォーマンスに及ぼす影響を探ることや、専門動作の運動学的解析によって効率の良い動作のメカニズムを解明することは、アスリートの競技力向上にとって必要不可欠である。本プロジェクトでは、バイオメカニクスの観点から筋の機能的特性を定量化し、それらが専門動作に及ぼす影響について検討することを目的とする。本年度は等尺性膝伸展・屈曲運動時における主働筋及び拮抗筋の形状変化量をMuscle Contraction Sensor (MCセンサー) 法により評価し、筋力との関係について検討した。

I. 緒 言

MCセンサー法は、対象とする筋や腱上の皮膚表面に凸状のチップを取り付けたセンサーを貼付することで、筋収縮によってチップにかかる圧力を計測するものであり、この圧力値は筋及び腱の

張力や形状変化量の指標として力学的観点から評価されている^{2) 3)}。MCセンサー法を開発したĐorđević et al.^{2) 3)} は、肘関節屈曲運動時の上腕二頭筋の活動について検討し、MCセンサー法で計測した値と肘関節屈曲筋力との間には、極めて高い相関関係が認められることを報告している。また、同手法により等尺性膝伸展筋力と膝伸展筋群 (大腿直筋、内側広筋、外側広筋) の活動動態を評価したものでは、筋長条件に関係なく、MCセンサー法で計測した形状変化量が筋力レベルを反映することが明らかにされている^{7) 8)}。このようなMCセンサー法を用いた筋の活動動態の評価は、主働筋を対象としたものばかりであり、拮抗筋の活動動態については検討されていない。従来、単関節における筋力測定は、Biodexなどの測定機器が用いられることが多く、専用の椅子に座位姿勢となるため、拮抗筋の活動を評価することが困難である。本研究では、独自に作成したシートを活用することで、主働筋のみならず拮抗筋の活動動態も評価することを可能とした。

* 国士館大学体育学部 (Faculty of Physical Education, Kokushikan University)

** 国士館大学大学院スポーツ・システム研究科 (Graduate school of Sport System, Kokushikan University)

*** 国士館大学スポーツプロモーションセンター (Kokushikan Sport Promotion Center)

本研究では、等尺性収縮による膝伸展・屈曲運動時の主働筋及び拮抗筋の活動動態をMCセンサー法で評価し、筋力との関係について検討した。

Ⅱ. 方 法

1. 被験者

被験者は膝関節に障害経験の無い成人男性10名とした。全ての被験者が運動経験を有しており、内3名の被験者は現在も専門競技のトレーニングを継続している者であった。被験者の年齢、身長、体重は、 23.8 ± 1.7 歳、 174.1 ± 5.6 cm、 67.5 ± 5.9 kgであった。被験者には実験の主旨を説明した上で、実験参加の同意を得た。なお、本研究は国土館大学の倫理審査委員会の承諾を得て実施した。

2. 筋力測定

等尺性収縮による膝伸展・屈曲筋力はBiodex System IV (Biodex社)を用いて測定し、得られたトルク値を筋力の指標とした。膝伸展筋力の測定は、膝関節完全伸展位を0度として膝関節角度

を90度に、屈曲筋力の測定は、膝関節角度を30度に設定して実施した。独自に作成したシート (Fig.1) を座面の上に固定した状態で座位姿勢をとらせ、ダイナモメータの中心を膝関節中心に合わせ、専用の固定ベルトで身体各部位を固定した。筋力発揮方法は、測定開始から3秒程度で漸増的に力発揮を行うよう指示し、ウォーミングアップ後に筋力測定を実施した。

3. MCセンサー法による筋の形状変化量の測定

筋力発揮中の大腿筋群の形状変化量は、先行研究^{7) 8)}を参考に、MCセンサー法 (TMG-BMC社) で測定した。測定対象部位は、右下肢の大腿直筋 (RF)、内側広筋斜頭 (VMO)、外側広筋 (VL) 及び大腿二頭筋長頭 (BF) とし、いずれも筋腹部位とした (Fig.1)。MCセンサー法は、対象とする筋上の皮膚表面に凸状のチップを取り付けたセンサーを貼付し、筋収縮によってチップにかかる圧力を計測するものである。本研究では、計測した圧力値を、主働筋及び拮抗筋の形状変化量の指標として評価した。

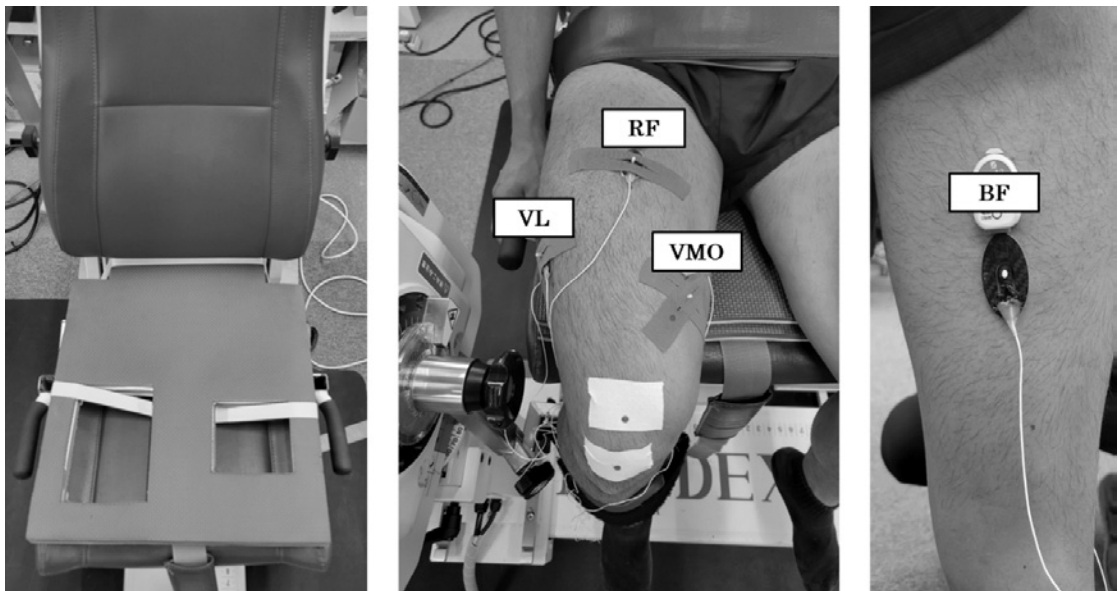


Fig.1. Custom made seat and measurement muscles.

4. データ処理及び統計処理

筋力の測定データは、A/D変換解析プログラム（DASY-lab, AP-office社）を用いてデータサンプリング周波数1,000HzでPCに取り込み、同期信号によってMCセンサーのデータと統合した。MCセンサー法により取得したデータは、安静時の値を初期値とし、筋収縮中の値から初期値を差し引いた値を形状変化量の指標とした。分析範囲は、筋力発揮から最大筋力出現時までとした。筋力は最大値に対する相対値を求め、5%毎の平均値を算出した。形状変化量についても最大値に対する相対値を算出し、トルク相対値の算出区間に基いて5%間隔区間毎に平均値を算出した。なお、筋力の測定後に取得したデータを確認し、ノイズが多く含まれたデータについては除外し、膝

伸展筋力は8名、膝屈曲筋力は7名のデータを分析の対象とした。

形状変化量と筋力の相対値の関係は、ピアソンの単純相関によって有意性を検証し、有意水準は5%未満とした。

Ⅲ. 結 果

Fig.2は膝伸展運動時の形状変化量相対値と伸展筋力の相対値の関係を示したものである。主働筋であるRF、VMO及びVLの形状変化量は膝伸展筋力が高くなるにつれ大きくなり、両者の間にはいずれも有意な相関関係が認められた（RF： $r = 0.990$ 、VMO： $r = 0.975$ 、VL： $r = 0.984$ ）。拮抗筋であるBFについても膝伸展筋力との間に有意

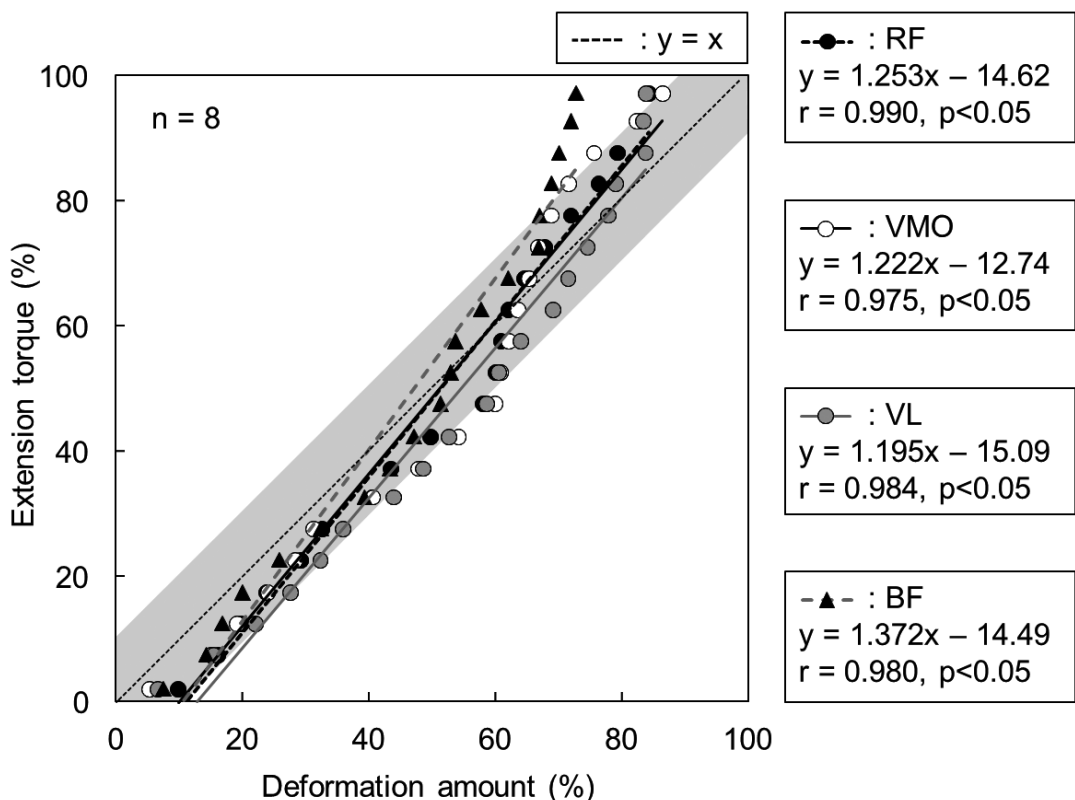


Fig.2. Relationship between extension torque and deformation amount.
The gray area indicates the 10% of $y=x$.

な相関関係 ($r=0.980$) が認められた。

次に、膝屈曲運動時の形状変化量相対値と屈曲筋力の相対値の関係について検討 ($n=7$) したところ、いずれの筋においても屈曲筋力との間に有意な相関関係が認められた (Fig.3)。相関係数は、主働筋であるBFが0.993、拮抗筋であるRFが0.988、VMOが0.994、VLが0.965であった。

IV. 考 察

大膝伸展筋群は複数の筋によって構成され、各筋の形状 (起始部や停止部) や性質 (筋線維の走行方向) によって役割や運動への関与度合いが異なる。例えば、膝関節伸展運動には、内側広筋斜頭が膝蓋骨を内側に牽引し膝蓋骨を安定させ、外

側広筋の牽引力を高めることが報告⁹⁾ されている。また、筋力発揮の強度によって協働筋の活動様相が異なることも指摘^{4) 5) 6)} されている。ハムストリングスを構成する大腿二頭筋は、歩行やランニングなどの運動時にブレーキをかける動作に関与し、アスリートの肉離れなど障害発生の多い筋として知られている。主働筋と拮抗筋さらには協働筋間における筋の共収縮を評価することは、アスリートの筋コンディションチェックや障害予防に役立つものと思われる。本研究では、膝伸展・屈曲運動中の主働筋及び拮抗筋の形状変化量をMCセンサー法で測定し、筋力との関係について検討した。

先行研究では、MCセンサー法を用いて筋の活動動態を評価したところ、上腕二頭筋の形状変化

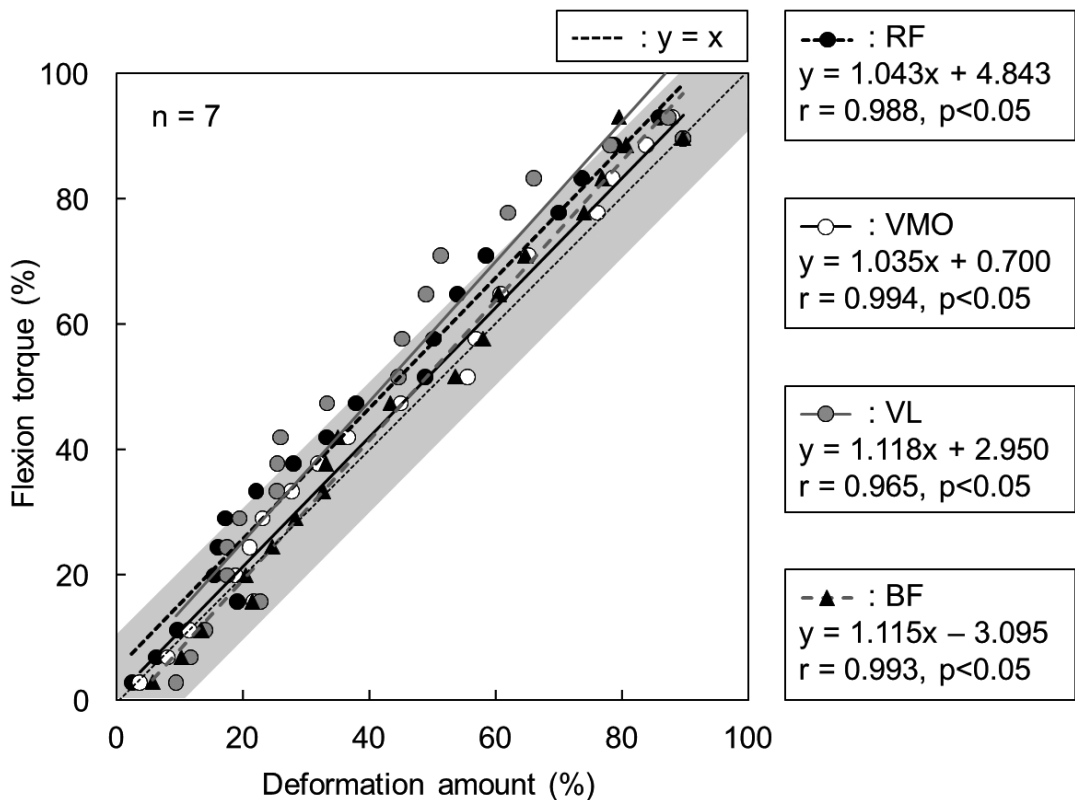


Fig.3. Relationship between flexion torque and deformation amount.
The gray area indicates the 10% of $y=x$.

量と肘関節屈曲筋力との間、膝伸展筋群の形状変化量と膝伸展筋力との間に有意な相関関係が認められ、MCセンサー法の計測値は、筋力レベルを推定する力学的指標であることが明らかにされてきた^{2) 3) 7) 8)}。また、筋電図法とMCセンサー法により筋の活動動態を評価したものによれば、筋放電量よりもMCセンサー法で計測した形状変化量の方が、より筋力レベルを反映する指標であることが指摘されている⁸⁾。本研究ではこれまで評価されてこなかった拮抗筋の活動動態を評価し、筋力との関係について検討した。その結果、膝伸展筋力と主働筋であるRF、VMO、VL及び拮抗筋であるBFの形状変化量との間にはそれぞれ有意な相関関係が認められた。また、各測定値（プロット）は $y=x$ に近似しており、概ね $y=x$ に対して $\pm 10\%$ 範囲内に収まっていた。膝屈曲筋力と主働筋であるBF及び拮抗筋であるRF、VMO、VLの形状変化量との間にも有意な相関関係が認められた。本研究の結果は、先行研究^{2) 3) 7) 8)}を支持するものであり、MCセンサー法で計測した形状変化量は、主働筋のみならず拮抗筋においても筋力レベルを推定する指標となりうることを示すものである。

筋力発揮時は、主として運動に関与する主働筋と同時に反対の作用を生じる拮抗筋の活動が認められる。従って、筋力の大小は、主働筋と拮抗筋の共収縮の影響を受ける。Baratta et.al.¹⁾は、関節の安定性に及ぼす膝関節伸展・屈曲運動時の共収縮パターンについて検討し、拮抗筋の発揮する反作用（反トルク）が関節可動域に関係なく一定程度認められることを報告している。また、大腿四頭筋の特異的な発達を有するアスリートでは、ハムストリングスの共収縮に対する強い抑制効果が認められることも指摘している。これらの指摘から、主働筋と拮抗筋の筋サイズや共収縮のバランスを保つことの重要性が伺える。本研究では、膝伸展・屈曲筋力発揮中の各筋の形状変化量を相対値によって評価したため、主働筋と拮抗筋の実測値の大小やその比率については検討していな

い。今後は、先行研究の指摘を考慮し、主働筋と拮抗筋の共収縮バランスについて評価し、筋のコンディションチェックに役立つ情報を提供したい。

V. ま と め

本研究では、等尺性収縮による膝伸展・屈曲運動時の主働筋及び拮抗筋の形状変化量と筋力との関係について検討した結果、MCセンサー法で計測した形状変化量は、主働筋のみならず拮抗筋においても筋力レベルを推定する指標となりうるということが明らかとなった。

本研究の一部は、令和4年度国士舘大学体育学部附属体育研究所の研究助成と、科学研究費補助金（22K11582、代表：田中重陽）の助成を受け実施した。

参考文献

- 1) Baratta, R., Solomonow, R., Zhou, H., Letson, D., Chuinard, R., D'ambrosia, R. (1988) Muscular coactivation. The role of the antagonist musculature in maintaining knee stability. *American Journal of Sports Medicine*, Vol.16, No.2 : 113-122.
- 2) Đorđević, S., Stančin, S., Meglič, A., Milutinović, V., and Tomažič, S. (2011) MC sensor—a novel method for measurement of muscle tension. *Sensors*, 11 : 9411-9425.
- 3) Đorđević, S., Tomažič, S., Narici, M., Pišot, R., and Meglič, A. (2014a) In-vivo measurement of muscle tension : Dynamic properties of the MC sensor during isometric muscle contraction. *Sensors*, 14 : 1-16.
- 4) 江間諒一, 若原卓, 金久博昭, 矢内利政, 川上泰雄 (2010) 股関節および膝関節角度が等尺性膝関節伸展筋力と大腿四頭筋の筋活動に与える影響. *スポーツ科学研究*, 7 : 109-118.
- 5) 長谷川雅志, 平塚和也, 田中重陽, 手島貴範, 角田直也 (2015) 筋電図及び筋音図からみた上腕屈筋群及び大腿四頭筋群における漸増的筋力発揮. *東京体育学研究*, 6 : 23-29.
- 6) Pincivero, D. M., Salfetnikov, Y., Campy, R. M.,

- and Coelho, A. J. (2004) Angle- and gender-specific quadriceps femoris muscle recruitment and knee extensor torque. *J. Biomech.*, 37 : 1689-1697.
- 7) 田中重陽, 今若太郎, 角田直也. (2019) 異なる関節角度における等尺性収縮時の膝伸展筋群および膝蓋腱の形状変化特性. *理学療法科学*, 34 (1) : 89-96.
- 8) 田中重陽, 今若太郎, 角田直也. (2019) MCセンサー法による等尺性収縮時の膝関節伸展筋群の力学的活動評価. *人間工学*, 55 (3) : 85-95.
- 9) 谷埜予士次, 大工谷新一, 鈴木俊明. (2009) 膝伸展疲労課題中の内側公筋斜頭および長頭の機能に関する筋電図学的検討. *体力科学*, 58 : 441-452