

女子プロ野球選手における ステップ脚の関節角度と球速の関係

Correlation between joint angle of the lead leg and ball velocity
in female professional baseball players

橋本留緒*¹, 松井知之*^{1,2}, 東 善一*¹, 平本真知子*^{1,2}
宮崎哲哉*^{1,3}, 山本ちさと*¹, 山崎勢那*¹, 松澤寛大*^{1,3}
瀬尾和弥*⁴, 来田宣幸*³, 森原 徹*^{1,2}

キー・ワード：Throwing motion, Women baseball players, Lead leg
投球動作, 女子野球選手, ステップ脚

【要旨】 投球動作におけるステップ脚の機能は、軸脚によって得られた身体重心の移動を支えることである。しかし、女子野球選手の投球動作について下肢に着目した研究は見当たらない。本研究の目的は女子野球選手の投球動作におけるステップ脚の関節角度と球速の関係を明らかにすることとした。女子プロ野球選手の投球動作を三次元動作解析装置で計測した。関節角度の計算として、ステップ脚接地(以下FC)からフォロースルーまでのステップ脚股関節屈曲伸展、股関節内転外転、膝関節屈曲伸展、足関節底屈背屈角度を算出した。またスピードガンを用いて球速を計測した。各関節角度の規格化時間1%ごとの関節角度と、FCから最大値までの変化量について、球速との関係を検討した。

股関節屈曲角度は解析区間の0~52%, 58~100%で有意な正の相関があり、股関節内転角度と球速は、解析区間の75~100%において有意な正の相関があった。膝関節屈曲変化量と負の相関があった。足関節底屈角度は解析区間の14~49%の区間で球速と正の相関があった。球速の速い男子選手では、FC以降にステップ脚の膝関節屈曲角度を保持する。球速の速い女子選手ではFC以降に足関節を底屈位で保持し、下腿前傾を抑えることで膝関節屈曲変化量を減少させていた。

緒言 (はじめに)

野球の投手において球速の速いボールを投げることは、投手としての能力を示す一つの指標である。投球動作は、下肢、体幹、上肢の運動連鎖が認められる全身運動で行われ、速いボールを投げるには下肢の働きは重要である¹⁾。男子選手を対象にした研究によると、投球動作では軸脚による進行方向への身体重心の移動によってエネルギーを生み出し、その後、回旋運動によって体幹、上肢

へタイミングよく伝達することが求められている¹⁾。下肢の機能低下を生じた投球動作では、球速の低下を引き起こすだけでなく、肩関節や肘関節障害が発生する要因となる²⁾。したがって、下肢の機能向上は、競技力の向上のみならず、投球障害予防の観点からも指導上重要である³⁾。

男子選手の研究では投球動作中における下肢の役割は、軸脚とステップ脚で異なることが報告されている⁴⁾。軸脚の役割は、身体重心を投球方向へ移動させることであり、軸脚股関節伸展・外転運動によって身体重心の移動が行われる^{5,6)}。ステップ脚の役割は、軸脚によって得られた身体重心の移動を支えることである⁴⁾。軸脚によって得られた投球方向への身体重心の移動速度が、ステップ脚接地(FC: foot contact)後にステップ脚股関節伸

*1 丸太町リハビリテーションクリニック

*2 洛和会京都スポーツ医科学研究所

*3 京都工芸繊維大学大学院工芸科学研究科

*4 京都府立医科大学附属病院リハビリテーション部

Corresponding author: 森原 徹 (toru4271@koto.kpu-m.ac.jp)

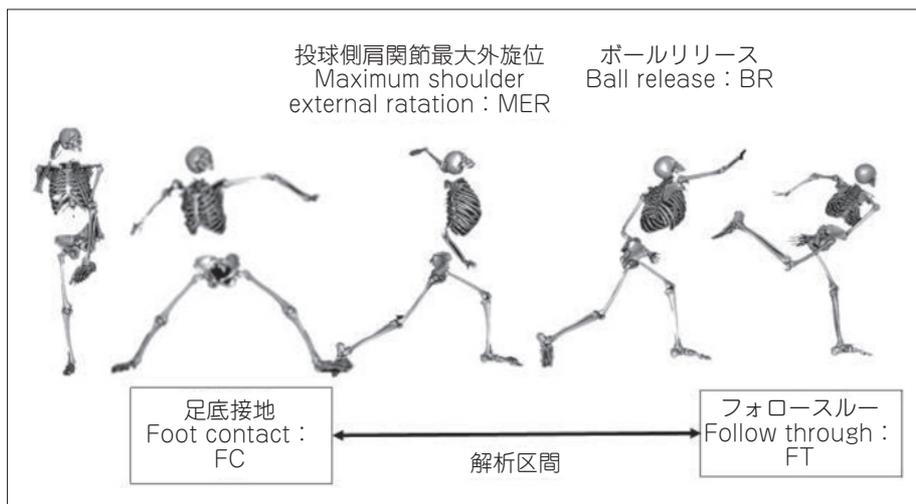


図1 解析区間
解析区間を示す。解析区間は、測定接地からフォロースルーまでとした。

展筋や膝関節伸展筋の遠心性収縮によって急激に減速し、股関節や体幹の回旋へと転換する⁷⁾。その後ステップ脚の膝関節伸展によって身体重心を再び投球方向へ移動させることから、ステップ脚の膝関節伸展動作によってエネルギーを大きくすることが球速増大に寄与すると報告されている⁴⁾。

女子野球の競技人口増加に伴い、近年では女子野球に関する研究も増加している。女子選手の投球動作について、男子選手と比較して、ステップの幅が狭く、FCからボールリリースまでにステップ脚の膝関節が伸展しないという報告がある⁸⁾。また、男子選手における肘内反トルクと球速は相関するが、女子選手では相関しないという相違があり⁹⁾、投球動作の特徴が男女で異なると思われる。

投球動作では、下肢関節から生み出されたエネルギーを体幹や上肢関節に効率よく伝えることが重要であるが、女子選手の投球動作と球速の関係に着目した研究は見当たらない。そこで本研究の目的は、女子野球選手の球速と投球動作中のステップ脚下肢関節角度の関係を明らかにすることとした。

対象および方法

1. 対象

対象は女子プロ野球選手のうち、疼痛によって全力投球できないものを除く13名とした。年齢、身長、体重はそれぞれ、平均19.8±1.7歳、160.1±4.6cm、57.3±3.1kgであった。全例、投球側は右

であった。

2. 球速と投球動作の測定

十分なウォーミングアップの後、前方に設置したネットに向かって全力投球を行わせた。

球速を、スピードガン (StalkerSOLO2™, Applied Concepts, USA) を被験者の前方から、照準を被験者のボールリリース位置に向けて測定した。

被験者の体表に39個の赤外線反射マーカークをplug in gait model¹⁰⁾に従って貼付した。10台の赤外線カメラで構成した三次元動作解析装置 (VICON MX Vicon Motion Systems, UK) を用いて投球動作を測定した。周波数は500Hzとし、5試行の全力投球のうち、最速の試行を解析対象とした。

投球動作をJobe¹¹⁾、Flesing¹²⁾の報告を参考にし、非投球側下肢接地 (FC)、投球側肩関節最大外旋位 (MER: maximum shoulder external rotation)、ボールリリース (BR: ball release)、フォロースルー (FT: follow through) で区分した (図1)。FCからFTを解析区間とし、100%で正規化した。FTは第2指のマーカースピードが後方の移動から前方への移動に切り替わったときと定義した。

算出項目は股関節屈曲・伸展、股関節内転・外転、膝関節屈曲・伸展、足関節底屈・背屈の関節角度とした。各関節角度の規格化時間1%ごとの関節角度を算出した。さらに、股関節屈曲、股関節内転、膝関節屈曲、足関節背屈の角度についてFCから最大値までの変化量を算出した。

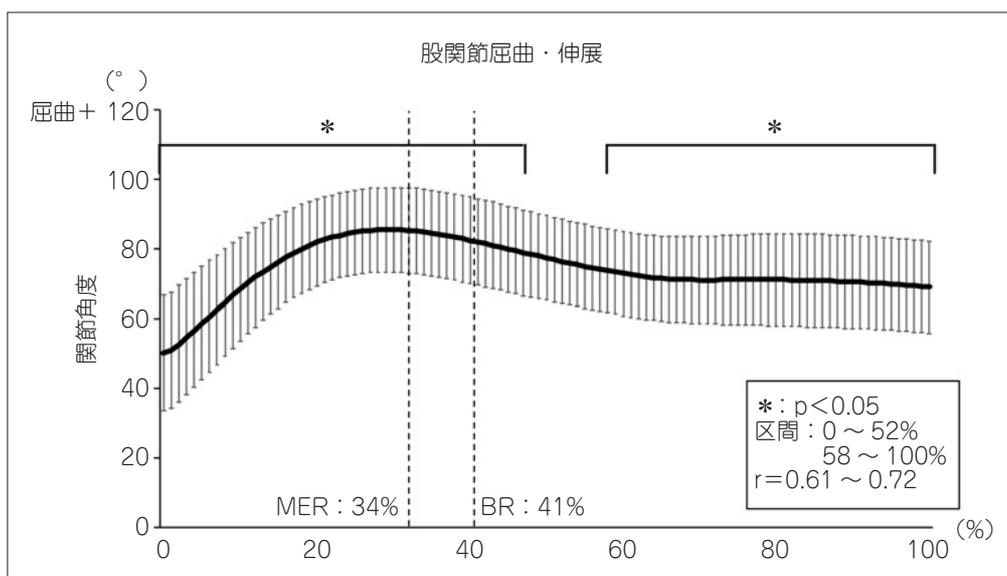


図2 股関節屈曲・伸展角度
ステップ脚の股関節屈曲・伸展角度を示す。区間の0～52%と58～100%で球速と股関節屈曲角度に有意な正の相関関係があった。

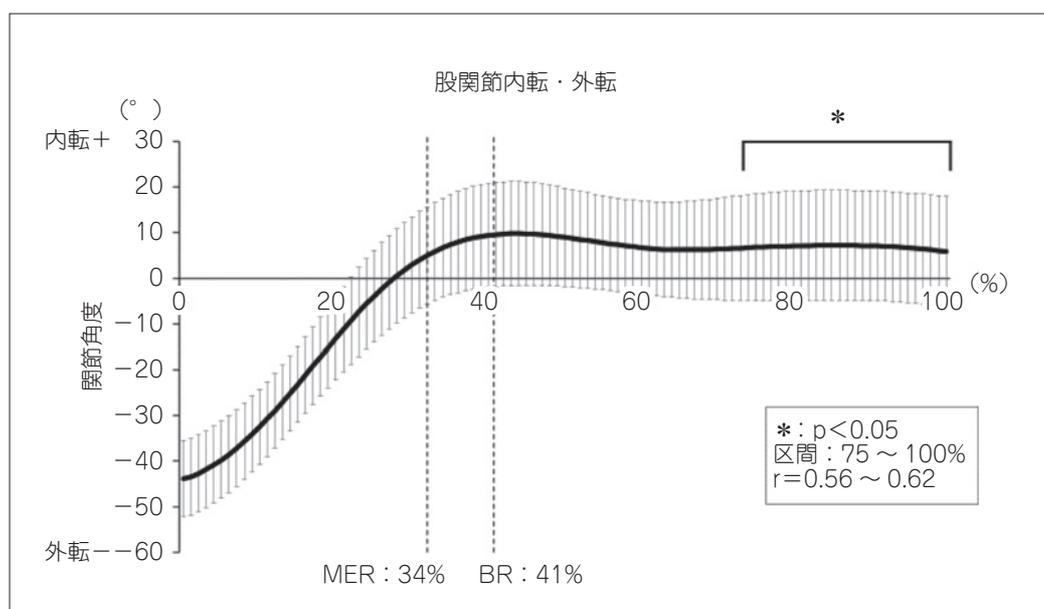


図3 股関節内転・外転角度
ステップ脚の股関節内転・外転角度を示す。区間の75～100%で球速と股関節内転角度に有意な正の相関関係があった。

本研究はヘルシンキ宣言に基づいて計画し、洛和会研究倫理委員会の承認を受けて実施した（洛学倫 01-000099）。対象には、事前に研究の目的、方法および研究のリスクを十分に説明し、同意を得て実施した。

3. 統計学的解析

Pearson の相関係数を用いて規格化時間 1% ごとの各関節角度、各関節変化量と球速の関係を、

それぞれ検討した。有意水準は 5% とした。

結果

最大球速は、平均 100.4 ± 6.7 km/h であった。各関節角度の経時的变化と、各関節角度と球速の相関関係を図 2～5 に示す。

股関節角度と球速の関係について、規格化時間 1% ごとの股関節屈曲角度は解析区間の 0～52%、

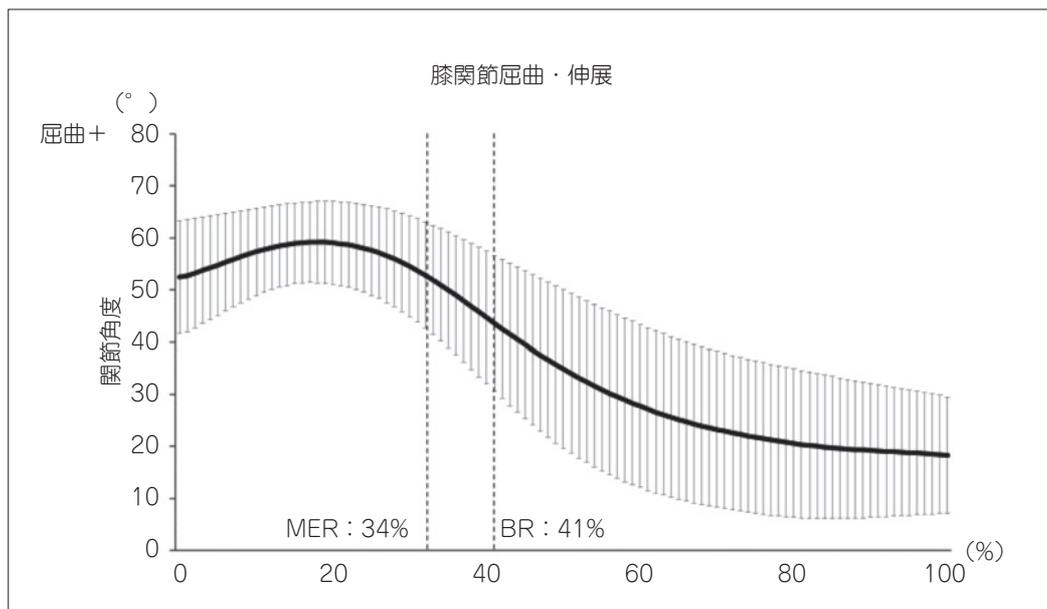


図4 膝関節屈曲・伸展角度
ステップ脚の膝関節屈曲・伸展角度を示す。球速と膝関節屈曲角度は有意な相関はなかった。

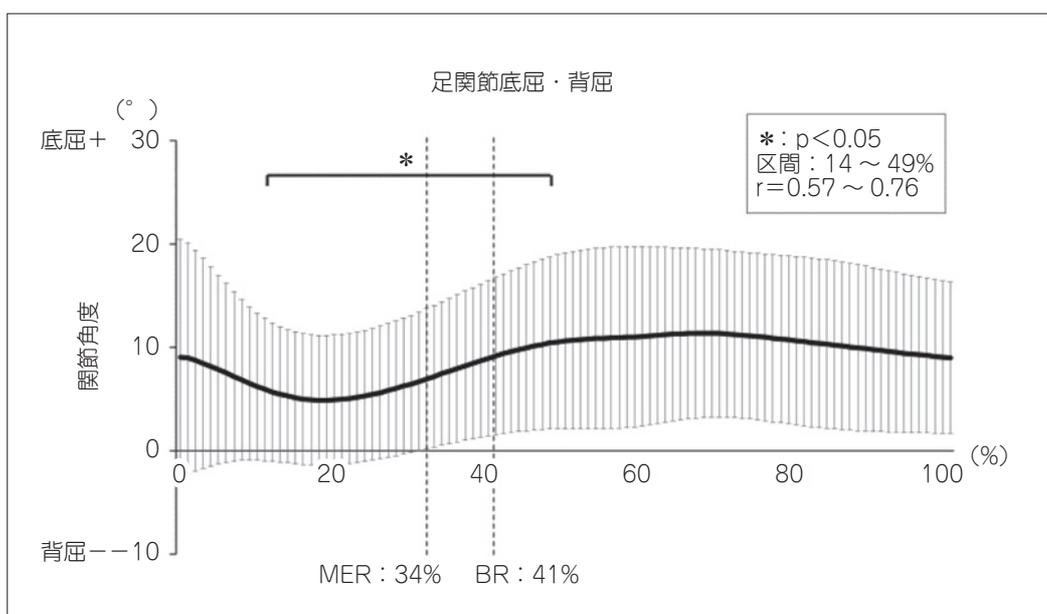


図5 足関節底屈・背屈角度
ステップ脚の足関節底屈・背屈角度を示す。区間の14～49%で球速と足関節底屈角度に有意な正の相関関係があった。

58～100%で有意な正の相関があった。また規格化時間1%ごとの股関節内転角度と球速は、解析区間の75～100%において有意な正の相関があった。股関節屈曲変化量は $37.2 \pm 11.7^\circ$ 、内転変化量 $58.3 \pm 6.2^\circ$ で、球速と有意な相関はなかった。

膝関節屈曲角度の規格化時間1%ごとの関節角度は、球速と有意な相関がなかった。FCから最大屈曲角度までの膝関節屈曲変化量は $7.9 \pm 6.5^\circ$ で、

球速と相関係数の有意な負の相関 ($r = -0.68$) があった ($p < 0.05$)。

規格化時間1%ごとの足関節底屈角度と球速の関係については、解析区間の14～49%で有意な正の相関があった。足関節背屈変化量は $5.9 \pm 8.8^\circ$ で、球速と有意な相関はなかった。

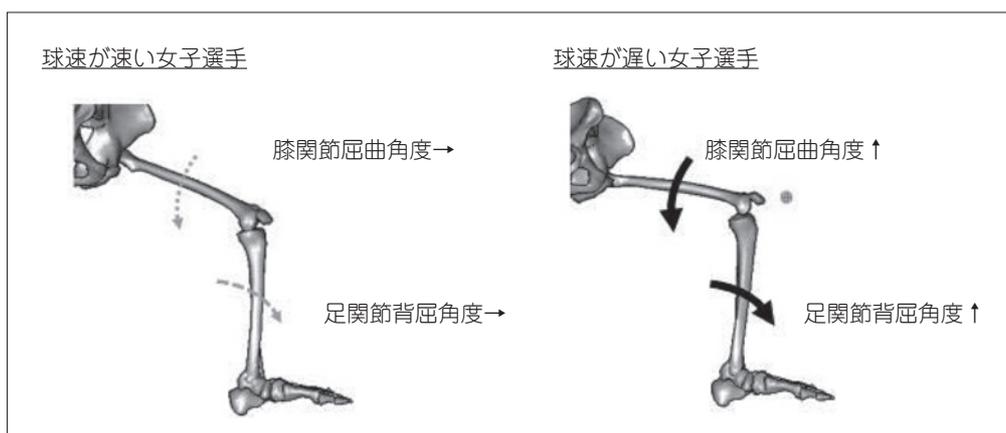


図6 FC以降のステップ脚の膝関節と足関節の運動

ステップ脚の膝関節と足関節の運動について、球速が速い女子選手と球速が遅い女子選手の特徴をイメージ図で示した。球速が遅い選手は足関節が背屈することで、膝関節が屈曲していた可能性がある。

考 察

今回、女子プロ野球選手における投球動作中のステップ脚下肢関節運動と、球速との関係について検討した。平均球速は $100.4 \pm 6.7 \text{ km/h}$ で、アマチュアレベルの女子選手を対象とした研究¹³⁾より、約 10 km/h 速い結果となり、パフォーマンスレベルの高い選手を対象としたことが球速からも明らかになった。

球速と股関節屈曲角度については、股関節屈曲角度では解析区間の $0 \sim 52\%$ 、 $58 \sim 100\%$ 、股関節内転角度では解析区間の $75 \sim 100\%$ において球速と有意な正の相関があった。女子選手では、FC以降に股関節屈曲角度が大きく、BR後にはそれに加えて股関節内転角度の大きい投球動作の選手ほど球速が速いことを明らかにした。男子選手では、球速の速い選手の特徴として、BR時の骨盤前傾角度が大きく¹⁴⁾、FC以降に股関節内転トルクと内転角速度が大きいこと¹⁵⁾が報告されている。女子選手の投球動作ではFCからBRまでの股関節屈曲角度が大きいため、骨盤の前傾角度を大きくして、身体重心を前方に進めることで球速が速くなったと考えた。さらに、本研究ではトルクや角速度の算出は行っていないが、球速が速い女子選手では、男子選手同様にFCからBRまでの股関節内転角速度が大きい可能性が高い。それに伴いBR後の股関節内転角度が大きくなったと考える。

球速と膝関節屈曲角度について、規格化時間で

の関節角度では有意な相関はなかった。FCから膝関節屈曲最大値までの膝関節屈曲変化量と有意な負の相関があった。女子選手の投球動作では、FC後に屈曲する角度を小さくするほど球速が速いことを示す。これは、先行研究⁸⁾と同様の結果であった。男子選手の投球動作でも、ステップ脚の着地から膝関節が最大屈曲角度をとるまでの屈曲変化量と球速が負の相関を示すと報告されている¹⁶⁾。球速の速い男子選手ではFC以降に膝関節屈曲角度を保持する¹⁴⁾ことで、並進運動から回転運動へ転換するためにステップ脚で身体の制動・固定を行う⁴⁾。一方で、球速の遅い男子選手では、FCからBRにかけて膝関節屈曲角度が大きくなる⁸⁾。したがって、男女ともに、FC後に膝関節屈曲角度を維持することが球速の向上に重要といえる。

球速と足関節角度の関係について、解析区間の $14 \sim 49\%$ で足関節底屈角度では球速と正の相関があった。女子選手の投球動作では、FCからBR後までの足関節底屈角度が大きいほど球速が速いことを示す。男子選手では、FC後にステップ脚の足関節底屈トルクを発揮し、BRまでの背屈角速度が小さいほど球速が速い⁴⁾。男子選手同様に、球速の速い女子選手は足関節底屈位で保持し、下腿前傾を抑えることで膝関節屈曲変化量を減少させていた可能性がある(図6)。

本研究では、女子選手の投球動作における下肢の関節角度のみを検討した。そのため骨盤の角度や身体重心に関しては推察の域を出ない。今後は

体幹, 上肢運動や関節モーメントなどの力学的運動についての検討が必要となる。

■ 結語 (まとめ)

本研究では女子野球選手の投球動作におけるステップ脚の関節角度と球速の関係を検討した。球速の速い女子選手は, ステップ脚接地後に足関節底屈位で保持し, 下腿前傾を抑えることで身体を固定し, 並進運動から回転運動への転換を行っていた。ボールリリース後には, 股関節屈曲角度と内転角度を大きくすることで, 全身の回転運動も大きくなり, 球速が速くなった可能性がある。

利益相反

本論文に関連し, 開示すべき利益相反はなし。

著者貢献

RHは研究の統括として, 研究計画の立案, 実験・解析, 論文執筆の全てを担当した。TMとYAは, バイオメカニクス・運動生理学の研究者としての立場から, 実験デザイン, プロトコルを作成し, 実験, 解析を担当した。MH, TM, CY, SY, KM, KS, NKは, 野球に関する専門的な知識の提供, 被験者や実験環境の調整・整備を担当した。TMは医師の立場から, 医学的知見の提供, 考察, 助言を行った。すべての著者は, 最終原稿を熟読した上で, 投稿を承認した。

文 献

- 1) 宮下浩二, 小林寛和, 横江清司. 投球動作で要求される下肢機能に関する検討. アスレティック・リハビリテーション. 1999; 8: 65-72.
- 2) 西野勝敏, 山本智章, 田中正栄, 他. 若年期野球選手の投球障害予防のための整形外科的メディカルチェックと投球動作分析による生体力学的調査. 日本臨床スポーツ医学会誌. 2012; 20: 79-86.
- 3) 岩堀裕介. 成長期の投球障害への対応とアプローチ. 臨床スポーツ医学. 2012; 29: 67-75.
- 4) 蔭山雅洋, 鈴木智晴, 杉山 敬, 他. 大学野球投手における下肢関節の力学的仕事量と球速との関係. 体育学研究. 2015; 60: 87-102.
- 5) 瀬尾和弥, 森原 徹, 松井知之, 他. 高校生野球投手における投球側下肢に着目した投球動作解析. 日本臨床スポーツ医学会誌. 2013; 21: 618-622.
- 6) 蔭山雅洋, 鈴木智晴, 岩本峰明, 他. 大学野球投手における投球動作中の地面反力の経時変化および力積が球速に及ぼす影響. 九州体育・スポーツ学研究. 2015; 29: 21-32.
- 7) 宮下浩二, 小林寛和, 横江清司. 投球動作で要求される下肢機能に関する検討. アスレティック・リハビリテーション. 1999; 8: 65-72.
- 8) Yungchien C, Fleisig GS, Simpson KJ, et al. Biomechanical comparison between elite female and male baseball pitchers. J Appl Biomech. 2009; 25: 22-31.
- 9) 東 善一, 松井知之, 瀬尾和弥, 他. 女子プロ野球投手における投球フォームと肘関節最大内反トルクとの関連. 日本肘関節学会雑誌. 2016; 23: 5-8.
- 10) Davis RB, Onupuu S, Dennis T, et al. A gait analysis data collection and reduction technique. Hum Mov Sci. 1991; 10: 575-587.
- 11) Jobe FW, Bradley JP. Rotator cuff injuries in baseball. Prevention and rehabilitation. Sports medicine. 1988; 6: 378-387.
- 12) Fleisig GS, Barrentine SW, Zheng N, et al. Kinematic and kinetic comparison of baseball pitching among various levels of development. Journal of biomechanics. 1999; 32: 1371-1375.
- 13) 伊藤博一, 中里浩一, 渡曾公治, 他. 女子野球選手の投動作における体幹回旋運動の特徴—体幹回旋運動と上肢投球障害—. 日本臨床スポーツ医学会誌. 2004; 12: 469-477.
- 14) Matsuo T, Escamilla RF, Fleisig GS, et al. Comparison of kinematic and temporal parameters between different pitch velocity groups. J Appl Biomech. 2001; 17: 1-13.
- 15) 内田智也, 古川裕之, 松本晋太郎, 他. 中学野球選手におけるステップ脚股関節の力学的仕事量と球速の関連. 日本臨床スポーツ医学会誌. 2020; 28: 337-344.
- 16) Escamilla RF, Fleisig GS, Zheng N, et al. Kinematic comparisons of 1996 Olympic baseball pitchers. Journal of Sports Sciences. 2001; 19: 665-676.

(受付: 2023年2月10日, 受理: 2023年8月29日)

Correlation between joint angle of the lead leg and ball velocity in female professional baseball players

Hashimoto, R. ^{*1}, Matsui, T. ^{*1,2}, Azuma, Y. ^{*1}, Hiramoto, M. ^{*1,2}
Miyazaki, T. ^{*1,3}, Yamamoto, C. ^{*1}, Yamazaki, S. ^{*1}, Matsuzawa, K. ^{*1,3}
Seo, K. ^{*4}, Kida, N. ^{*3}, Morihara, T. ^{*1,2}

^{*1} Marutamachi Rehabilitation Clinic

^{*2} Rakuwakai Kyoto Sports Medical Science Research Center

^{*3} Graduate School of Science and Technology, Kyoto Institute of Technology

^{*4} Rehabilitation Unit, University Hospital, Kyoto Prefectural University of Medicine

Key words: Throwing motion, Women baseball players, Lead leg

[Abstract] The purpose of this study was to identify the correlation between angle of the lead leg and ball velocity during throwing motion of female professional baseball players. Ball velocity and throwing motion were measured. The correlation between the ball velocity and each angle, the amount of change from FC to the maximum value were examined. A positive correlation was observed between ankle plantar flexion angle and ball velocity in the 14-49% section, and a negative correlation was observed with the amount of change in knee flexion. The hip flexion angle was positively correlated with the ball velocity in almost all sections and the hip adduction angle was 75% or later. In male players with high pitching ability, the knee flexion angle is maintained after FC. On the contrary, in female players who can throw fast ball, the amount of change in knee flexion was reduced by holding the ankle joint in the plantar flexion position after FC and suppressing the forward tilt of the lower leg. It is considered that female players who can throw the ball faster support the lead leg with larger hip flexion and adduction angle after the ball is released.