

スポーツ競技と骨格筋の形態及び収縮特性の関わりを探る

Structural and functional characteristics of human skeletal muscle due to athletic performance

角田直也*, 手島貴範*, 平塚和也**, 宮崎大佑**
岩城翔平**, 田中重陽***, 岡田雅次**, 細田三二**

Naoya TSUNODA*, Takanori TESHIMA*, Kazuya HIRATSUKA**
Daisuke MIYAZAKI**, Shouhei IWAKI**, Shigeharu TANAKA***
Masaji OKADA** and Mitsuji HOSODA**

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、スポーツ選手を対象に骨格筋の形態と収縮特性がスポーツパフォーマンスに及ぼす影響を明らかにす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骨格筋の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2)と3)の研究結果の概要について報告

する。

I. 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

本研究では、男女サッカー選手における膝関節伸展及び屈曲筋力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19名(男子10名、女子9名)とした。被検者の年齢及び身体的特性は、Table 1に示した。

体重、除脂肪体重 (FFM) 及び利き脚の下肢

Table 1. Age and physical characteristics in collegiate male and female soccer players.

	n	Age (yrs)	Body height (cm)	Body weight (kg)	FFM (kg)	MVLL (kg)
Male	10	19.8 ± 0.8	171.0 ± 8.6	65.2 ± 10.4	58.0 ± 7.9	10.7 ± 1.2
Female	9	19.5 ± 1.0	163.1 ± 3.2	57.9 ± 6.9	44.2 ± 2.4	8.7 ± 0.7

Values are expressed mean ± S.D..

FFM : Fat free mass.

MVLL : Muscle volume of lower limb on dominant leg.

* 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)

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

*** 国士館大学政経学部 (Faculty of Political Science and Economics, Kokushikan University)

筋量は、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。

等尺性及び等速性膝関節伸展・屈曲筋力の測定は、総合筋力測定装置 (BIODEX System III, BIODEX 社製) を用いて測定した。等尺性による膝関節伸展筋力の測定は、膝関節角度を 80 度とし、屈曲筋力の測定は膝関節角度を 40 度として、それぞれ測定した。また、測定時間は、8 秒間とし、安静から最大筋力発揮まで約 4 秒間で達し、4 秒間持続するようなランプ状の力発揮を行わせた。各測定の回数は 3 回ずつとし、筋疲労の影響を除去するために試技間に十分な休息時間を設定した。3 回の測定のうち、最も高い記録を分析の対象とした。

等速性膝伸展及び屈曲筋力の測定は、それぞれ角速度 60deg/sec、180deg/sec、240deg/sec において 3 回連続の筋力発揮を最大努力で行わせた。また、得られたトルク値は、設定した角速度 ($\pm 0.9\text{deg/sec}$) における等速性運動時の最大トルク値を個人値として、採用した。

等尺性及び等速性におけるトルク値 (絶対値) は、体重、FFM 及び下肢筋量で除すことにより相対値化した。

Table 2 は、男女サッカー選手における膝関節の伸展及び屈曲筋力を角速度別に示したものである。膝関節伸展筋力において、男子は角速度の増加に伴う筋力の低下がみられ、0deg/sec から 180deg/sec まで各角速度間において有意な差が認められた。この結果は、女子においても同様であった。また、膝関節伸展筋力において男女差が認められたのは、0deg/sec、60deg/sec 及び 180deg/sec の 3 速度であった。膝関節屈曲筋力においては、男女共に角速度の増加に伴う筋力の低下がみられ、男子は 0deg/sec から 180deg/sec まで各角速度間において、女子では 60deg/sec と 180deg/sec の間において有意な差が認められた。さらに、膝関節屈曲筋力は、全ての角速度において、有意な男女差が認められた。

本研究では、男女間における体格差を補正するために、膝関節伸展及び屈曲筋力を体重、FFM 及び利き脚の下肢筋量で除すことによりそれぞれの

相対値を算出した。Fig.1 には、男女サッカー選手における膝関節伸展及び屈曲筋力を体重で除した相対値で示した。体重あたりの膝関節伸展及び屈曲筋力は、男女共に角速度の増加に伴って低下する傾向を示し、男女共に伸展の 0deg/sec から 180deg/sec まで各角速度間において、屈曲では 60deg/sec と 180deg/sec の間において有意な差が認められた。また、体重あたりの膝関節伸展及び屈曲筋力に男女差が認められたのは、伸展の 0deg/sec と屈曲の 0deg/sec から 180deg/

Table 2. Comparison of gender and angular velocity difference of knee extension and flexion peak torque in collegiate male and female soccer players.

		Peak torque (Nm)		
Angular velocity (deg/sec)		Male		Female
Knee extension	0	251.7 ± 46.0	*	186.7 ± 45.8
	60	187.2 ± 30.6	*	147.9 ± 22.0
	180	129.0 ± 21.9	*	90.5 ± 25.9
	240	106.0 ± 29.9		86.5 ± 16.0
Knee flexion	0	133.0 ± 21.5	*	85.5 ± 17.5
	60	118.5 ± 17.4	*	77.0 ± 18.6
	180	91.8 ± 11.6	*	53.0 ± 12.3
	240	83.2 ± 11.6	*	58.5 ± 6.5

Values are expressed mean ± S.D..

* : Gender difference

: Angular velocity difference

secまで各角速度であった。Fig.2は、男女サッカー選手における膝関節伸展及び屈曲筋力をFFMで除した相対値で示したものである。FFMあたりの膝関節伸展及び屈曲筋力は、男女共に角速度の増加に伴って低下する傾向を示し、男女共に伸展の0deg/secから180deg/secまで各角速度間において、屈曲では60deg/secと180deg/secの間において有意な差が認められた。FFMあたりの

膝関節伸展筋力においては、いずれの角速度においても男女差は認められなかったものの、屈曲の0deg/secから180deg/secまで各角速度において男子が女子よりも高い値を示し、有意な男女差が認められた。

Fig.3は、男女サッカー選手における膝関節伸展及び屈曲筋力を下肢筋量で除した相対値で示したものである。下肢筋量あたりの膝関節伸展及び

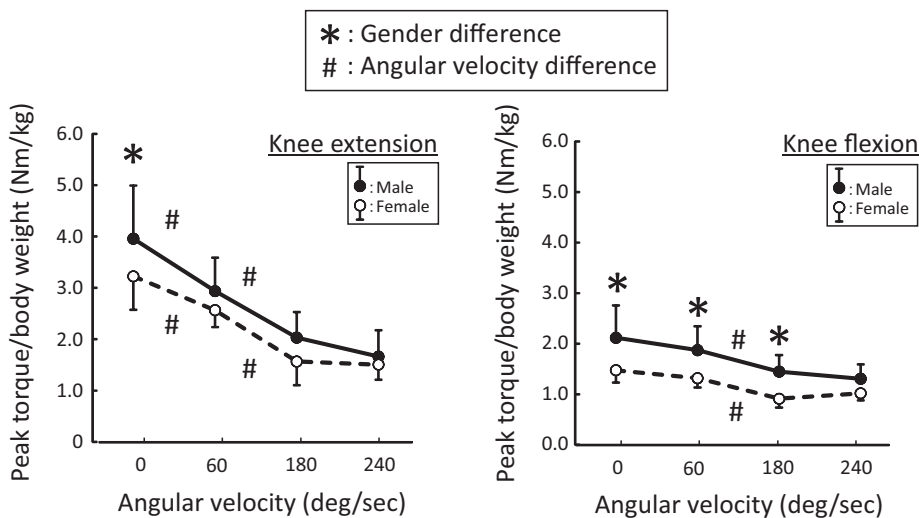


Fig.1. Changes in relative peak torque to body weight with knee extension and flexion in collegiate male and female soccer players.

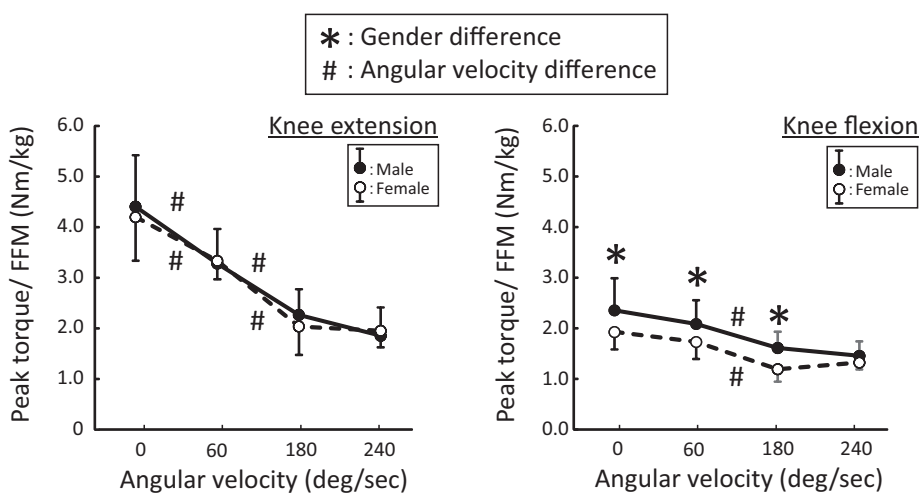


Fig.2. Changes in relative peak torque to FFM with knee extension and flexion in collegiate male and female soccer players.

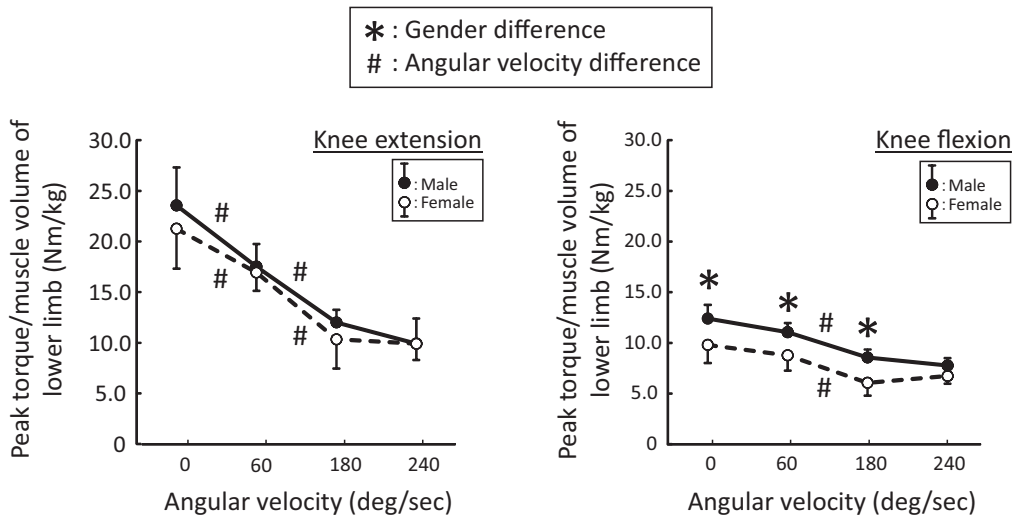


Fig.3. Changes in relative peak torque to muscle volume of lower limb with knee extension and flexion in collegiate male and female soccer players.

屈曲筋力は、男女共に角速度の増加に伴って低下する傾向を示し、男女共に伸展の 0deg/sec から 180deg/sec まで各角速度間において、屈曲では 60deg/sec と 180deg/sec の間において有意な差が認められた。下肢筋量あたりの膝関節伸展筋力においては、いずれの角速度においても男女差は認められなかったものの、屈曲の 0deg/sec から 180deg/sec まで各角速度において男子が女子よりも高い値を示し、有意な男女差が認められた。

Fig.4には、男女サッカー選手における膝関節伸展筋力に対する屈曲筋力の比（屈伸比）を示した。屈伸比は、男女共に角速度の増加に伴って、増加する傾向を示し、いずれの角速度においても男子が女子よりも高い値を示し、240deg/sec において有意な男女差が認められた。

これまで、各種スポーツ競技選手の膝関節伸展及び屈曲筋力についての先行研究^{1) 2) 3) 4)}では、いずれのスポーツ競技種目においても、その絶対値は、男子が女子を上回り、有意な男女差が存在することが報告されている。男女の陸上長距離選手の膝関節伸展及び屈曲トルクについて検討した星川ほか⁵⁾によると、ジュニア選手とシニア選手共に男子が女子を上回り有意な男女差が認められ

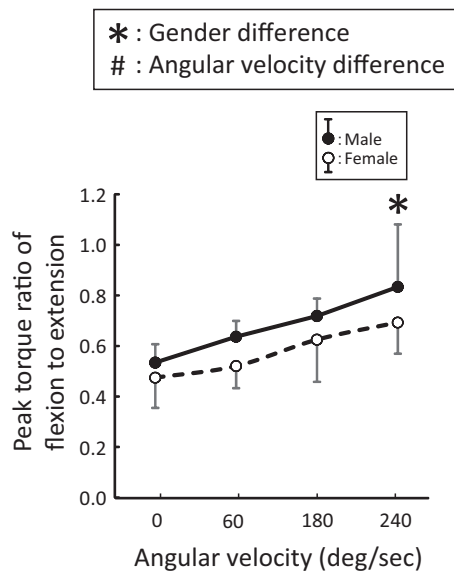


Fig.4. Changes in peak torque ratio of knee flexion to extension in collegiate male and female soccer players.

たことが報告されている。本研究においても、男女サッカー選手の膝関節伸展及び屈曲筋力の絶対値には男子が女子よりも高い値を示し、伸展の 240deg/sec を除く全ての角速度において有意な男女差が認められた。したがって、他のスポーツ

競技選手と同様に、サッカー選手においても膝関節伸展及び屈曲筋力の絶対値には男女差が存在するものと考えられた。また、本研究において、膝関節伸展筋力を相対値化した場合、絶対値において認められた男女差は、体重あたりの0deg/secを除いて、いずれの相対値（体重、FFM及び下肢筋量あたり）においても消失した。一方、膝関節屈曲筋力を相対値化した場合、いずれの相対値（体重、FFM及び下肢筋量あたり）においても高速度である240deg/secを除く全ての角速度において男女差が存在していた。したがって、男女サッカー選手は、同一の筋量ならば、伸展筋力には男女差が存在しないものの、屈曲筋力では、女子よりも男子の方が有意に高く男女差が存在することが明らかとなった。また、この結果が得られた要因のひとつとして、屈伸比があげられる。これまで、膝関節の伸展及び屈曲筋力における不安定性についての伝統的な評価法として、多くの先行研究^{1) 2) 3) 4) 5) 6) 7) 8) 9)}において、屈伸比（伸展筋力に対する屈曲筋力の比）が算出されてきた。膝関節における筋力の不均衡は、障害やパフォーマンスの低下の要因⁷⁾となることから、大腿筋群の前後のバランスを評価するための指標として、この屈伸比が、利用されている。サッカー選手の膝関節伸展及び屈曲トルクにおける屈伸比についてOberg et al⁸⁾は、低速度域では60~65%の範囲が望ましいと報告している。また、これまでの先行研究において、屈伸比は、男子が女子よりも高い値を示す^{1) 2) 3)}こと、さらには高速度における屈伸比の低い女子スポーツ選手では、ACL損傷発生のリスクが高まる⁷⁾ことが報告されている。本研究の結果においては、男子サッカー選手は女子サッカー選手よりも高い屈伸比を示し、高速度である240deg/secにおいて有意な男女差が認められた。このことは、男子選手における屈伸比の有意性を裏付けるものであるものと考えられた。一方、女子選手においては、高速度域における伸展筋力に対する屈曲筋力が低いことから、トレーニングにおいてハムストリングの強化及び機能改

善が男子よりも重要である可能性が示唆された。

本研究は、JSPS科研費25350777による助成及び平成27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した。

参考文献

- 1) Aagaard P, Simonsen EB, Beyer N, Larsson B, Magnusson P, Kjaer M. (1997) Isokinetic muscle strength and capacity for muscular knee joint stabilization in elite sailors. *Int J Sports Med.* 18 (7), 521-525.
- 2) Griffin JW, Tooms RE, vander Zwaag R, Bertorini TE, O'Toole ML. (1993). Eccentric muscle performance of elbow and knee muscle groups in untrained men and women. *Med Sci Sports Exerc.* 25 (8), 936-944.
- 3) Hewett TE, Stroupe AL, Nance TA, Noyes FR. (1996). Plyometric training in female athletes. Decreased impact forces and increased hamstring torques. *Am J Sports Med.* 24 (6), 765-773.
- 4) Hewett TE, Myer GD, Zazulak BT. (2008). Hamstrings to quadriceps peak torque between sexes with increasing isokinetic angular velocity. *J Sci Med Sport.* Sep; 11 (5): 452-9.
- 5) 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.
- 6) 星川佳広, 飯田朝美, 村松正隆, 中嶋由晴. (2007). サッカー選手における膝関節伸展・屈曲トルクと大腿部筋体積の年齢変化. *体育学研究*, 52 (3・4・5・6), 431-442.
- 7) Knapik JJ, Bauman CL, Jones BH, Harris JM, Vaughan L. (1991). Preseason strength and flexibility imbalances associated with athletic injuries in female collegiate athletes. *Am J Sports Med.* 19 (1), 76-81.
- 8) Oberg B, Möller M, Gillquist J, Ekstrand J. (1986). Isokinetic torque levels for knee extensors and knee flexors in soccer players. *Int J Sports Med.* 7 (1): 50-53.
- 9) Zabka FF, Valente HG, Pacheco AM. (2011). Isokinetic evaluation of knee extensor and flexor muscles in professional soccer players. *Rev Bras Med Esporte*, 17 (3), 189-192.

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

近年、筋の収縮特性を評価する方法として Tensiomyography法 (TMG法) が開発²¹⁾された。この方法は皮膚表面に電気刺激を加え、筋腹中央における形状変化から、遅延時間、収縮時間及び筋腹中央の最大変位等によって非侵襲的に筋の収縮特性を評価することが可能である。Simunic et al¹⁸⁾は、外側広筋を対象とし、ニードルバイオプシー法によって計測された筋線維タイプと TMG法によって計測された遅延時間及び収縮時間との関係を検討したところ、高い相関関係を認め、TMG法により筋線維タイプの推定や筋収縮特性の評価が可能であると提唱している。また、Valencic V, Knez N²¹⁾は、腕橈骨筋とヒラメ筋の間に収縮時間が相違で有ることを報告しており、同法は、異なる筋の筋収縮特性も評価できると提唱している。

これらの報告からすると、TMG法は、筋収縮特性の一評価法として妥当性^{14) 18) 21)}に優れ、かつ測定値の再現性も高い¹⁷⁾測定方法であるといえる。さらに、同法は、非侵襲的であるため被験者に生理的負担を与えることなく安全に測定ができ、かつ短時間に測定できるという簡便性¹³⁾を有している。従って、TMG法は、今後筋収縮特性の一評価法として普及するものと予想される。しかしながら、TMG法は、センサーを体表に接触させる必要があり、目的とする筋に到達する前には、皮下脂肪組織等があるため、筋以外の影響を受けることが考えられる。

皮下脂肪組織は身体の部位や年齢などによって厚さが異なり、物理的外力に対するクッションの役割があると報告されている¹⁹⁾。したがって、TMG法を用いて筋収縮特性を評価するには、皮下脂肪組織の影響について検討する必要がある。

そこで本研究は、TMG法における筋収縮特性と皮下脂肪厚の関係を明らかにすることを目的とした。

本研究の被験者は、体育系大学生の男子110名とした(年齢: 20.1 ± 1.4 歳, 身長: 171.2 ± 10.7 cm, 体重 66.1 ± 12.3 kg, 除脂肪量 59.6 ± 12.3 kg, 脂肪量 8.0 ± 6.5 kg)。被験者は神経障害の既往歴を持たない者とした。また、被験者は測定前日及び測定日に激しい運動を行わないことや、2時間前の摂食及びカフェイン等の有無にも配慮した¹⁶⁾。さらに、測定室内の室温は 24°C に設定した¹⁶⁾。被験者には本研究の目的や方法などについて説明し、実験参加への同意を得た後、測定を実施した。

本研究における皮下脂肪厚及び筋収縮特性の測定部位は以下の4部位とした。なお、測定した部位は全て右脚とした。

- a) 大腿直筋 (RF): 膝蓋骨上縁と前上腸骨棘を結んだ50%の位置
- b) 内側広筋 (VM): 膝蓋骨上門側より4横指付近の位置
- c) 外側広筋 (VL): 膝蓋骨上縁より5横指付近の位置
- d) 大腿二頭筋 (BF): 腹腓骨頭と坐骨結節を結んだ50%の位置

皮下脂肪厚の測定は、超音波診断装置 (Echo Camera SSD-900L, ALOKA社製) を用いて測定した (Fig.5)。被験者の測定姿勢は、両足の内縁間を20cmに開いた安静立位とし、両脚にかかる体重が均等になるよう注意して立位を保持するよう指示した。超音波診断装置の超音波発振周波数は皮下脂肪と筋の境界が明確に判別できる¹²⁾ 7.5MHzを用いて計測した。また、表層部の筋組織を圧迫せずに明瞭な超音波画像を得るため、プローブに超音波用ゼリーを塗布して超音波画像の撮像を行った。さらに、超音波診断装置の画像のゲインとフォーカスは、被験者及び各部位毎に調節し皮下脂肪厚が見えやすい最適な設定で行った。得られた画像を、画像分析ソフト (Image J version 1.48v) を用いて、皮膚とプローブの接触面である画面上部から皮下脂肪と筋の筋境界線までの厚さを皮下脂肪厚として計測した¹²⁾。各部位における皮下脂肪厚の測定は、習熟した1名の測

定者が行った。

筋収縮特性は、筋収縮特性装置 (TMG-100 TMG社製) を用いて測定した。TMG法による測定原理をFig.6に示した。即ち、電気刺激装置を用いて外部刺激を与え、筋腹中央の形状変化をセンサーで計測し、変位量を時間曲線にしたものである。RF、VM及びVLの測定姿勢は仰臥位で実施した。その際、膝屈曲角度が30度となるように三角パットを使用した。さらに、測定中に測定位置が動かないようにするため、脛骨粗面上と足首をベルトで軽く固定した。一方、BFは伏臥位とし、膝蓋骨上部をベルトで軽く固定した状態で測定を実施し

た。そして、被験者には身体を安静にした状態で測定を行うよう指示した。

筋の変位を測定するために、センサーを筋に対して垂直にあて、センサーを挟むように5cm間隔で電極を貼付した。また、電極を接触させる体表は、電極への抵抗を除去するために剃毛処理を行った。電気刺激における電流の大きさは、30mAから110mAの範囲までとし、最大変位が発現するまで5mA毎に電流を漸増する方法を用いた。

TMG法による筋収縮特性の測定項目は、最大変位 (Dm)、遅延時間 (Td) 及び収縮時間 (Tc) の3項目とした。Ludvik Travnik¹⁵⁾ らは、電気

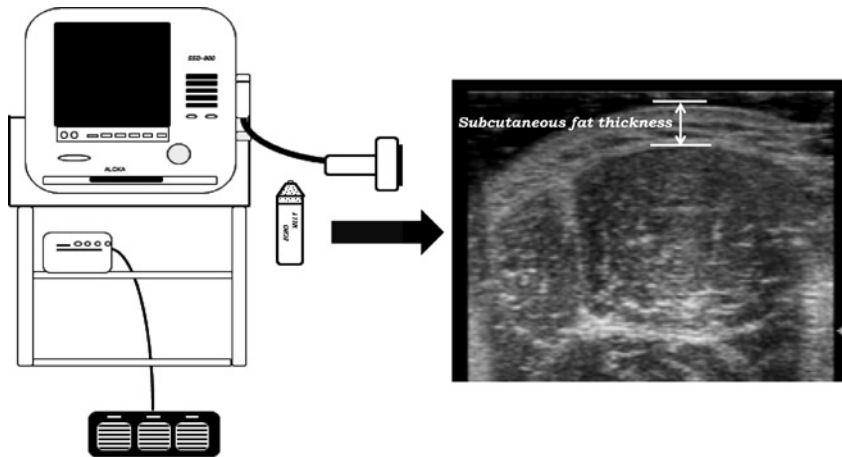


Fig.5. Measurement of subcutaneous fat thickness.

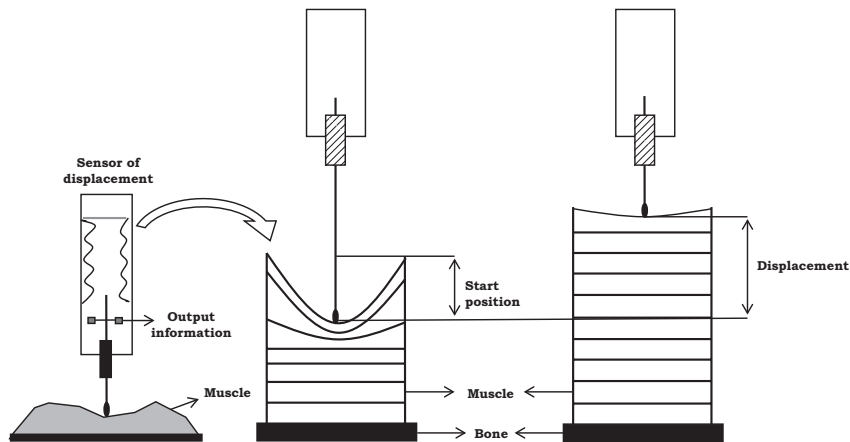


Fig.6. Measurement principle of TMG method.

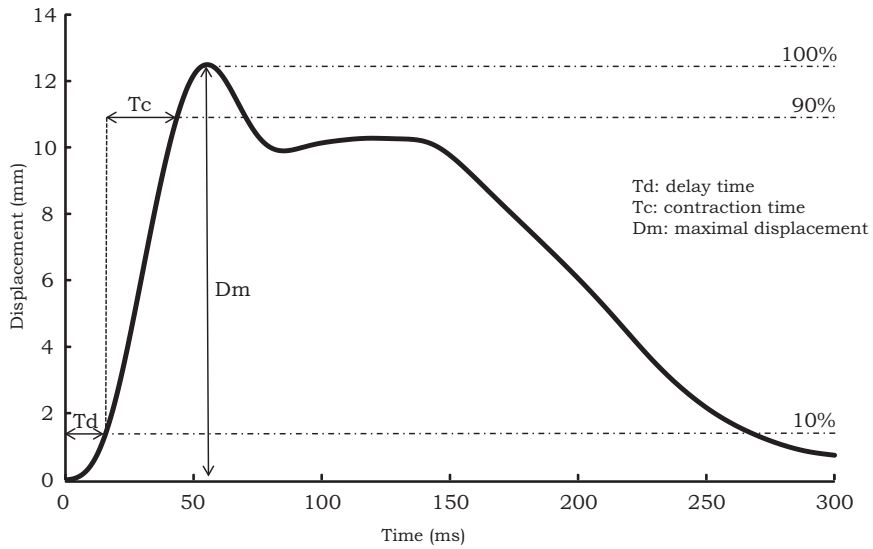


Fig.7. Muscle belly center of displacement due to TMG method.

刺激時を変位0%とし、最大変位時(Dm)を変位100%と定義した。また、Tdは変位0%から最大変位時の10%までの時間とし、Tcは最大変位時の10%から90%までの時間と定義した(Fig.7)。このことから本研究においても先行研究と同様の定義を採用した。

本研究における各項目の値は、全て平均値及び標準偏差で示した。各項目間における相関係数はピアソンの単純相関によって算出した。いずれも5%未満を有意とした。

Table 3は、各部位における皮下脂肪厚の平均値及び標準偏差を示した。皮下脂肪厚はRFが 5.8 ± 2.3 mm、VMが 5.3 ± 2.1 mm、VLが 4.1 ± 1.5 mm、BFが 6.6 ± 2.3 mmであった。TMG法における筋収縮特性の測定項目値をTable 4に示した。TdはRFが 24.3 ± 2.6 ms、VMが $20.1 \pm$

Table 3. Subcutaneous fat thickness in each muscle.

	RF (mm)	VM (mm)	VL (mm)	BF (mm)
Subcutaneous fat thickness	5.8 ± 2.3	5.3 ± 2.1	4.1 ± 1.5	6.6 ± 2.3

RF: Rectus femoris,
VM: Vastus medialis,
VL: Vastus lateralis,
BF: Biceps femoris,

Values are mean±S.D..

Table 4. TMG parameters in each muscle.

Muscles	Td (ms)	Tc (ms)	Dm (mm)
RF	24.3 ± 2.6	26.7 ± 5.0	9.1 ± 2.8
VM	20.1 ± 1.6	22.4 ± 2.9	6.3 ± 2.2
VL	22.1 ± 1.7	22.5 ± 2.8	6.7 ± 1.8
BF	22.0 ± 3.0	28.0 ± 11.2	5.0 ± 3.1

RF: Rectus femoris,
VM: Vastus medialis,
VL: Vastus lateralis,
BF: Biceps femoris.
Td: delay time,
Tc: contraction time,
Dm: maximal displacement.

Values are mean±S.D..

1.6ms、VLが 22.1 ± 1.7 ms、BFが 22.0 ± 3.0 msを示した。TcはBF(28.0 ± 11.2 ms)が最も高い値を示し、他の部位はそれぞれ、RFが 26.7 ± 5.0 ms、VMが 22.4 ± 2.9 ms、VLが 22.5 ± 2.8 msであった。

Table 5. Correlation coefficients between Subcutaneous fat thickness and TMG parameters.

Subcutaneous fat thickness	Td (ms)	Tc (ms)	Dm (mm)
RF	n.s	n.s	n.s
VM	n.s	n.s	n.s
VL	n.s	n.s	n.s
BF	n.s	n.s	n.s

RF: Rectus femoris,
 VM: Vastus medialis,
 VL: Vastus lateralis,
 BF: Biceps femoris.
 Td: delay time,
 Tc: contraction time,
 Dm: maximal displacement.

Dmについては、RFが 9.1 ± 2.8 mm、VMが 6.3 ± 2.2 mm、VLが 6.7 ± 1.8 mm、BFが 5.0 ± 3.1 mmを示した。

Table 5は、各部位における皮下脂肪厚とTd、Tc及びDmとの関係を相関係数で示した。全ての測定部位において、皮下脂肪厚とTdには、有意な相関関係は認められなかった。また、皮下脂肪厚とTc及びDmとの関係は、どの測定部位においても有意な相関関係は認められなかった。

近年開発されたTMG法は、筋収縮特性の評価法として、妥当性¹⁴⁾¹⁸⁾²¹⁾及び再現性¹⁷⁾を有する測定方法であることが認められており、筋収縮特性の評価法として、今後の普及が予想される。しかしながら、同法は皮膚の表面から測定するため、皮下脂肪の影響を考慮しなければならない。皮下脂肪は、物理的外力に対するクッションの役割をもっているため、皮下脂肪には弾力性があると報告されている¹⁹⁾。皮下脂肪厚と皮膚弾力性との関係を検討した高野ら²⁰⁾によると、皮下脂肪厚が厚い部位の方が、皮膚弾力性が高いと報告されている。つまり、皮下脂肪厚は測定部位の厚さによって弾力性が異なることが考えられる。

そこで、本研究はTMG法を用いて大腿筋群の筋収縮特性を測定し、皮下脂肪厚とTMG法における筋収縮特性の関係について検討した。その結

果、全ての測定部位において、皮下脂肪厚とTd、Tc及びDmに有意な相関関係が認められなかった。つまり、大腿筋群の皮下脂肪厚は、TMG法の筋収縮特性に関係しないことが示唆された。

本研究は、TMG法における筋収縮特性と皮下脂肪厚との関係性において、皮下脂肪には弾力性があるにもかかわらず、TMG法を用いた筋収縮特性に皮下脂肪の影響を受けなかった。安部・

福永¹⁰⁾によると皮下脂肪厚には性差があり、また、スポーツ選手と一般人の皮下脂肪厚を比較したところスポーツ選手の皮下脂肪厚は一般人と比べて薄いことが報告されている。さらに、皮膚の表面から測定をするという点が同一である筋硬度計において土居¹¹⁾は、皮下脂肪が筋硬度に及ぼす影響は小さいと報告している。即ち、表面から筋を測定する場合、皮下脂肪が比較的薄い部位であれば皮下脂肪の影響を受けない可能性が考えられる。本研究の被験者は、男子体育系大学生としたため、皮下脂肪厚が比較的薄く、TMG法を用いた筋収縮特性の項目値が、皮下脂肪の弾力性に影響を及ぼさなかったものと推察される。

今後、TMG法を幅広く活用するためには、皮下脂肪厚が厚いヒト（女性）及び身体部位（臀部・腹部）が、どの程度で測定精度に影響を及ぼすか明らかにすることが課題になるだろう。

本研究は、平成27年度国土館大学体育学部附属体育研究所研究助成により実施した。

参考文献

- 10) 安部孝、福永哲夫. 日本人の体脂肪と筋肉分布. 杏林書院. 1995.
- 11) 土居陽治郎、小林一敏. 筋肉の硬さ測定に関する

- 研究. 筑波大学体育科学系紀要. 11, 265-227, 1988.
- 12) 福永哲夫. 人の絶対筋力. 杏林書店. 1978.
 - 13) García-Manso JM1, Rodríguez-Ruiz D, Rodríguez-Matoso D, de Saa Y, Sarmiento S, Quiroga M. Assessment of muscle fatigue after an ultra-endurance triathlon using tensiomyography (TMG). J Social Sciences. Mar ; 29 (6) : 619-25. 2011.
 - 14) Križaj D, Šimunič B, Žagar T. Short-term repeatability of parameters extracted from radial displacement of muscle belly. Journal of Electromyography and Kinesiology Volume 18, Issue 4, August, Pages 645-651. 2008.
 - 15) Ludvik Travnik, Srdjan Djorjevic, Sergej Roman, Marija Hribernik, and Raja Dahmane. Muscles within muscles : a tensiomyographic and histochemical analysis of the normal human vastus medialis longus and vastus medialis obliquus muscles. Journal of Anatomy. 222 : 580-587. 2013.
 - 16) Luis C. Borja S. Moises H. Gabriela O. Tensiomyographic Characteristics of Rectus Femoris after a Single Bout of Intense Exercise. J Social Sciences. 7 pp.354-357. 2011.
 - 17) Simunič B. Between-day reliability of a method for non-invasive estimation of muscle composition. J Electromyogr Kinesiol. Aug ; 22 (4) : 527-30. 2012.
 - 18) Simunič B, Degens H, Rittweger J, Narici M, Mekjavić IB, Pišot R. Noninvasive estimation of myosin heavy chain composition in human skeletal muscle. Med Sci Sports Exerc. Sep ; 43 (9) : 1619-25. 2011.
 - 19) 清水宏. あたらしい皮膚科学第2版. 中山書店. 2011.
 - 20) 高野倉睦子、吉永実路、川上鈴奈. 若年女性の上半身における皮膚弾力性と皮下構造に関する研究. 人間—生活環境系シンポジウム報告集 38, 257-258, 2014.
 - 21) Valencic V, Knez N. Measuring of skeletal muscles' dynamic properties. Artif Organs. Mar ; 21 (3) : 240-2. 1997.