

スポーツ競技選手における骨格筋の形態とその機能的特性を探る

Structural and Functional Characteristics on Skeletal muscle in Athletes

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体肢及び体幹の筋形態とその性差を探る
- 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) 男女スポーツ競技選手のレジスタンストレーニング及び無酸素パワートレーニングが筋形態及び機能的特性からみた性差に及ぼす影響

本報では、本年度に実施した1)～3)の課題における研究成果の1)と2)の研究成果の一部について報告する事とする。

I. スポーツ競技選手における体幹部の筋量と筋力の関連性を探る

本研究では、スポーツ選手における体幹部の筋

量と体幹の回旋、伸展及び屈曲筋力との関連性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スポーツ競技者53名とした。被検者の年齢、身長、体重及び体幹筋量は、それぞれ21.0 \pm 1.9歳、174.0 \pm 5.8cm、68.0 \pm 7.7kg、28.6 \pm 2.9kgであった。

体幹部における局所筋量（体幹筋量）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。

体幹の回旋、伸展及び屈曲筋力の測定は、総合筋力測定装置（Biodex System III, Biodex社製）を用いて実施した。回旋筋力の測定方法は、高橋ら⁶⁾の先行研究と同様の手法を用いた。本研究における体幹の回旋方向は、利き手側の回旋運動をNon-dominant rotation（以下NDR）、非利き手側方向の回旋運動Dominant rotation（以下DR）とした。回旋位置は、被検者が正面を向いた中立の位置を0degとし、DR時は利き手方向の回旋をプラス側、非利き手方向をマイナス側とした。一方、NDR時は利き手方向の回旋をマイナス側、非利

* 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）

*** 流通経済大学（Ryutsu Keizai University）

**** 国立スポーツ科学センター（Japan Institute of Sports Science）

き手方向をプラス側とした。伸展及び屈曲筋力の測定は、被検者を専用のシートに座らせ、上体を腹部及び頸部をベルトで固定し、アタッチメントの回転軸を第4腰椎の位置に合わせて行った。伸展及び屈曲における可動域は、伸展及び屈曲方向に力が加わらない位置を0degとし、伸展方向に40degから屈曲方向に-30degまでの範囲とした。

体幹回旋における等尺性筋出力の測定は、両回旋ともに40degの位置からマイナス側への回旋を行わせた。測定時間は、それぞれ7秒間とし、安静時から最大筋力発揮まで約4秒間で達し、3秒間維持するように指示した。また、等速性筋出力の測定は、4種類の角速度（30、60、120及び180deg/sec）において実施させた。可動範囲は、左右とも被検者の最大可動域に設定し、各角速度における測定をそれぞれ3回ずつ行わせた。

体幹の伸展及び屈曲における等尺性筋出力の測定は、伸展及び屈曲方向に力が加わらない位置を解剖学的位置50degとし、そこから10deg屈曲位である60degにおける伸展及び屈曲筋力を測定した。測定時間は、回旋と同様であった。伸展屈曲の等速性筋出力の測定は、3種類の角速度（30、60及び120deg/sec）で行った。伸展及び屈曲筋力の測定における可動範囲は、伸展方向-40deg、屈曲方向50degに設定した。各角速度における測定回数はそれぞれ2回ずつとした。また、本研究における測定値として採用した値は、等尺性筋力

発揮においては、各測定において発揮された最も高いトルク（Nm）とし、等速性筋力発揮においては、設定した角速度（誤差 ± 0.9 deg/sec）における等速運動時の最大トルク値（Nm）とし、それぞれこの値をアーム長で除し、さらに筋力（kg）に換算した値を採用した。

Table 1には、体幹回旋における等尺性及び等速性筋力を角速度別に示した。体幹の回旋筋力は、等尺性及び等速性ともにNDRとDRの間にそれぞれ有意な差は認められなかった。また、等尺性筋力（0deg/sec）は、最も高い値を示し、NDR、DRともにすべての角速度（30、60、120及び180deg/sec）との間に有意な差が認められた。また、30deg/secは180deg/secに対して、60deg/secは180deg/secに対して、それぞれ有意に高い値を示した。本研究において、体幹回旋における等尺性及び等速性筋力には、左右差は認められなかった。これまで、異なる種目のスポーツ競技選手を対象とした体幹回旋筋力における左右差に関する研究⁵⁾においては、左右の回旋に有意な差が認められないことが報告されている。本研究の結果は、先行研究⁵⁾の結果を支持するものであった。一方で、野球選手の体幹回旋筋力を回旋角度別に検討した高橋ら⁷⁾によると、回旋位置によっては左右差が存在する事が報告されている。この中では、野球選手の非利き手側への回旋における非利き手側の回旋角度において左右差が認め

Table 1. Comparison of trunk rotation force with isometric and isokinetic contractions in DR and NDR.

	Force (kg)				
	0 deg/sec	30 deg/sec	60 deg/sec	120 deg/sec	180 deg/sec
NDR	69.8 \pm 12.9 †	57.3 \pm 11.8 *	57.2 \pm 11.2 ◆	53.4 \pm 10.4	50.6 \pm 9.6
	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
DR	71.3 \pm 13.3 †	57.0 \pm 10.5 *	55.8 \pm 10.6 ◆	53.2 \pm 9.6	51.5 \pm 9.8

† : 0deg/sec > 30, 60, 120, 180deg/sec ◆ : 60deg/sec > 180deg/sec Values are Mean \pm S.D.

* : 30deg/sec > 180deg/sec †, ‡, *, ◆ : p < 0.05

られた事から、体幹回旋筋力は、競技種目の影響を受ける可能性を示唆している。しかしながら、いずれの角速度においても最も高いトルク発揮が認められる回旋位置が、回旋方向と反対側の位置である事を考慮した場合、体幹回旋筋力発揮は、回旋位置の影響を受けるものの、最大筋力そのものには左右差が存在しないものと考えられた。

Table 2は、体幹の伸展及び屈曲における等尺性及び等速性筋力を角速度別に示したものである。すべての角速度において、伸展筋力は、屈曲筋力に対して有意に高い値を示した。体幹における伸展筋力は、いずれの角速度においても屈曲筋力の約2倍の値を示したことから、運動速度によらず、伸展筋力は屈曲筋力と一定の関係にあるものと考え

えられた。伸展筋力は、0deg/sec、30deg/sec及び60deg/secが120deg/secよりもそれぞれ有意に高い値を示した。一方で、屈曲筋力は、0deg/secが30deg/sec、60deg/sec及び120deg/secよりも有意に高い値を示したものの、他の角速度間には有意な差は認められなかった。伸展及び屈曲筋力ともに0deg/secから60deg/secまでの角速度間に有意差が認められなかったことから、体幹の伸展及び屈曲動作においては低速での力発揮に優れていることが推察された。

Table 3は、体幹筋量と体幹回旋、伸展及び屈曲筋力との関係における相関係数を示したものである。体幹回旋筋力は、NDR、DRともに、すべての角速度において体幹筋量との間に有意な相関

Table 2. Comparison of trunk extension and flexion force with isometric and isokinetic contractions.

	Force (kg)			
	0 deg/sec	30deg/sec	60deg/sec	120deg/sec
Extension	88.9±18.9 [◆] #	80.8±13.3 [†] #	80.4±17.8 [‡] #	67.9±18.4 #
Flexion	45.4±7.5 [*]	42.7±8.4	43.4±9.6	38.6±6.5

^{*} : 0deg/sec>120deg/sec
[†] : 30deg/sec>120deg/sec
[‡] : 60deg/sec>120deg/sec
[◆] : 0deg/sec>30deg/sec, 60deg/sec, 120deg/sec
[#] : Extension > Flexion
^{*}, [†], [‡], [◆], [#] : p<0.05

Table 3. Correlation coefficient of relationship between trunk muscle volume and trunk rotation extension and flexion force with isometric and isokinetic contractions.

	Correlation coefficient			
	NDR	DR	Extension	Flexion
0deg/sec	0.549 [*]	0.544 [*]	n.s.	n.s.
30deg/sec	0.464 [*]	0.470 [*]	0.376 [*]	n.s.
60deg/sec	0.330 [*]	0.505 [*]	n.s.	0.296 [*]
120deg/sec	0.403 [*]	0.457 [*]	0.343 [*]	0.287 [*]
180deg/sec	0.482 [*]	0.509 [*]		

^{*} : p<0.05

関係が認められた。この結果は、体幹部の筋量が体幹回旋筋力を反映することを示唆するものであり、回旋筋力は回旋方向を問わず筋量の影響を受けるものと考えられた。これまでの先行研究において、体幹部の筋である広背筋群と腹斜筋群の筋断面積と回旋筋力の間には有意な相関関係が認められることが報告されている⁷⁾。したがって、体幹部の筋を構成するに筋の総量を示す体幹筋量は回旋筋力を反映することが明らかとなった。一方、伸展及び屈曲筋力は、回旋筋力とは異なる傾向を示し、体幹筋量との間において有意な相関関係が認められたのは、伸展の30deg/sec及び120deg/secにおいて、屈曲では60deg/sec及び120deg/secにおいてのみであった。体幹筋量と回旋筋力の間においては、有意な相関関係が認められたのに対して、伸展及び屈曲においては一様な関係は得られなかったことから、体幹筋量は、体幹部によって発揮される全ての運動様式（回旋、伸展及び屈曲）を反映する訳ではないものと推察された。この要因として、本研究で用いた筋力測定装置による伸展及び屈曲動作を考えた場合、座位姿勢による筋力発揮を行なっていることが1つの要因であるものと推察される。これは、座位姿勢に伴って股関節が屈曲した状態で力発揮を行なっていることから、体幹部のみならず、体幹と下肢を繋いでいる股関節周囲の筋においてもこの伸展及び屈曲の筋力に影響を及ぼしている可能性が考えられる。したがって、今後、体幹の伸展及び屈曲筋力について検討する場合、体幹部及び股関節周囲を構成する各筋の形態特性についても検討する必要があるものと考えられた。

Ⅱ. 上腕屈筋群における筋形態とその筋出力特性を探索

本研究では、上腕屈筋群における筋形態とその筋出力特性との関連性について検討することを目的とした。

被検者は、健康成人男性32名とした。被検者

の年齢、身長及び体重はそれぞれ 21.7 ± 1.3 歳、 174.2 ± 4.1 cm、 71.1 ± 4.1 kgであった。

形態計測の項目は、身長、体重、上腕長、上腕囲の4項目とした。身長は、身長計を用いて0.1cm単位まで計測した。体重は、身体組成装置（Body Composition Analyzer MC-190, TANITA社製）を用いて測定した。上腕長は、肩峰から上腕骨外側上顆までとした。周径囲の測定には布製のメジャーを使用し、測定値は0.1cm単位で計測した。上腕囲は上腕長の近位から60%、80%部位の2カ所とし、立位姿勢で計測した。

筋厚の測定は、Bモード超音波診断装置（SSD-900, アロカ社製）を用いて、上腕屈筋群の筋厚を測定した。上腕屈筋群における測定位置は上腕長の近位から60%及び80%を測定部位とした。測定に先立ち、測定部位の目印として皮膚面にペンでマーキングを施した。皮膚面に接触する超音波深触子（7.5MHz）には、超音波用ゼリーを塗布し超音波の伝導性を高めるとともに、皮膚を圧迫することによる筋の変形が生じないように配慮した。得られた超音波画像から、上腕屈筋群における60%部位及び80%部位の皮下脂肪組織と筋組織の境界を示す反射波から上腕骨までの距離を筋厚として計測した。

筋力測定は、上腕屈筋群を被験筋として、被検者に肘関節の等尺性収縮、短縮性収縮及び伸張性収縮を行わせた。被検者をBIODEX（Biodex System III, Biodex社製）の椅子に座らせ、体幹部が動かないようにベルトで固定した。左肘関節を屈曲伸展させやすい位置で肘あての上に置き、肘関節中心とBIODEXのアームの回転軸中心とを一致させた。この時、アームの長さを被検者の前腕の長さに合わせて調節し、手掌でアーム先端部のバーを握らせた。前腕は回外位とし、手首を掌屈・背屈させず、肘関節中心とBIODEXアームの回転中心がずれることがないように注意させ、最大努力による試技を行わせた。肘関節の等尺性収縮は肘関節角度90度（完全伸展位を180度とする）で実施した。測定時間は7秒間とし、安

静から最大筋力発揮時まで約4秒間で到達し、3秒間維持するように指示した。短縮性収縮及び伸張性収縮は、70degから170degの範囲で動作を行わせた。角速度は、短縮性収縮で30、60、120、240deg/secの4種類、伸張性収縮では30、60、120、240deg/sec（-30、-60、-120、-240deg/sec）の4種類とした。各測定の場合は2回ずつ行い、休息時間は筋疲労の影響を除去するために測定毎に2分間以上を義務づけた。2回の測定のうち最も高いトルク値を測定値として採用した。得られたトルク値より、等尺性収縮に対する短縮性収縮及び伸張性収縮の変化率を角速度毎にそれぞれ算出した。

Table 4は、上腕部の周径囲及び上腕屈筋群の筋厚を部位毎に比較したものである。上腕部の周径囲は、60%部位が80%部位に比べて有意に高い値を示した。一方、上腕屈筋群の筋厚は、80%部位が60%部位に比べて有意に高い値を示した。即ち、上腕部の周径囲は遠位になると小さくなり、筋厚は遠位になると厚くなるという現象が確認された。

Fig.1は、等尺性収縮、短縮性収縮及び伸張性収縮におけるトルク値を角速度毎に示した。本研究において測定された短縮性収縮のトルク値は、全ての角速度において等尺性トルクよりも低い値を示した。また、角速度が速くなるにつれて短縮性トルクは低値を示す傾向がみられた。この本研究の結果は、先行研究⁴⁾と同様であった。一方、伸張性収縮のトルク値は、ある一定の角速度まで上昇するものの、120deg/sec以降になると下降又は一定の値を維持する傾向が確認された。先行研究では、伸張性速度に伴って筋力は変化しないという報告⁸⁾や、低下するという報告²⁾など、これまで一致した見解が得られていない。この理由としては、最大随意収縮レベルの差や神経系の抑制機構の存在⁸⁾などが考えられる。

Table 5は、上腕屈筋群における等尺性トルクに対する短縮性トルク及び伸張性トルクの変化率を

Table 4. Comparison of upper arm circumferences and muscle thickness of elbow flexors in different level of upper arm length.

	60%		80%
Circumferences (cm)	28.4±2.7	*	25.8±2.7
Muscle thickness (cm)	2.9±0.4	*	3.4±0.4

* : $p < 0.05$ Values are mean \pm S.D.

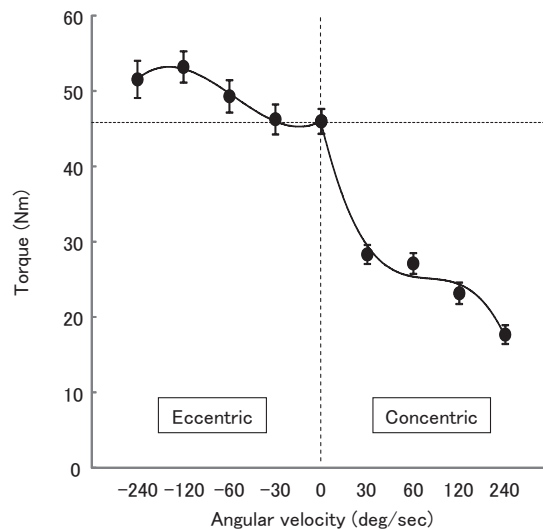


Fig.1. Relationship between angular velocity and torque in elbow flexors.

示したものである。等尺性トルクに対する短縮性トルクは、角速度の増加に伴って変化率が低下することが確認された（30deg/sec：62.2±12.3%、60deg/sec：59.0±11.9%、120deg/sec：50.0±12.5、240deg/sec：38.3±13.9）。一方、等尺性トルクに対する伸張性トルクは、-30deg/sec（100.8±14.6%）、-60deg/sec（107.6±17.3%）、-120deg/sec（117.0±20.6%）まで角速度の増加に伴って変化率が高くなる傾向を示すが、-240deg/sec（111.8±19.4%）で低下することが確認された。

Table 6は、上腕屈筋群における短縮性トルク及び伸張性トルクと上腕屈筋群の筋厚との関係における相関係数を部位毎に示したものである。上

Table 5. Changing ratio of relative torque to isometric contraction in elbow flexion.

	Eccentric (deg/sec)				Isometric		Concentric (deg/sec)		
	-240	-120	-60	-30	0	30	60	120	240
%	111.8±19.4	117.0±20.6	107.6±17.3	100.8±14.6	100	62.2±12.3	59.0±11.9	50.0±12.5	38.3±13.9

Values are mean ± S.D.

Table 6. Comparison of correlation coefficients between thickness and torque in elbow flexions.

Position	Eccentric (deg/sec)				Concentric (deg/sec)			
	-240	-120	-60	-30	30	60	120	240
60%	0.532*	0.500*	0.529*	0.393*	0.541*	0.501*	0.610*	0.513*
80%	0.729*	0.563*	0.591*	0.533*	0.569*	0.483*	0.662*	0.522*

* : $p < 0.05$

腕屈筋群の筋厚60%部位及び80%部位において、すべての角速度間に有意な相関関係が認められた。これまでに、超音波を用いた筋厚の測定は、同一部位の筋横断面積と強い相関を示すことが明らかにされている¹⁾。また、長谷川ら³⁾の先行研究では、男女大学生柔道選手における筋力と筋厚の関係において、両者の間には統計的に有意な正の相関関係が認められ、筋力と筋厚は、密接な関係にあることを報告している。このことから本研究の結果は、先行研究と同様であった。しかし、両者の関係におけるその関連性の強さは部位によって異なること、さらには収縮様式や収縮速度がこれらの関係において影響を及ぼす可能性が推察された。

本研究は、平成25年度国士舘大学体育学部付属体育研究所研究助成により実施された。

引用・参考文献

- 1) 福永哲夫, 安部孝, 池川繁樹, 小沢治夫, 合田浩二, 石田良恵, 浅見俊雄: 超音波断層法による筋厚・皮下脂肪厚と組織断面関との関係. 体育科学. 19: 1-6. 1991.
- 2) 福永哲夫, 金久博昭, 奥山秀雄: 伸張性筋力測定装置の試作とスポーツ科学への応用. スポーツ医学2: 53-59. 1988.
- 3) 長谷川優, 竹内外夫: 男女大学柔道選手の筋力と筋厚. 中京大学体育学論叢. 35 (1): 21-23. 1993.
- 4) Hill, A. V.: The mechanics of voluntary muscle. The Lancet, Nov.24: 947-951. 1951.
- 5) 菅田真理, 長谷川健, 宮舘実能留, 登坂一晴, 清田寛, 大和眞, 中野昭一: 体幹の等速性筋力に基礎的研究—スポーツ種目別における体幹の回旋筋力の検討—. 日本体育大学研究所雑誌. 26, 119-129. 2001.
- 6) 高橋祐輔, 田中重陽, 熊川大介, 角田直也: 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. 2007.
- 7) 高橋祐輔, 田中重陽, 熊川大介, 田中憲子, 角田直也: 野球選手の異なる回旋位置による体幹回旋トルク発揮特性. 東京体育学研究2007年度報告, 51-54. 2008.
- 8) Westing, S. H. et al: Eccentric and concentric torque velocity characteristics of the quadriceps femoris in man. Eur. J. Appl. Physiol. 58: 100-104. 1988.

1) 福永哲夫, 安部孝, 池川繁樹, 小沢治夫, 合田浩二,