

ジュニア女子ソフトボール投手における
ウィンドミル投法中の重心速度と跳躍能力との関係

綿谷貴志¹⁾、本山清喬²⁾

Relationship between velocity of center of gravity and jumping ability
in the windmill pitching of junior girl softball pitchers
WATAYA Takashi¹⁾, MOTOYAMA Kiyotaka²⁾

Abstract

Previous studies on softball pitchers have suggested that the velocity of center of gravity during windmill pitching may affect pitching speeds. Strongly kicking the ground upon pitching is necessary to increase the velocity of center of gravity; therefore, the velocity of center of gravity is likely to be related to the muscle strength/power in the lower limbs. In this study, we aimed to examine the relationship between the muscle strength/power in the lower limbs of softball pitchers and the velocity of center of gravity during pitching.

The subjects were 17 women's softball pitchers who were specialized in windmill pitching (age, 15.6 ± 1.4 ; height, 1.60 ± 0.05 m; weight, 55.8 ± 4.9 kg; all right-handed). We analyzed the throwing motion of each subject biomechanically and calculated the velocity of center of gravity during pitching.

Measurements of various jumping abilities are among the simple methods to evaluate the abilities of the muscle strength/power in the lower limbs. In this study, we measured the heights/lengths of Counter Movement Jump, Squat Jump, Rebound jump, Standing Long Jump, and Standing Five-Step jump. Then, we analyzed the correlation between the velocity of center of gravity during pitching and the measurements of jumping abilities.

Results indicated that there was a strong correlation between the velocity of center of gravity during windmill pitching and various jumping abilities.

Key words : softball, the windmill pitching, the velocity of center of gravity, the jumping ability

キーワード：ソフトボール、ウィンドミル投法、重心速度、跳躍能力

1) 八戸学院大学健康医療学部

〒031-8588 青森県八戸市美保野 13-98

2) 九州産業大学健康・スポーツ科学センター

〒813-0004 福岡県福岡市東区松香台 2 丁目 3 - 1

1. 緒言

ウィンドミル投法はソフトボール投手の主流な投法である。投球腕を一回転させることが最大の特徴であり、それによって遠心力をボールに伝えられることと、地面を蹴ることによる推進力によってボールに勢いを効果的に伝えることができる（福島・小嶋，2000；奥野，2011；山本ほか，1981）。投球中に地面を蹴って前方へ身体を運ぶことをステップ動作といい、この動作の重要性は多くのソフトボールの指導書で述べられている（田中，2001；宇津木，2007）。このステップ動作に関連するものとして、2012年に投球動作に関する競技規則が改正された。改正後は、投手板を蹴った後にその勢いで前方へジャンプしても不正投球は適用されないことになり（2016 競技規則 6-3 項の 7，2019 年 3 月時点で改訂なし）、最近では投球中の前方への勢いや体重移動の仕方を改めて重要視する指導者もみられるようになってきた（保坂，2018；小川・高橋，2018，p.15）。

先行研究では、ステップ時の軸脚（右投手であれば投手板を蹴る右脚）によるキック動作の重要性が示唆されている。奥野ほか（1991）は、技術段階が異なる 8 名の投手の動作分析を行った。その結果、投球速度が大きかった投手は前方への重心速度が大きく、腓腹筋と大腿直筋に強い放電がみられたことから、投球中に軸脚のキックを強く行う重要性を示唆している。近年では、綿谷（2016，p.433）が、高校女子ソフトボール投手 16 名の投球動作をバイオメカニクスの的に分析し、投球中の重心速度と投球速度との間に有意な相関関係があることを統計的に明らかにした。その後、綿谷（2017，p.163）は、投球中の重心速度が大きな投手の特徴として、キック中は重心を低く保ちながら股関節伸展速度を高めていたことを明らかにし、股関節筋群をはじめとする下肢筋群の筋力・パワー発揮能力が投球中の重心速度に影響を及ぼす可能性を示唆している。これら先行研究の結果は、ソフトボール投手の下肢筋力・パワー発揮能力が投球中の重心速度に影響を及ぼす可能性を示すものであると捉えることができる。しかし、ソフトボール投手の下肢筋力・パワー発揮能力と投球中の重心速度との関係性を検討したものは見当たらない。

下肢筋力・パワーの発揮能力を評価する簡便な方法として、各種跳躍種目の測定がある。代表的なものに、手を腰に当てて上肢の動きを制限し、下肢の反動のみを用いたカウンタームーブメントジャンプ（Counter Movement Jump，以下 CMJ）があり、CMJ の跳躍高は下肢のパワー発揮能力の指標として多くの種目で用いられている。また、膝関節角度を 90 度程度に曲げたまま手を腰に当てて下肢の反動動作を制限したスクワットジャンプ（Squat Jump，以下 SJ）の跳躍高を測定することにより、下肢筋群の短縮性収縮による筋力の強さを評価することが可能である（小野ほか，2015）。その他には、下肢筋群による Stretch-Shortening Cycle（以下 SSC）の遂行能力、すなわち短時間で大きなパワーを発揮する能力の指標として用いるリバウンドジャンプ指数（Rebound Jump Index，以下 RJ-index）がある。RJ-index

は、マットスイッチ上で5回程度のジャンプ動作を連続的に行わせ、測定された接地時間と滞空時間から算出されるものであり、様々なスポーツのパフォーマンスとの関係性が報告されている（有賀ほか，2018；図子・高松，1995）。これらのように、跳躍の種類によって評価できる要素は異なっており、様々な跳躍種目の記録を測定することにより、対象者の下肢筋力・発揮パワーの特性を詳細に把握できる可能性がある。それによって得られた結果と、投球中の重心速度との関係性を詳細に検討することによって、投球中の重心速度向上にとって必要な要素を抽出することができ、ソフトボール投手のトレーニング指導をするうえでの有益な知見を得られる可能性がある。

以上より、本研究の目的は、重心速度に関する項目と各種跳躍能力との相関分析を行い、ソフトボール投手の投球中の重心速度と下肢筋力・パワーの発揮能力との関係性を明らかにすることであった。

2. 方法

2.1 被験者

被験者は、ウィンドミル投法を専門とするジュニア女子ソフトボール投手17名とした。その内訳は中学生7名と高校生10名であり、全員が右投げであった。中学生の身体的特徴の平均値±標準偏差は年齢 13.9 ± 0.3 歳、身長 1.57 ± 0.06 m、体重 52.4 ± 4.4 kg、競技歴 4.4 ± 0.5 年であった。高校生の身体的特徴の平均値±標準偏差は年齢 16.7 ± 0.3 歳、身長 1.61 ± 0.04 m、体重 58.1 ± 3.4 kg、競技歴 7.5 ± 0.5 年であった。被験者全員が未成年であることから、各被験者の指導者および保護者に対して、得られたデータは全て統計的に処理し個人が特定されないようにすること、研究目的以外には使用しないこと、研究成果の発表があることなどを文書にて説明し、実験参加への承諾を得た。また、各被験者には口頭にて実験の内容と危険性、実験はいつでも中断できることを十分に説明し、実験当日の投球腕に関する障害の有無も確認した。

2.2 撮影・計測方法

投球板からホームベースまでの距離は公式ルールに準じ、中学生の投球時には12.19m、高校生の投球時には13.11mに設定した。較正マークは投手板の後方0.5mに2ヶ所、前方2.5m地点に2ヶ所（較正マーク幅3.0m）の計4ヶ所に、投手板を長方形で囲むよう地面に設置した。投手側方（三塁方向）にハイスピードカメラ（Panasonic社製、DMC-FZ300、撮影速度240fps）を設置し、較正マーク4点と被験者の全身が映りこむように画角を調整した後、各被験者の投球動作を固定撮影した。また、キャッチャー後方には三脚で固定したスピードガン（MIZUNO社製、2ZM-1035）を設置し、各試技の投球速度を計測した。

2.3 試技

試技は先行研究を参考にし、ウィンドミル投法によるストレート5球とし、その中で投球速度が最大値の試技を分析対象とした(綿谷, 2016, p.431)。全ての試技で公式ソフトボール3号球を使用し、試合を想定して全力で行うように口頭で指示をした。なお、被験者には試技前に各自で十分なウォーミングアップを行ってもらった。投球の際は、キャッチャーにはストライクゾーン中央に構えてもらい、ストライクゾーンから明らかに外れた場合には無効試技とし、分析対象からは除外した。

2.4 分析方法

分析対象となった動画をパーソナルコンピュータに取り込み、投球中の被験者の身体各部分23点と較正マーク4点をデジタイズした。デジタイズ作業にはMicrosoft Excel2016(Microsoft社製)内のプログラミング言語であるVBA(Visual Basic for Applications)を使用して作成した動作分析ソフトを用いた。その後、較正マークの座標値を利用して4点実長換算法によって身体各部分の座標値を実長換算化した。得られた身体各部分の二次元座標値をButterworth digital filter(ウィンター, 2011, pp.65-76)によって遮断周波数6Hzで平滑化した。その後、身体を14部分からなるリンクセグメントにモデル化し、阿江(1996)の身体部分慣性係数を用いて身体重心の座標値を求めた。その際、ボールの質量はないものとして座標値を算出している。

2.5 分析項目

(1) 重心速度に関する項目

図1は、本研究で用いた投球動作の局面の定義である。踏込脚離地時(キック局面0%)、キック中間時(キック局面50%)、軸脚離地時(キック局面100%)、踏み出し中間時(踏み出し局面50%)、踏込脚接地時(リリース局面0%)、リリース中間時(リリース局面50%)、リリース時(リリース局面100%)を各時点とし、踏込脚離地時から軸脚離地時までをキック局面、軸脚離地時から踏込脚接地時までを踏み出し局面、踏込脚接地時からリリース時までをリリース局面と定義した。各被験者の水平方向への重心変位を時間微分することで重心速度の時系列変化を求め、そこから投球中の重心速度最大値を抽出した。また、リリース時の重心速度と踏込脚接地時の重心速度との差を重心速度減少量とした。各局面の重心速度をその局面に要した時間を100%として規格化し、1%ごとの被験者17名分の平均値を算出した。

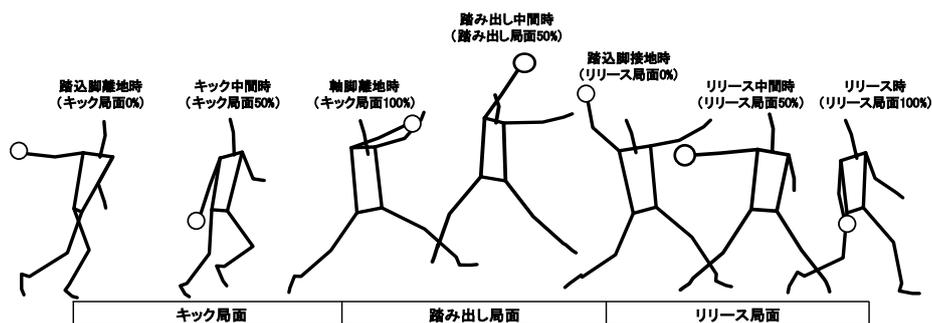


図1 局面の定義

(2) 跳躍能力に関する項目

各被験者の跳躍能力の指標として、CMJの跳躍高、SJの跳躍高、RJ-index、立幅跳(Standing Long Jump, 以下SLJ)の跳躍距離、立五段跳(Standing Five-step Jump, 以下SFJ)の跳躍距離を用いた。それぞれの詳細な撮影および測定の方法を以下に述べる。

・CMJの跳躍高

CMJは手を腰に当てて上肢の動きを制限し、反動を用いて垂直に跳躍を行う。その際の動作をハイスピードカメラ(Panasonic社製, DMC-FZ300, 撮影速度240fps)で撮影した。その後、足部の離地および接地の瞬間から滞空時間を計算し、跳躍高を算出した。試技は2回実施し、最大値を結果として採用した。

・SJの跳躍高

SJは膝の角度が直角になる姿勢で静止し、反動を利用しないという教示のもと跳躍を行った。その際の跳躍高はCMJと同様に算出した。試技は2回実施し、最大値を結果として採用した。

・RJ-index

RJはできるだけ高く跳ぶこと、できるだけ短い時間で接地して跳ぶという教示のもと6回の連続ジャンプを行った。その際の、5回の接地時間と跳躍高をCMJと同様に求めた後、跳躍高を接地時間で除すことによりRJ-indexを算出した。5回のうちの最大値を結果として採用した。

・SLJの跳躍距離

SLJは静止状態から、腕の振り込みを伴い、反動を用いて前方へ跳躍した。その際の、跳躍前のつま先の位置から跳躍後のかかとの位置までの距離をメジャーを用いて記録した。なお、SLJは2回実施し、最大値を結果として採用した。

・SFJの跳躍距離

ウィンドミル投法中の重心速度と跳躍能力との関係

SFJ は静止状態から、前方への 5 回連続の跳躍であり、左右の接地は交互に行う。跳躍前の両脚を揃えた状態を 0 歩目とし、次の接地を 1 歩目として、0 歩目のつま先の位置と 5 歩目のかかとの位置をメジャーを用いて計測した。試技は 2 回実施し、最大値を結果として採用した。

2.6 統計処理

投球中の重心速度最大値と投球速度との関係、重心速度最大値と各種跳躍能力との関係、重心速度減少量と各種跳躍能力との関係を検討するために、Pearson の積率相関係数を用いて相関分析を行った。さらに踏込脚離地時、キック中間時、軸脚離地時、踏み出し中間時、踏込脚接地時、リリース中間時、リリース時それぞれで重心速度と各種跳躍能力の関係を相関分析にて検討した。すべての統計処理は Microsoft Excel 2016 (Microsoft 社製) で行い、有意水準は危険率 5%未満を有意、10%未満を有意傾向とした。

3. 結果

図 2 は、投球中の重心速度最大値と投球速度との関係性を示したものである。先行研究では双方の間に有意な相関関係が認められていたが、本研究では認められなかった。

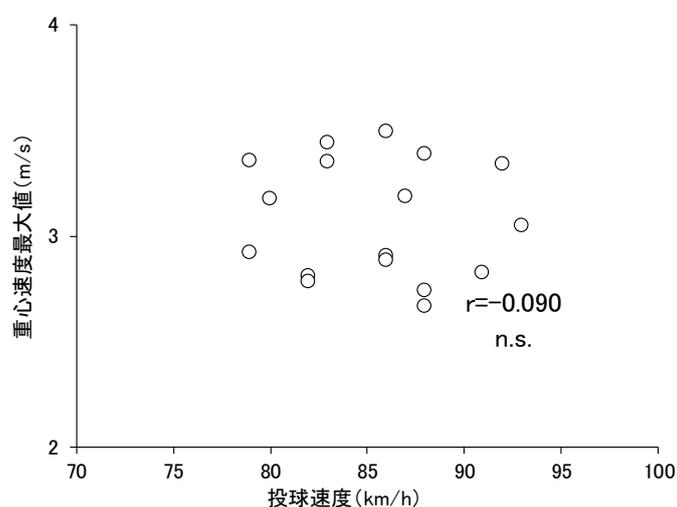


図 2 重心速度最大値と投球速度との関係

図 3 は、投球中の重心速度最大値と各種跳躍能力の測定結果との関係性を示したものである。CMJ 跳躍高、SJ 跳躍高、SLJ 跳躍距離と重心速度最大値との間に有意な相関関係が認められた ($r=0.551$, $r=0.587$, $r=0.506$, すべて $p<0.05$)。また、RJ-index および SFJ 跳躍距離と重心速度最大値との間には

ウィンドミル投法中の重心速度と跳躍能力との関係

有意傾向の正の相関関係がみられた ($r=0.449$, $r=0.452$, ともに $p<0.10$). なお, 被験者の対象試技における投球速度は 79km/h から 93km/h の範囲であり, 被験者 17 名の平均値は $85.5\pm 4.2\text{km/h}$ であった.

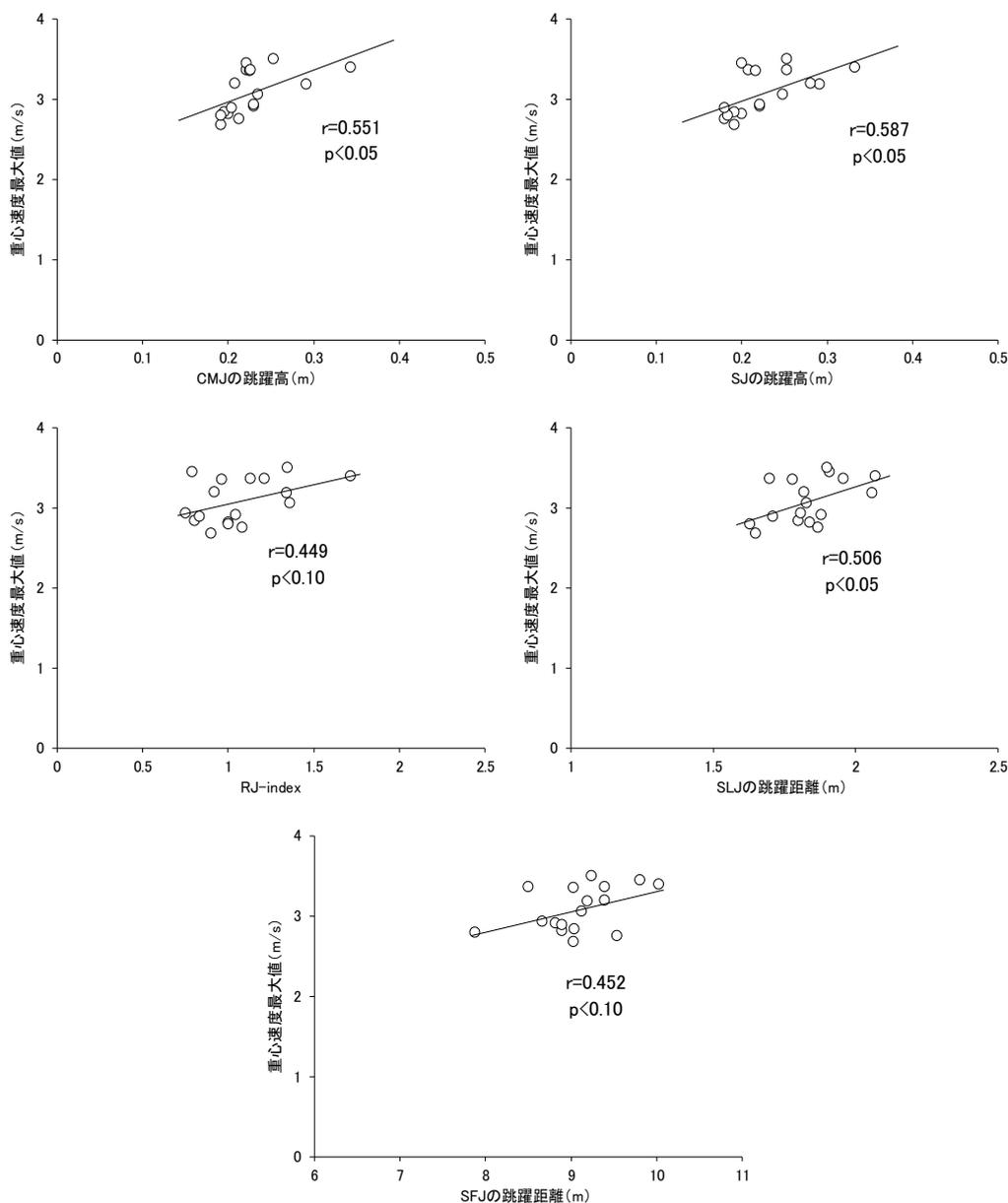


図3 投球中の重心速度最大値と各種跳躍能力との関係

図4は, 重心速度減少量と各跳躍能力の測定結果との関係性を示したものである. 重心速度減少量とSJ跳躍高との間に有意な正の相関関係 ($r=0.511$, $p<0.05$), CMJ跳躍高とRJ-indexとの間に有意傾向の正の相関関係がみられた ($r=0.465$, $r=0.416$, ともに $p<0.10$).

ウィンドミル投法中の重心速度と跳躍能力との関係

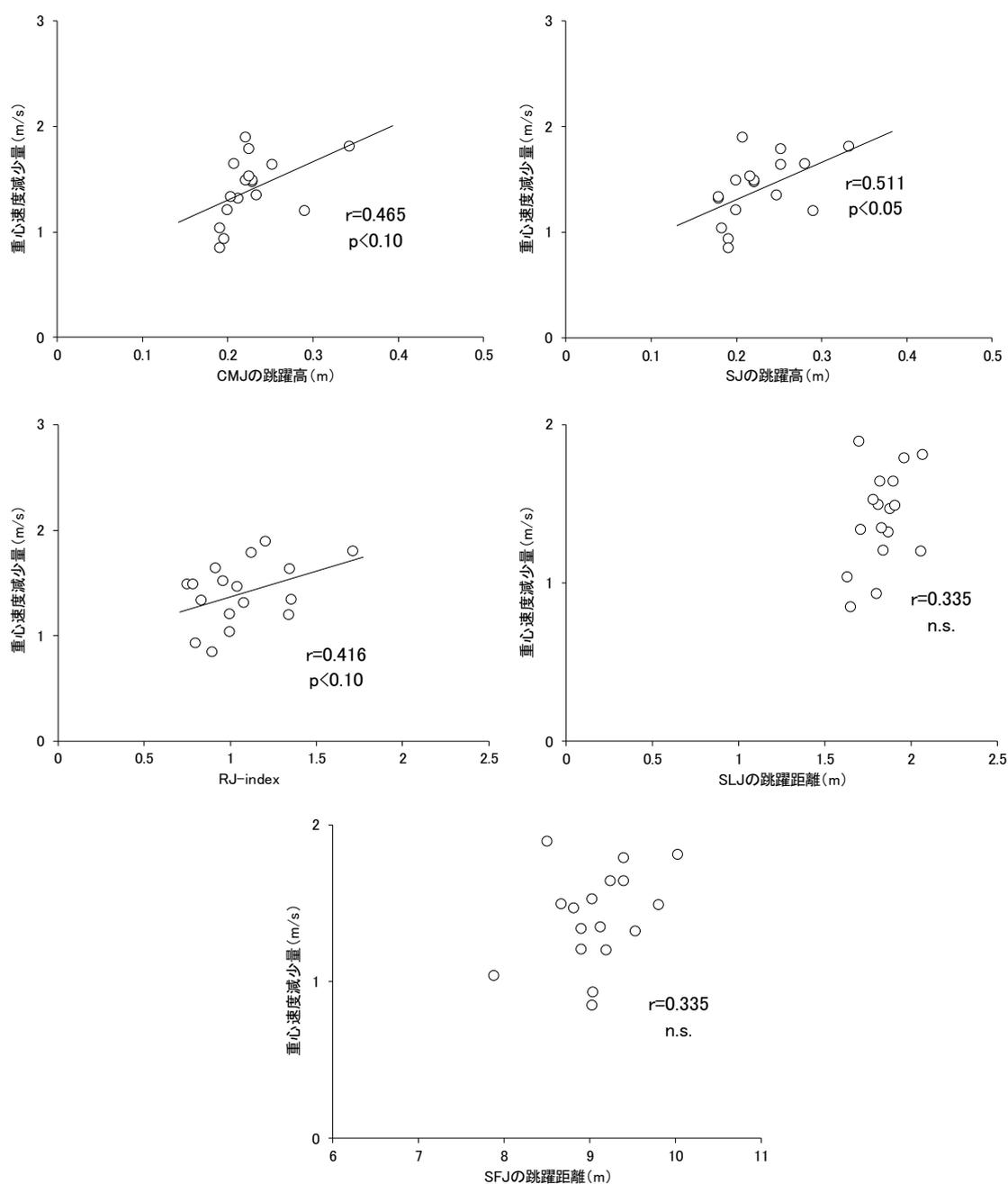


図4 投球中の重心速度減少量と各種跳躍能力との関係

図5は、投球中の重心速度の変化を局面ごとに示したものである。なお、各局面に要した時間はキック局面 0.225 ± 0.031 秒、踏み出し局面 0.147 ± 0.031 秒、リリース局面 0.126 ± 0.032 秒であった。グラフ上に示した①から⑦の番号は、重心速度と各種跳躍能力の測定結果との相関分析を行った地点を表している。投球中の重心速度の変化は綿谷（2016）の報告と同様に、投球開始時から増大していき、キック局面終了時から踏み出し局面にかけて最大値を示し、リリース局面では急激に減少する傾向を示した。

ウィンドミル投法中の重心速度と跳躍能力との関係

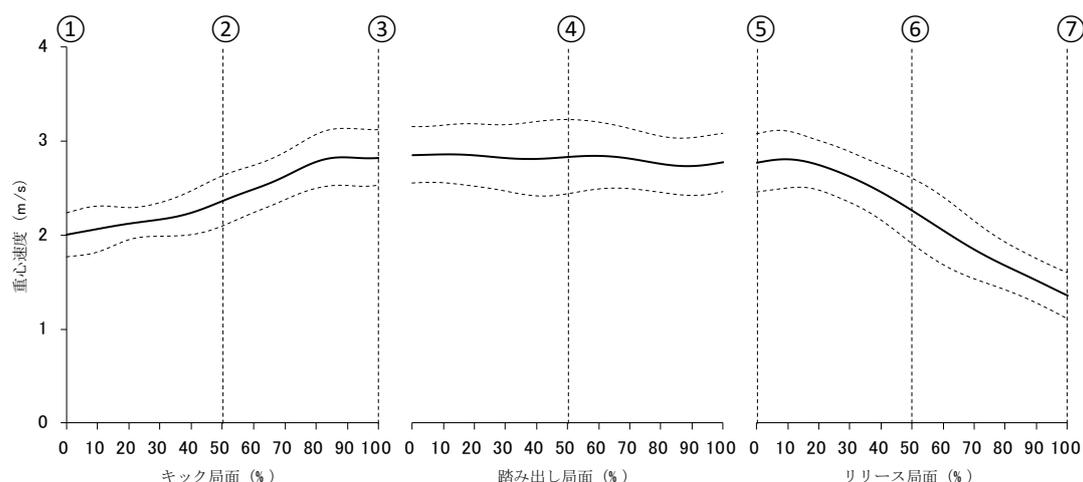


図5 投球中の重心速度の変化

表1は、図5の中に示した①から⑦の各時点で重心速度と跳躍能力の測定結果との相関分析を行った結果である。CMJ跳躍高とキック中間時と軸脚離地時の重心速度との間にそれぞれ有意な正の相関関係 ($r=0.549$, $r=0.608$, それぞれ $p<0.05$, $p<0.01$), 踏み出し中間時の重心速度との間に有意な正の相関関係 ($r=0.555$, $p<0.05$), 踏込脚接地時の重心速度との間に有意な正の相関関係が認められた ($r=0.593$, $p<0.05$)。SJ跳躍高とキック中間時と軸脚離地時の重心速度との間にそれぞれ有意な正の相関関係 ($r=0.649$, $r=0.765$, ともに $p<0.01$), 踏み出し中間時の重心速度との間に有意な正の相関関係 ($r=0.597$, $p<0.05$), 踏込脚接地時の重心速度との間に有意な正の相関関係が認められた ($r=0.589$, $p<0.05$)。また、リリース中間時の重心速度との間には有意傾向の正の相関関係を有していた ($r=0.457$, $p<0.10$)。RJ-indexと軸脚離地時の重心速度との間に有意傾向の正の相関関係を有していた ($r=0.449$, $p<0.10$)。

表1 投球中の各地点の重心速度と各種跳躍能力との関係

分析地点	従属変数を各時点の重心速度としたときの目的変数									
	CMJ跳躍高		SJ跳躍高		RJ-index		SLJ跳躍距離		SFJ跳躍距離	
	r	p値	r	p値	r	p値	r	p値	r	p値
①踏込脚離地時	0.209	n.s.	0.291	n.s.	-0.035	n.s.	0.152	n.s.	-0.047	n.s.
②キック中間時	0.549	*	0.649	**	0.382	n.s.	0.488	*	0.334	n.s.
③軸脚離地時	0.608	**	0.765	**	0.449	#	0.701	**	0.715	**
④踏み出し中間時	0.555	*	0.597	*	0.314	n.s.	0.569	*	0.575	*
⑤踏込脚接地時	0.593	*	0.589	*	0.342	n.s.	0.385	n.s.	0.265	n.s.
⑥リリース中間時	0.363	n.s.	0.457	#	0.389	n.s.	0.273	n.s.	0.161	n.s.
⑦リリース時	0.174	n.s.	0.111	n.s.	-0.083	n.s.	-0.011	n.s.	-0.080	n.s.

** $p<0.01$, * $p<0.05$, # $p<0.10$

SLJ 跳躍距離とキック中間時と軸脚離地時の重心速度との間にそれぞれ有意な相関関係 ($r=0.488$, $r=0.701$, それぞれ $p<0.05$, $p<0.01$), 踏み出し中間時の重心速度との間に有意な相関関係が認められた ($r=0.569$, $p<0.05$). SFJ 跳躍距離と軸脚離地時との間に有意な正の相関関係 ($r=0.715$, $p<0.01$), 踏み出し中間時の重心速度との間に有意な正の相関関係が認められた ($r=0.575$, $p<0.05$).

4. 考 察

投球中の重心速度最大値と投球速度との間には, 先行研究とは異なり, 有意な相関関係が認められなかった. 奥野 (1991) は, 投球速度を高めるための技術ポイントとして, 身体重心の並進速度を高めること, 上肢の回転速度を高めること, 体幹の捻りを利用することなどを挙げ, 様々な要因が影響を及ぼしていることを示唆している. 本研究の被験者においても, 投球速度の大きさには重心速度以外の要因も影響を及ぼしていた可能性がある.

本研究では投球速度の関係性が認められなかったものの, 先行研究において投球速度獲得の要因の一つとされている投球中の重心速度向上にとって必要な要素を抽出するために, 跳躍能力との関係性を検討した.

CMJ 跳躍高, SJ 跳躍高および SLJ 跳躍距離は重心速度最大値との間に有意な正の相関関係, キック局面後半から踏み出し局面にかけての重心速度との間に有意な正の相関関係が認められた. 一般に, CMJ 跳躍高, SJ 跳躍高や SLJ 跳躍距離は, 様々な種目で下肢筋力・パワー発揮能力の指標として用いられている. 本研究では, 下肢筋力・パワーの大きなソフトボール投手ほど, キック局面で地面に対して大きな力を加えられており, それによって前方への推進力が得られていたと推察される. このことから, ソフトボール投手の下肢筋力・パワーの向上は投球中の重心速度を高めることに寄与すると考えられる. さらに, RJ-index と SFJ 跳躍距離と重心速度最大値との間にも有意傾向の正の相関関係が認められた. 前述した CMJ や SJ では, 運動時間の制約を受けずに, 主にコンセントリックおよびアイソメトリックな筋収縮によって発揮できる力を評価している (図子ら 1993). 一方, RJ や SFJ は, 短い時間でできる限り大きなパワーやエキセントリックな筋収縮によって発揮できる力を評価していることから, 前述した下肢パワーの大きさに加えて下肢筋群の SSC 遂行能力も投球中の重心速度に影響を及ぼしている可能性がある.

ウィンドミル投法ではキック局面で重心を加速させる力を獲得するとともに, リリース局面で重心速度減少量を大きくすること, すなわち踏込脚の接地によって大きな地面反力を受けることも重要であることが示唆されている (綿谷 2016, p.435). 本研究においても, リリース局面の重心速度減少量を算出し, 各跳躍能力との関係性を検討したところ, 重心速度減少量は SJ 跳躍高との間に有意な正の相関関係

が認められた。また、重心速度減少量は CMJ 跳躍高および RJ-index との間に有意傾向の正の相関関係を有していた。よって、ソフトボール投手の下肢の筋力・パワー発揮能力は前述したキック局面での加速力に加え、リリース局面の重心速度減少量とも関係性を有していたと考えられる。野球投手においては、軸脚の股関節トルクによって生み出された力学的エネルギーが体幹部を經由し、さらに踏込脚の接地後に体幹が前方回旋することで生じた投球腕の関節力により、投球腕各部位に伝達されていることが報告されている（島田ほか、2004）。また、投球速度が大きな投手は下肢動作によって生み出されたエネルギーを投腕末端に伝える能力が長けているとともに、踏込脚接地後で投球方向とは逆向きの減速力の力積を大きくしていることも報告されている。この踏込脚接地後では踏込脚の股関節の内転および膝関節の伸展トルクが大きく、これらが下肢の力学的仕事量を高め、体幹の前方回旋と捻転動作を増大させる一要因となっていることが示唆されている（蔭山ほか、2015a；蔭山ほか、2015b）。本研究では、投球中の踏込脚の動作や筋活動に関する詳細な分析は行っていないが、野球投手の踏込脚に関する報告と同様に、投球方向と逆向きの地面反力を発揮するため、踏込脚の股関節および膝関節では接地直後に大きなパワーを発揮していたと考えられる。SJ は主にコンセントリックな筋力、CMJ や RJ はパワー発揮能力の指標とされていることから、下肢関節の筋力・パワー発揮能力は踏込脚接地時の進行方向と逆向きの地面反力の発揮に関与している可能性がある。

5. 結論・今後の課題

本研究の目的は、ウィンドミル投法中の重心速度、重心速度最大値、重心速度減少量と各種跳躍能力との間で相関分析を行い、ソフトボール投手の下肢筋力・パワーの発揮能力と投球中の重心速度との関係性を明らかにすることであった。その結果、跳躍において下肢筋力・パワーの大きなソフトボール投手ほど投球中の重心速度、重心速度最大値、重心速度減少量が大きな傾向がみられ、下肢の筋力・パワーをトレーニングによって向上させることは、投球中の重心速度や踏込脚接地後の地面反力を高めることに寄与する可能性があることが示唆された。また、本研究で用いた各種跳躍能力は指導の現場で簡便に測定できることから、ソフトボール指導の現場で有益な資料となると考えられる。

しかし、本研究では重心速度最大値と投球速度との間に有意な相関関係は認められず、その点は先行研究と異なっていた。この原因を明らかにすることは本研究の結果からは困難であるが、奥野（1991）は投球速度を高めるための技術ポイントとして、投球腕の動作や体幹の捻りなど様々な要因があることを示唆していることから、本研究の被験者においては、投球速度には重心速度と別の要因が影響を及ぼしていた可能性がある。例えば、本研究では下肢動作に着目して研究を行っているが、投球腕の技術が

長けている投手であれば重心速度が小さくても投球速度を大きくすることが可能であろう。ソフトボール投手を対象として下肢動作が投球速度に対してどの程度貢献しているかなど、仕事量の観点から詳細な検討を行ったものは報告されていないことから、被験者によって上肢と下肢の貢献度が異なっていたことが影響を及ぼした可能性もある。また、下肢の筋力・パワーは大きいですが、それを投球腕の速度や投球速度に変換できない投手が存在する可能性も考えられる。今後、これらの点はトレーニングの立案や処方を行ううえで明らかにする必要があるだろう。

投球中の重心速度最大値ととの間の相関係数は、CMJ 跳躍高、SJ 跳躍高および SLJ 跳躍距離が大きな値を示し、エキセントリックな力発揮が必要となる RJ と SFJ と重心速度との相関係数はそれらよりも小さかった。従って、SSC 能力よりもコンセントリックな力発揮能力を高める方が重心速度を高めることに優位に働く可能性がある。

本研究では以上のように、下肢筋力・パワーの大きさが投球中の地面反力に影響を及ぼす可能性を示唆しているものの、実際の地面反力の大きさや下肢関節のトルクやパワー発揮に関して検討できていない。今後はフォースプレートを用いてキック局面とリリース局面の地面反力や、リリース局面での下肢関節トルクやパワーのキネティクスの観点からウィンドミル投法の詳細な分析を行うことで、さらに有益な示唆が得られると考える。

参考文献

- 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. Jpn J Sports Sci, 15(3) : 155-162.
- 福島豊司・小嶋武次 (2000) 全日本女子ソフトボール投手の投球腕の動作分析. 日本体育学会大会予稿集, 51 : 254.
- 有賀誠司・加藤健志・小山孟志・積山和明・藤井壮浩・後藤太郎・両角 速・西出仁明・小澤 翔・生方 謙 (2018) リバウンドジャンプ能力の競技別特性. 東海大学スポーツ医科学雑誌, 30 : 7-16.
- 保坂哲也 (2018) 『選手に合った指導で無駄のないフォームを身に付ける～“ルールに適応”したピッチング指導法』 [DVD]. ジャパンライム株式会社.
- 蔭山雅洋・鈴木智晴・杉山 敬・和田智仁・前田 明 (2015a) 大学野球投手における下肢関節の力学的仕事量と投球速度との関係. 体育学研究, 60(1) : 87-102.
- 蔭山雅洋・鈴木智晴・岩本峰明・杉山 敬・前田 明 (2015b) 大学野球投手における投球動作中の地面反力の経時的変化および力積が投球速度に及ぼす影響. 九州体育・スポーツ学研究, 29(2) : 21-

32.

- 公益財団法人日本ソフトボール協会編 (2016) 2016 オフィシャルソフトボールルール. 公益財団法人日本ソフトボール協会:東京, pp.57-59.
- 小川幸三・高橋流星編 (2018) これで差がつく!勝つ!ソフトボール 上達のポイント50. メイツ出版株式会社, p.15.
- 奥野暢通・後藤幸弘・島田三千男 (1991) ウィンドミル投法の筋電図的分析—競技レベルによる相違とボール速度の変化を中心にして—. 体育学研究, 36:141-155.
- 奥野暢通 (2011) ソフトボールのウィンドミル投法の高速度撮影による動作分析—指導法に関する基礎的研究—. 四天王寺大学紀要, 52:185-192.
- 小野恵李奈・前川剛輝・亀井良和・湯田 淳 (2015) 大学女子競技者における下肢のパワー発揮能力の評価法の検討. コーチング学研究, 28(2):175-182.
- 島田一志・阿江通良・藤井範久・川村 卓・高橋佳三 (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.
- 田中大鉄監 (2001) ソフトボール上達 BOOK. 成美堂出版, pp.76-77.
- 宇津木妙子監 (2007) いちばんわかりやすいソフトボール入門. 大泉書店, pp.8-9.
- ウィンター:長野明紀・吉岡伸輔 訳 (2011) バイオメカニクス 人体運動の力学と制御 (原著第4版). 有限会社ラウンドフラット:東京, pp.65-76.
- 綿谷貴志 (2016) 高校女子ソフトボール投手におけるウィンドミル投法のバイオメカニクスの分析—投球中の重心速度と投球速度との関係—. スポーツパフォーマンス研究, 8:429-437.
- 綿谷貴志 (2017) 高校女子ソフトボール投手におけるウィンドミル投法中の重心速度と軸脚のキック動作との関係. コーチング学研究, 31(2):157-164.
- 関子浩二・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(4):265-278.
- 関子浩二・高松 薫 (1995) リバウンドドロップジャンプにおける踏切時間を短縮する要因:下肢関節の仕事と着地に対する予測に着目して. 体育学研究, 40(1):29-39.

(2019年1月31日受付 / 2019年5月8日受理)