大学野球投手における体幹の伸張-短縮サイクル運動 および動作が投球速度に与える影響

蔭山 雅洋¹⁾ 岩本 峰明¹⁾ 杉山 敬¹⁾
水谷 未来¹⁾ 金久 博昭²⁾ 前田 明²⁾

Masahiro Kageyama¹, Mineaki Iwamoto¹, Takashi Sugiyama¹, Mirai Mizutani¹, Hiroaki Kanehisa² and Akira Maeda²: Effect of stretch-shortening cycle and pitching movements elicited by trunk rotation on ball velocity in university baseball pitchers. Japan J. Phys. Educ. Hlth. Sport Sci. 59: 189-201, June, 2014

Abstract : The present study measured isometric muscular strength and mean power elicited by trunk twisting and trunk rotation during pitching in 28 university baseball pitchers aged 18-22 years. Based on the correlations among these measurements, the purpose of the study was to clarify 1) the influence of ball velocity on isometric muscular strength, trunk power output during the stretch-shortening cycle (SSC) and trunk rotation during pitching and 2) the influence of augmentation which is an index of SSC elicited by trunk rotation on trunk rotation during pitching. We also determined mean power and augmentation during concentric (CT) and SSC rebound (RT) throws of medicine balls weighing 5 kg while twisting the trunk. Augmentation while throwing the medicine ball was positively correlated with ball velocity ($r=0.619$, $p<0.01$), and augmentation of the medicine ball was positively correlated with torso rotation velocity at 18-27% and at 46-75% ($r=0.398-0.542$, $p<0.05$), and trunk twist velocity at 60-66% ($r=0.378-0.395$, $p<0.05$) of the second phase (from stride foot contact to instant release of the ball) during the pitching motion. In addition, pitched ball velocity was positively correlated with the velocities of pelvic rotation at 37-78% ($r=0.378-0.488$, $p<0.05$), torso rotation at 46-87% ($r=0.391-0.711$, $p<0.05$) and trunk twist at 63-83% ($r=0.375-0.499$, $p<0.05$) during the second phase of the pitching motion. These results indicate that pitchers with a larger ball velocity can use SSC movement generated by twisting the trunk, which effectively increases trunk rotation from the first half to middle of the second phase, and they can also increase trunk rotation during the second phase.

Key words : pitching motion, augmentation, power output ability

キーワード : 投球動作, 体幹 SSC 運動の遂行能力, パワー発揮能力

I. 緒 言

「投げる」という動作は、「手に持っている物体に、持っている手によって速度を与えて空中に放す動作である」と定義される(桜井, 1992). 投球動作は、左脚が接地した後、膝の速度が増加

し、次いで腰、肩、肘、手首そしてボールの順に、各部位の速度のピークが時間的にずれながら増加する(豊島ほか, 1976; 桜井, 1992; 阿江・藤井, 2002a), いわゆる運動連鎖(Kreighbaum and Barthels, 1985)によって成り立つ。そのため、最終的に手の速度をどれだけ高くできるかが、投球速度を決定する要因になると考えられ

1) 鹿屋体育大学大学院
〒891-2393 鹿児島県鹿屋市白水町1番地

2) 鹿屋体育大学
〒891-2393 鹿児島県鹿屋市白水町1番地
連絡先 蔭山雅洋

1. Graduate School of Education, National Institute of Fitness and Sports in Kanoya
1 Shiromizu, Kanoya, Kagoshima 891-2393, Japan
2. National Institute of Fitness and Sports in Kanoya
1 Shiromizu, Kanoya, Kagoshima 891-2393, Japan
Corresponding author m127003@sky.nifs-k.ac.jp

る。しかし、投球速度はボールへ伝えられる手関節の関節パワーに起因しているものの、それらの多くは体幹や肩関節の運動によって生み出されるエネルギーの影響を受ける（宮西ほか，1997）。また体幹は、身体セグメントの中で質量や慣性モーメントが大きい（阿江，1996）ことに加え、身体の内なかで筋量の占める比率が高く（Abe et al., 2003），身体運動発現のためのエネルギーの発生源であるとともに、下肢のエネルギーを上肢に伝達する重要な役割をもつ（阿江・藤井，2002a）。したがって、大きい投球速度を獲得するうえで、体幹は重要なはたらきをなすといえる。

投球速度に関わる体幹の役割については、これまでのところメディシンボールサイドスローによる体幹のパワー発揮能力の測定や投球動作中の動作解析を通して検討されてきた。投球動作中の体幹の動作については、加速局面での体幹の回旋動作が投球速度を高めると報告されている（Fleisig et al., 1999; Escamilla et al., 2001; Matsuo et al., 2001; Stodden et al., 2001；高橋ほか，2005）。宮西・櫻井（2009）は、体幹の回旋筋群が踏み出し期後半から加速期においてエキセントリックからコンセントリック収縮となり、典型的な伸張-短縮サイクル（stretch-shortening cycle；以降SSCと呼ぶ）運動となってパワー（仕事）を発揮している可能性を指摘している。これらの先行知見を考慮に入れると、投球速度を大きくするには、ボール加速局面における体幹の回旋動作が重要であり、その動作を高めるうえで体幹SSC運動が重要な役割を担うと考えられる。一方、SSC運動は、伸張反射機構や弾性エネルギーの貯蔵および再利用機構などの神経・筋・腱系の調節機構が有効に働くことで運動初期から大きな力を急激に発揮、あるいは効率のよい運動遂行が可能になることが報告されている（Komi and Bosco, 1978; Komi and Buskirk, 1972; Bosco et al., 1981；高松ほか，1991；図子ほか，1993；Komi, 2000；石井，2009；比留間・尾縣，2010）。例えば、比留間・尾縣（2010）は、中学生と高校生を対象に、膝立ちによるメディシンボールサイドスローを行わせ、反動なしの平均パ

ワー（CT）に対する反動ありの平均パワー（RT）の増加率（Augmentation）を体幹SSC運動における遂行能力の指標として算出し、それが投球速度と正の相関関係を示すと報告している。つまり、体幹捻転による反動動作を用いてパワーを大きくする能力は、投球速度が大きい投手の特徴であるといえる。しかしながら、いくつかの先行研究（桜井ほか，1990; Hirashima et al., 2002；比留間・尾縣，2010）において投球動作中における体幹SSC運動が含まれる可能性について述べられているものの、体幹SSC運動の効果が投球動作中のどの局面で、体幹の回旋動作や捻転動作に影響しているかは不明である。

そこで本研究では、大学野球投手を対象に、等尺性の体幹捻転筋力、体幹捻転パワー、体幹部の動作を測定し、それらの測定値間の相関関係に基づき、1) 体幹の等尺性の最大捻転筋力、体幹SSC運動を利用したパワー発揮能力、体幹部の動作が投球速度に与える影響、ならびに2) 体幹SSC運動の遂行能力の指標となるAugmentationが投球動作中の体幹動作に及ぼす影響を明らかにすることを目的とした。

Ⅱ．方 法

1. 被検者

被検者は、男子大学生野球投手28名（右投手23名および左投手5名，年齢 19.6 ± 0.9 歳，身長 177.3 ± 5.3 cm，体重 73.9 ± 11.2 kg，投手歴 7.8 ± 3.2 年，投球速度 127.5 ± 6.8 km/h）を対象とした。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諾を受けた。被検者には、事前に本研究の目的や測定内容、測定時の危険性について説明し、書面にて実験参加の同意を得た。

2. 投球動作

1) 投球試技の実験手順

測定に先立ち、被検者には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後、簡易マウンド（後述）にて投球練習を行わせた。投球練習

終了後、休息を挟み、被検者の疲労感がないことを確認した後に、被検者には18.44 m 先の的に対して、ストレート10球の全力投球を行わせた。そのなかで、投球速度が最も大きかった試技を分析の対象とした。

2) 実験の概要

実験は、室内にて簡易マウンドを設置し、18.44 m 先の的に投球を行わせた (図1)。簡易マウンドは、フォースプラットフォームを設置で

図1 実験風景

きるように作成した。測定は光学式三次元動作解析システム (Mac3D, Motion Analysis 社製) の12台の専用高速度カメラ Eagle と2台のフォースプラットフォーム (Z15907, Kistler 社製) を使用した。なお簡易マウンドは、設営の都台上、

図2 実験機器的配置

- 1.: 頭頂
- 2.: 頭部前部
- 3.: 頭部後部
- 4. 5.: 耳珠点
- 6. 7.: 肩峰
- 8. 9.: 肘外側
- 10. 11.: 手首内果
- 12. 13.: 手首外果
- 14. 15.: 第三中手指節関節
- 16.: 胸骨上縁
- 17.: 胸骨下縁
- 18.: 右肩甲骨下郭
- 19. 20.: 上前腸骨棘
- 21.: 仙骨
- 22. 23.: 大転子
- 24. 25.: 大腿外側上果
- 26. 27.: 大腿内側上果
- 28.: 外果
- 29.: 内果
- 30. 31.: 踵骨部後部
- 32. 33.: 第三中足骨頭
- 34. 35.: 第五中足骨頭
- 36. 37.: 第五中足骨頭

図3 身体マーカー

実際のマウンドより5.4 cm 高いものとなった。それゆえ、的も5.4 cm 高く設置した。投球速度は、スピードガン (2ZM-1035, 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い投球方向に配置 (宮西ほか, 2000) し、照準を被検者のボールリリース位置に向けて測定を行った。

光学式三次元動作解析システムによる測定 (図2) では、身体部位37点 (図3) に反射マーカー (直径13 mm) を貼付し、撮影速度毎秒500コマ、シャッタースピード毎秒2000コマで身体各部位の三次元座標を計測した。Mac3D のキャリブレーションによるカメラ12台の較正点の実測3次元座標値と算出された3次元座標値の平均誤差は、1.0 mm 以下であった。身体部位37点は、頭部5点 (頭頂, 頭部前部, 頭部後部, 左右の耳珠点), 上肢10点 (左右の肩峰, 肘外側, 手首内果, 手首外果, 第三中手指節関節), 体幹部6点 (胸骨上縁, 胸骨下縁, 右肩甲骨下郭, 左右の上前腸骨棘, 仙骨), 下肢16点 (左右の大転子, 大腿外側上果, 大腿骨内側上果, 外果, 内果, 踵後部, 第三中足骨頭, 第五中足骨頭) とした。身体各部位の三次元座標の解析は三次元分析ソフト (Cortex 1.1.4.368, Motion Analysis 社製) を用いた。また身体各部位の三次元座標は, MATLAB R2010b (The Math Works) を用い, 遮断周波数

13.4 Hz による位相ずれなしの4次の Butterworth 型デジタルフィルタによって平滑化した (Fleisig et al., 1999)。投球動作中の両脚に作用する地面反力は, フォースプラットフォームにより計測し, 専用アンプを介して, サンプリング周波数2000 Hz でパーソナルコンピュータに取り込んだ。本研究では, 踏込脚が接地した瞬間を規定するために, フォースプラットフォームを使用した。なお, 三次元座標と地面反力のデータは, 光学式三次元動作解析システムに付属する A/D ボードを介して同期した。静止座標系は, ピッチャープレートからホームプレートに向かうベクトルを Y 軸, 鉛直方向のベクトルを Z 軸, Y および Z 軸に垂直で三塁方向へ向かうベクトルを X 軸とした。

3) 3次元データの解析方法

図4に, 上胴, 下胴, 捻転の定義について示した。上胴の角度は, 左肩峰 (マーカー番号7) から右肩峰 (マーカー番号6) に向かうベクトルを作成し, 静止座標系の Y 軸に対する角度とした。下胴の角度は, 左上前腸骨棘 (マーカー番号20) から右上前腸骨棘 (マーカー番号19) に向かうベクトルを作成し, 静止座標系の Y 軸に対する角度とした。本研究では, 投球方向に回転した際を正の角度, その逆を負の角度と定義した。体幹の捻転角度は, 下胴角に対する上胴角の差分

図4 体幹の定義

図5 局面分け

(体幹捻転角度 = 上胴角度 - 下胴角度) から算出した。したがって、捻転角度が負の値であれば、下胴に対して上胴が右回旋している状態を示し、正の値であれば左回旋している状態を示す。体幹の角度および角速度の解析は、MATLAB R2010b (The Math Works) を用いた。なお角速度は、体幹の角度を五点微分法によって時間微分することにより算出した (阿江・藤井, 2002b)。

4) 動作の局面分けとデータ処理

本研究では、Fleisig et al. (1999) にならい、投球動作を2つの局面に分けた (図5)。第一局面は、踏込脚の膝関節が最も高く上がった時点 (以下、MHL時) から踏込脚が接地する (以下、SLP時) までとし、第二局面は、SLP時からボールリリース (以下、REL時) までとした。各局面については、要した時間をそれぞれ100%とし、3次のスプライン関数を用いて、上胴角、下胴角、捻転角の角度および角速度を規格化した。そして、規格化したデータは、1%毎に平均値を求めた。

3. 体幹捻転パワーの測定

体幹捻転パワーの測定は、比留間・尾縣 (2010) にならい、メディシンボールを使用したサイドメディシンボールスローにより実施した。本研究では5 kgのメディシンボール (直径27 cm) を使用した^{注)}。サイドメディシンボールスローは、膝立ちの姿勢からSSC運動を利用しない (反動なし) 投動作であるコンセントリック

スロー (concentric throw: CT), SSC運動を利用する (反動あり) 投動作であるリバウンドスロー (rebound throw: RT) の2つの条件で行った。CTでは、ボールを両手で保持し、投げる方向と逆方向に、体幹を最大限捻転させた状態からの投動作を行わせ、RTでは正対させた状態から投げる方向と逆方向に体幹を捻転させ、反動を用いた投動作を行わせた (図6)。試技の前には十分な練習を行わせ、「できるだけ遠くに素早く投げるように」と口頭で指示し、全力での試技を各3回ずつ行わせた。なお、サイドメディシンボールスローは上肢に対する影響を小さくするため、両条件ともに脇を締め、できるだけ上肢に頼らない、体幹の回旋動作と捻転動作を主とした投動作を行わせた。また測定は、検者が被検者の足首を手で押さえ固定した状態で行った。

本研究では、比留間・尾縣 (2010) にならい、動作開始時からリリース時までボールがもつ力学的エネルギーをもとに、体幹が発揮した平均パワーを算出した。測定は、投球動作の計測と同様に、光学式三次元動作解析システムを使用し、メディシンボールの両端に貼付した2点の反射マーカークの三次元座標を計測した。ボールの速度は、ボールの両端に貼付した反射マーカークの中心の三次元座標から算出した。本研究では、動作開始時からリリース時までをコンセントリック局面とし、これを分析局面とした。なお、CTにおける動作開始時は、本来0 m/sの時点としなければならないが、被検者がボール速度を0 m/sに

図6 体幹捻転パワーの測定方法

することは困難であった。それゆえ、本研究では CT 局面開始時を 0.3 m/s になった時点とし、CT ではボールの速度が 0.3 m/s の値になる時点からリリースまでを、RT ではボールの速度が負から正の値に切り替わる時点からリリースまでをそれぞれ分析対象とした。動作開始時およびリリース時におけるボールの力学的エネルギー (E) は式 1 によって算出し、その後平均パワーを式 2 によって算出した。

$$E(\text{J}) = 1/2 mv^2 + mgh \quad \text{式 1}$$

$$\text{Mean power (W)} = \frac{E_2 - E_1}{\text{Time con}} \quad \text{式 2}$$

m はボール重量、 v はボール速度、 g は重力加速度 (9.81 m/s^2)、 h はボールの鉛直位置、 E_1 は動作開始時の力学的エネルギー、 E_2 はリリース時の力学的エネルギー、Time con は分析局面の遂行時間を示す。本研究では平均パワーをすべて算出し、その最大値をそれぞれ採用した。また体幹捻転による SSC 運動の効果を示す指標として、CT の平均パワーに対する RT の CT 局面での平均パワーの増加率（以下、Augmentation）を以下の式 3（比留間・尾縣，2010）によって算出し

た。

$$\text{Augmentation (\%)} = \frac{\text{RT mean power} - \text{CT mean power}}{\text{CT mean power}} \times 100$$

式 3

4. 等尺性最大体幹捻転筋力

等尺性最大体幹捻転筋力は、肩にかけて体幹捻転ができるように作成した筋力測定器（図 7）を利用し、体幹捻転角が約 0° の位置から座位姿勢にて、投球動作と同じ回転方向（投球方向）とその反対方向（非投球方向）から測定した。その際、大腿部は専用のベルトで固定し、上肢は筋力測定器の前にあるハンドルを持たせた。測定したデータは、筋力測定器に取り付けたロードセル（LUR-A-1KNSA1，共和社製）からストレインアンプ（DPM-751A，共和社製）で増幅した後、A/D 変換器（Powerlab16s，ADInstruments 社製）を介してパーソナルコンピュータにサンプリング周波数 100 Hz で取り込んだ。測定は、最大努力による等尺性筋力発揮をそれぞれ 2 回行い、2 回の測定値に大きな隔たり（10%）があっ

図7 等尺性体幹捻転筋力の測定方法

た場合は3回目の計測を行った。全ての試行の中で最大値を等尺性最大体幹捻転筋力とした。なお、本実験では一般男子大学生9名の被検者を対象に、日を変えて2回測定し、測定値に関する妥当性および再現性を検討した。その結果、等尺性最大体幹捻転筋力は 95.5 ± 15.0 Nmであり、Kumar et al. (2001) が報告している成人男子97.5 Nmと類似していた。また2回の測定値間に有意な差はなく、級内相関係数および変動係数は、それぞれ0.907および2.3%であった。このことから、本研究において採用した等尺性最大体幹捻転筋力の測定は、妥当性および再現性があると判断した。

5. 統計処理

基本統計量は平均値±標準偏差(SD)により示した。投球速度(ピッチング時)に関わる測定項目間の関係はピアソンの相関分析により検討した。本研究では、体幹動作と投球速度(ピッチング時)との関係を検討するため、各局面の規格化時間1%ごとに、体幹(上胴、下胴、捻転)の角度および角速度と投球速度との相関係数をそれぞれ算出した。また、体幹動作と体幹SSC運動との関係を検討するため、各局面の規格化時間1%ごとに、体幹の角度および角速度とAugmentationとの相関係数も算出した。本研究では、すべての検定において有意水準を5%未満とした。なお、すべての検定は統計処理ソフトIBM SPSS Statistics 19 (IBM社製)を用いた。

Ⅲ. 結 果

1. 体幹捻転の筋力およびパワーと投球速度(ピッチング時)との関係

表1は、投球速度(ピッチング時)、体幹捻転の筋力、パワーおよび体幹の動作を示したものであり、表2は、等尺性最大体幹捻転筋力、体幹捻転パワーおよび投球速度(ピッチング時)の各変数間の相関係数を示したものである。投球方向の等尺性最大体幹捻転筋力は、非投球方向のそれと有意な正の相関関係($r=0.902$, $p<0.01$)を示した。また体幹捻転パワーでは、CTおよびRTの間に有意な正の相関関係($r=0.840$, $p<0.01$)を示した。等尺性最大体幹捻転筋力および体幹捻転パワーは投球速度と有意な相関関係を示さなかったが、Augmentationは投球速度と有意な正の相関関係($r=0.619$, $p<0.05$)を示した。

2. 体幹の動作と投球速度(ピッチング時)およびAugmentationとの関係

表3は、動作時間、体幹動作、最大値の出現時間の各変数と投球速度(ピッチング時)およびAugmentationとの間の相関係数をそれぞれ示したものである。上胴および下胴の最大角速度は、ともに投球速度と有意な正の相関関係(上胴角速度, $r=0.682$, $p<0.01$; 下胴角速度, $r=0.437$, $p<0.05$)を示した。捻転の角速度における最大値および最小値は、ともに投球速度と有意な相関関係を示さなかった。上胴最大角速度および上胴

と下胴の最大角速度との差は、ともに Augmentation と有意な正の相関関係（上胴最大角速度, $r=0.513$, $p<0.01$ ；上胴と下胴の最大角速度と

表 1 投球速度, 体幹捻転の筋力, パワーおよび体幹動作

項目		
投球速度 (ピッチング時)	km/h	127.5±6.6
等尺性最大体幹捻転筋力		
投球方向	N·m	98.6±21.7
非投球方向	N·m	95.5±23.8
CT	W	218.7±38.6
RT	W	247.2±52.3
Augmentation	%CT	13.0±13.3
動作時間		
第一局面	s	0.91±0.29
第二局面	s	0.17±0.02
合計	s	1.08±0.29
体幹動作		
上胴の最大角速度	deg/s	1255.8±151.7
下胴の最大角速度	deg/s	700.7±87.3
捻転の最大角速度	deg/s	862.9±147.2
捻転の最小角速度	deg/s	-400.6±118.0
上胴と下胴の最大角速度との差	deg/s	555.0±126.5
最大値の出現時間 (第二局面)		
上胴の最大角速度	%	66.5±11.4
下胴の最大角速度	%	37.9±11.0
捻転の最大角速度	%	79.6±4.8

平均値±標準偏差

CT：反動なしによる体幹捻転パワー

RT：反動ありによる体幹捻転パワー

Augmentation：CT に対する RT の増加率

の差, $r=0.451$, $p<0.05$) を示し, 第二局面の動作時間は, Augmentation と有意な負の相関関係 ($r=-0.476$, $p<0.05$) を示した.

図 8 は, 体幹の角度変化およびその角度と投球速度 (ピッチング時) との相関係数の変化を動作局面別に示したものである. 投球速度は, 第二局面の79—100%における上胴角度 ($r=0.373-0.440$, $p<0.05$), 第二局面の92—100%における下胴角度 ($r=0.375-0.392$, $p<0.05$) と有意

表 3 体幹の動作と投球速度および Augmentation との関係

	相関係数	
	vs. 投球速度 (ピッチング時)	vs. Augmentation
動作時間		
第一局面	0.014	-0.111
第二局面	-0.166	-0.299
合計	0.006	-0.125
体幹動作		
上胴の最大角速度	0.682**	0.513**
下胴の最大角速度	0.437*	0.258
捻転の最大角速度	0.371	0.312
捻転の最小角速度	-0.382	-0.138
上胴と下胴の最大角速度との差	0.530**	0.451*
最大値の出現時間 (第二局面)		
上胴の最大角速度	0.111	-0.020
下胴の最大角速度	0.252	0.213
捻転の最大角速度	-0.219	-0.476*

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

表 2 体幹の等尺性体幹捻転筋力, パワーおよび投球速度との関係

	①	②	③	④	⑤
①投球速度 (ピッチング時)					
②等尺性最大体幹捻転筋力 (投球方向)	0.053				
③等尺性最大体幹捻転筋力 (非投球方向)	0.061	0.902**			
④ CT	0.024	0.324	0.261		
⑤ RT	0.342	0.337	0.263	0.840*	
⑥ Augmentation	0.619**	0.088	0.057	0.003	0.543**

CT：反動なしによる体幹捻転パワー

RT：反動ありによる体幹捻転パワー

Augmentation：CT に対する RT の増加率

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

図 8 体幹の角度と投球速度 (ピッチング時) との関係

図 9 体幹の角速度と投球速度 (ピッチング時) および Augmentation との関係

な正の相関関係を示した。

図9は、体幹の角速度変化およびその角速度と、投球速度（ピッチング時）および Augmentation との相関係数の変化をそれぞれ動作局面別に示したものである。投球速度は、第二局面の46—87%における上胴角速度 ($r=0.391-0.711$, $p<0.05$)、第二局面の37—78%における下胴角速度 ($r=0.378-0.488$, $p<0.05$)、および第二局面の63—83%における捻転角速度 ($r=0.375-0.499$, $p<0.05$) と有意な正の相関関係を示した。体幹の角速度と Augmentation との関係について、Augmentation は、第二局面の18—27%および46—75%における上胴の角速度 ($r=0.398-0.542$, $p<0.05$)、第二局面の60—66%における捻転の角速度 ($r=0.378-0.395$, $p<0.05$) と有意な正の相関関係を示した。

Ⅳ. 考 察

1. 体幹捻転による等尺性最大筋力およびパワーと投球速度（ピッチング時）との関係

投球方向および非投球方向における等尺性最大体幹捻転筋力および CT, RT による体幹捻転パワーは、投球速度（ピッチング時）との間に有意な相関関係を示さなかった（表2）。体幹は、身体セグメントの中で質量や慣性モーメントが大きく（阿江, 1996）、筋量の占める割合が高い（Abe et al., 2003）ため、身体運動におけるエネルギーの発生源であるとともに、下肢のエネルギーを上肢に伝達する役割をもつ（阿江・藤井, 2002a）。体幹捻転によるパワーと投球速度との関係については、これまでに中学生や高校生の野球選手を対象に検討されており、両者には有意な相関関係が認められている（比留間・尾縣, 2010）。一方、角田ほか（2002）は、投球速度に対し、思春期中では筋量を示す除脂肪体重の大小が反映されるが、思春期後では筋形態よりも技術的な要因が関与していると報告している。これらの知見と本研究の結果を考え合わせると、体幹の捻転筋力やパワーは、中学生や高校生といった思

春期の野球選手においては投球速度に反映されるが、思春期以降では投球速度に対する影響が小さいと考えられる。つまり、体幹の捻転筋力やパワーの増加は、中学生や高校生の野球選手の場合には、投球速度を増大させるための重要な要素であると考えられるが、思春期以降の大学野球投手といった競技レベルが高い選手においては、トレーニング経験により体幹の捻転筋力やパワーが備わっている選手が多いと考えられ、投球速度の向上には動作といった技術的要因の比重が大きくなると考えられる。

2. 体幹捻転 SSC 運動と投球速度（ピッチング時）との関係

Augmentation は、投球速度（ピッチング時）と有意な正の相関関係を示した（表2）。比留間・尾縣（2010）は、体幹 SSC 運動を利用したパワー発揮特性の指標として求めた Augmentation が大きいことが、投球速度を増大させるうえで重要であると報告しており、本研究の結果はそれを支持するものといえる。

SSC 運動については、動作開始時から大きな力が急激に発揮することで、運動効率のよい運動遂行が可能になること（Bosco et al., 1981; Komi and Bosco, 1978; Komi and Buskirk, 1972; 高松ほか, 1991; 図子ほか, 1993; Komi, 2000; 石井, 2009; 比留間・尾縣, 2010）が報告されている。体幹部の捻転動作における SSC 運動について、石井（2009）は、体幹捻転による反動ありの動作では、反動なしの動作に比べ、早い段階から体幹部の捻転角速度と骨盤の角速度が増加することで、体幹部の SSC 運動の効率を高めていると報告している。これらのことより、体幹捻転による反動動作は、動作開始時から短時間に大きな力発揮を可能にし、早い段階から体幹の角速度を大きくしていると推察される。つまり、体幹捻転 SSC 運動の効果の指標となる Augmentation が大きい者は、予備動作を行うことで体幹の最大角速度を増大させる能力に優れており、それが投球速度を増大させるうえで有効に作用していると考えられる。

3. 体幹捻転 SSC 運動と動作との関係

本研究の結果において、体幹捻転 SSC 運動の効果の指標となる Augmentation は投球速度と関連を持つことが示唆された。そこで以下に体幹捻転 SSC 運動と投球動作との関係について考察する。

上胴の最大角速度および上胴と下胴の最大角速度との差は、ともに Augmentation と有意な正の相関関係を示した (表 3)。宮西・櫻井 (2009) は、体幹捻転 SSC 効果を示す指標として投球動作中の上胴と下胴の最大角速度の差を導入し、この差が大きければ体幹捻転の SSC 運動の効果も大きい可能性を述べており、本研究の結果はそれを支持するものといえる。つまり、体幹捻転による SSC 運動の効果が大きい者は、上胴の最大角速度を増大させる能力に優れていると考えられる。

投球動作の第二局面の18-27%および46-75%における上胴の角速度、第二局面の60-66%における捻転の角速度は、Augmentation と有意な正の相関関係を示した (図 9)。投球動作は第一局面後半から下胴を投球方向へと回転させることにより上胴の回転を遅らせ、その結果として、体幹は第二局面の前半まで投球方向とは逆向きに捻られた状態となる (図 8)。宮西・櫻井 (2009) は、体幹の回旋筋群が踏み出し期 (本研究の第一局面) 後半から加速期中盤においてエキセントリックからコンセントリック収縮となり、典型的な SSC 運動となってパワー (仕事) を発揮している可能性を指摘している。また島田ほか (2000) は、前期コッキング前半 (本研究の第二局面前半) に、体幹の回旋筋群が、エキセントリックな収縮により大きなトルクやトルクパワーを発揮し、体幹を後捻り (本研究の負の方向) から前捻り (本研究の正の方向) に切り替え、上胴の Z 軸まわりの角速度を増加させる役割を果たしているとして述べている。これらのことより、第一局面後半から第二局面中盤にかけては、体幹の回旋筋群がエキセントリックからコンセントリックの収縮に切り替わる局面であり、体幹を後ろ捻りから前捻りに切り替える動作が重要であると考えられる。つまり、投球動作における第一局面後半から第二局面中盤

にかけては、体幹の回旋筋群が投球方向とは逆向きに捻られた状態、いわゆるエキセントリック収縮になっているため、体幹捻転による SSC 運動の効果は、エキセントリックからコンセントリックの収縮に切り替わる第二局面の前半の上胴角速度の急激な立ち上がりを大きくし、第二局面の中盤では上胴角速度と捻転角速度を増大させていると考えられる。

第二局面の46-87%における上胴角速度、第二局面の37-78%における下胴角速度、および第二局面の63-83%における捻転角速度は、投球速度 (ピッチング時) と有意な正の相関関係を示した (図 9)。野球の投球動作では、左脚が接地した後、膝の速度が増加し、次いで腰、肩、肘、手首そしてボールというように、各部位の速度のピークが時間的にずれながら増加すること (Kreighbaum and Barthels, 1985) が報告されている (豊島ほか, 1976; 桜井, 1992; 阿江・藤井, 2002a)。また Toyoshima et al. (1974) は、通常のステップを用いた投動作では投球速度の約 50% にステップと身体の回転が貢献していると指摘しており、さらに宮西 (2004) は、体幹は投球腕各部の力学的エネルギーの増大のために重要な“エネルギー発生・伝達器”となっていることを述べている。そのため、体幹は下肢から生まれたエネルギーを上肢へと伝えるエネルギー発生器であるとともに、投球腕へのエネルギー伝達器として、重要なはたらきをしているといえる。そして投球速度を増大させる動作については、ボール加速局面での体幹の回旋動作 (Fleisig et al., 1999; Escamilla et al., 2001; Matsuo et al., 2001; Stodden et al., 2001; 高橋ほか, 2005, 島田ほか, 2000) や捻転動作 (宮西・櫻井, 2009) の重要性が指摘されている。これらのことから、投球動作中のボール加速局面における体幹の回旋動作や捻転動作は投球速度を大きくするうえで重要であり、特に第二局面の中盤から後半にかけて下胴、上胴および捻転の角速度を増大させることが重要であると考えられる。また体幹の SSC 運動と動作の関連性を踏まえると、体幹の SSC 運動は、第一局面後半から第二局面中盤において働いてい

ると考えられるため、第二局面中盤から後半における体幹の回旋動作や捻転動作を増大させるための予備動作と上胴の最大角速度を増大させる役割を果たしていると考えられる。つまり、投球速度が大きい投手は、体幹の SSC 運動を利用することで、ボール加速局面の体幹の最大角速度を増大させていると考えられる。

V. ま と め

本研究では、大学野球投手を対象に、等尺性の体幹捻転筋力、体幹捻転パワー、体幹部の動作を測定し、それらの測定値間の相関関係に基づき、1) 体幹の等尺性の最大捻転筋力、体幹 SSC 運動を利用するのパワー発揮能力、体幹部の動作が投球速度に与える影響、および 2) 体幹 SSC 運動の遂行能力の指標となる Augmentation が投球動作中の体幹動作に及ぼす影響を明らかにすることを目的とした。本研究における主な結果は、以下の通りである。

1) Augmentation は、投球速度（ピッチング時）と有意な正の相関関係にあること、2) Augmentation は、第二局面の 18—27% および 46—75% における上胴角速度、第二局面の 60—66% における捻転角速度と正の相関関係を示すこと、および 3) 投球速度（ピッチング時）は、第二局面の 46—87% における上胴角速度、第二局面の 37—78% における下胴角速度、および第二局面の 63—83% における捻転角速度と正の相関関係を示すことなどが明らかとなった。これらの結果は、1) 投球速度が大きい投手は体幹捻転による SSC 運動を利用する特徴があり、2) 第二局面の前半から中盤において、体幹捻転の SSC 運動を利用することで、3) 第二局面の体幹の角速度を増大させることを示唆するものといえる。換言すれば、投球速度が大きい投手は、第二局面の前半から中盤にかけて体幹捻転の SSC 運動の効果を高めており、体幹捻転の SSC 運動の効果は、第二局面の下胴や上胴、捻転の角速度を増大させるための予備動作と上胴の最大角速度を増大させる役割を果たしていると考えられる。

注 記

注) 比留間・尾縣 (2010) は、中学生および高校生の野球選手を対象に、1 kg のメディシンボールを使用し、体幹捻転パワーと投球速度（ピッチング時）との関連性を検討している。しかし、著者らは事前に、本研究の被検者 28 名のうち 15 名（年齢 19.4 ± 0.9 歳、身長 177.7 ± 5.9 cm、体重 72.9 ± 10.2 kg、投手歴 8.9 ± 2.4 年、投球速度 126.5 ± 4.5 km/h）を対象に異なる重量（1 kg, 3 kg, 5 kg）を用いて、投球速度（ピッチング時）と体幹捻転パワーとの関連性を検討した。その結果、投球速度と体幹捻転パワー（CT, RT）との相関係数は重量が大きくなるにつれて高くなり、CT は投球速度と有意な相関関係を示さなかった（3 kg, $r = 0.359$; 5 kg, $r = 0.503$ ）ものの、RT は投球速度と有意な相関関係を示した（3 kg, $r = 0.549$, $p < 0.05$; 5 kg, $r = 0.653$, $p < 0.01$ ）。また立位姿勢から異なる重量のサイドメディシンボールを行わせた Ikeda et al. (2007) の研究では、メディシンボールの重量（2 kg, 4 kg, 6 kg）が大きくなるにつれて体幹捻転筋力への影響が大きくなると報告している。以上のことより、大学生において、5 kg のメディシンボールを用いて測定することは 1 kg よりも投球速度と体幹捻転パワーとの関連性をもつことから、本研究では 5 kg のメディシンボール（直径 27 cm）を使用した。

文 献

- Abe, T., Kearns, C.T., and Fukunaga, T. (2003) Sex differences in whole body skeletal muscle mass measured by magnetic resonance imaging and its distribution in young Japanese adults. *Br J. Sports Med.*, 7 (5): 436-440.
- 阿江通良・藤井範久 (2002a) スポーツバイオメカニクス 20 講。朝倉書店：東京，pp. 13-14.
- 阿江通良・藤井範久 (2002b) スポーツバイオメカニクス 20 講。朝倉書店：東京，pp. 165-166.
- 阿江通良 (1996) 日本人幼少年およびアスリートの身体部分慣性係数。 *J. J. Sports. Science*, 15: 155-162.
- Bosco, C., Komi, P.V., and Ito, A. (1981) Prestretch potentiation of human skeletal muscle during ballistic movement. *Acta Physiol Scand.*, 111 (2): 135-140.
- Escamilla, R., Fleisig, G., Zheng, N., Barrentine, S., and Andrews, J. (2001) Kinematic comparisons of 1996 Olympic baseball pitchers. *J. Sports Sci.*, 19 (9): 665-676.

- 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.
- Hirashima, M., Kadota, H., Sakurai, S., Kudo, K., and Ohtsuki, T. (2002) Sequential muscle activity and its functional role in the upper extremity and trunk during overarm throwing. *J. Sports Sci.*, 20(4): 301-310.
- 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.
- 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.
- 石井泰光 (2009) 体幹部の捻転動作における Stretch-Shortening Cycle 運動. *バイオメカニクス研究*, 13(3): 142-148.
- Komi, P.V. and Buskirk, E.R. (1972) Effect of eccentric and concentric muscle conditioning on tension and electrical activity of human muscle. *Ergonomics.*, 15(4): 417-434.
- Komi, P.V. and Bosco, C. (1978) Utilization of stored elastic energy in leg extensor muscles by men and women. *Med. Sci. Sports.*, 10(4): 261-265.
- Komi, P.V. (2000) Stretch-shortening cycle: a powerful model to study normal and fatigued muscle. *J. Biomech.*, 33(10): 1197-1206.
- Kreighbaum, E. and Barthels, K.M. (1985) *Biomechanics: A qualitative approach for studying human movement* 2nd ed. Burgess: Minneapolis, pp. 585-616.
- Kumar, S., Narayan, Y., and Garand, D. (2001) Isometric axial rotation of the trunk in the neutral posture. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 86(1): 53-61.
- 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・藤井範久・阿江通良・功力靖雄・岡田守彦 (1997) 野球の投球動作における体幹および投球腕の力学的エネルギー・フローに関する 3 次元解析, *体力科学*, 46(1): 55-68.
- 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 (2004) 投動作. 金子公有・福永哲夫編, *バイオメカニクス身体運動の科学的基礎*. 杏林書院: 東京, pp. 263-281.
- 宮西智久・櫻井直樹 (2009) 野球の投・打動作の体幹捻転研究—SSC 理論に着目して—. *バイオメカニクス研究*, 13: 149-169.
- 桜井伸二・池上康男・矢部京之助・岡本 敦・豊島進太郎 (1990) 野球の投手の投動作の 3 次元動作解析. *体育学研究*, 36: 143-156.
- 桜井伸二 (1992) 投げる科学. 大修館書店: 東京, pp. 2-20, 60-104.
- 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.
- Stodden, D., Fleisig, G., McLean, S., Lyman, S., and Andrews, J. (2001) Relationship of pelvis and upper torso kinematics to pitched baseball velocity. *J. Appl. Biomech.*, 17: 164-172.
- 高橋佳三・阿江通良・藤井範久・川村卓・小池関也・島田一志 (2005) 球速の異なる野球投手の動作のキネマティクスの比較. *バイオメカニクス研究*, 9: 36-53.
- 高松 薫・会田 宏・図子浩二 (1991) Isometric および eccentric な予備緊張が肘屈曲速度に及ぼす影響: Concentric な収縮中の負荷重量および動作範囲に着目して. *体育学研究*, 36(2): 127-139.
- 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, No. 1 投能力の向上に関する研究, 34-47.
- Toyoshima, S., Hoshikawa, T., Miyashita, M., and Oguri, T. (1974) Contribution of the body parts to throwing performance. *Biomechanics VI*. University Park press: Baltimore, 169-174.
- 角田直也・田中重陽・熊川大介・青山利春・岡田雅次・西山一行 (2002) 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.
- 図子浩二・高松 薫・古藤高良 (1993) 各種スポーツ選手における下肢の筋力およびパワー発揮に関する特性. *体育学研究*, 38: 265-278.

(平成25年3月6日受付)
(平成26年2月25日受理)