

## 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3報－

### The structural and functional characteristics of skeletal muscle and athletic performance.

角 田 直 也\*, 田 中 重 陽\*\*, 高 橋 佑 輔\*\*\*  
熊 川 大 介\*\*, 伊 原 佑 樹\*\*\*\*, 石 川 幸 一\*\*\*\*

Naoya TSUNODA\*, Shigeharu TANAKA\*\*, Yusuke TAKAHASHI\*\*\*  
Daisuke KUMAGAWA\*\*, Yuki IHARA\*\*\*\* and Yukikazu ISHIKAWA\*\*\*\*

#### プロジェクト研究課題：

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3報－

#### 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

本報では、2)の筋機能に関する課題に対する研究成果について報告する。

#### I. は じ め に

男女の競技パフォーマンスの性差は、骨格筋量、筋線維組成、エネルギー代謝、筋の収縮速度など様々な要因が考えられることが指摘されている<sup>1)</sup>。また、挙上パフォーマンスや等尺性筋力の性差は筋量や筋横断面積の違いによる影響が大きいことが指摘されている<sup>1)</sup>。自転車運動による無酸素性

パワー発揮の性差について検討された報告によれば、身体組成、特に下肢の筋量や運動に関与する筋群の筋線維タイプの違いといった要素が発揮パワーの性差に影響を及ぼしていることが指摘されている<sup>2)</sup>。

これまでに筆者らはスポーツ選手の無酸素性パワー発揮特性の性差について、自転車エルゴメーターによる測定を行い、各試技での無酸素性パワー発揮に及ぼす作業負荷値及び回転数の影響について検討<sup>9) 10)</sup>してきた。その結果、異なる作業負荷値における自転車運動時の無酸素性パワー発揮は男女で異なること、また、無酸素性パワーに及ぼす作業負荷値と回転数の影響は男女で異なることを報告してきた。本報では、これまでの測定結果に更なる被検者の追加を試みた。そこで、これまでの研究成果に加え、スポーツ選手の無酸素性パワー発揮特性と、身体を構成する体重や筋量といった全身の質的指標となる因子が無酸素性パワー発揮に及ぼす影響について性差の観点から検討した。

\* 国士館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)

\*\* 国士館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)

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

\*\*\*\* 国士館大学体育学部附属体育研究所 (Institute of health, physical education and sport science, kokushikan university)

## Ⅱ. 研究 方 法

### 1. 被検者

被検者は、あらゆるスポーツ競技選手を含んだ体育学専攻男子大学生259名（年齢： $20.2 \pm 0.4$ 歳、身長： $173.3 \pm 6.6$ cm）と、女子大学生135名（年齢： $20.2 \pm 0.5$ 歳、身長： $161.7 \pm 6.0$ cm）の計394名とした。被検者には本研究の目的や研究方法について十分に説明を行い、参加の同意を得た。

### 2. 形態計測

形態計測の項目は、身長、体重、除脂肪体重（FFM）及び脂肪量とした。身長は身長計を用いて計測し、体重、除脂肪体重及び脂肪量は身体組成測定装置（TANITA社製）を用いて計測した。得られた値から、体重に占める除脂肪体重及び脂肪量の割合を算出した。

### 3. 無酸素性パワーの測定

無酸素性パワーの測定は、Power Max V II（COMBI社製）を用いて、内蔵された無酸素性パワーテストにより実施した。このテストは、3回の異なる作業負荷値（第1試技目は体重により決定、第2、第3試技の作業負荷値は個人のレベルに即して自動的に設定される）において10秒間の最大努力による自転車運動を2分間の休息を挟み行わせるものである。各試技の作業負荷値及び回転数を解析用システム（COMBI社製）にてPCに取り込み、中村ら<sup>6)</sup>の算出式を用いて各試技のパワーを算出し、最大値をそれぞれピークパワーとして分析の対象とした。さらには、各試技のピークパワーを体重で除した値を算出した。3試技のパワー、作業負荷値及び回転数は、第1試技に対する第2試技及び第3試技の比率として算出した。さらに、各試技のピークパワー到達までの時間を分析の対象とした。

### 4. 統計処理

全ての測定項目における値は男女それぞれの平

均値と標準偏差値で示した。形態計測の項目における男女間の差の検定には、1元配置の分散分析を行った。また、無酸素性パワーテストにより得られたデータにおける、男女及び試技間の差の検定には2元配置の分散分析を実施した。それぞれ有意な差が認められた場合はpost-hoc test（Bonferroni法）を実施した。体重及びFFMと各試技の無酸素性パワーとの関係は単純相関により項目間の関係性について検討した。いずれも有意水準は5%未満とした。

## Ⅲ. 結果及び考察

競技パフォーマンスの男女差は、骨格筋量、筋線維組成、エネルギー代謝、筋の収縮速度など様々な要因が考えられている<sup>1)</sup>。男女の骨格筋量を部位別に比較した安部<sup>1)</sup>の報告によれば、下半身よりも上半身で性差が著しいことが報告されており、パワーリフティングといった挙上パフォーマンスにみられる男女差は、このことが影響を及ぼしている可能性について示唆している。本研究では、主に下肢の運動である自転車運動において発揮されるパワーと、体重や筋量がどのような関連性があるのかについて性差の観点から検討した。

Table 1は、形態計測の項目を男女間で比較したものである。体重及びFFMは男子が女子よりも有意に高い値を示し、脂肪量は女子が男子よりも高い値を示した。体重に占めるFFM及び脂肪量の割合についても男女間に有意な差が認められた。

各試技のピークパワーの絶対値と、体重で除したピークパワーの相対値を男女それぞれ試技間で比較した（Fig.1）。その結果、絶対値及び相対値ともに、男子は第2試技が最も高く、各試技間に有意な差が認められたのに対して、女子では、第2試技と第3試技間に有意な差は認められず、ほぼ同程度の値であった。自転車エルゴメーターの無酸素性パワーは、作業負荷値（力）と回転数

(速度) の積によって決定される。従って、高い無酸素性パワー発揮には、作業負荷の軽い第1試技では回転数といった速度の要素が必要とされ、試技に伴い作業負荷、即ち、力の要素が大きくな

ることが考えられる。そこで、試技に伴う回転数とパワーの変化について検討した。なお、第1試技は体重によって決定されており、本研究の被検者の体重は、男女間で有意な差が認められている

Table 1. Comparisons of physical characteristics between male and female.

	Male				Female		
Body height (cm)	173.3	±	6.6	— *	161.7	±	6.0
Body weight (kg)	71.1	±	11.9	— *	60.3	±	9.9
FFM (kg)	62.7	±	8.2	— *	48.3	±	6.8
Fat (kg)	8.4	±	4.0	— *	12.1	±	3.6
<hr/>							
%FFM	88.7	±	3.4	— *	80.3	±	2.9
%Fat	11.4	±	3.4	— *	19.7	±	2.9

Values are Mean ± S.D.

\* : Significant difference,  $p < 0.05$

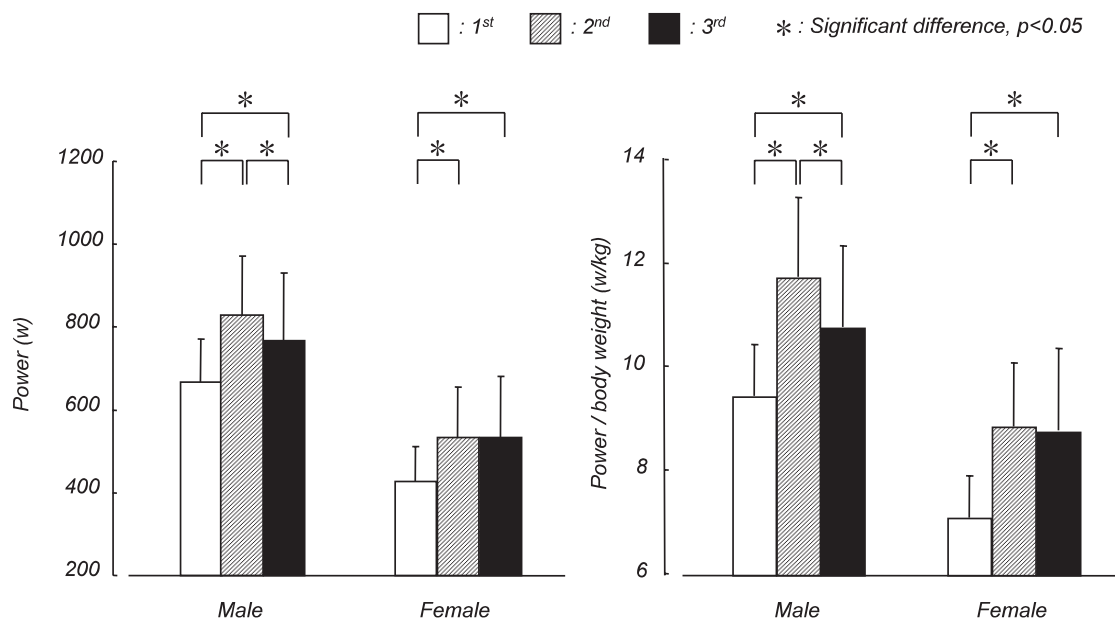


Fig.1. Comparisons of power and power to body weight among the three trials.

ことから、作業負荷値のそもそもの値が男女で異なる。このことを考慮し、各試技の値を第1試技に対する比率として算出し、男女間で比較した(Fig.2)。その結果作業負荷値の増加に伴い回転数は減少する傾向が認められ、第3試技では男女間で著しい差が認められた。また、ピークパワーの比率についても第3試技で女子が男子よりも有

意に高い値を示した。この結果から、試技に伴う作業負荷値の増加は男女で同程度であるが、最も作業負荷値が高くなる第3試技において男子の回転数の減少が女子のそれよりも大きく、このことが第3試技のピークパワーの比率の男女差に起因したものと考えられた。

次に、各試技のピークパワー到達時間について

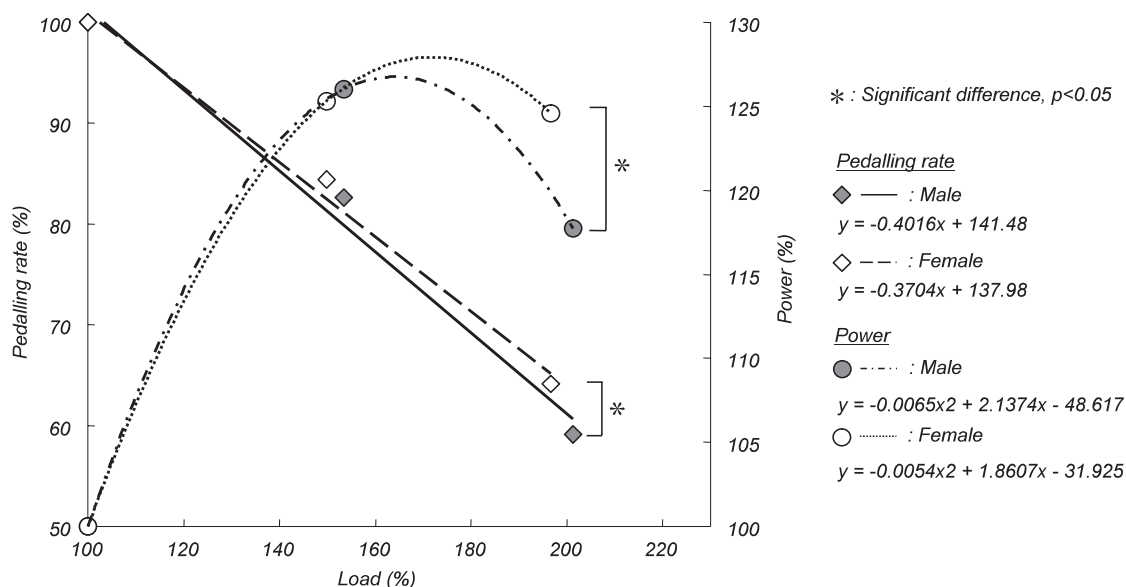


Fig.2. Changes in the ratio of pedalling rate and power due to load.

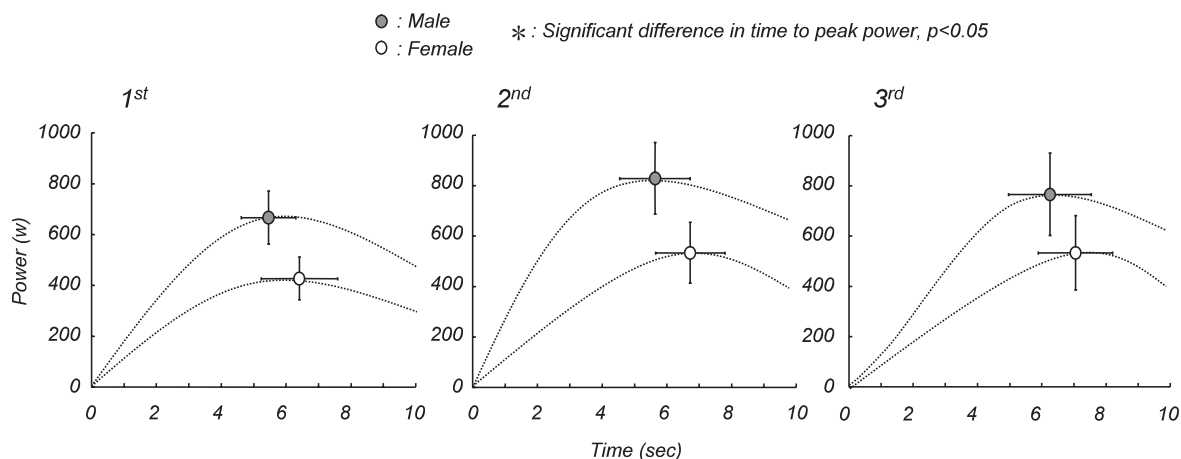


Fig.3. Comparisons of time to peak power between male and female.

男女で比較したところ、全ての試技において男子が女子よりも運動開始から早期にピークパワーに達していることが明らかになった (Fig.3)。パワーは力と速度の積で求められ、自転車エルゴメーターにおける無酸素性パワーの大小には、作業負荷値に加えペダルの回転数、即ち、筋の収縮速度が重要な因子となる。本研究で測定したピークパワー到達時間は、回転数のピーク時間と同様であり、筋の収縮速度について評価することができる。自転車運動時において積極的に働く大腿部の筋群のうち外側広筋<sup>3)</sup>は、男性より女性の方が遅筋線維の占める割合が大きいことが報告<sup>11)</sup>されている。遅筋線維は、大きな力発揮には適しておらず、持久的な力発揮に適している。従って、これらの筋線維の占める割合の多い女子は、男子よりも瞬発的な力発揮に劣るものと考えられ、ピークパワー到達時間に性差を生んだ要因として考えられた。

4種のアネロビックパワーテストを実施し、それらのパワーと筋形態との関係性について検討し

たMayhew et al<sup>5)</sup>は、全てのテストで得られたパワーと筋形態は相関関係にあることを報告している。また、Martin et al et al<sup>4)</sup>や立ら<sup>7)</sup>は、大腿の筋量を推定しており、これらと無酸素性パワーとの間に有意な相関関係が成り立つことを報告している。このように、多くの先行研究<sup>2) 8)</sup>において、筋形態が無酸素性パワーに及ぼす影響は大きいことが報告されている。本研究では、体重及び全身筋量と異なる作業負荷値が設定された際のピークパワーとの関係について検討した。まず、体重とピークパワーは男女とも全ての試技において有意な相関関係が認められた (Fig.4)。次に、全身筋量の指標であるFFMと各試技のピークパワーの関係についてみたところ、体重と同様に男女とも全ての試技で有意な相関関係が認められた (Fig.5)。これらの結果は、先行研究<sup>4) 5) 7)</sup>と同様であり、男女ともに体重や全身筋量が無酸素性パワーに及ぼす影響が大きいことが確認された。体重と各試技の無酸素性パワーの関係における回帰

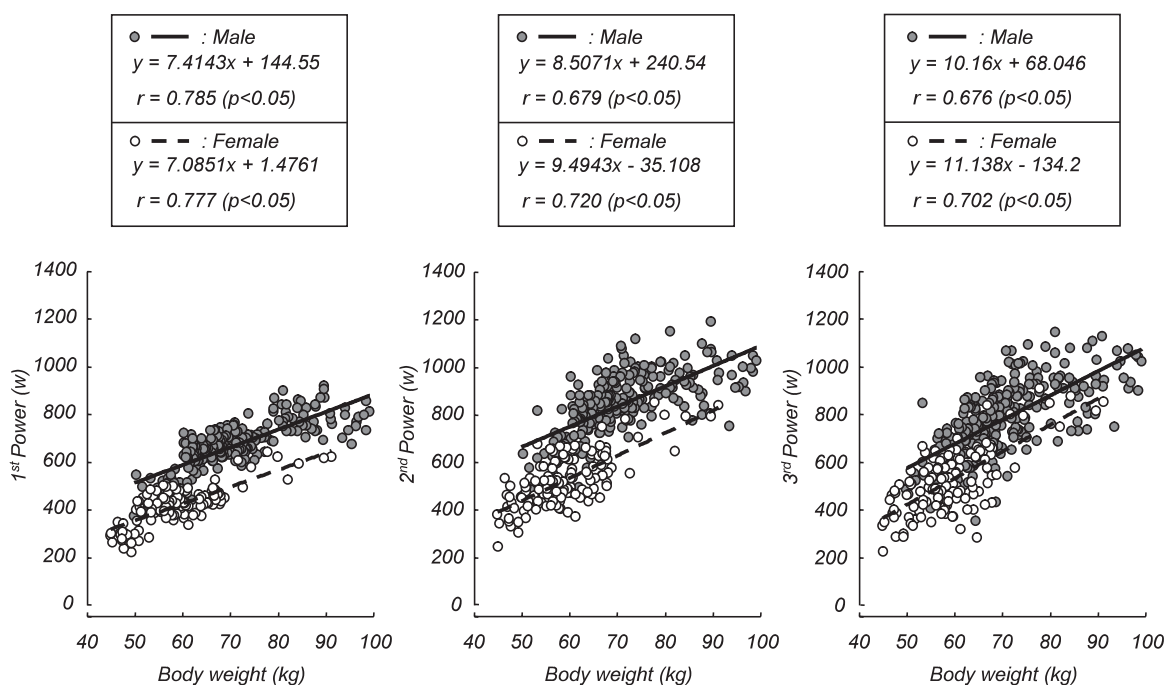


Fig.4. Relationship between body weight and power on 1<sup>st</sup>, 2<sup>nd</sup> and 3<sup>rd</sup> trials.

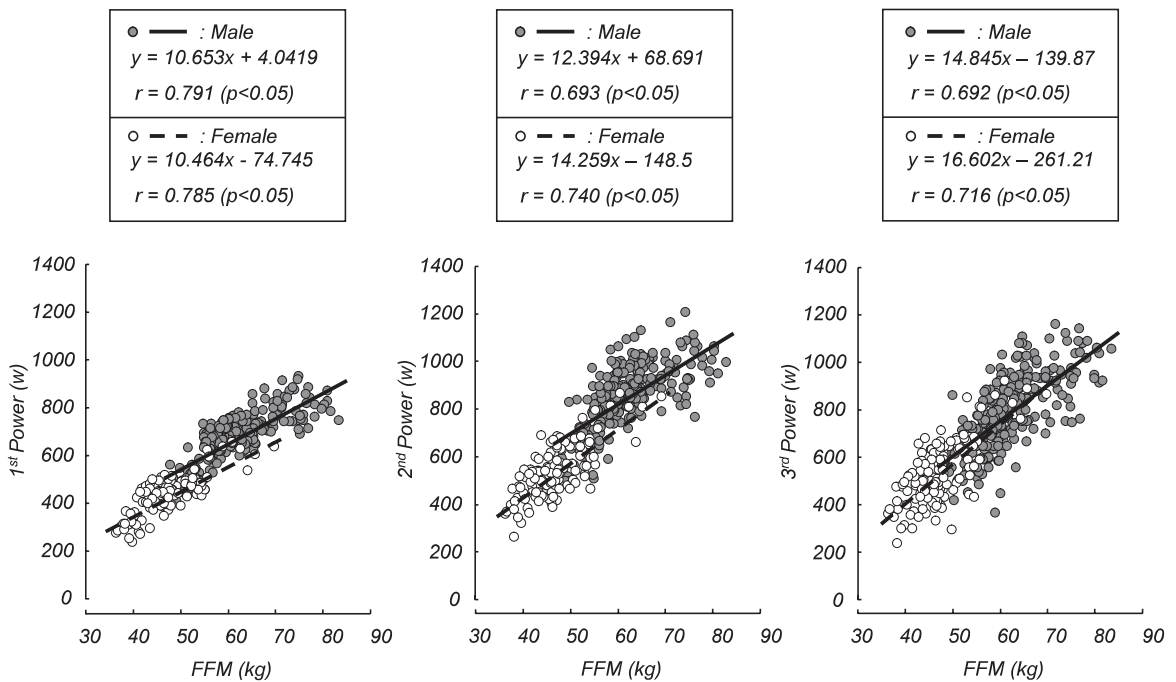


Fig.5. Relationship between FFM and power on 1<sup>st</sup>, 2<sup>nd</sup> and 3<sup>rd</sup> trials.

直線は、男女でほぼ平行に位置しており、試技に伴ってその傾向が変化することはなかった。即ち、男女で同体重であっても、発揮されたパワーには性差が存在することが明らかになった。しかし、FFMと各試技の無酸素性パワーとの関係における回帰直線は、第1試技及び第2試技では平行に位置しているが、第3試技においてはほぼ直線上に位置していた。以上の結果から、体重や全身筋量は、作業負荷値が異なっても、発揮されたパワーを大いに反映すること、また、速度の要素よりも力の要素が大きい第3試技におけるパワー発揮には、力と密接な関係のある骨格筋量の差、そのものが反映することが明らかになった。

#### IV. ま と め

本研究では、スポーツ選手の無酸素性パワー発揮特性と、身体を構成する体重や筋量といった全身の質的な指標となる因子が無酸素性パワー発

揮に及ぼす影響について性差の観点から検討した。その結果、以下のことが明らかになった。

1) 試技に伴う作業負荷値の増加の割合は男女で同程度であるが、最も作業負荷値が高くなる第3試技において男子の回転数の減少の割合が女子のそれよりも大きいことが明らかになった。また、ピークパワー到達時間には、全ての試技において性差が認められた。

2) 体重や全身筋量と各試技の無酸素性パワーとの間には、有意な相関関係が認められた。また、速度の要素よりも力の要素が大きい第3試技におけるパワー発揮には、力と密接な関係のある骨格筋量の差、そのものが無酸素性パワーに影響することが明らかになった。

本研究は、国士舘大学体育学部附属体育研究所の2009年度研究助成によって実施した。



## 参考文献

- 1) 安部孝, 坂牧美歌子, 尾崎隼朗: 筋量・筋機能とスポーツパフォーマンスの男女差, バイオメカニクス研究, **13**: 65-75, 2009.
- 2) Dore E. Martin R. Ratel S. Duche P. Bedu M. Van Praagh E.: Gender difference in peak muscle performance during growth., *Int. J. Sports Med.* **26**: 274-280, 2005.
- 3) Hug F. and Dorel S.: Electromyographic analysis of pedaling: A rebiew. *J. Electromyogr kinesiol.* **19**: 182-198, 2009.
- 4) Martin J. M. Wadner B. M. Coyle E. F.: Inertial-load method determines maximal cycling power in a single exercise bout., *Med. Sci. Sports Exerc.* **29**. 11: 1505-1512, 1997.
- 5) Mayhew J. L. and Salm P. C.: Gender differences in anaerobic power tests. *Eur. J. Appl physiol.* **60**: 133-138, 1990.
- 6) 中村好男, 武藤芳照, 宮下充正: 最大無酸素パワーの自転車エルゴメーターによる測定法, *Jap. J. Sports Sci.* **3**: 834-839, 1984.
- 7) 立正伸, 牛山潤一, 宮谷昌枝, 久野譜也, 金久博昭, 福永哲夫: 膝関節伸展トルクおよび脚伸展パワーにおける年齢差および性差, *体力科学*, **52**: 141-148, 2003.
- 8) 角田直也, 蒔野豊, 須藤明治: 外側広筋の等尺性随意収縮に伴う形状の変化と等速性筋力及び最大無酸素性パワー, *国士館大学体育学部附属体育研究所報*, **19**: 79-85, 2000.
- 9) 角田直也, 青山利春, 田中重陽, 熊川大介, 田中憲子, 宮本英治: 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, *国士館大学体育研究所報*, 第**26**巻: 21-26, 2007.
- 10) 角田直也, 高橋佑輔, 田中重陽, 熊川大介, 青山利春: 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2報－, *国士館大学体育研究所報*, 第**27**巻: 45-51, 2008.
- 11) 吉岡利忠, 石井直方, 金子公宥著: 筋力をデザインする, 杏林書院, 2003.