

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－

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

角田直也*, 高橋佑輔**, 田中重陽***
熊川大介***, 青山利春****

Naoya TSUNODA, Yusuke TAKAHASHI**, Shigeharu TANAKA***
Daisuke KUMAGAWA*** and Toshiharu AOYAMA****

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2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

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報告してきた。また、2)の課題については自転車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について報告してきた。

本報では、2)及び3)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. 無酸素性パワー発揮特性の性差

自転車エルゴメーターで測定した無酸素性パワーは、作業負荷値と回転数によって決定されるため、作業負荷値やペダル回転数の大小が大きく影響を及ぼす。これまでに無酸素性パワーに及ぼす作業負荷値及び回転数の影響については、自転車エルゴメーターの無酸素性パワーテストにより得られた3試技のパワー値の回帰式から推定された最大のパワー値を対象に検討してきた。ここでは、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、性差の観点から検討することとする。

被検者はあらゆるスポーツ競技選手を含んだ男子大学生201名及び女子大学生120名とした。男子の被検者については、無酸素性パワーテスト時の1st trialの負荷に従い、軽負荷(M-LG: 3kp)、中負荷(M-MG: 4kp)及び高負荷(M-HG: 5kp)の3群に群分けした。女子についても同様に軽負荷(F-LG: 2kp)、中負荷(F-MG: 3kp)及び高負

* 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)

** 国士館大学体育学部教務助手 (Educational Assistant 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陸上研究室 (Lab. of Track and Field, Faculty of Physical Education, Kokushikan University)

荷 (F-HG: 4kp) の3群に群分けした。各群の年齢及び身体特性はTable 1に示した。被検者には本研究の目的や方法について十分に説明し、任意による参加の同意を得た。無酸素性パワーの測定は、Power Max V II (コンビ社製) を用いて実施した。被検者には3回の異なる作業負荷値において10秒間の最大努力による自転車駆動を行わせた。各試技の作業負荷値及び回転数を解析用システムにてPCに取り込み、以下の式により各試技のパワーを算出した。

$$\text{各試技の無酸素性パワー} = \text{作業負荷値} \times \text{回転数}$$

$$\times 6 \times 9.8 \div 60$$

得られた3試技のパワー、作業負荷値及び回転数は、1st trialに対する2nd及び3rd trialの比率として算出した。各群におけるパワーの試技間の検定には、分散分析を実施し、有意な差が認められた場合はpost-hoc test (Bonferroni法) を実施した。また、男女間の比較については対応のないt-testを用いて実施した。いずれも有意水準は5%未満とした。

Table 2は各群の1st 2nd 及び3rd trialの無酸素性パワーを男女別に示したものである。男子は全て

Table 1. Physical characteristics of subjects.

Group	n	Age (yrs)	Body height (cm)	Body weight (kg)	FFM (kg)	
M-LG	54	20.4±0.6	167.5±5.7	57.0±3.1	52.7±2.4	
Male	M-MG	93	20.2±0.4	173.8±5.2	67.9±4.8	60.6±3.7
	M-HG	54	20.1±0.6	176.3±5.0	92.4±12.2	77.2±8.1
F-LG	18	20.3±0.6	157.0±4.5	47.9±1.9	40.3±1.6	
Female	F-MG	90	20.4±0.8	162.1±5.9	59.2±5.1	47.6±3.8
	F-HG	12	20.3±0.5	168.1±4.4	84.0±12.8	63.0±7.2

Values are mean ± S.D.

Table 2. Comparisons of power on 1st 2nd and 3rd trials in male and female.

Group	Trial	LG (w)	MG (w)	HG (w)
Male	1 st	495.9±43.1	673.9±52.1	803.3±92.3
	2 nd	654.6±89.7	849.9±111.1	989.7±116.8
	3 rd	604.4±115.4	747.1±178.1	946.0±181.0
Female	1 st	298.6±37.6	427.0±39.5	596.5±49.6
	2 nd	419.0±89.0	523.4±87.3	744.6±90.3
	3 rd	403.7±101.1	518.3±108.5	791.6±99.2

* :significant difference, p<0.05 Values are mean ± S.D.

の群において2nd trialが最も高い値を示し、M-LG及びM-MGにおいては全ての試技間に、M-HGについては1st trialと2nd及び3rd trial間に有意な差が認められた。これに対して女子は、2ndと3rd trial間では著しい差は認められず、ほぼ同様の値を示した。この結果から、男子は各群ともに2nd trialの作業負荷値が他の負荷値よりも適しており、高いパワー発揮のために適した回転数が得られたが、女子では2nd 3rd trialにおいては、十分な回転数が得られず、高いパワー発揮に至らなかったものと予想される。その要因としては、まず、無酸素性パワーに影響する筋量や筋線維タイプといった筋形態に性差^{1) 2) 4) 9) 11)}があることが考えられる。また、多関節運動である脚伸展パワーの性差について検討した立ら¹¹⁾によれば、女子は脚伸展パワーに筋量（大腿の筋体積）が影響を及ぼすものの、男子では一様な関係が認められず、素早い力発揮様式における運動単位の動員様式に性差があることを指摘している。本研究の自転車運動による無酸素性パワー発揮についても、異なる作業負荷値によって男女で差異が生じたことは、立ら¹¹⁾の指摘する運動単位の動員様式が影響した可能性があることも示唆された。

次に、1st trialに対する2nd及び3rd trialのパワーの比率を男女間で比較した (Fig.1)。LGでは、2nd trialで女子が男子よりも有意に高い値を示した。MGでは2nd及び3rd trialにおいて男女差が認められ、HGでは3rd trialにおいて女子が男子よりも有意に高い値を示した。作業負荷値及び回転数の1st trialに対する各試技の比率の男女差は、LGにおいては3rd trialの作業負荷値、MGでは全ての試技における作業負荷値と回転数、HGについては3rd trialの回転数で認められた (Table 3)。ここでは、無酸素性パワーの比率の男女差と作業負荷値及び回転数の比率の男女差の結果を照らし合わせて検討してみる。その結果、LGでは作業負荷値の比率が男子より女子が高く、このことが無酸素性パワーの比率に男女差を生じさせたものと推察された。また、MGについても、作業負荷値の比率は男子が女子よりも有意に高い比率を示しており、無酸素性パワーに影響したものと考えられる。さらに、回転数についても女子が男子よりも有意に高い比率を示し性差が認められたが、このことは作業負荷値の影響が大きいものと考えられる。一方、HGについては、作業負荷値の比率は男女ともに同程度であるものの、それに伴い

* : significant difference between male and female, $p < 0.05$

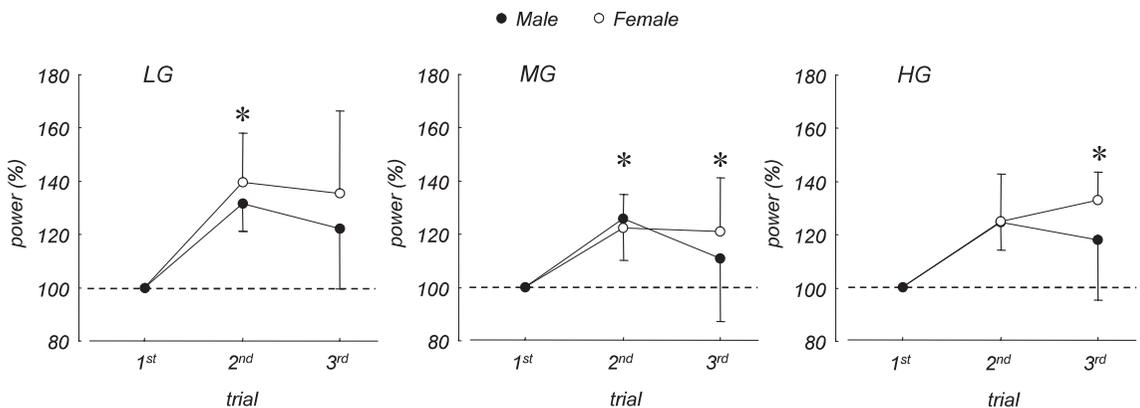


Fig. 1. Comparisons of power ratio between male and female in 1st 2nd and 3rd trials.

Table 3. Ratios of work load and pedaling rate on 2nd and 3rd trials to 1st trial.

Group		Work load (%)		Pedaling rate (%)	
		2 nd / 1 st	3 rd / 1 st	2 nd / 1 st	3 rd / 1 st
LG	Male	170.4±19.9	222.8±30.2 *	78.1±8.9	56.1±13.6
	Female	177.8±30.8	250.0±34.3	80.4±15.0	54.7±12.5
MG	Male	157.5±13.2 *	205.7±21.0 *	80.1±6.1 *	54.5±10.6 *
	Female	144.8±16.5	189.3±25.9	84.8±8.1	64.6±11.5
HG	Male	141.5±10.9	185.2±17.0	88.5±17.1	63.9±11.1 *
	Female	139.6±12.9	187.5±16.9	89.6±5.0	71.0±6.3

* : significant difference between male and female, $p < 0.05$

Values are mean ± S.D.

得られた回転数の比率は3rd trialにおいて女子が男子よりも有意に高い値を示していた。このことが、3rd trialにおいて女子の無酸素性パワーの比率が男子のそれよりも有意に高い値を示したことに影響したものと推察された。このような結果が得られた背景には、先行研究^{1) 2) 4) 9)}で指摘されているようにアネロビック・パワーテストの仕事の特異性や筋形態といった要因がパワー発揮に作用し、性差が認められたものと推察された。

以上の結果から、各試技間における無酸素性パワーの差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が明らかになった。

II. 体幹回旋筋出力の左右差

一般に、特定の種目を長期間にわたり実施しているスポーツ選手は、その種目特有の筋の発達や筋力を有する⁵⁾ことが明らかになっている。なかでも、野球における右投右打の選手は、投球及び打撃動作時に左手方向への単発的で急激な体幹回旋動作を用いることが知られている。このことから、野球選手は左右非対称な体幹回旋動作を反復

するトレーニングを頻繁に行っているため、その効果が体幹回旋に関与する筋の形態や機能に変化をもたらしている可能性がある。即ち、野球選手の体幹回旋筋出力には左右差がみられることが考えられる。野球選手における体幹回旋運動の特性を明確にすることは、トレーニングプログラムの作成ならびに腰部の障害に及ぼす影響を検討し、その予防法を考案する際の基礎的な資料になり得ると考えられる。そこで本研究は、野球選手を対象として、等速性体幹回旋筋出力について左右差の観点からその特性を検討することを目的とした。

被検者は、大学準硬式野球部に所属する男子野球選手20名（投手8名、野手12名、年齢：19.6 ± 1.2歳、身長：175.1 ± 4.6cm、体重：72.4 ± 7.3kg）であり、全被検者とも右投右打であった。野球選手のトレーニング内容は、主として投トレーニング、打撃トレーニング、走トレーニング及びウエイトトレーニングから構成されており、測定前3ヶ月間において週5回程度のトレーニングを行っていた。なお、各被検者には、測定に先立って研究の目的及び測定方法の安全性について十分説明し、任意による測定参加の同意を得た。

体幹回旋トルクの測定は、総合筋力測定装置 (Biodex System III, Biodex社製) のトーンローテーションテストを行った。被検者をトーンローテーションアタッチメントに固定し、両脚は床面に接地しないように宙に浮かせ、両手は胸部の前にあるグリップを握らせた状態で体幹回旋運動を行わせた。なお、測定を実施する前に、各被検者には十分なウォーミングアップを行わせた。本研究における回旋方向は、右方に回旋する動きを右回旋、左方に回旋する動きを左回旋とした。また、回旋位置は先行研究¹³⁾と同様に、回旋位置は各被検者が正面を向いた中立の位置を0 degに設定し、左回旋時は、右手方向をプラス側、左手方向をマイナス側とし、それに対する右回旋時では、右手方向をマイナス側、左手方向をプラス側と定義した。各測定の回数は2回であり、2回の測定のうち高い値を代表値として採用した。等速性トルクの測定は、低速 (60 deg/sec) 及び高速 (180 deg/sec) の2種類の角速度で行った。可動範囲は左右とも60 degに設定した。各角速度におけ

る測定回数は左右3回ずつとし、休息時間は筋疲労の影響を除去するために測定毎に60秒以上を義務付けた。各回旋位置における等速性トルクは、回旋位置を-40、-20、0、20及び40 degを±10 degの区間に分け、その区間に発揮されたトルク値の平均値を採用した (Fig.2)。測定項目における左右差は対応ありのt-testを用いて検定した。いずれも危険率は5%未満とした。

Table 4は、各回旋位置での等速性トルクを左右回旋で比較したものである。低速及び高速における等速性トルクは、回旋位置の変化に伴い左回旋が右回旋よりも高い値を示す傾向であった。このうち、-40、-20及び0 degでは有意な差が認められた。また、60 deg/secよりも180deg/secでより高い水準で左右差が認められた (60 deg/sec : $p < 0.05$, 180deg/sec : $p < 0.01$)。これまでに、一般成人男性における体幹回旋トルクを左右で比較したKumar et al.^{7) 8)}は、中立の回旋位置における等尺性体幹回旋トルクが左右で同程度であったことを明らかにし、Kumar⁶⁾は、等速性体幹回旋

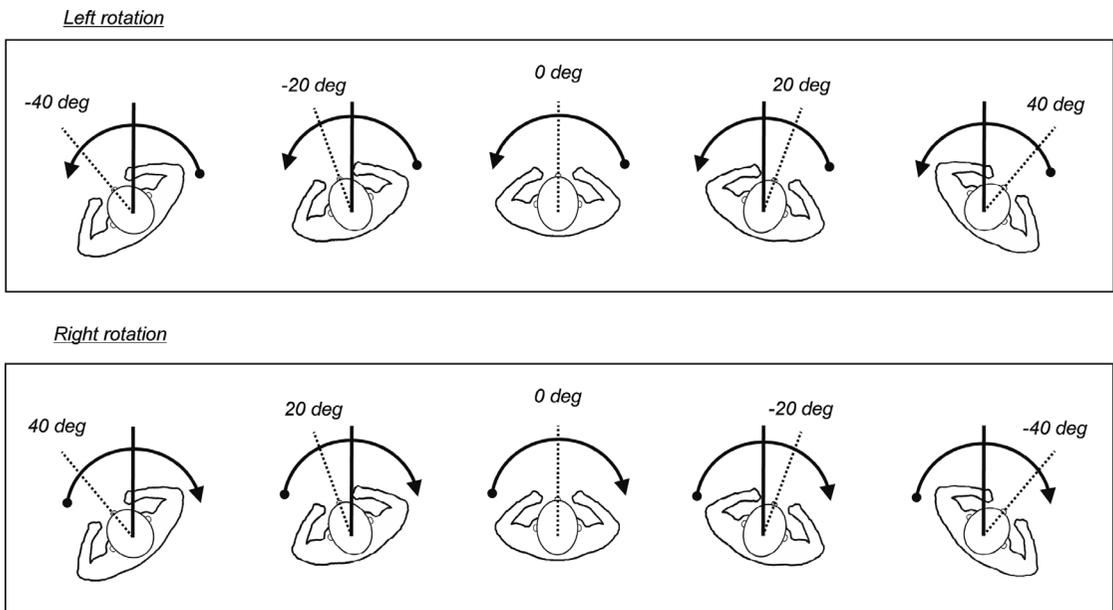


Fig.2. Definition for direction of movements and rotated positions.

Table 4. Comparisons of torque values during trunk rotation movement between left and right rotation.

Angular velocity (deg/sec)	Rotate direction	Rotated position				
		-40 deg	-20 deg	0 deg	20 deg	40 deg
60	L	75.0±21.1 *	103.3±20.6 *	127.7±19.3 *	146.2±18.0	152.4±20.0
	R	68.4±19.7	98.6±20.8	123.6±19.2	142.4±17.0	152.2±19.0
180	L	63.9±16.8 **	95.4±17.0 **	120.0±15.5 **	138.7±17.2	139.3±18.7
	R	56.6±15.6	87.1±17.2	113.3±18.4	133.9±19.4	133.9±21.3

L: Left rotation. R: Right rotation.

*: $p < 0.05$ **: $p < 0.01$

Values are mean ± S.D.

運動におけるピークトルクも左右間で類似していることを報告している。また、スポーツ競技選手を対象として等尺性及び等速性体幹回旋トルクの左右差について検討したこれまでの研究^{3) 12)}では、陸上競技選手（短、中、長距離種目及び槍投げ）、アーチェリー選手及びテニス選手のうち、女子テニス選手以外の選手には左右差が認められていない。このように、体幹回旋筋出力はこれまでの研究において、運動経験に関係なく左右差は少ないと考えられてきた。しかしながら、これらの研究における等尺性トルクは正面を向いた中立の回旋位置において測定されており、等速性トルクはピークトルクのみが採用されていることから、回旋位置を考慮したトルク値をとらえていない可能性が考えられる。回旋位置別に柔道競技選手の等尺性トルクを測定し、それを右及び左組みの選手で比較した中村ら¹⁰⁾の研究においては、マイナス側の回旋位置において左右差が認められている。本研究においても回旋位置を考慮した測定によって左右に差が認められた。従って、野球選手に限らずスポーツ競技選手や健常者の体幹回旋筋力を評価する場合には、回旋位置の影響を考慮することによって、より詳細な検討が可能になるであろうことが示唆された。

以上のことから、非対称な体幹回旋運動を多用する野球選手の等速性体幹回旋トルクは、マイナス側の回旋位置において左回旋が右回旋よりも大きな力を発揮できることが明らかになった。特に、高速の運動速度においてその特徴が顕著であることが示唆された。また、体幹回旋筋力を評価する場合には、回旋位置を考慮する必要性が示唆された。

本研究は、国土舘大学体育学部附属体育研究所の2008年度研究助成によって実施した。

参考文献

- 1) Clare L. W. Michael C. and Omri I. (2006). Gender differences in anaerobic power of the arms and legs-A scaling issue. *Med. Sci. Sports Exerc.* 38, 1, 129-137.
- 2) Edward F. C. Labros S. S. Jeffrey F. H. and John D. B. (1992). Cycling efficiency is related to the percentage of type I muscle fibers. *Med. Sci. Sports Exerc.* 24, 7, 782-788.
- 3) Ellenbecker, T. S. and Roetert, E. P. (2004) An isokinetic profile of trunk rotation strength in elite tennis players. *Med. Sci. Sports Exerc.* 36, 11, 1959-1963.
- 4) J. L. Mayhew. and Pamela C. Salm. (1990). Gender differences in anaerobic power test. *Eur. J. Appl.*

- Physiol. **60**, 133-138.
- 5) 金久博昭, 福永哲夫, 池川繁樹, 角田直也. (1986). スポーツ選手の単位筋断面積当たりの脚伸展力. *Jpn. J. Sports. Sci.* **5-6** : 409-414.
 - 6) Kumar, S. (1997). Axial rotation strength in seated neutral and prerotated postures of young adults. *Spine* **22**, **19** : 2213-2221.
 - 7) Kumar, S., Narayan, Y. and Garand, D. (2001). Isometric axial rotation of the trunk in the neutral posture. *Eur. J. Appl. Physiol.* **86** : 53-61.
 - 8) Kumar, S., Narayan, Y. and Garand, D. (2003) An electromyographic study of isokinetic axial rotation in young adults. *The Spine Journal.* **3** : 46-54.
 - 9) Mona. E. L. Ingemar H. Christer S. Eva J. (1996). Different responses of skeletal muscle following sprint training in man and women. *Eur. J. Appl. Physiol.* **74**, 375-383.
 - 10) 中村 勇, 松川哲男, 重岡孝文. (2000). 競技レベルと組み手の相違からみた柔道競技者の静的体幹捻転力の特性. *鹿屋体育大学学術研究紀要* **23** : 7-14.
 - 11) 立正伸, 牛山潤一, 宮谷昌枝, 久野譜也, 金久博昭, 福永哲夫. (2003). *体力科学.* **52**, 141-148.
 - 12) 菅田真里, 長谷川 健, 宮舘実能留, 登坂一晴, 清田 寛, 大和 横, 中野昭一. (2001). 体幹の等速性筋力に関する基礎的研究－スポーツ種目別における体幹の回旋筋力の検討－. *日本体育大学体育研究所雑誌* **26** : 119-129.
 - 13) 高橋佑輔, 田中重陽, 熊川大介, 角田直也. (2006). 等速性及び等尺性体幹回旋運動における筋出力発揮特性. *東京体育学研究 2006年度報告* : 75-78.