THE ANNUAL REPORTS OF
HEALTH, PHYSICAL EDUCATION
AND SPORT SCIENCE
VOL.33, 49-56, 2014

報告書（体育研究所プロジェクト研究）

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

Structural and functional characteristics of human skeletal muscle due to physical activities

角　田　直　也*，手　島　貴　範*，伊　原　佑　樹*
平　塚　和　也**，田　中　重　陽***，熊　川　大　介****

Naoya TSUNODA*, Takanori TESHIMA*, Yuki IHARA*, Kazuya HIRATSUKA**
Shigeharu TANAKA*** and Daisuke KUMAGAWA****

プロジェクト研究の概要

これまでに、本プロジェクトでは、スポーツ競技者を対象として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次の課題に取り組んできた。

1）男女スポーツ競技選手における下肢、体幹及び股関節周囲の筋形態特性とその性差を探る

2）男女スポーツ競技選手の体肢及び体幹の筋力、筋パワー及び筋持久力との関連性を探る

3）Tensiomyography（TMG）法による骨格筋の筋収縮特性を探る

本報では、本年度に実施した1）～3）の課題のうち1）と3）の研究成果の概要について報告することとする。

Ⅰ．男女スポーツ競技選手における下肢、体幹及び股関節周囲の筋形態特性とその性差を探る

本研究では、男女スポーツ選手における大腰筋断面積及び腸腰筋体積の性差について検討することを目的とした。

被検者は、定期的にスポーツ活動を実施している大学生男女サッカー選手20名（女子10名、男子10名）とした。被検者の年齢及び身体的特性は、表1に示した。

除脂肪体重（FFM）は、インピーダンス法によるマルチ周波数体組成計（TANITA Body Composition Analyzer MC-190、TANITA社製）を用いて測定した。

腰部及び下肢における筋横断画像は、磁気共鳴

表1　被検者の年齢及び身体的特性

	n	年齢（歳）	身長（cm）	体重（kg）	除脂肪体重（kg）
女子	10	19.5 ± 1.0	162.5 ± 3.6	56.8 ± 7.4	43.7 ± 2.8
男子	10	19.8 ± 0.8	173.0 ± 7.4	68.3 ± 9.2	52.3 ± 6.9

平均値±標準偏差

* 国士舘大学大学院スポーツ・システム研究科（Graduate School of Sport System, Kokushikan University）
** 国士舘大学体育学部（Faculty of Physical Education, Kokushikan University）
*** 国士舘大学政経学部（Faculty of Political Science and Economics, Kokushikan University）
**** 国立スポーツ科学センター（Japan Institute of Sports Science）

映像装置（以下MRI、MRT200SP5、東芝メディカルシステム社製）を用いて撮影した。撮影部位は、胸椎12番目（T12）から足関節外顆までとし、スライス厚10mmスライス間隔０mmにて撮影した。撮影姿勢は、仰臥位とした。本研究では、大腰筋及び腸骨筋における断面積を分析の対象とした。また、腸腰筋の筋体積の算出においては、大腰筋と腸骨筋を合わせて腸腰筋として評価した。MRIにより撮影したそれぞれの横断面画像は、画像解析ソフト（Osiris Version4.19）を用いてPC画面上でトレースをし、各筋における筋横断面積を算出した。筋体積は、秋間ら[1]の算出方法と同様の式（MV=10＊ΣACSA）に用いて算出した。これまでの先行研究において大腰筋の筋断面積は、第４腰椎（L4）第５腰椎（L5）の間において最大になることが報告されていることから、利き足と非利き足における筋断面積の比較にはこの部位における値を用いた。

表２は、男女サッカー選手における大腰筋断面積の左右差と性差について示したものである。大腰筋断面積は、男女ともに利き脚と非利き脚に有意な差が認められなかった。また、利き脚及び非利き脚ともに男女間に有意な差が認められた。本研究では、男女間における体格差を補正するために大腰筋断面積を除脂肪体重の0.67乗で除すことにより除脂肪体重あたりの相対値[5]を算出した。除脂肪体重あたりの大腰筋断面積は、男女ともに利き脚と非利き脚の間に有意な差が認められなかった。また、利き脚及び非利き脚ともに男女間に有意な差が認められた。このことから、サッカー選手においては、体幹と下肢をつなぐ大腰筋の断面積においては性差が存在することが明らかとなった。

表３は、男女サッカー選手における腸腰筋体積の左右差と性差について示したものである。腸腰筋体積は、男女ともに利き脚と非利き脚に有意な差が認められなかった。また、利き脚及び非利き脚ともに男女間に有意な差が認められた。本研究

表２　男女サッカー選手における大腰筋断面積の及び除脂肪体重あたりの大腰筋断面積

	大腰筋断面積 (cm^2)		大腰筋断面積/$FFM^{0.67}$ $(cm^2/kg^{0.67})$	
	利き脚	非利き脚	利き脚	非利き脚
女子	11.4±2.0	11.2±1.5	0.91±0.15	0.89±0.13
男子	19.0±2.3	19.5±2.5	1.28±0.13	1.32±0.13
女子 vs 男子	＊	＊	＊	＊

平均値±標準偏差
＊: 有意差あり

表３　男女サッカー選手における腸腰筋体積及び除脂肪体重あたりの腸腰筋体積

	腸腰筋体積 (cm^3)		腸腰筋体積/FFM (cm^3/kg)	
	利き脚	非利き脚	利き脚	非利き脚
女子	294.5±44.7	293.8±41.9	6.8±1.1	6.7 ±1.0
男子	470.2±74.0	475.2±69.0	8.1±0.5	8.2 ±0.4
女子 vs 男子	＊	＊	＊	＊

平均値±標準偏差
＊: 有意差あり

では、男女間における体格差を補正するために腸腰筋体積を除脂肪体重で除すことにより除脂肪体重あたりの相対値を算出した。除脂肪体重あたりの腸腰筋体積は、男女ともに利き脚と非利き脚の間に有意な差が認められなかった。また、利き脚及び非利き脚ともに男女間に有意な差が認められた。これまで、先行研究においては、ジュニアの各種スポーツ競技選手[2) 6)]、シニアのサッカー選手[3)]及び陸上競技選手[5)]を対象に大腰筋断面積に関する報告が多くなされてきた。しかしながら、これらの先行研究は、１断面画像による２次元的な分析に過ぎず、３次元的な筋量としての評価はなされていない。そこで本研究では、大腰筋の断面積のみならず、腸骨筋を含めた腸腰筋における筋体積による量的な分析を実施した。その結果、サッカー選手においては、腸腰筋の体積に左右差は存在しないものの、性差が存在することが明らかとなった。大腿部筋における性差について検討した星川ら[2)]によれば、断面積を除脂肪体重で補正した値においては、性差が認められなかったと報告している。一方、本研究においても断面積及び筋体積の両側面において除脂肪体重による体格の補正を実施したところ、男女間に有意な差が認められた。したがって、下肢と体幹の筋においては、必ずしも男女における性差の傾向が同一ではない可能性が推察された。

図１は、男女サッカー選手における利き脚の大腰筋断面積と腸腰筋体積の関係を示したものである。大腰筋断面積は、男女ともに腸腰筋体積との間に有意な相関関係が認められた（女子：r＝0.813, p<0.05、男子：r＝0.681）。さらに、この関係を全被検者で検討したところ、大腰筋断面積と腸腰筋体積との間には有意な相関関係が認められた（全被検者：r＝0.922, p<0.05）。これらの結果から、サッカー選手における腸腰筋の形態について考えた場合、大腰筋の断面積を計測することで、筋体積をある程度推察することが可能であるものの、大腰筋断面積及び腸腰筋体積に性差が存在していたことから、男女間における筋体積の大きさには、筋の長さといった体格的な影響がある程度関与している可能性が推察された。

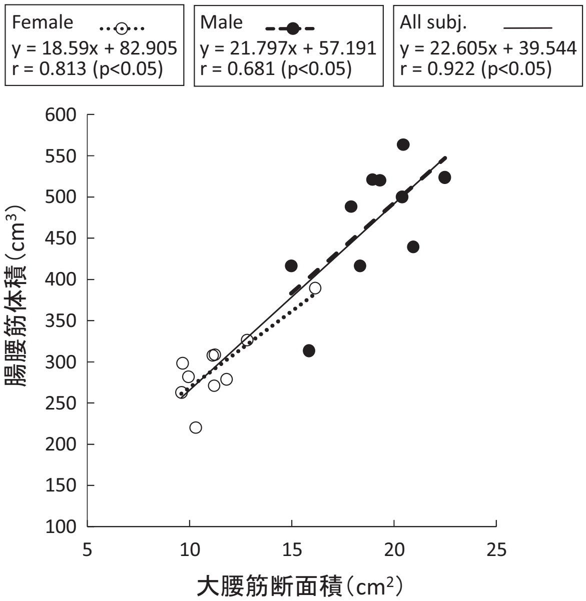

図１　男女サッカー選手における大腰筋断面積と腸腰筋体積の関係

Ⅱ．Tensiomyography（TMG）法による骨格筋の筋収縮特性を探る

ヒトの骨格筋の収縮様相に関しては、単縮時の筋張力特性、活動電位を評価する筋電図及び筋線維の物理的現象を捉えた筋音図などが一般的な研究手段として用いられている。

近年、筋の収縮特性を評価する方法として、Tensiomyograph法（TMG法）が開発された。この方法は、皮膚表面に電気刺激を加えて、筋腹中央における形状の様相変化から、遅延時間、収縮時間及び筋腹中央の最大変位等の収縮特性を評価することが可能である。このTMG法は1990年初頭にSloveniaのLjubljana大学で開発[10)]され、リハビリテーションやスポーツ医科学の分野に活用されてきている。その測定法の再現性に関しては、Krizaj D. et al[7)]が上腕二頭筋について、Simunic[8)]

が大腿部の日外変動について報告しているのみである。

そこで本研究は、TMG法により、大腿の脚伸展筋群における収縮特性を明確にするとともに、その方法による各測定値の再現性について検討することを目的とした。

被検者は、体育系大学院生の男子７名であった。被検者の年齢、身長、体重及び除脂肪量はそれぞれ24.1±1.8歳、171.8±4.0cm、66.6±11.6kg、55.6±6.1kgであった。全被検者は、神経疾患あるいは筋疾患歴を有していなかった。

TMG法による測定原理を図２に示した。即ち、単収縮による筋腹中央の形状変化をセンサーで計測し、PCの解析ソフト（TMG-BMC）を用いて分析するものである。

右大腿部の大腿直筋（RF）、内側広筋（VM）及び外側広筋（VL）の３筋を被験筋とした。測定姿勢は、リラックスした仰臥位で、膝関節角度を30°屈曲位（膝関節の完全伸展位を0°）とした。等尺性の収縮条件を一定にするために、膝関節に固定用パットを用いて下腿部を支持し、ストラップで大腿部及び下腿部を固定した（図３）。２枚

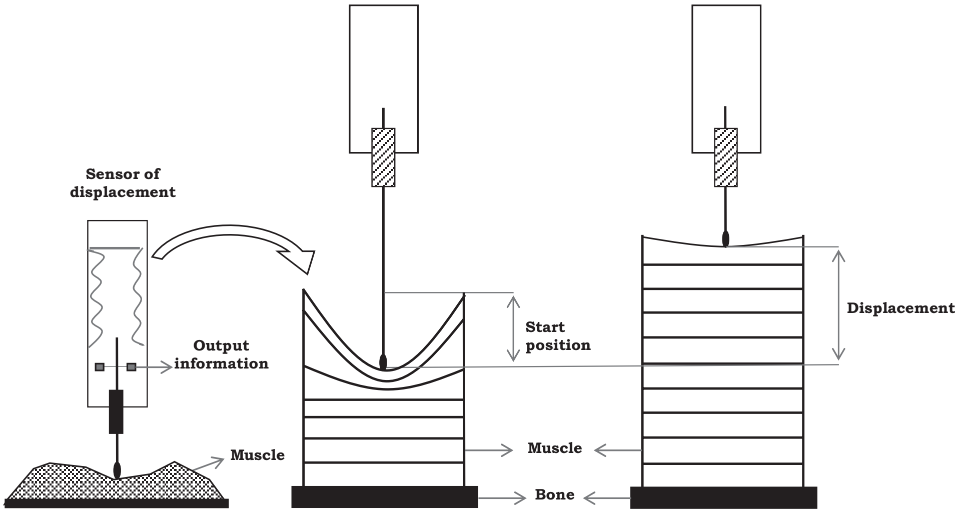

図２　TMG法の測定原理

図３　測定姿勢

の表面電極（5 cm× 5 cm）は、筋腹中央の測定点を挟んで5 cmの間隔をもって貼付した。各筋への電気刺激は1 msの間隔で、最大変位が発現するまで電流を増加させた。その電流範囲は40～70mAであった。被検者は十分な休息を挟んで、各筋とも10回の測定をランダムに実施した。測定項目としては、遅延時間（Td）、収縮時間（Tc）及び最大変位（Dm）を分析した（図4）。Tdは電気刺激から最大変位の10％を感知した時点までで、Tcは最大変位の10％から90％時点までの時間とした。Dmは最大変位値とした。

各筋群における測定値から平均値及び標準誤差を求めた。各筋群における測定値の再現性評価は、級内相関係数（Intraclass correlation coefficient：ICC）を用いた。

図5は、各筋群におけるTdの個人値について測定回ごとに示したものである。3筋群とも個人差はみられるものの、被検者内においては測定回

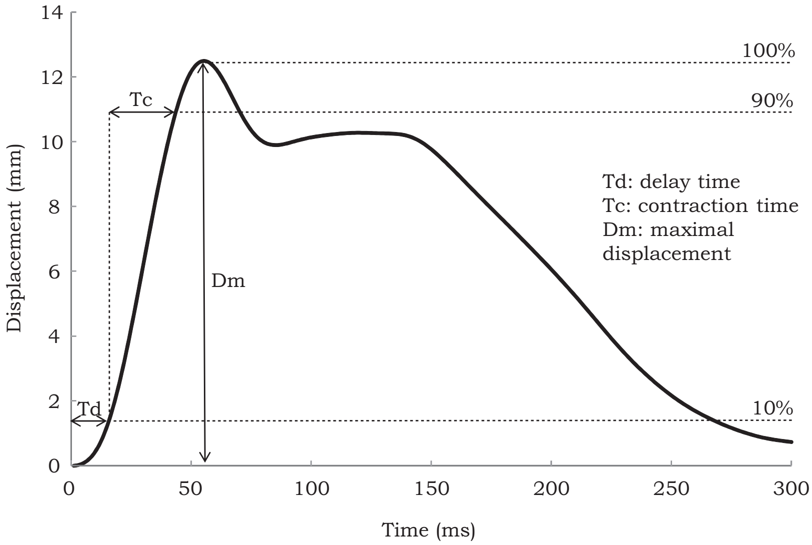

図4　TMG法による筋腹中央の変位

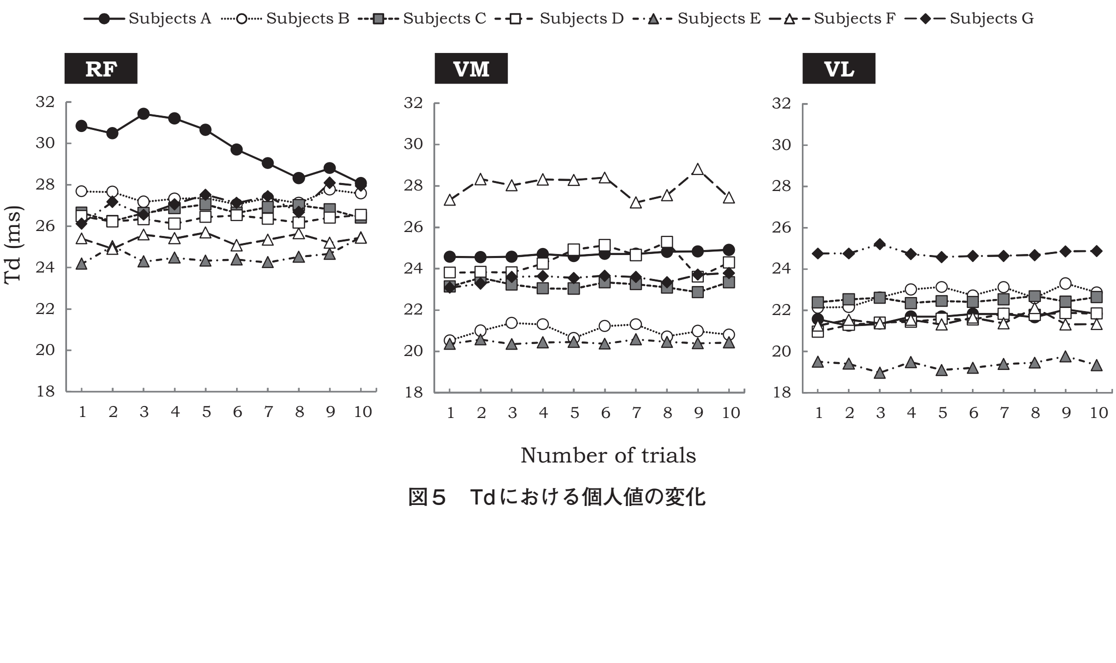

図5　Tdにおける個人値の変化

数に関係なくほぼ同値を示す傾向が認められた。また、同様な傾向はTc（図６）及びDm（図７）についてもみられた。

表４は各筋におけるTd、Tc及びDmの測定回ごとの平均値を示したものである。TdはRFが26.5～27.0ms、VMが23.3～23.8ms、VLでは21.8～22.2msであった。TcはRFが30.7～31.5ms、VMが24.9～26.1ms、VLが22.9～23.7msを示した。Dmについては、RFが8.2から8.6mm、VMが8.4～8.7mm、VLが6.4～6.5mmをそれぞれ示した。

TMG法による10回の各測定値における級内相関係数を表５に示した。Tdについては、RF（ICC=0.89）、VM（ICC=0.98）及びVL（ICC=0.97）ともに高い係数が得られている。Tcについても各筋群（RF；ICC=0.94、VM；ICC=0.97及びVL；ICC=0.95）で同様な係数を示した。また、Dmは各筋群ともICC=0.98～0.99と極めて高い級内相関係数が認められた。

本研究では、TMG法を用いて大腿部の脚伸展筋群としてRF、VM及びVLの収縮特性と明らかにし、その測定値の再現性について検討した。

TMG法を用いた先行研究[9) 10)]では、VLのTd

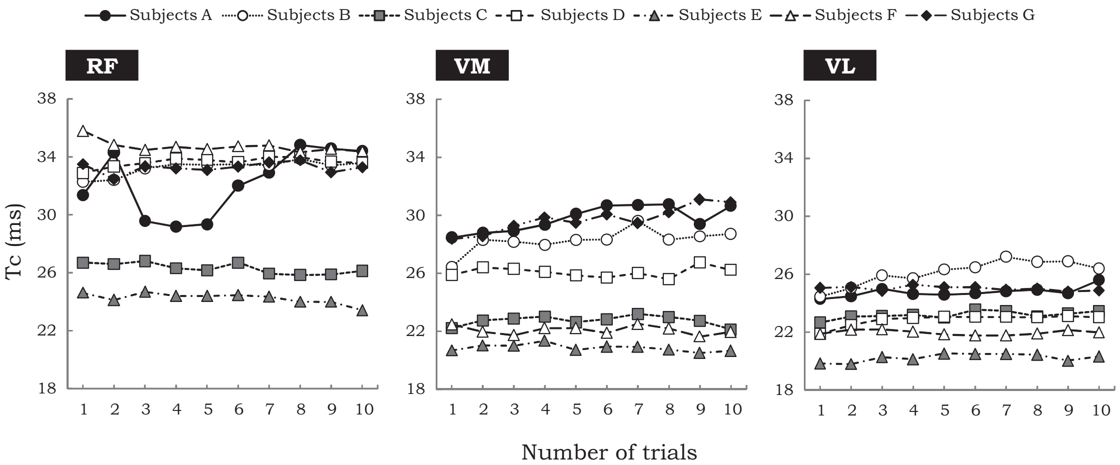

図６　Tcにおける個人値の変化

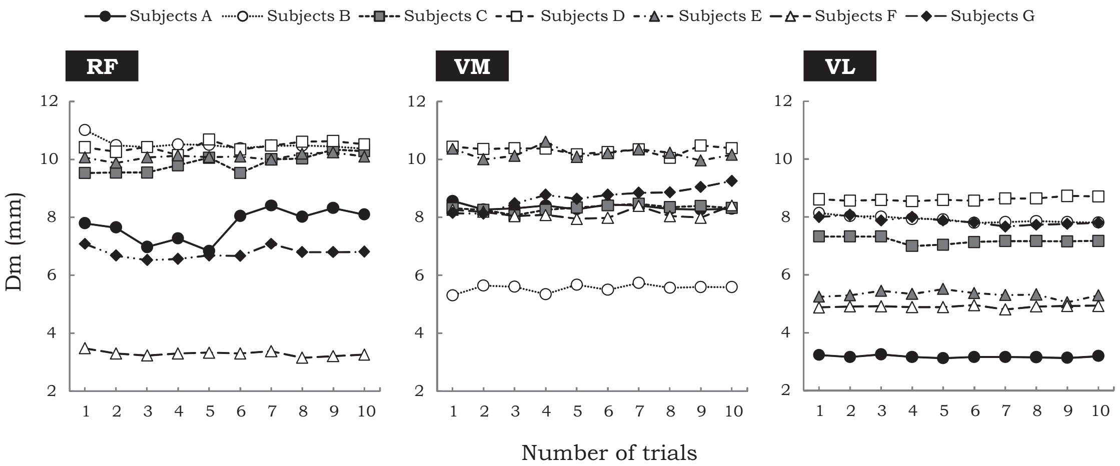

図７　Dmにおける個人値の変化

表４　各筋におけるTd、Tc及びDmの測定回ごとの平均値

Item	Muscle	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Td (ms)	RF	26.8±0.79	26.8±0.72	26.9±0.84	26.9±0.81	27.0±0.74	26.7±0.64	26.7±0.59	26.5±0.46	26.8±0.58	26.8±0.42
	VM	23.3±0.91	23.6±0.97	23.6±0.93	23.7±0.97	23.6±1.02	23.8±1.00	23.6±0.84	23.6±0.96	23.6±1.05	23.6±0.91
	VL	21.8±0.61	21.8±0.61	21.9±0.71	22.0±0.61	22.0±0.64	22.0±0.61	22.1±0.61	22.1±0.59	22.2±0.60	22.1±0.63
Tc (ms)	RF	31.0±1.49	31.2±1.56	30.8±1.45	30.7±1.55	30.7±1.54	31.2±1.50	31.3±1.61	31.5±1.72	31.3±1.67	31.3±1.71
	VM	24.9±1.19	25.4±1.28	25.5±1.34	25.7±1.33	25.6±1.44	25.8±1.51	26.1±1.49	25.8±1.52	25.8±1.58	25.9±1.64
	VL	22.9±0.70	23.2±0.72	23.5±0.73	23.4±0.74	23.5±0.75	23.6±0.77	23.7±0.84	23.6±0.81	23.6±0.83	23.7±0.80
Dm (mm)	RF	8.5±0.99	8.3±0.98	8.2±1.03	8.2±1.01	8.3±1.05	8.3±0.99	8.5±0.98	8.5±1.04	8.6±1.04	8.5±1.02
	VM	8.5±0.65	8.4±0.58	8.4±0.60	8.6±0.66	8.5±0.57	8.5±0.61	8.7±0.59	8.5±0.59	8.5±0.60	8.6±0.60
	VL	6.5±0.77	6.5±0.77	6.5±0.75	6.4±0.75	6.4±0.75	6.4±0.74	6.4±0.75	6.4±0.75	6.4±0.76	6.4±0.75

Dm: maximal displacement.　RF: rectus femoris.　Values are means±S.E..
Td: delay time.　VM: vastus medialis.
Tc: contraction time.　VL: vastus lateralis.

が22.3～23.9ms、Tcが23.1～25.9msであり、Dmが7.2～8.6mmであった。また、VMについては、Tdが22.2～22.4ms、Tcが25.7～25.8ms、Dmが6.5～6.8mmであったことを報告している。本研究のVM及びVL値はその報告値とほぼ同様な値を示した。RFに関しての知見は未だ報告されておらず、本研究の結果は独創性が高いものと思われる。

また、TMG法による筋収縮の遅延時間、収縮時間及び筋腹最大変位等の再現性について級内相関係数を用いて評価した結果、各測定項目とも高い係数が得られた。VM及びVLの日外変動について級内相関係数を用いて検討した先行研究[9]において、高い係数が得られており、測定法の再現性を示唆している。

表５　TMG法による測定項目の級内相関係数

Muscle	Td	Tc	Dm
RF	0.89	0.94	0.99
VM	0.98	0.97	0.98
VL	0.97	0.95	0.99

Dm: maximal displacement.　RF: rectus femoris.
Td: delay time.　VM: vastus medialis.
Tc: contraction time.　VL: vastus lateralis.

これらのことから、筋収縮特性を評価する実用性が実証され、スポーツ科学の分野に十分活用できるものと思われた。

本研究は、平成26年度国士舘大学体育学部附属体育研究所研究助成により実施された。また、本研究は、JSPS科研費25350777の助成の一部により実施した。

引用・参考文献

1）秋間広，久野譜也，福永哲夫，勝田茂.（1995）. MRIによるヒトの膝伸筋・膝屈筋における形態的特性および生理学的断面積当りの筋張力. 体力科学，44（2），267-278.
2）星川佳広，飯田朝美，村松正隆.（2006）. 高校生スポーツ選手の大腿部筋断面積の性差と競技種目差. トレーニング科学，18（4），375-386.
3）星川佳広，飯田朝美，村松正隆.（2009）. サッカー選手の年齢別の大腰筋断面積と除脂肪体重. トレーニング科学，21（1），33-44.
4）星川佳広，村松正隆，飯田朝美，井伊希美，中嶋由晴.（2009）. 性、年齢別の長距離走選手の大腿部筋体積と膝関節トルク. トレーニング科学 21（2），171-181.
5）星川佳広，村松正隆，飯田朝美.（2011）. 競技力の異なる男女ジュニア短距離選手の股関節筋力と筋横断面積. トレーニング科学，23（2），153-165.
6）村松正隆，星川佳広，飯田朝美.（2010）. 高校生スポーツ選手の体幹筋群の筋サイズ―性差と競技種目差の検討. 体育学研究，55（2），577-590.
7）Krizaj D, Simunic B, Zagar T.（2008）Short-term repeatability of parameters extracted from radial displacement of muscle belly. J Electromyogr Kinesiol. 18：645-651.
8）Simunic B, Degens H, Rittweger J, Narici M, Mekjavic I.B, Pisot R.（2011）Noninvasive estimation of myosin heavy chain composition in human skeletal muscle. Med Sci Sports Exerc. 43（9）：1619-25.
9）Simunic B. Between-day reliability of a method for non-invasive estimation of muscle composition.（2012）J Electromyogr Kinesiol. 22：527-530.
10）Valencic V and Knez N.（1997）Measuring of skeletal muscles' dynamic properties. Artif Organs. 21（3）：240-242.