発育期の野球選手における投手と野手の投球速度に及ぼす 体力要因の検討

蔭山 雅洋¹⁾²⁾ 鈴木 智晴³⁾ 前田 明³⁾

KAGEYAMA Masahiro^{1,2}, SUZUKI Chiharu³ and MAEDA Akira³: A study of the effects of physical fitness on ball velocity of baseball pitchers and fielders during the growth period. Japan J. Phys. Educ. Hlth. Sport Sci.

Abstract: The purpose of this study was to clarify the physical fitness factors related to ball velocity in terms of playing position among junior high school (JHS) or high school (HS) baseball players during the growth period. The subjects were 78 pitchers (JHS: n = 38, HS: n = 40) and 216 fielders (JHS: n = 121, HS: n = 95). The measured parameters were body height, body weight, ball velocity, hand grip force, back extension force (BET), height/power by counter movement jump, and distance of the side (SMT) and back medicine ball throw (BMT). The pitchers pitched a ball from a temporary mound and the fielders threw a ball from flat ground. Ball velocity was measured using a radar gun. Multiple regression analysis with the stepwise method was used for statistical analysis. For this analysis, ball velocity was the dependent variable, and items of the physical fitness test and physical measurement comprised the independent variables. This analysis selected SMT and BET as predictors of the pitchers' ball velocity, and the contribution ratio of ball velocity was 65.8%. When BMT and BET were selected as predictors of the fielders' ball velocity, the contribution ratio of ball velocity was 62.1%. These results indicate that the relationship between ball velocity and force/power output-generating capacity differ between the motion for a given position and/or the required ability. These findings indicate that coaches for growing adolescent baseball players should assess directionality and the effects of training, as they may explain why ball velocity contributes more than 60% to the medicine ball throw distance and BET.

Key words: characteristic of baseball positions, growth development, physical fitness test, multiple regression analysis, training method

キーワード: ポジション特性, 発育発達, 体力測定, 重回帰分析, トレーニング方法

I 緒言

野球の守備場面において、投球パフォーマンスの優劣はどの年代においても勝敗に影響する。特に、投手が果たす役割は大きく、投手がどれだけ速いボールを投げることができるかは、勝敗を左右するうえで重要な要素である（稲尾・吉村、

2001；功力, 1991, p. 27）。一方、野手は打者・走者をアウトにするために短時間で速いボールを送球する必要がある（Kita et al., 2014; 宮西ほか, 2015a）。このように、野球ではポジションによって動作形態が異なるものの、できるだけ大きな速度のボールを投じる重要性は共通する。一部の研究では、大学生の投手と野手では体力特性が異なるとともに、投球速度に影響する体力要因に違い

1) 国立スポーツ科学センタースポーツ科学部
〒115-0056 東京都北区西が丘 3-15-1
2) 関西大学先端科学技術推進機構
〒564-8680 大阪府吹田市山手町 3 丁目 3 番 35 号
3) 鹿屋体育大学スポーツパフォーマンス研究センター
〒891-2393 鹿児島県鹿屋市白水町 1 番地
連絡先 蔭山雅洋

1. Department of Sport Sciences, Japan Institute of Sport Sciences
3-15-1 Nishigaoka, Kita-ku, Tokyo 115-0056
2. Organization for Research and Development of Innovative Science and Technology, Kansai University
3-3-35 Yamate, Suita, Osaka 564-8680
3. Sports Performance Research Center, National Institute of Fitness and Sports in Kanoya
1 Shiromizu, Kanoya, Kagoshima 891-2393
Corresponding author kagemasa0425@gmail.com

がみられる（比留間・尾縣，2011）ことが報告されている。このようなことから，発育期の野球選手においてもポジションによって体力特性が異なり，さらには投球速度に関連する体力要因もポジションによって異なる可能性が考えられる。

発育期における野球選手の投球速度（Fleisig et al., 1999; 比留間・尾縣，2010; Ishida et al., 2006; Kageyama et al., 2015; 勝亦ほか，2008; 宮西ほか，2015a; 角田ほか，2003）は，年齢が進むにつれて増加し，年間の投球速度の変化量は13歳前後において最大となる（勝亦ほか，2008）。10—15歳のユース投手と高校生，大学生の投球動作中の上肢の角度には大きな差は見られず，年齢による投球速度の差は上肢の力発揮が大きく影響する（Fleisig et al., 1999）。また，この年齢による投球速度の差は，下肢に作用する力を体幹，上肢へと伝達する能力が影響する（Kageyama et al., 2015）との指摘もある。このようなことから，発育期の野球選手における投球速度の変化は，技術的な要因よりも体力的な要因が大きく影響する可能性が高いと考えられる。

中学生と高校生の野球選手を対象に，上肢および体幹におけるパワー発揮能力と投球速度との関係を検討した研究によると，上肢の肩水平内転および体幹捻転における伸張—短縮サイクル（stretch-shortening cycle：以下「SSC」と略す）運動を利用したパワー発揮能力は，投球速度と高い正の相関関係が認められている（比留間・尾縣，2010）。また除脂肪体重は，13—16歳の野球選手では投球速度との関連性が認められているものの，その前後の10—12歳と17—19歳の年齢では関連しないことが示されている（角田ほか，2003）。このことから，投球速度の変化は，下肢や上肢，体幹の筋力やパワー発揮が影響しており，発育段階によって投球速度に影響する体力要因が異なる可能性が考えられる。

しかしながら，発育時期の異なる投手と野手を対象に，ポジション別によって投球速度に及ぼす体力要因が異なるのかを検討した例はない。したがって，発育期にある野球選手の発育・発達に伴う体力の変化や投球速度に及ぼす体力要因の類似

点や相違点，ポジションによって体力因子が投球速度にどの程度関与しているのかを明らかにすることは，発育期の野球選手や指導者が投球速度の向上を目指し，トレーニングや指導の方向性を決定するうえで有益な情報になると考えられる。

そこで本研究の目的は，発育期にある中学・高校の野球選手を対象に，投球速度に与える体力要因をポジション別に明らかにすることとした。

II 方法

1. 対象者

対象者は，野球部に所属する中学生159名，高校生135名，合計294名とした。ポジションの内訳は，投手78名（中学生38名，高校生40名），野手216名（中学生121名，高校生95名）であった。本研究では，各野球連盟に加盟しているチームに所属し，競技年数が中学生では1年以上，高校生では4年以上の者を対象とした。各カテゴリおよびポジション別における身長，体重，競技年数をTable 1に示した。

本研究は鹿屋体育大学倫理審査小委員会に倫理審査申請書を提出して承認を受けた。対象者には事前実験の目的や内容等を説明し，実験参加の同意を得た。

2. 実験手順

対象者には，測定に先立ち，ストレッチを含むウォーミングアップを十分に行わせた。その後，対象者には身長，体重，握力，背筋力，垂直跳，メディシンボールを用いたサイド投げおよびバック投げ，投球速度を計測した。各項目の詳細な測定方法は，以下の通りである。

2.1 身長および体重の測定方法

身長および体重は，身長・体重計（DC-217A，タニタ社製）を用いて計測した。身長は0.1 cm単位で，体重は0.1 kg単位で計測した。

2.2 各種体力要因の測定方法

2.2.1 投球速度の計測

対象者には、的をめがけてできるだけ速いボールを投げるように指示し、ストレートによる全力投球を5回行わせた。詳細に述べると、投手には通常のマウンドと類似する規格の簡易マウンド上から18.44 m先のストライクゾーンを想定させた的の中心（大きさ：縦66.6 cm × 横43.2 cm, 中心の高さ72.2 cm）に、野手には平坦なところから20 m先の的の中心（縦180 cm × 横180 cm, 中心の高さ100 cm）に対して投球を行わせた。的の大きさは、それぞれ試合場面で投球する範囲を想定した。

投球するボールは、中学生では軟式B号球（質量：135.0 ± 1.2 g, 直径：70.2 ± 0.1 mm）を、高校生では硬式球（質量：145.7 ± 1.9 g, 直径：73.9 ± 0.1 mm）を使用した。

本研究では、5球のうち最も投球速度が高い値を採用した。投球速度は、スピードガン（HP-1, Mizuno 社製）を用いて計測した。スピードガンは測定誤差が少なくなるように、的の後方に設置して、照準を対象者のボールリリース位置に向けて行った（宮西ほか, 2000）。

2.2.2 握力および背筋力の測定

握力は握力計（T.K.K. 5401, 竹井機器社製）を、背筋力は背筋力計（T.K.K. 5102, 竹井機器社製）を用いた。測定は、それぞれ最大努力で2回ずつ行い、最大値を採用した。なお、2回の測定値の差が10%以上であった場合は、3回目の測定を行った。本研究では、握力の測定値は、左右の平均値とした。握力および背筋力は、絶対値を体重で除した相対値を表した。

2.2.3 垂直跳の測定

垂直跳高は、マットスイッチ（マルチジャンプテスト, DKH 社製）を用いて測定した。垂直跳は、腕の振り込みを用いて、立位姿勢から反動動作を用いて全力で跳躍を行うよう指示した（遠藤ほか, 2007; 蔭山ほか, 2016）。測定は3回行い、最高値を採用した。試行間の休憩時間は、1分以上設けた。

また本研究では、対象者の垂直跳による仕事

（パワー）を算出するために、跳躍高と体重から求めた（Sayers et al., 1999）。垂直跳のパワーの算出には、以下の式を用いた。

$$\text{垂直跳パワー (W)} = 60.7 \times \text{垂直跳高 (cm)} + 45.3 \times \text{体重 (kg)} - 2055$$

2.2.4 メディシンボール投げによる距離の測定

全身の無酸素性パワー（以下「全身パワー」と略す）の指標として、3 kgのメディシンボールを用いて、サイド投げおよびバック投げによる投てき距離を計測した。サイド投げは、メディシンボールを両手で持ち、身体の水平面上の回転運動を利用して、側方に投げた（Ikeda et al., 2007; 2009）。野球の投球動作は、右投手と左投手では体幹を回旋させる方向が異なる。そのため、本研究では投球時の回旋動作と同一方向となるようにサイド投げを実施した。つまり、右投げの場合では左方向に、左投げの場合では右方向に、メディシンボールを投げた。バック投げは、下肢および体幹の伸展動作を利用して、後方に投げた（窪ほか, 1999）。メディシンボール投げは全身を用いた無酸素性のパワー発揮である。特に、腰部への負荷が大きな運動であるため、事前に、ストレッチを含むウォーミングアップを十分に行わせるとともに、数回の練習試技を行わせた。また、どちらの条件も、できるだけ上肢に頼らない、下肢や体幹を主とした動作を行うように指示した。

投てき距離の測定は、サイド投げでは前足のつま先からボールが落下した位置までとした。バック投げでは、踵からボールが落下した位置までとした。投てき距離はメジャーを用いて1 cm単位で計測した。いずれの試技も2回ずつ行い、それぞれ最高値を採用した。ただし、2回の値の差が10%以上であった場合には3回目の測定を行った。

3. 統計処理

基本統計量は、平均値 ± 標準偏差（SD）により示した。中学生と高校生でポジション間に差があるのか比較を行うために、年齢（2水準：中学生、高校生）×ポジション（2水準：投手、野手）の二元配置の分散分析を行った。交互作用が認めら

れた場合には、要因ごとに分けて単純主効果の検定を行い、各測定変数における群（年齢）あるいはポジション間を比較した。交互作用が認められなかった場合には各要因の主効果を検定した。

投球速度と各変数との関係は、ピアソンの積率相関係数を算出した。相関係数（ r ）の大きさは、0.7—1.0 では高い相関関係、0.40—0.70 では中程度の相関関係、0.20—0.40 では低い相関関係と判断した（長澤・南，2009，pp.62-70）。

さらに、投球速度に影響する体力因子を抽出するため、投球速度を従属変数とし、身長、体重、握力、背筋力、垂直跳高、垂直跳パワー、バック投げの飛距離、サイド投げの飛距離を独立変数とし、ステップワイズ法による重回帰分析をそれぞれ行った。なお、中学生と高校生が投げるボールの質量は異なるため、中学生の投球速度は、高校生が使用する 145g のボールを投球する場合には実測値よりも 3.5% 減少すると想定し、0.965 をかけることで補正した。これは、中学生が使用するボールに与えられたエネルギー（ $= 1/2 \times \text{ボールの質量 (kg)} \times \text{投球速度 (m/s)}^2$ ）から高校生が使用するボールに換算した場合に、投球速度が 3.5% 減少するためである。投入する F の確率を 0.05 以下、除去する F の確率を 0.1 以上とした。また独立変数間の多重共線性の問題を回避するため、Variance inflation factor（VIF）が 10 以下であることを確認した。

本研究では、いずれの場合も有意水準を 5% 未満とした。すべての検定は統計処理ソフト IBM SPSS Statistics 24（IBM 社製）を用いた。

III 結 果

1. ポジション別における身体特性および各種体力項目

身体特性および体力項目の測定値を Table 1 に示した。結果は、以下の通りである。

1.1 身長・体重

身長および体重は、群とポジションで交互作用が認められなかった。これらの項目は、群におい

て主効果が認められ、高校生が中学生よりも有意に高かった（ $p < 0.01$ ）。またポジションにおいても主効果が認められ、投手は野手に比べて有意に高かった（ $p < 0.01$ ）。

1.2 投球速度

投球速度は、群とポジションで交互作用が認められた（ $p < 0.05$ ）。下位検定の結果、投球速度はポジションに関係なく、高校生が中学生よりも有意に高く（ $p < 0.01$ ）、中学生と高校生ともに、投手が野手よりも有意に高かった（ $p < 0.01$ ）。

1.3 体力測定値

垂直跳高、垂直跳パワー、サイド投げは、群とポジションで交互作用が認められた（ $p < 0.05$ ）。下位検定の結果、これらのすべての項目は、ポジションに関係なく、高校生が中学生よりも有意に高かった（ $p < 0.01$ ）。サイド投げは、中学生では投手が野手よりも有意に高く（ $p < 0.01$ ）、高校生ではポジション間に差がなかった。一方で、垂直跳高および垂直跳パワーは、中学生ではポジション差がなく、高校生では野手が投手よりも有意に高かった（ $p < 0.01$ ）。

握力と背筋力の絶対値および相対値、バック投げは、群とポジションで交互作用が認められなかった。これらの項目は、群において主効果が認められ、高校生が中学生よりも有意に高かった（ $p < 0.01$ ）。また握力の絶対値とバック投げは、ポジションにおいても主効果が認められ、投手は野手に比べて有意に高かった（ $p < 0.01$ ）。握力の相対値ならびに背筋力の絶対値および相対値は、ポジションにおいて主効果は認められなかった。

2. 投球速度と各種体力測定値との関係について

2.1 全体

Table 2 は、投球速度と各測定値との関係をまとめたものである。ポジションに関係なく、すべての項目で投球速度と有意な正の相関関係（ $p < 0.01$ ）が示された。相関係数が高い項目は、投手では年齢、握力の絶対値、サイドおよびバック投げ、野手では年齢、握力の絶対値、サイドおよび

Table 1. The results of ball velocity and each measured variable.

Unit	Junior high school students			High school students			Age		Position			Age × Position			Difference	
	Pitcher	Fielder	Fielder	Pitcher	Fielder	Fielder	F value	P	partial η^2	F value	P	partial η^2	F value	P		partial η^2
Age	13.9 ± 0.6	13.6 ± 0.6	16.3 ± 0.6	16.3 ± 0.6	16.6 ± 0.6	16.6 ± 0.6	1084.56	0.000	0.789	0.29	0.588	0.001	14.61	0.000	0.048	JHS < HS
Baseball experience	5.1 ± 1.8	4.4 ± 2.1	8.3 ± 2.0	8.3 ± 2.0	7.8 ± 1.7	7.8 ± 1.7	150.49	0.000	0.348	5.49	0.020	0.019	0.24	0.621	0.001	JHS < HS, P > F
Pitcher experience	1.8 ± 1.4	-	4.3 ± 2.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Body height	164.3 ± 6.7	159.1 ± 8.3	172.3 ± 4.8	172.3 ± 4.8	169.4 ± 5.7	169.4 ± 5.7	98.28	0.000	0.253	19.39	0.000	0.063	1.59	0.208	0.005	JHS < HS, P > F
Body weight (BW)	55.1 ± 9.8	51.4 ± 10.3	64.6 ± 8.6	64.6 ± 8.6	63.0 ± 7.4	63.0 ± 7.4	75.21	0.000	0.206	4.78	0.030	0.016	0.83	0.364	0.003	JHS < HS, P > F
Ball velocity	111.6 ± 9.6	97.5 ± 10.8	120.2 ± 5.3	120.2 ± 5.3	111.1 ± 9.1	111.1 ± 9.1	76.54	0.000	0.209	83.83	0.000	0.224	3.92	0.049	0.013	JHS < HS, P > F
Hand-grip force	kg	33.2 ± 6.4	29.4 ± 6.5	42.0 ± 6.0	41.3 ± 5.7	41.3 ± 5.7	157.67	0.000	0.352	7.41	0.007	0.025	3.43	0.065	0.012	JHS < HS, P > F
	kg/BW	0.61 ± 0.10	0.58 ± 0.09	0.66 ± 0.09	0.66 ± 0.09	0.66 ± 0.09	25.47	0.000	0.081	1.53	0.218	0.005	2.39	0.123	0.008	JHS < HS
Back extension force	kg	98.1 ± 16.8	86.6 ± 23.2	127.8 ± 25.6	127.6 ± 22.6	127.6 ± 22.6	138.11	0.000	0.323	3.85	0.051	0.013	3.49	0.063	0.012	JHS < HS
	kg/BW	1.80 ± 0.26	1.70 ± 0.35	2.00 ± 0.40	2.04 ± 0.37	2.04 ± 0.37	33.42	0.000	0.103	0.51	0.476	0.002	2.31	0.129	0.008	JHS < HS
Counter movement jump	cm	38.2 ± 6.0	37.5 ± 5.9	41.6 ± 5.7	47.7 ± 5.9	47.7 ± 5.9	75.95	0.000	0.208	11.93	0.001	0.040	18.57	0.000	0.060	JHS < HS, P < F
Jump power	W	2761.1 ± 622.1	2549.4 ± 615.8	3399.2 ± 497.7	3696.8 ± 512.1	3696.8 ± 512.1	138.95	0.000	0.324	0.32	0.570	0.001	11.30	0.001	0.038	JHS < HS
Medicine ball throw	Side	m	7.8 ± 1.3	6.8 ± 1.3	9.8 ± 1.3	9.6 ± 1.2	198.19	0.000	0.406	13.45	0.000	0.044	5.70	0.018	0.019	JHS < HS, P > F
	Back	m	7.8 ± 1.3	6.5 ± 1.6	10.2 ± 1.5	9.7 ± 1.4	201.39	0.000	0.410	17.58	0.000	0.057	3.84	0.051	0.013	JHS < HS, P > F

The partial η^2 threshold level values were < 0.10 (trivial), 0.10 – 0.25 (small), 0.25 – 0.40 (medium) and $\geq$ 0.40 (large).

Junior high school students (JHS) vs High school students (HS), Pitcher (P) vs Fielder (F), < : > : p > 0.05

Table 2. Correlation coefficients between ball velocity and each measured variable.

	Age	Body height	Body weight	Hand-grip force		Back extension force		Counter movement jump	Jump power	Medicine ball throw		
				Absolute value	Relative value	Absolute value	Relative value			Side	Back	
Pitcher	All	0.724 **	0.633 **	0.570 **	0.740 **	0.339 **	0.692 **	0.351 **	0.409 **	0.646 **	0.794 **	0.755 **
	Junior high school students	0.613 **	0.469 **	0.520 **	0.712 **	0.309	0.825 **	0.352 *	0.447 **	0.630 **	0.713 **	0.639 **
	High school students	0.147	0.334 *	0.210	0.408 **	0.193	0.314 *	0.150	0.099	0.233	0.627 **	0.544 **
Fielder	All	0.708 **	0.647 **	0.626 **	0.716 **	0.334 **	0.696 **	0.421 **	0.563 **	0.709 **	0.728 **	0.774 **
	Junior high school students	0.472 **	0.603 **	0.546 **	0.688 **	0.210 *	0.555 **	0.211 *	0.439 **	0.669 **	0.663 **	0.690 **
	High school students	0.172	0.140	0.236 *	0.174	-0.046	0.332 **	0.188	-0.031	0.134	0.221 *	0.393 **
correlation coefficient		0.70—	0.55—0.70			0.40—0.55		— 0.40	non-correlation			

correlation coefficient

significant correlation

0.70—

0.55—0.70

0.40—0.55

—0.40

non-correlation

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$

バック投げ、垂直跳パワーであった。相関係数が中程度の項目は、投手では、身長、体重、背筋力の絶対値、垂直跳高、垂直跳パワー、野手では身長、体重、背筋力の絶対値および相対値、垂直跳高であった。相関係数が低い項目は、投手では握力および背筋力の相対値、野手では握力の相対値であった。

2.2 中学生

中学生では、ポジションに関係なく、投球速度は、年齢、身長、体重、握力の絶対値、背筋力の絶対値および相対値、垂直跳高、垂直跳パワー、サイドおよびバック方向へのメディシンボール投げと有意な相関関係($p < 0.05$)が示された。一方、投球速度と握力の相対値との関係は、野手のみが有意な相関関係($p < 0.05$)が示され、投手では有意な相関関係が認められなかった。

有意な相関係数が示された測定値の中で、相関関係が高い項目は、投手では握力および背筋力の絶対値、サイド投げであったが、野手では該当するものがみられなかった。相関関係が中程度の項目は、投手では年齢、身長、体重、垂直跳高、垂直跳パワー、バック投げの項目、野手では年齢、身長、体重、握力および背筋力の絶対値、垂直跳高、垂直跳パワー、サイド投げ、バック投げであった。相関関係が低い項目は、投手では背筋力の相対値、野手では握力および背筋力の相対値であった。

2.3 高校生

高校生では、ポジションに関係なく、投球速度は背筋力の絶対値、サイド投げ、バック投げと有意な相関関係($p < 0.05$)が示された。また投手では身長、握力の絶対値が、野手では体重、背筋力の絶対値がそれぞれ投球速度と有意な相関関係($p < 0.05$)が示された。

有意な相関係数が示された測定値の中で、相関関係が高い項目はどちらのポジションにも該当するものがみられなかった。相関関係が中程度の項目は、投手では握力の絶対値、サイド投げ、バック投げであったが、野手では該当するものがみら

Table 3. Regression equation to predict the pitching ball velocity

Pitcher	$Y = 70.822 + 3.694 X_2 + 0.093 X_1$
Fielder	$Y = 63.418 + 3.598 X_3 + 0.093 X_1$
	X_1 : Back extension force
	X_2 : Side medicine ball throw
	X_3 : Back medicine ball throw

Table 4. The results of stepwise multiple regression analysis.

Position	Model	Variables	B	SEB	β	SEE	R ²
Pitcher	1	Side medicine ball throw	4.772	0.422	0.792 **	6.040	0.628
	2	Side medicine ball throw	3.694	0.582	0.613 **	5.825	0.658
		Back extension force	0.093	0.036	0.250 *		
Fielder	1	Back medicine ball throw	4.635	0.257	0.777 **	8.201	0.603
	2	Back medicine ball throw	3.598	0.413	0.603 **	8.034	0.621
		Back extension force	0.093	0.029	0.219 **		

B: Non-standardized coefficients

SEB: Standard error of B

β : standardized partial regression coefficient

SEE: Standard error of estimate

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$

れなかった。相関関係が低い項目は、投手では身長、背筋力の絶対値、野手では体重、背筋力の絶対値、サイド投げ、バック投げであった。

3. ポジション別における投球速度に対する身体特性および各種体力項目の寄与率

本研究では、中学生と高校生を合わせた全体を用いて、ポジション別に身体特性と体力要因が投球速度をどれだけ説明できるかステップワイズ法による重回帰分析により検定した。投球速度を従属変数、身長、体重、握力、背筋力、垂直跳高、垂直跳パワー、バック投げの飛距離、サイド投げの飛距離を独立変数として重回帰分析を行った結果、測定項目を独立変数とする有意な回帰式がそれぞれ得られた (Table 3)。最も高い寄与率 R^2 は、投手ではサイド投げと背筋力が選択され、寄与率 R^2 が 65.8%、推定値の標準誤差が 5.8 km/h であった。また野手ではバック投げと背筋力が選択され、寄与率 R^2 は 62.1%、推定値の標準誤差は 8.0 km/h であった (Table 4)。

IV 考 察

1. ポジションおよび年齢間における体力について

投球速度は、中学生と高校生ともに、投手が野手よりも有意に高かった (Table 1)。本研究の投球速度および体格 (身長、体重) は、中学生あるいは高校生の投手 (Kageyama et al., 2015; 蔭山ほか, 2015) および野手 (比留間・尾縣, 2010; 勝亦ほか, 2008) を対象とした先行研究と同程度であった。このことから、本研究の対象者は、これまで報告された野球選手と近似する体格および投能力を備えていると考えられる。

本研究では、ポジション間および年齢間における差異の大きさを検討した (Table 1)。偏 η^2 の効果の大きさの基準は明確なものがないため、本研究では偏 η^2 を確認し、ポジションと年齢の項目からそれぞれ上位 3 つをあげた。その結果、ポジション間では身長、サイド投げおよびバック投げ、年齢間ではサイド投げ、バック投げ、握力の絶対値であった。つまり、高校生の体力値は中学生よりも大きく変化し、その中でもサイド投げおよび

バック投げは経年的な変化とともに、ポジション間差が小さくなることを意味している。

体幹の素早い回旋を利用するサイド投げ (Ikeda et al., 2007, 2009) や下肢および体幹の伸展動作を利用するバック投げ (窪ほか, 1999) のパフォーマンスを高めるには、下肢や体幹で生み出される力学的エネルギーを利用する必要がある (池田, 2009; Ikeda et al., 2007; Ikeda et al., 2009; 窪ほか, 1999)。したがって、発育期の野球選手における年齢やポジションによる差の変化は、下肢や体幹で発揮するエネルギーの大きさが関係すると考えられる。

全身パワーの指標となるメディシンボール投げは、バック投げでは中学生と高校生ともに、投手が野手よりも大きかった (Table 1)。大学生の投手と野手の体力特性を比較した研究 (比留間・尾縣, 2011) においても、全身パワーの指標となるバック投げは、投手が野手よりも大きく、このような違いは投手と野手で動作形態や求められる能力の違いによって体力特性が異なることが述べられている。そのため、本研究の結果は比留間・尾縣 (2011) の研究を支持するものであり、バック投げは中学生や高校生の時期の野球選手においても、ポジション間差を生み出す体力指標であると考えられる。

一方、サイド投げは中学生では投手が野手より大きかったものの、高校生ではポジション間に差がみられなかった (Table 1)。サイド投げによるパフォーマンスは、等尺性捻転筋力、上肢や下肢の筋力、パワーと有意な正の相関関係が認められている (Ikeda et al., 2007)。また体幹の各筋 (腹直筋、内腹斜筋と外腹斜筋の合計、脊柱起立筋、大腰筋、腰方形筋) の横断面積と捻転筋力との間には関連性が認められることから、体幹における捻転筋力発揮時には体幹を捻転させる筋と姿勢を安定させるために働く筋が複合的に作用する (池田, 2009)。さらに、6—19 歳までの男女を対象に、四肢筋断面積の発育について筋群間の違いを検討した研究 (金久ほか, 1989) によると、体幹に近い部位の筋断面積の増加は、男子では 12—16 歳の発育期にかけて顕著な発育がみられる。これら

の先行知見より、高校生期においてポジション差が小さくなる要因には、体幹が捻転する際にはたらく体幹部周囲筋群の発達の変化が小さくなったことが影響した可能性が考えられる。

2. ポジションおよび年齢別における投球速度と各種体力測定値との関係について

投球速度と各測定値との相関係数は、ポジションに関係なく中学生が高校生よりも高値であった (Table 2)。発育期の男子は、年齢の経過に伴い四肢の筋断面積および筋力やパワーが増加するが、その増加は 13—15 歳の年齢において著しい (Kanehisa et al., 1995; 金子, 1988, pp.125-139)。13—16 歳の野球選手では筋量を示す除脂肪体重と投球速度は関連性が認められるものの、その前後の年齢では関連しないことが報告されている (角田ほか, 2003)。これらの先行知見より、中学生期において、投球速度と各測定値との相関係数が高い要因としては、身体発育が著しい第二次性徴を反映したものと考えられる。

垂直跳の跳躍高およびパワーと投球速度との関係は、中学生では有意な正の相関関係が認められたものの、高校生では認められなかった (Table 2)。投球動作中の下肢による力やパワーの発揮は、投球速度と高い関連性を持つ (Kageyama et al., 2015; Kageyama et al., 2014; MacWilliams et al., 1998; 島田ほか, 2000)。中学生と大学生の投手を対象に、投球動作の差異を検討した Kageyama et al. (2015) の研究によると、大学生は中学生と比べて、下肢に作用する力を体幹、上肢へと伝達する能力に優れているとされている。つまり、野球選手は年齢経過によって、投球動作中の下肢によって発揮されたパワーを体幹、上肢へと伝達する能力が大きくなることを示唆するものである。大学生を対象とした研究ではポジションに関係なく、垂直跳高は投球速度と関連性が認められなかったこと (比留間・尾縣, 2011) を踏まえると、投球速度に関連する体力指標としての垂直跳の測定は、高校生以上では適さないと考えられる。

さらに、垂直跳による跳躍高およびパワー発揮の能力は、年齢やポジションに関係なく、メディ

シンボール投げよりも投球速度との関連性が低かった (Table 2). 投球動作は, 下肢, 体幹, 上肢と各部位の速度のピークが時間的にずれながら増加する (阿江・藤井, 2002, pp.13-14; 桜井, 1992, pp.2-20, 60-104; 豊島ほか, 1976), いわゆる運動連鎖 (Kreighbaum and Barthels, 1985) によって成り立つため, 下肢や体幹のはたらきは投球速度を増大させる重要な役割を持つことが知られている. それゆえに, 本研究の結果はポジションに関係なく, 投球速度には下肢のパワー発揮よりも投球動作中の下肢によって発揮したパワーを体幹へと伝達する能力が影響することを示唆するものと言えよう. ただし, 高校生では, サイドおよびバック投げが投球速度と有意な正の相関関係が認められたものの, それらの相関係数は投手が野手よりも大きい (Table 2). したがって, 投球速度に対する下肢と体幹の連動性を生かしたパワー発揮の能力は, 投手の方が野手よりも重要であると考えられる. これらのことから, 発育期の野球選手の投球速度に対する体力要因は, 中学生期ではポジションに関係なく, 身体発育が著しい第二次性徴の大きさが影響するものの, 高校生期では各部位の力あるいはパワーだけではなく, 下肢と体幹の連動性を生かしたパワー発揮の能力が影響し, それらの能力は野手よりも投手が重要であると示唆される.

3. ポジション別における投球速度を説明する体力因子

投球速度に対する体力項目の貢献度を検討するため, 投球速度を従属変数, 各種体力項目を独立変数とするステップワイズ法による重回帰分析をポジション別に行った結果, 投球速度を説明する変数として, 投手ではサイド投げと背筋力が, 野手ではバック投げと背筋力が選択された (Table 3, 4). 投球動作における体幹は, ボールリリース直前に, 伸展トルクによる負のパワーを発揮する (島田ほか, 2000). このことは, ボールリリース時に体幹の過度な屈曲 (前傾) を防ぐために, 脊柱起立筋などの体幹の伸筋群が大きく働いている可能性を示す. また投球速度が大きい者は, ボー

ルリリース時の体幹前傾角度が大きい特徴を持つ (Kageyama et al., 2014; Matsuo et al., 2001). よって, 投球速度が大きい者は, リリース時に可能な限り体幹前傾角度を大きくするために体幹伸筋群の力発揮を増大させていると推察されることから, ポジションに関係なく背筋力が選択されたと示唆される.

投手 (Escamilla et al., 1998; Fleisig et al., 1999; Kageyama et al., 2015; Matsuo et al., 2001) と野手 (宮西ほか, 2015a) の投球動作を比較すると, 投手は野手に比べてステップ長と体幹上脛の最大回旋速度が大きい. そして, 投手は野手に比べて, ボールリリース時の体幹の前傾と前方捻りの角度が大きい (宮西ほか, 2015b) との報告もある. このように, 投手は野手よりも進行方向への移動と体幹の回旋速度が大きい動作形態を持つ. さらに, 投球速度が大きい者は, 投球動作中の体幹の最大回旋速度が大きい特徴を持つ (Kageyama et al., 2014; Matsuo et al., 2001) から, 投手の投球速度を説明する変数として, 体幹の素早い回旋を利用するサイド投げが選択されたと考えられる. 一方で, 野手は投手よりも進行方向への移動と体幹の回旋速度が小さいことから, リリース時に可能な限り体幹前傾角度を大きくするために, より大きな伸展トルクによる負のパワーを発揮したことが, 野手の投球速度を説明する変数として, バック投げが選択されたと考えられる. したがって, 投球速度を説明する体力因子は, リリース時に発揮するために必要な背筋力の項目に共通性が見られるものの, ポジションによって投球時の動作形態が異なるため, 投球速度を説明する下肢と体幹の連動性を生かしたパワー発揮の能力に違いがみられたと考えられる.

投球速度を従属変数として重回帰分析を行った結果, 投球速度に対する体力の寄与率 R^2 は投手では 65.8%, 野手では 62.1% であり, 推定値の標準誤差は投手では 5.8 km/h, 野手では 8.0 km/h であった (Table 4). 本研究で示した寄与率の大きさを, 重回帰分析を用いて, やり投げの飛距離を規定する体力あるいは技術要因を検討した研究 (前田ほか, 1990; 田内ほか, 2012) と比較した.

やり投げの飛距離に対する寄与率は、体力の項目では49.7%（前田ほか，1990），技術の項目では75.4%（田内ほか，2012）であり，体力の要因が技術の要因よりも小さかった。野球の投球動作は，単関節の動きだけではなく，多関節の動き，つまり下肢，体幹，上肢の運動連鎖によって成り立つことから，投球動作と類似するメカニズムを持つサイド投げやバック投げが選択されたと考えられる。したがって，本研究で用いたメディシンボール投げの飛距離と背筋力により，投手あるいは野手の投球速度の6割以上を説明することができることから，高い寄与率を有していると考えられる。

また体力測定を複数回実施することで，応用できる可能性がある。野球選手の投球速度を縦断的に調査した勝亦ほか（2008）の研究によると，12—13歳の群では投球速度の年間変化量における最大値および最小値がそれぞれ6.9 m/s（24.8 km/h）および0.8 m/s（2.9 km/h）であり，その個人差は他の年齢群（各群の変化量の最大値：1.5—3.6 m/s（5.4—13.0 km/h））よりも大きい傾向にあるとされている。このように，発育期では投球速度の変化に個人差があるものの，測定値によって推定した投球速度が推定値の標準誤差よりも大きければ，測定誤差以外の真の変化をポジション別に判断できると考えられる。さらに，投球速度を測定し，その実測値と推定値との差を求めることで，身体的特徴を除いた技術的な能力をポジション別に評価することが可能になる。つまり，投球速度の実測値が推定値の標準誤差よりも大きい場合は，その選手が身体の動きによって投球速度を増大させる能力に優れている，小さい場合は身体の動きによって投球速度を増大させる能力が劣っているかを判断できると考えられる。

今後は，投球速度を規定するための投球動作の評価システムをポジションによって検討する必要があるだろう。また本研究では，投球速度に影響する体力要因に着目したため，野手にとって重要な課題の1つであるスイング速度に関連する体力因子についても検討する必要があるだろう。

4. 現場への示唆

野球では，年齢による段階的な指導が確立されていないのが現状である。そこで，本研究の結果より，中学生および高校生に対し，投球速度の改善につながるトレーニング指導の内容として，次のような点を提言することができる。

まず，中学生期は，筋力発揮の要素が高い運動種目を取り入れていくことが薦められる。12歳から15歳までの年齢の発育期は，様々なトレーニングを行ううえで重要な時期である。野球選手を対象とした研究（Escamilla et al., 2010; Escamilla et al., 2012; 比留間・尾縣，2011; Newton and McEvoy, 1994）では，レジスタンストレーニングの導入によって投球速度が増大したことが報告されている。野球を専門とする中学生および高校生を対象に，投球速度を高めることを目的としたレジスタンストレーニングとSSC運動を強調したトレーニングの違いに着目した研究（比留間・尾縣，2011）によると，SSCトレーニングは両者の送球スピードを改善し，レジスタンストレーニングは中学生のみが改善したと報告されている。このように，中学生期では上肢，下肢，体幹のレジスタンストレーニングやSSC運動を強調したトレーニングを取り入れ，より筋の量的発育を促すことが重要であると考えられる。しかしながら，トレーニングの最適な時期には個人差があり，身長が最も増加する（Peak height velocity：以下「PHV」と略す）年齢以降からトレーニングを開始することが有効である（藤井，2007，pp.174-198）とされている。そのため，中学生期の野球選手を指導する指導者は，選手の身体の生物学的成熟度を考慮する必要がある。

中学生期のトップ野球選手における身体の生物学的成熟度について，PHV年齢および生まれ月の観点から検討した勝亦ほか（2017）の研究によると，全国大会に出場した競技力が高い中学生投手は，一般的な野球選手および運動部に所属していない中学生男子よりも身体が早熟傾向にあり，同年齢の一般野球選手よりも高い投能力（投球速度）を有していることが報告されている。したがって，本研究の結果では，対象者が身体の成熟度

によってポジションが決定していることを否定できない。つまり、身体が大きく、かつ全身パワーの発揮能力が高い選手が投手として選抜されている可能性が高く、特に、中学生期は発育発達が著しいため、高校生期よりも可能性は高いと考えられる。このようなことを踏まえると、ポジション間および年齢間における差異は、ポジションによる動作形態や求められる能力の違いによって、体力特性が異なると考えられる。さらに、本研究では、勝亦ほか（2017）が報告した全国大会出場者の平均値（124.2 km/h）を基準に、本研究の中学生投手（全対象者、全国大会の出場経験がない）がどの程度達成できているかを調査すると、7.9%（3名／38名中）であった。また同研究の対象者の身体（身長：173.4±5.0 cm、体重：66.3±6.3 kg）と比較すると、本研究の投手および野手は小さく、かつ野手は投手よりも小さい。成熟度の個人差が大きい中学生期のスポーツ現場では、選手のPHV年齢、身長発育パターンを早期かつ詳細に知る必要がある（勝亦ほか、2017）とされているように、本研究の各測定項目の測定値を考慮することで、対象者のトレーニングの方向性やポジション特性が明確になると考えられる。ただし、未発達な筋に対し、無理な負荷を与えることは発育を阻害し、機能障害を引き起こすことにもなりかねない。そのため、メディシンボール投げをトレーニングとして導入する場合には、測定値が低い選手や未熟な動作（例、下肢や体幹を利用できずに上肢に頼った動きを行う）の選手は、軽い負荷から段階的に分けて負荷を上げて行うことが重要であるだろう。また身体特性、垂直跳および背筋力を除く投手の体力特性は、野手よりも大きい（Table 1）ことから、中学生期に体力特性のみを指標にしてポジション別のトレーニングを実施することは、高校生期になって身長が著しく増加する晩成型の選手の才能を見過ごすことにつながり、選手の可能性を狭めてしまうことも予想される。以上のことから、成熟度の個人差が大きい中学生期を受け持つ指導者は、選手の体格や体力の変化を詳細に確認し、選手の将来を見越した指導を心がけることが必要であろう。

次に、高校生期は、短時間で大きな筋力発揮の要素が高い（パワー発揮が大きい）運動種目を取り入れていくことが薦められる。スポーツパフォーマンスの改善については、一般的な筋力トレーニング後に、専門的な筋力トレーニングによって競技特性に合った動作や条件において発揮される筋力を向上させることが重要となる（有賀、2002）。上述した先行研究（池田、2009）を踏まえると、高校生期では下肢によって発揮されたパワーを体幹、上肢へと伝達する能力を高めることが重要であると考えられる。さらに、ポジション別でみると、投手は体幹の回旋動作、野手は体幹の伸展動作によって、体幹部の力やパワーの発揮を有効に利用することが重要であると考えられる。

よって、発育期の野球選手を対象とする指導者は、本研究の結果を用いることで、ポジションや年齢の違いに応じてトレーニングの方向性や効果を検討することが可能になるといえる。

V まとめ

本研究は、発育期にある中学・高校の野球選手を対象に、投球速度に与える体力要因をポジション別に明らかにすることを目的とした。

本研究で得られた知見をまとめると、以下の通りである。

- ・ポジション間および年齢間における差異の大きさを検討した結果、ポジション間では身長、サイド投げおよびバック投げ、年齢間ではサイド投げ、バック投げ、握力の絶対値の差が大きく、発育期においてもポジションによる動作形態や求められる能力の違いによって、体力特性が異なる。
- ・発育期の野球選手の投球速度に対する体力要因は、中学生期ではポジションに関係なく、身体発育が著しい第二次性徴の大きさが影響するものの、高校生期では各部位の力あるいはパワーだけではなく、下肢と体幹の連動性を生かしたパワー発揮の能力が重要となり、それらの能力は野手よりも投手が重要である。

- ・ 投球速度を説明する変数として、投手ではサイド投げと背筋力が選択され、寄与率が 65.8%、野手ではバック投げと背筋力が選択され、寄与率は 62.1% である。

以上のことから、発育期の野球選手を対象とする指導者は、本研究の結果を用いることで、ポジションや年齢の違いに応じてトレーニングの方向性や効果を検討することが可能になるといえる。

文 献

- 阿江通良・藤井範久 (2002) スポーツバイオメカニクス 20 講. 朝倉書店, pp.13-14.
- 有賀誠司 (2002) 筋力トレーニングのスポーツ選手への適応. *J.Sports.Sci.*, 6: 227-239.
- Escamilla, R. F., Fleisig, G. S., Barrentine, S. W., Zheng, N., and Andrews, J. R. (1998) Kinematic comparisons of throwing different types of baseball pitches. *J. Appl. Biomech.*, 14: 1-23.
- Escamilla, R. F., Fleisig, G. S., Yamashiro, K., Mikla, T., Dunning, R., Paulos, L., and Andrews, J. R. (2010) Effects of a 4-week youth baseball conditioning program on throwing velocity. *J. Strength Cond. Res.*, 24 (12): 3247-3254.
- Escamilla, R. F., Ionno, M., deMahy, M. S., Fleisig, G. S., Wilk, K. E., Yamashiro, K., Mikla, T., Paulos, L., and Andrews, J. R. (2012) Comparison of three baseball-specific 6-week training programs on throwing velocity in high school baseball players. *J. Strength Cond. Res.*, 26(7): 1767-1781.
- 遠藤俊典・田内健二・木越清信・尾縣貢 (2007) リバウンドジャンプと垂直跳の遂行能力の発達に関する横断的研究. *体育学研究*, 52(2): 149-159.
- Fleisig, G. S., Barrentine, S. W., Zheng, N., Escamilla, R. F., and Andrews, J. R. (1999) Kinematic and kinetic comparison of baseball pitching among various levels of development. *J. Biomech.*, 32(12): 1371-1375.
- 藤井勝紀 (2007) 発育・発達への科学的アプローチ—発育・発達と健康の身体情報科学— (第2版). 三恵社, pp.174-198.
- 比留間浩介・尾縣貢 (2010) 中学・高校野球選手の伸張—短縮サイクル運動を含むパワー発揮能力と投球スピードとの関係とその発達特性—上肢と体幹に着目して—. *トレーニング科学*, 22: 205-216.
- 比留間浩介・尾縣貢 (2011) 各種パワー発揮能力からみた野球選手における投手と野手の体力特性: フィールドテストのデータをもとに. *体育学研究*, 56 (1): 201-213.
- 池田祐介 (2009) 体幹の筋横断面積と捻転筋力・パワーについて. *バイオメカニクス研究*, 13(3): 130-141.
- Ikeda, Y., Kijima, K., Kawabata, K., Fuchimoto, T., and Ito, A. (2007) Relationship between side medicine-ball throw performance and physical ability for male and female athletes. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 99(1): 47-55.
- Ikeda, Y., Miyatsuji, K., Kawabata, K., Fuchimoto, T., and Ito, A. (2009) Analysis of trunk muscle activity in the side medicine-ball throw. *J. Strength Cond. Res.*, 3(8): 2231-2240.
- 稲尾和久・吉村正 (2001) 勝つための投球術 生まれ変わるピッチング. 新生出版社.
- Ishida, K., Murata, M., and Hirano, Y. (2006) Shoulder and elbow kinematics in throwing of young baseball players. *Sports Biomech.*, 5(2): 186-196.
- 蔭山雅洋・藤井雅文・土川千尋・鈴木智晴・前田明 (2016) 大学野球選手における 30m 走タイムと跳躍能力との関係. *トレーニング科学*, 27(3): 93-100.
- Kageyama, M., Sugiyama, T., Kanehisa, H., and Maeda, A. (2015) Difference between adolescent and collegiate baseball pitchers in the kinematics and kinetics of the lower limbs and trunk during pitching motion. *J. Sports Sci. Med.*, 14(2): 246-255.
- Kageyama, M., Sugiyama, T., Takai, Y., Kanehisa, H., and Maeda, A. (2014) Kinematic and kinetic profiles of the lower limbs during baseball pitching in collegiate baseball pitchers. *J. Sports Sci. Med.*, 13(4): 742-750.
- 蔭山雅洋・鈴木智晴・岩本峰明・中島一・前田明 (2015) ワインドアップポジションとセットポジションからのストレートによる投球のバイオメカニクスの比較: 高校野球投手における投球速度および投球動作中の下肢と体幹に着目して. *体育学研究*, 60(2): 737-757.
- Kanehisa, H., Ikegawa, S., Tsunoda, N., and Fukunaga, T. (1995) Strength and cross-sectional areas of reciprocal muscle groups in the upper arm and thigh during adolescence. *Int. J. Sports Med.*, 16(1): 54-60.
- 金久博昭・角田直也・池川繁樹・福永哲夫 (1989) 相対発育からみた日本人青少年の筋断面積. *人類学雑誌*, 97: 63-70.
- 金子公有 (1988) パワーアップの科学. 朝日書店, pp.125-139.
- 勝亦陽一・金久博昭・川上康雄・福永哲夫 (2008) 野球選手における投球スピードと年齢との関係. *スポーツ科学研究*, 5: 224-234.
- 勝亦陽一・設楽佳世・飯田悠佳子・鳥居俊・高井洋平・平野裕一 (2017) 中学生期におけるトップ野球選手の成熟度. *発育発達研究*, 74: 26-33.
- Kita, T., Yamamoto, M., and Maeda, A. (2014) Relationship between lower extremity motions and release time of base-

- ball infielders while fielding grounders. *Int. J. Sport Health Sci.*, 12: 17-23.
- Kreighbaum, E. and Barthels, K. M. (1985) *Biomechanics: A qualitative approach for studying human movement* (2nd ed). Burgess, pp.585-616.
- 窪康之・阿江通良・藤井範久 (1999) 技術トレーニングによる動作の変化に関するバイオメカニクス的研究～メディシンボールのバック投げにおける力学的エネルギーの流れに着目して～. *バイオメカニクス研究*, 3(3): 170-178.
- 功力功雄 (1991) *アマチュア野球教本 I*. ベースボールマガジン社, p.27.
- MacWilliams, B. A., Choi, T., Perezous, M. K., Chao, E. Y., and McFarland, E. G. (1998) Characteristic ground-reaction force in baseball pitching. *Am. J. Sports Med.*, 26: 66-70.
- 前田正登・平川和文・宮口和義・宮口尚義 (1990) やり投競技者 (男子) のための体力指標. *スポーツ方法学研究*, 3(1): 1-7.
- Matsuo, T., Escamilla R. F., Fleisig, G. S., Barrentine S. W., and Andrews, J. R. (2001) Comparison of kinematic and temporal parameters between different pitch velocity groups. *J. Appl. Biomech.*, 17: 1-13.
- 宮西智久・向井正剛・川口鉄二・関岡康雄 (2000) スピードガンと画像計測によるボールスピードの比較. *仙台大学紀要*, 31: 72-77.
- 宮西智久・櫻井直樹・遠藤壮 (2015a) 発達レベルの異なる野球内野手の送球動作のキネマティクスの比較: 体幹と上肢の動作に着目して. *体育学研究*, 60(1): 53-69.
- 宮西智久・櫻井直樹・遠藤壮 (2015b) 守備位置の異なる野球選手の投球動作のキネマティクスの比較: 体幹と投球腕に着目して. *体育学研究*, 60(2): 551-564.
- 長澤吉則・南雅樹 (2009) 関連分析. 出村慎一監, 佐藤進・山次俊介・長澤吉則編, *健康・スポーツ科学者のための SPSS による統計解析入門*. 杏林書院, pp.62-70.
- Newton, R. and McEvoy, K. (1994) Baseball throwing velocity: A comparison of medicine ball training and weight training. *J. Strength Cond. Res.*, 8: 198-203.
- 桜井伸二 (1992) *投げる科学*. 大修館書店, pp.2-20, 60-104.
- Sayers, S. P., Harackiewicz, D. V., Harman, E. A., Frykman, P. N., and Rosenstein, M. T. (1999) Cross-validation of three jump power equations. *Med Sci., Sports Exerc.*, 31(4): 572-577.
- 島田一志・阿江通良・藤井範久・結城匡啓・川村卓 (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の研究. *バイオメカニクス研究*, 4: 47-60.
- 田内健二・藤田善也・遠藤俊典 (2012) 男子やり投げにおける投てき動作の評価基準. *バイオメカニクス研究*, 16(1): 2-11.
- 豊島進太郎・三浦望慶・池上康男 (1976) 種々の投てき物を投げたときの投動作の分析. 昭和 51 年度日本体育協会スポーツ科学研究報告, 投能力の向上に関する研究, 34-47.
- 角田直也・田中重陽・熊川大介・青山利春・岡田雅次・西山一行 (2003) 筋形態の発育が競技パフォーマンスの向上に及ぼす影響. *国士舘大学体育研究所報*, 22: 79-85.

(2019 年 10 月 23 日受付)
(2020 年 4 月 10 日受理)

Advance Publication by J-STAGE
Published online 2020/4/21