

[原著論文：査読付]

投球速度の高い野球投手における四肢、体幹筋の形態的特性

長谷川 伸*

Morphological characteristics of limbs and trunk muscles in baseball pitches with high ball speed.

Shin HASEGAWA*

Abstract

The purpose of this study was to investigate the characteristics of the muscle morphology of limbs and trunk in baseball pitchers with high ball speed. The high ball speed group (average ball speed is over 140 km/h : n=7) and the low ball speed group (average ball speed less than 130 km/h : n=9) were compared for muscle mass and muscle thickness. Muscle thickness was measured bilaterally with B-mode ultrasonography. In the lean body mass and muscle mass (whole body, upper limbs, lower limbs and trunk), the high ball speed group showed a significantly higher value than the low ball speed group. In comparing the muscle thickness of muscle groups, the high ball speed group showed significantly greater muscle thickness at 5 sites (forearm, lumbar superficial, buttocks, back of thigh, posterior lower leg) on the throwing side than the low ball speed group. On the other hand, the high ball speed group showed significantly greater muscle thickness at 6 sites (anterior abdomen, lateral abdomen, lumbar superficial, buttocks, back of thigh, posterior lower leg) on the nonthrowing side than the low ball speed group. In the comparison of the muscle thickness of individual muscles, the high ball speed group showed significantly greater muscle thickness in 3 muscles (spinal erector, gluteus maximus, gastrocnemius) on the throwing side than the low ball speed group. Also, the high ball speed group showed significantly greater muscle thickness in 7 muscles (pectoralis minor, rectus abdominis, abdominal internal oblique, transversus abdominal, erector spinae, gluteus maximus, biceps femoris) on the non-throwing side than the low ball speed group. These results indicate that baseball pitchers with high ball speed have a greater muscle thickness in trunk rotators and leg extensors.

KEY WORDS : muscle thickness, baseball pitchers, ball speed

1. 緒言

野球投手の投球速度に関わる形態的要因については、体重、除脂肪量、筋量、筋厚などを指標とした研究が行われている¹⁻³⁾。勝亦ら¹⁾は生体電気インピーダンス法により全身および四肢の4セグメント（前腕部、上腕部、大腿部、下腿部）の筋量を求め、大学野球投手では全身の筋量や上腕部、大腿部の筋量が投球速度と正の相関を示すことを報告している。セグメント別の筋量に関する研究では、伸筋と屈筋など作用の異なる筋を同一セグメントの筋量として評価するため、機能的な役割ではなく身体部位の筋量と投球速度との関係が示されることになる。さらに、勝亦ら²⁾は超音波法により測定した筋厚から全身9部位（前腕部、上腕前部、上腕後部、腹部、背部、大腿前部、大腿後部、下腿前部、下腿後部）における筋群の筋量を推定し、大学野球選手では腹部、背部、大腿前部、大腿後部の筋量が投球速度と正の相関を示すことを報告している。筋群ごとの筋量に関する研究からは、体幹の屈筋群や回旋筋群、股関節と膝関節の伸筋群の筋量が投球速度に影響することが示唆されている。また、長谷川ら³⁾は先行研究の9部位に胸部、側腹部と肩部の2部位を加えた13部位において、超音波画像上で個別の筋の筋厚が測定可能な16の筋について筋厚を求め、大学野球投手では投球側の側腹部、両側の前腕部の筋厚、投球側の上腕筋や両側の内腹斜筋の筋厚が投球速度と正の相関を示すことを報告している。これらの投球速度に関わる形態的要因の研究では、全身から体節（セグメント）の筋量、筋群や個々の筋の筋量へと関心が移りかわり、より機能的な側面に関心が集まるようになってきた。

これまでの先行研究から、投球速度は身体の末端部よりも中枢部の筋量の影響を強く受けることが示唆されている。身体の中枢部では複数の筋が重なり合う重層構造がみられるが、投球速度の高い投手の特徴とされる体幹や大腿部の大きな筋量がいずれの筋の筋肥大により生じるものなのかは明らかにされていない。超音波法を用いた従来の研究ではAbeら⁴⁾の方法に基づいた筋厚の測定法が多く採用されている。この方法は複数の筋で構成される筋群の筋厚を評価するものであるが、近年では肩関節周囲筋^{5,6)}、体幹筋⁷⁻¹⁰⁾、股関節周囲筋^{9,10)}などにおいて個々の筋の筋厚の測定方法が確立されてきた。そこで本研究では、先行研究において紹介されている測定方法に基づき、四肢や体幹部を構成する個々の筋の筋厚を定量化し、投球速度により

分類された野球投手群の比較を行うことにより、投球速度の高い投手にみられる四肢や体幹の筋の形態的特性を明らかにすることを目的とした。

2. 方法

1) 対象

2015-2017年の3シーズンの間に本学野球場にて実施された春季オープン戦において、バックネット裏のスタンドの定点（ホームプレートの後方25m、高さ4m）よりスピードガン（STALKER SOLO II, Applied Concepts社）を用いて試合中の投球速度を測定した。その結果をもとに、30球以上の投球を行った大学野球投手38名の中から、投球速度の上位20%の平均値が140km/h（38.9m/s）以上の投手を高速群（n=7）、130km/h（36.1m/s）未満の投手を低速群（n=9）として抽出した。両群の被験者の身体特性は表1の通りである。全ての被験者には研究の目的、方法、実験の安全性を説明し、書面にて実験参加についての同意を得た。なお、本研究は九州共立大学倫理委員会の承認を得て実施した。

表1 被験者の身体特性

	高速群 (n=7)		低速群 (n=9)		
投球速度 (km/h)	141.3 ± 1.4	125.0 ± 3.4	***		
年齢 (歳)	20.4 ± 1.3	20.0 ± 0.9	ns		
身長 (cm)	177.4 ± 9.4	173.0 ± 5.6	ns		
体重 (kg)	76.8 ± 5.8	65.1 ± 6.1	*		
競技歴 (年)	12.4 ± 2.2	11.7 ± 1.7	ns		

*: $p < 0.05$, ***: $p < 0.001$

2) 体組成測定

高速群、低速群の被験者全員に対して、体成分分析装置（InBody720, バイオスペース社製）を用いた体組成の測定を行った。同装置は生体電気インピーダンス法を用いた体成分分析装置であり、8電極による多周波数測定により右腕、左腕、体幹、右脚、左脚の5部位の筋量を測定することができることから、全身およびセグメント別の筋量を求めた。測定前には、いずれの被験者も食事から2時間以上の時間をとり、排尿を済ませ、実験室内にて5分の立位による安静をとらせた。その後、Inobody720の取扱説明書の手順に基づいて測定を実施した。

3) 筋厚測定

筋厚の測定にはBモード超音波診断装置 (LOGIQ e,GE Healthcare社製) を使用した。撮像部位は前腕部, 上腕前部, 上腕後部, 胸部, 前腹部, 側腹部, 肩甲棘上部, 肩甲棘下部, 肩甲骨内側部, 肩甲下部, 腰部浅層, 腰部深層, 臀部後方, 臀部側方, 大腿前部, 大腿後部, 下腿前部, 下腿後部の18部位とし、いずれも投球側, 非投球側の両側を測定した。撮像には、腰部深層では深部撮像用の3MHzのコンベクス型探触子, その他の部位では8MHzのリニア型探触子を使用した。撮像位置はいずれも先行研究に基づいて決定した (表2)。

取得した超音波画像は医療用レコーダー (メディアキャプチャー USB-200,日本バイナリー社製) を介し

て画像ファイルとして保存した後、画像解析ソフト (ImageJ,Ver1.48,NIH) を用いて筋厚を測定した。測定対象の部位とそこに示される筋は①前腕部 (橈側手根屈筋, 浅指屈筋, 深指屈筋), ②上腕前部 (上腕二頭筋, 上腕筋), ③上腕後部 (上腕三頭筋), ④胸部 (大胸筋, 小胸筋), ⑤前腹部 (腹直筋), ⑥側腹部 (外腹斜筋, 内腹斜筋, 腹横筋), ⑦肩甲棘上部 (僧帽筋上部, 棘上筋), ⑧肩甲棘下部 (棘下筋), ⑨肩甲骨内側部 (僧帽筋下部, 菱形筋), ⑩肩甲下部 (広背筋), ⑪腰部浅層 (脊柱起立筋, 腰方形筋), ⑫腰部深層 (大腰筋), ⑬臀部後方 (大殿筋), ⑭臀部側方 (中殿筋), ⑮大腿前部 (大腿直筋, 中間広筋), ⑯大腿後部 (大腿二頭筋, 大内転筋), ⑰下腿前部 (前脛骨筋), ⑱下腿後部 (腓腹筋, ヒラメ筋) の18部位, 30筋とした。

表2 筋厚の測定部位

測定部位	撮像位置	測定対象の筋	先行研究
① 前腕部	橈骨点から前腕長の遠位30%	橈側手根屈筋、浅指屈筋、深指屈筋	Abe et al.(1994)
② 上腕部前部	肩峰点から上腕長の遠位60%の前面	上腕二頭筋、上腕筋	Abe et al.(1994)
③ 上腕部後部	肩峰点から上腕長の遠位60%の後面	上腕三頭筋	Abe et al.(1994)
④ 胸部	鎖骨長の50%(第3肋骨上)	大胸筋、小胸筋	Ogasawaraら(2012)
⑤ 前腹部	臍の外側3cm	腹直筋	Ikezoe et al.(2011)
⑥ 側腹部	肋骨下端と上前腸骨棘の中間	外腹斜筋、内腹斜筋、腹横筋	久保田ら.(2009)
⑦ 肩甲棘部上部	肩甲棘長の中間、上方2cm	僧帽筋中部、棘上筋	長谷川ら.(2012)
⑧ 肩甲棘部下部	肩甲棘長の中間、下方2cm	棘下筋	長谷川ら.(2012)
⑨ 肩甲骨内側部	第2胸椎棘突起から肩甲棘基部、第5胸椎棘突起から肩甲骨下角へ引いた2本の線の中間点を結ぶ中間点	僧帽筋下部、菱形筋	Jeong et al.(2016)
⑩ 肩甲下部	肩甲骨下角の下方5cm	広背筋	Abe et al.(1994)
⑪ 腰部浅層	第3腰椎棘突起の7cm外側	脊柱起立筋、腰方形筋	Ikezoe et al.(2011)
⑫ 腰部深層	第3腰椎棘突起の7cm外側	大腰筋	Ikezoe et al.(2011)
⑬ 臀部後方	上後腸骨棘から大転子までの遠位30%	大殿筋	Ikezoe et al.(2011)
⑭ 臀部側方	腸骨稜近位縁と大転子点の中間	中殿筋	Ikezoe et al.(2011)
⑮ 大腿前部	大転子点から大腿長の遠位50%	大腿直筋、中間広筋	Abe et al.(1994)
⑯ 大腿後部	大転子点から大腿長の遠位50%	大腿二頭筋、大内転筋	Abe et al.(1994)
⑰ 下腿前部	脛骨外側顆から下腿長の遠位30%の前面	前脛骨筋	Abe et al.(1994)
⑱ 下腿後部	脛骨外側顆から下腿長の遠位30%の後面	腓腹筋、ヒラメ筋	Abe et al.(1994)

4) 統計処理

全ての測定値は平均値±標準偏差で示した。投球速度の高速群と低速群の除脂肪量, 筋量, 筋厚の差の比較には対応のないt検定を用いた。なお, 統計量の算出には統計解析ソフト (SPSS Statistic,Ver.21,IBM) を用いた。有意水準は5%未満とした。また, 2標本の差の程度を評価するため効果量を算出した。また効

果量の判定の目安より $r=0.50$ 以上を効果量が大きいものとして評価した。効果量の算出, 評価はいずれも水本らの方法を採用した¹¹⁾。

3. 結果

1) 除脂肪量と筋量

投球速度の高速群と低速群における除脂肪量と筋量を表3に示した。除脂肪量、筋量ともに高速群が低速群に対して有意に高い値を示した ($p < 0.01$)。また、四肢と体幹における筋量の比較においても、投球側上肢 (高速群 $3.6 \pm 0.2\text{kg}$, 低速群 $3.1 \pm 0.3\text{kg}$, $p < 0.01$, 効果量 $r=0.71$)、非投球側上肢 (高速群 $3.4 \pm 0.3\text{kg}$, 低速群 $2.9 \pm 0.3\text{kg}$, $p < 0.01$, 効果量 $r=0.75$)、投球側下肢 (高速群 $10.2 \pm 1.2\text{kg}$, 低速群 $8.8 \pm 0.9\text{kg}$, $p < 0.05$, 効果量 $r=0.58$)、非投球側下肢 (高速群 $10.1 \pm 1.2\text{kg}$, 低速群 $8.7 \pm 0.9\text{kg}$, $p < 0.05$, 効果量 $r=0.58$)、体幹 (高速群 $27.4 \pm 1.7\text{kg}$, 低速群 $24.4 \pm 1.7\text{kg}$, $p < 0.01$, 効果量 $r=0.69$) のいずれにおいても高速群が低速群に対して有意に高い値を示した。

2) 身体部位別の筋厚

投球速度の高速群と低速群における身体部位別の

表3 高速群と低速群における除脂肪量と骨格筋量

	高速群	低速群	効果量r
除脂肪量(kg)	65.0 ± 5.2	56.3 ± 4.3 **	0.70
骨格筋量(kg)	37.4 ± 3.0	32.0 ± 2.6 **	0.71

**: $p < 0.01$

筋厚を表4に示した。測定を行った36部位 (18部位×両側) のうち11部位に両群間の筋厚の差が示された。投球側では前腕部、腰部浅層、臀部後方、大腿後部、下腿後部の5部位、非投球側では前腹部、側腹部、腰部浅層、臀部後方、大腿後部、下腿後部の6部位の筋厚において、いずれも高速群が低速群よりも有意に高い値を示した。また、筋厚に差が示された部位における筋厚の差の効果量はいずれも $r = 0.50$ 以上であり、差の程度は大きいものと評価された。

表4 高速群と低速群における部位別の筋厚

	投球側		効果量r	非投球側		効果量r
	高速群(mm)	低速群(mm)		高速群(mm)	低速群(mm)	
前腕部	42.5 ± 2.4	39.4 ± 1.9 **	0.66	36.4 ± 6.5	36.4 ± 2.7	0.00
上腕前部	27.6 ± 2.7	25.7 ± 3.5	0.35	27.6 ± 2.4	25.6 ± 3.5	0.32
上腕後部	34.9 ± 6.4	33.2 ± 6.1	0.18	32.2 ± 7.0	32.9 ± 6.9	0.01
胸部	22.2 ± 3.3	21.3 ± 2.7	0.09	20.0 ± 4.4	18.8 ± 3.1	0.07
前腹部	16.2 ± 2.1	15.3 ± 1.8	0.26	16.8 ± 1.8	14.2 ± 1.9 *	0.60
側腹部	29.2 ± 5.2	26.5 ± 3.2	0.37	35.7 ± 4.2	29.8 ± 3.3 **	0.68
肩甲棘上部	35.8 ± 2.8	33.2 ± 3.8	0.32	35.6 ± 2.9	33.3 ± 3.6	0.35
肩甲棘下部	19.2 ± 3.5	18.5 ± 2.6	0.14	19.9 ± 4.3	17.9 ± 1.7	0.20
肩甲骨内側部	29.0 ± 4.5	26.8 ± 2.4	0.31	26.4 ± 4.0	25.4 ± 2.1	0.28
肩甲下部	10.6 ± 1.7	9.1 ± 1.5	0.37	8.4 ± 2.0	7.4 ± 1.0	0.36
腰部浅層	49.8 ± 5.5	40.9 ± 9.6 **	0.70	46.9 ± 4.4	39.4 ± 6.1 *	0.61
腰部深層	40.7 ± 7.5	38.4 ± 4.1	0.09	43.0 ± 9.5	39.0 ± 8.5	0.19
臀部後方	34.3 ± 5.1	27.8 ± 3.3 *	0.70	32.5 ± 3.9	26.8 ± 4.7 *	0.59
臀部側方	36.0 ± 7.1	32.2 ± 3.4	0.35	33.7 ± 5.9	31.9 ± 4.0	0.19
大腿前部	46.9 ± 5.6	43.5 ± 5.8	0.36	49.1 ± 6.2	44.1 ± 4.1	0.49
大腿後部	66.1 ± 6.1	59.3 ± 5.0 *	0.58	66.4 ± 4.3	59.8 ± 4.3 **	0.64
下腿前部	26.8 ± 4.5	25.2 ± 1.9	0.29	26.8 ± 4.4	24.9 ± 2.0	0.41
下腿後部	64.8 ± 2.7	60.2 ± 4.0 *	0.62	65.5 ± 3.1	60.8 ± 2.7 **	0.69

*: $p < 0.05$, **: $p < 0.01$.

3) 筋別の筋厚

投球速度の高速群と低速群における筋別の筋厚を表5に示した。なお、上腕後部、前腹部、肩甲棘下部、肩甲下部の4部位については、超音波画像に描出される筋が重層構造をとらないため、それぞれを上腕三頭筋、腹直筋、棘下筋、広背筋として筋名にて表記した。投球速度の高速群と低速群の比較において、測定した

60筋 (30筋×両側) のうち10筋に筋厚の差が示された。投球側では脊柱起立筋、大殿筋、腓腹筋の3筋、非投球側では小胸筋、腹直筋、内腹斜筋、腹横筋、脊柱起立筋、大殿筋、大腿二頭筋の7筋の筋厚において高速群が低速群よりも有意に高い値を示した。また、筋厚に差が示された筋の筋厚の差の効果量はいずれも $r = 0.50$ 以上であり、差の程度は大きいものと評価された。

表5 高速群と低速群における筋別の筋厚

	投球側		効果量 r	非投球側		効果量 r
	高速群 (mm)	低速群 (mm)		高速群 (mm)	低速群 (mm)	
橈側手根屈筋	17.0 ± 2.1	15.2 ± 2.8	0.39	15.1 ± 2.6	13.4 ± 1.6	0.30
浅指屈筋	8.7 ± 3.4	9.0 ± 2.4	0.07	8.3 ± 3.0	8.1 ± 2.5	0.13
深指屈筋	16.9 ± 2.3	15.2 ± 1.7	0.38	13.1 ± 3.2	14.8 ± 2.2	0.28
上腕二頭筋	18.8 ± 2.9	19.1 ± 3.9	0.09	19.7 ± 3.0	18.9 ± 4.4	0.07
上腕筋	8.8 ± 4.2	6.6 ± 1.4	0.49	7.9 ± 2.1	6.6 ± 2.1	0.35
上腕三頭筋	34.9 ± 6.4	33.2 ± 6.1	0.18	32.2 ± 7.0	32.9 ± 6.9	0.08
大胸筋	16.8 ± 2.3	16.5 ± 2.2	0.13	14.6 ± 3.2	14.8 ± 2.6	0.14
小胸筋	5.4 ± 1.2	4.7 ± 0.8	0.47	5.4 ± 1.5	4.0 ± 0.6 *	0.67
腹直筋	16.2 ± 2.1	15.3 ± 1.8	0.26	16.8 ± 1.8	14.2 ± 1.9 *	0.6
外腹斜筋	9.2 ± 2.1	8.5 ± 1.2	0.31	10.1 ± 1.7	9.7 ± 1.7	0.18
内腹斜筋	15.3 ± 3.5	13.0 ± 2.0	0.42	20.0 ± 3.8	14.9 ± 2.2 **	0.66
腹横筋	4.8 ± 0.9	5.0 ± 0.9	0.11	5.6 ± 0.6	5.2 ± 0.4 *	0.53
僧帽筋中部	12.3 ± 1.4	11.8 ± 1.9	0.06	11.7 ± 1.6	11.0 ± 1.4	0.29
棘上筋	23.5 ± 2.0	21.3 ± 3.5	0.28	23.9 ± 3.1	22.3 ± 3.1	0.19
棘下筋	19.2 ± 3.5	18.5 ± 2.6	0.14	19.9 ± 4.3	17.9 ± 1.7	0.20
僧帽筋下部	7.3 ± 1.4	6.0 ± 0.7	0.61	6.3 ± 1.1	5.7 ± 0.8	0.39
菱形筋	10.4 ± 4.0	7.8 ± 2.5	0.38	8.1 ± 3.5	7.4 ± 3.2	0.08
広背筋	10.6 ± 1.7	9.1 ± 1.5	0.47	8.4 ± 2.0	7.4 ± 1.0	0.36
脊柱起立筋	33.5 ± 4.8	25.6 ± 2.6 ***	0.76	32.6 ± 4.8	24.6 ± 3.0 ***	0.77
腰方形筋	14.7 ± 1.1	13.7 ± 3.0	0.30	12.1 ± 2.7	13.6 ± 3.1	0.24
大腰筋	40.7 ± 7.5	38.4 ± 4.1	0.09	43.0 ± 9.5	39.0 ± 8.5	0.19
大殿筋	34.3 ± 5.1	27.8 ± 3.3 *	0.70	32.5 ± 3.9	26.8 ± 4.7 *	0.59
中殿筋	36.0 ± 7.1	32.2 ± 3.4	0.35	33.7 ± 5.9	31.9 ± 4.0	0.19
大腿直筋	25.1 ± 3.4	24.3 ± 3.5	0.20	26.7 ± 3.6	24.6 ± 4.3	0.33
中間広筋	21.7 ± 4.2	19.3 ± 4.1	0.35	22.4 ± 4.9	19.5 ± 2.3	0.43
大腿二頭筋	36.1 ± 4.6	32.5 ± 4.3	0.37	37.0 ± 2.3	31.7 ± 5.3 *	0.59
大内転筋	29.6 ± 4.9	26.9 ± 3.6	0.38	29.0 ± 3.6	27.5 ± 4.3	0.25
前脛骨筋	26.8 ± 4.5	25.2 ± 1.9	0.29	26.8 ± 4.4	24.9 ± 2.0	0.41
腓腹筋	19.4 ± 2.8	16.2 ± 3.1 *	0.51	19.8 ± 2.7	17.1 ± 2.9	0.42
ヒラメ筋	45.4 ± 3.3	44.0 ± 4.4	0.25	45.7 ± 3.8	43.7 ± 3.5	0.30

*:p<0.05、**:p<0.01、***:p<0.001

4. 考察

1) 除脂肪量と筋量

体重から体脂肪量を除いた重量は除脂肪量と呼ばれ、このうち骨格筋が占める割合は約50%、残りは種々の臓器や骨、血液であるとされている¹²⁾。また、本研究における筋量は体重から体脂肪量や骨ミネラル量を除いたSoft Lean Massと呼ばれるものであり、DEXA法により示される除脂肪軟組織 (Lean Soft Tissue Mass) に相当する。四肢においては骨格筋量、体幹では骨格筋と臓器の筋量等を合わせたものとなることから、除脂肪量よりも骨格筋量を反映しやすい指標と考えられている。

投球速度の高速群と低速群の比較において、体重、

除脂肪量、筋量はいずれも高速群が高い値を示した。先行研究においても投球速度の高い投手の特徴として除脂肪量が大きいことが指摘されており^{1,2)}、同様の知見が得られたものと考えられる。しかし、これまでの研究では投球速度の高い投手に特徴的な大きな筋量が、身体のいずれの部位の筋の発達により生じるのかという点が明らかにされていない。本研究において全身を投球側と非投球側の upper limb, lower limb, trunk の5部位に分け比較した結果から、高速群において投球側および非投球側の upper limb, lower limb, trunk の全てで大きな筋量が示された。このことから、高速群に見られる大きな筋量の原因は、投球側に限定された筋量の増加や、upper limb または lower limb に限定的な筋量の増加といった局所的なものではなく、四肢や体幹の全てにおける筋量の違いを反

映していることが示唆された。

2) 身体部位別の筋厚

投球速度の高速群と低速群の身体部位別の筋厚の比較において、全身36部位（18部位×両側）のうち11部位に筋厚の差が示され、いずれも高速群が高い値を示した。高速群が高い筋厚を示した身体部位は、投球側では前腕部、腰部浅層、臀部後方、大腿後部、下腿後部の5部位、非投球側では前腹部、側腹部、腰部浅層、臀部後方、大腿後部、下腿後部の6部位であった。機能的には股関節および足関節の伸展筋群、体幹部の屈曲、伸展、回旋運動に作用する筋群に両群間の顕著な差が示された。上肢、体幹、下肢の筋量と投球速度の関係に関する先行研究において、腹部、背部、大腿前部、大腿後部の筋量と投球速度の間に正の相関が見られることが報告されている²⁾。これらも下肢の伸展筋群や体幹の回旋筋群など本研究と類似した作用をもつ筋の筋量が大きいことが投球速度の高さと関係していることを示している。また、島田ら¹³⁾は投球動作における体幹、下肢の役割について報告を行っており、体幹の役割として、①前期コッキング局面（踏み出し脚接地からボール速度最小時まで）で大きな回旋トルクやトルクパワーを発揮し、上腕の鉛直軸まわりの角速度を増加させること、②リリース前に伸展トルクや後捻りトルクにより負のパワーを発揮して過度な屈曲や前捻りを防ぐことを挙げている。高速群の方が大きな筋厚を示した前腹部、側腹部、腰部浅層は体幹の回旋トルク発揮、さらに腰部浅層は体幹の伸展トルク発揮にも関与する筋であり、高速群では体幹における回旋筋群や伸展筋群の筋量が大きいという特徴をもつことが考えられる。同様に、島田ら¹³⁾は投球動作における下肢の役割をピボット脚（投球側）とストライド脚（非投球側）に分けて示している。ピボット脚の役割は①ストライド局面（踏み出し脚の膝の最大拳上時から体幹の後ろ捻り開始まで）において各関節が伸展トルクを発揮して身体を支持すること、②捻り局面（体幹の後捻り開始からステップ脚の接地まで）では股関節伸展トルク、投球局面（ステップ脚の接地からボールリリースまで）では股関節内転トルクを発揮して下腕を回旋させることであり、ストライド脚の役割は①投球局面において股関節の伸展トルクを発揮して体幹を支持することであると述べている。高速群の方が大きな筋厚を示したのは、両側の臀部後方、大腿後部、下腿後部であることから、高速群では股関節および足関節など下肢の伸展筋群の筋量が大きい特徴を持つことが

考えられる。

3) 筋別の筋厚

投球速度の高速群と低速群の個々の筋の筋厚の比較において、投球側では脊柱起立筋、大殿筋、腓腹筋の3筋、非投球側では小胸筋、腹直筋、内腹斜筋、腹横筋、脊柱起立筋、大殿筋、大腿二頭筋の7筋に筋厚の差が示され、いずれも高速群が高い値を示した。本研究では前腕部、上腕部、肩部など上肢筋には両群間の筋厚の差は見られなかったのに対し、体幹筋、特に胸郭と骨盤の間に位置し、投球動作を解析した研究において「下胴」として扱われる腹部や腰部、さらに下肢筋に筋厚の差が示された。投能力の異なる対象を比較した先行研究では、投能力や投球速度の高い者の動きの特徴が示されている。宮丸ら¹⁴⁾は投動作の発達における投動作パターンは、上肢だけの動きによる動作範囲の小さな段階から、年齢の増加につれて脚や体幹部といった大きな体幹の参加がみられるような方向で発達することを報告している。また、男女のエリート投手の投球動作を比較したChu et al.¹⁵⁾は、女性投手は踏み出し幅が短く体幹のひねりが小さいことや、加速局面における脚の伸展速度が小さいことを報告している。また、プロ、社会人、大学野球投手を高速群と低速群に分類して比較した研究では、その差がみられた動きが報告されている。Matsuo et al.¹⁶⁾はプロとアマチュアの野球投手127名を対象として、球速が38.0m/s（136.8km/h）より大きいグループと34.2m/s（123.1km/h）より小さいグループの比較から、高速群では踏み込み脚の膝関節における最大伸展角速度やリリース時の伸展角速度、体幹の前傾角速度が大きいことを報告している。また、高橋ら¹⁷⁾は大学、社会人野球投手22名を投球速度の平均値を境に高速群と低速群に分類し、高速群は踏み込み脚が最も高く上がった時点からボールが最下点に達するまでの局面で軸脚の大腿部の後傾角度が大きいこと、踏み込み脚の接地までの局面で軸脚の膝関節、股関節の伸展角速度が大きいこと、接地後における踏み込み脚の膝関節屈曲角度が小さいことを報告している。これらはいずれも下肢や体幹の動作を指摘したものであり、投球速度のちがいは上肢よりも下肢や体幹の動きに強い影響を受けることが考えられる。

下肢や体幹の運動により生じる力やトルク、エネルギーや仕事と投球速度との関係に着目した研究では軸脚の役割は投球方向への体重移動であり¹⁷⁾、軸脚ではストライド局面の膝伸展トルクや足底屈トルク発揮、

ひねり局面の股関節伸展トルク、投球局面での股関節内転トルクによる正のパワーが著しく大きいことが報告されている¹³⁾。また、上胴の力学的エネルギーが増加する局面では、軸脚の仕事により下胴を介して上胴へ伝達されるエネルギーが大きいほどボール初速度が高いことが報告されている¹⁸⁾。一方、踏込み脚の役割は支持であるとされ¹⁷⁾、投球局面では股関節伸展トルク、膝関節屈曲トルク、足底屈トルクが発揮され、後期コッキング局面（ボール速度最小から肩関節最大外旋まで）において、股関節から下胴へ流入するエネルギーが大きいほどボール初速度は高いことが報告されている¹⁸⁾。こうした投球動作中にみられる上胴の大きなエネルギーは下胴や両脚がそもそも持っていたものではなく、いずれかの関節まわりの仕事によって生じたものと考えられ、この仕事について平野¹⁹⁾は「軸脚を伸ばす筋の下胴への仕事」、「踏み出し脚で踏ん張る筋の下胴への仕事」、さらに「上胴と下胴をつなぐ筋の上胴への仕事」によるものであると解説している。本研究において高速群と低速群の間に筋厚の差が見られた筋の中では「軸足を伸ばす筋」としては投球側の大殿筋、腓腹筋、「踏み出し脚で踏ん張る筋」としては非投球側の大殿筋、大腿二頭筋、「上胴と下胴をつなぐ筋」としては投球側の脊柱起立筋、非投球側の腹直筋、内腹斜筋、腹横筋、脊柱起立筋があげられる。両群間に筋厚の差がみられた10筋のうち9筋は「関節まわりの仕事によって下肢や下胴を介して上胴に大きなエネルギーを供給することに関与する筋」に該当することから、大きな投球速度を得るためには、これらの股関節、体幹回りに大きな筋量を有し、大きな仕事をする能力を持つことが重要であると考えられる。

体幹、下肢以外で高速群の方が高い筋厚を示したのは非投球側の小胸筋であった。投球動作における小胸筋の筋活動に関する報告は見られないため、投球動作においてどのようなタイミングでどのような水準の筋活動が見られるのかが明らかではない。しかし、解剖学的には小胸筋には肩甲骨の下制や前傾に働き、関節窩を下方へ向ける作用がある。また、肩甲上腕関節における回旋が、上肢の回旋全体にとっては十分ではなく、肩甲骨の側方転移の運動時には肩甲骨の方向転換を加える必要があり、前鋸筋や小胸筋が内旋に作用することも知られている²⁰⁾。野球投手が体の開きを防ぐため、リーディングアーム（非投球側）の肩を内旋させることが有効だとする主張もあり²¹⁾、高速群の投手のリーディングアームの使い方に関連している可能性が考えられる。

5. 結論

本研究では、投球速度の高い投手にみられる四肢や体幹の筋の形態的特性を明らかにすることを目的とし、平均投球速度が140km/h以上の高速群と130km/h未満の低速群の全身における筋量、筋厚の測定を行い以下のような結論を得た。

- 1) 除脂肪量、筋量（全身、上肢、下肢、体幹）の全てにおいて高速群が低速群に対して有意に高い値を示した。
- 2) 投球側では前腕部、腰部浅層、臀部後方、大腿後部、下腿後部の5部位、非投球側では前腹部、側腹部、腰部浅層、臀部後方、大腿後部、下腿後部の6部位の筋厚において、いずれも高速群が低速群よりも有意に高い値を示した。
- 3) 投球側では脊柱起立筋、大殿筋、腓腹筋の3筋、非投球側では小胸筋、腹直筋、内腹斜筋、腹横筋、脊柱起立筋、大殿筋、大腿二頭筋の7筋の筋厚において高速群が低速群よりも有意に高い値を示した。

これらの結果から、高速群の形態的特徴として除脂肪量や全身および下肢、体幹、上肢の筋量が大きいことが明らかとなった。また、その機能からみた筋群や筋については、下肢では股関節および足関節の伸展筋群、特に両脚の大殿筋、腓腹筋、ステップ脚（非投球側）の大腿二頭筋の筋量が大きく、体幹では体幹の回旋筋群、屈筋群、特に両側の脊柱起立筋や非投球側の腹直筋、内腹斜筋、腹横筋などの筋量が大きいことが示され、これらの筋の顕著な発達に伴う下肢、体幹の筋量増大が生じていることが示唆された。

引用文献

- 1) 勝亦陽一, 長谷川伸, 川上泰雄, 福永哲夫 (2006): 投球速度と筋力および筋量の関係. スポーツ科学研究, 3,1-7.
- 2) 勝亦陽一, 高井洋平, 太田めぐみ, 佐久間潤, 川上泰雄, 福永哲夫 (2007): 大学野球選手にみられる筋量および筋量分布の特徴が投球スピードに与える影響, スポーツ科学研究, 4,75-84.
- 3) 長谷川伸, 小野高志 (2012): 野球投手の筋厚の非対称性とボールスピードの関係. 体力科学, 61 (2), 227-235.
- 4) Abe, T., Kondo, M., Kawakami, Y., and Fukunaga, T. (1994): Prediction equation for body composition of Japanese adults by B-mode ultrasound. Am J Human Biol, 6, 161-170.

- 5) 12) Ogasawara, R., Thiebaud, R., Loenneke, J. P., Lofin, M., Abe, T. (2012) :Timecourse for arm and chest muscle thickness changes following bench press training. *Intervnetional Medicine & Applied Science*,4 (4) ,217-220.
- 6) Jeong, J. R., Ko, Y. J., Ha, H. G., Lee, W. H. (2016) :Reliability of rehabilitative ultrasonographic imaging for muscle thickness measurement of the rhomboid major *Clin Physiol Funct Imaging*,36,134-138.
- 7) 久保田潤, 奥村幸治, 鳥居俊, 福林徹, 大学テニス選手における腹筋群の形態的特徴, 日本臨床スポーツ医学会誌, 17,30-34, 2009.
- 8) Ikezoe, T., Mori, N., Nakamura, M., Ichihashi, N. (2011) :Atrophy of the limbs in elderly women:is it related to walking ability? *Eur J Appl Physiol*.111,989-995.
- 9) Ikezoe, T. Nakamura, M., Shima, H., Asakawa, Y., Ichihashi, N. (2015) : Assotiation between walking ability and trunk and lower-limb muscle atrophy in institutionalized elderly women:alongitudinal pilot study. *J Physiol Anthropol*. 34 (1) ,31.
- 10) 福元喜啓, 池添冬芽, 山田陽介, 市橋則明 (2015) : 超音波画像診断装置を用いた骨格筋の量的・質的評価. *理学療法学*. 42 (1), 65-71.
- 11) 水本篤, 竹内理 (2008) : 研究論文における効果量の報告のために. *英語教育研究*. 31, 57-66.
- 12) 安倍孝, 福永哲夫 (1995) : 日本人の体脂肪と筋肉分布. 8章 筋の組織厚と横断面積, 除脂肪量. 杏林書院, 122-130.
- 13) 島田一志, 阿江通良, 藤井範久, 結城匡啓 (2000) : 野球のピッチング動作における体幹および下肢の役割に関するバイオメカニクス的研究. *バイオメカニクス研究* 4 (1), 47-60.
- 14) 宮丸凱史, 平木場浩二 (1980) : 投げの動作の発達. *体育の科学*, 30 (7), 464-471.
- 15) Chu, Y., Fleisig, G.S., Simpson, K.J., Andrews, J.R. (2009) :Biomechanical comparison between elite female and male baseball pitchers. *J Appl Biomech*. 25 (1) ,22-31.
- 16) Matsuo, T., Escamilla, R.F., Flesig, G. S., Barrentine, S.W., Andrews, J.R. (2001) : Comparison of kinematic and temporal parameters between different pitch velocity groups. *Journal of Applied Biomechanics*.17,1-13.
- 17) 高橋圭三, 阿江数通, 藤井範久, 島田一志, 川村卓, 小池関也 (2005) : 球速の異なる野球投手の動作のキネマテイクスの比較. *バイオメカニクス研究* 9 (2), 36-52.
- 18) 島田一志, 阿江通良, 藤井範久, 川村卓, 高橋圭三. (2004) : 野球のピッチング動作における力学的エネルギーの流れ. *バイオメカニクス研究*. 8 (1), 12-26.
- 19) 平野裕一 (2016) 第1部 ピッチングの科学, 野球の科学. ベースボールマガジン社, 20-25.
- 20) Kapandji, A. I. (塩田悦仁訳) (2010) : 第1章 肩, カパンジー機能解剖学 I 上肢, 第2版, 医歯薬出版, pp. 2-75.
- 21) 菅谷啓之 (2012) 上肢のスポーツ障害に対するアプローチ, 肩と肘のスポーツ障害, 初版, 中外医学社, 82-174.

Received date 2018年6月15日

Accepted date 2018年8月23日