

投球動作中の下肢運動と 体幹伸展角度との関係

Relationship between lower limb motion and trunk extension angle during pitching motion

松井知之*^{1,2}, 瀬尾和弥*³, 東 善一*², 宮崎哲哉*^{1,2}
平本真知子*^{1,2}, 山崎勢那*², 菊地雄大*², 森原 徹*^{1,2,4}

キー・ワード：Pitching Analysis, Trunk Extension, Lower Limb Joint Motion
投球動作, 体幹伸展, 下肢関節角度

〔要旨〕 投球動作は、全身の運動によって行われ、特に体幹伸展は、重要である。しかし、投球動作中の下肢関節運動が体幹伸展角度に及ぼす影響については不明である。本研究では、投球動作中の下肢および体幹伸展角度、肘関節内反モーメントとの関係を調査した。

高校生の投手 20 名を対象とし、全力投球を三次元動作解析装置で計測した。下肢関節および体幹伸展角度を算出し、ピアソンの相関係数を用いて検討した（有意水準 5%）。

肘関節内反モーメントと体幹伸展角度との関係では、有意な負の相関を認めた（ $r=0.50$ ）。

軸脚の関節角度と体幹伸展角度では、股関節屈曲角度と正の相関（ $r=0.42\sim 0.5, 0.45\sim 0.52$ ）、膝関節屈曲では負の相関（ $r=-0.44\sim -0.61, -0.42\sim -0.71$ ）、足関節背屈では負の相関（ $r=-0.42\sim -0.52$ ）であった。ステップ脚では、股関節屈曲で正の相関（ $r=0.45\sim 0.54$ ）、膝関節屈曲では負の相関（ $r=-0.47\sim -0.67$ ）であった。

体幹伸展角度が低値となる下肢運動は、投球障害選手の特徴的な不良フォームと同様であった。以上から投球動作の分析には、下肢関節を含めた、全身の評価が重要と考える。今後はこれらのチェックポイントへの介入でフォームがどう変化するのかも明らかにする必要がある。

はじめに

投球障害と姿勢との関係については、小学生では、胸椎後弯角が 30 度以上であれば、肘関節内側障害の危険因子とされている¹⁾。中学生の立位姿勢をスパイナルマウスで健常選手と肘関節障害選手を評価した結果、障害選手において胸椎後弯角が有意に高値であると報告されている²⁾。また高校生に関しては、上肢挙上の際、健常選手と比べ、障害選手では、胸椎の伸展角度が低値と報告されている^{2,3)}。このように不良姿勢では、投球障害につ

ながる恐れがある。

不良姿勢が投球障害を引き起こす要因としては、投球動作中の体幹伸展、いわゆる「しなり」が影響している。この体幹伸展は、肩関節最大外旋を生じる際に肩甲上腕関節、肩甲胸郭関節に加え、体幹伸展も重要な要素である⁴⁾。投球動作中の伸展角度の重要性については、運動連鎖の 1 要素であり、エネルギー伝達に関与している⁵⁾と報告されている。また、故意に円背を保持させた投球では、通常投球と比較し、肩関節外転角度が低下すると報告されている⁶⁾。しかし、投球動作中の体幹伸展角度に関与する運動学的因子については、不明な点が多い。

今回われわれは、投球動作中の体幹最大伸展角度と肘関節内反モーメント（肘関節外反ストレス）および下肢関節角度との関係を調査したので報告

*1 洛和会京都スポーツ医学研究所

*2 丸太町リハビリテーションクリニック

*3 京都府立医科大学附属病院リハビリテーション部

*4 京都府立医科大学大学院医学研究科運動器機能再生外科学

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

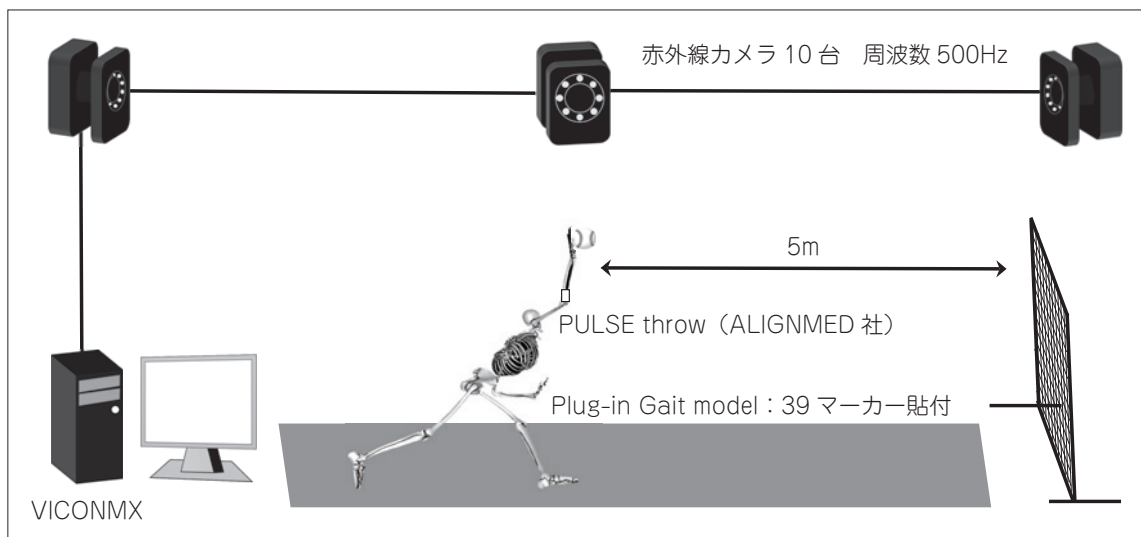


図1 計測環境
5m前方のネットに全力投球を行い、被検者の体表に反射マーカを貼付し、10台の赤外線カメラで撮影し、動作を解析。

する。

対象および方法

対象は、健常男子高校生投手20例、身長172.5±5.3cm、体重71.3±10kgであった。サイドスロー、アンダースローの選手は除外した。

投球動作では、十分なウォーミングアップ後、5m前方のネットに向かって全力投球を5回行わせ、球速が最速であったものを解析対象とした。動作の解析では、過去の報告を参考^{7,8)}に、被検者の体表に39個の赤外線反射マーカをDavisら⁹⁾やKabadaら¹⁰⁾の報告を参考に作成された解析ソフトVicon Plug in Gaitに従って貼付し、10台の赤外線カメラで構成される三次元動作解析装置(Vicon motion systems社製：VICON MX)を用いて、計測した(図1)。カメラの取り込み周波数は500Hzとした。評価項目として、股関節、膝関節、足関節の関節角度、体幹伸展最大角度を算出した(表1)。肘関節ストレスは、PULSE throw (ALIGNMED社)を用いて、肘関節内反モーメントの最大値を計測した。PULSE throwは、3軸加速度計および3軸ジャイロスコープを搭載した小型のウェアラブルデバイスである。解析区間として、セットポジション(非投球側下肢の運動直前)からフォロースルーまでとした。ワインドアップ期、アーリーコッキング期、レイトコッキング期、アクセラレーション期、フォロースルー期の各フェーズを正規化し、これらのフェーズ期間に基

づき投球動作を100%に正規化した。投球側膝の最大挙上は33%、フットコンタクトは82%、MER(Maximum External Rotation)は88%、ボールリリースは89%であった。統計学的解析では、体幹の最大伸展角度、体格、球速、肘関節ストレスおよび下肢関節角度に対してピアソンの相関係数を用い、これらの要因が有意に関連している区間を特定した。相関係数は有意水準5%とし、最小値および最大値を算出した。

本研究は、ヘルシンキ宣言に基づいて計画し、洛和会研究倫理審査委員会の承認を受け実施した(管理番号：洛学-倫-01-000099号)。また本研究の対象者には、事前に研究の目的、方法、研究への参加を拒否しても不利益を被らないことを説明し、全例同意を得て実施した。

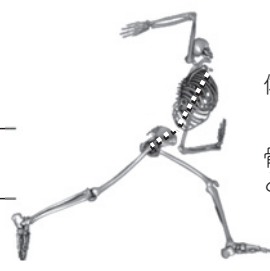
結果

体幹伸展角度は、肩関節最大外旋直前で最大伸展を認めた(図2)。肘関節内反モーメントは、38.3±8.9Nm、球速は116.7±6.5kmであった。体格、球速および肘関節内反モーメントと体幹伸展角度との関係(表2)では、肘関節内反モーメントと有意な負の相関を認め、体幹伸展角度が大きい選手では、肘関節内反モーメントが低値を示す傾向であった($r=-0.50$)。


軸脚の関節角度と体幹伸展角度では(図3)、股関節屈曲角度と正の相関($r=0.42\sim 0.5, 0.45\sim 0.52$)、膝関節屈曲では負の相関($r=-0.44\sim$

表 1 算出角度と角度定義


部位	角度	
股関節	屈曲	伸展
	外転	内転
膝関節	屈曲	伸展
足関節	底屈	背屈
体幹	屈曲	伸展



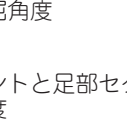
体幹角度
屈曲 (-)
伸展 (+)
骨盤セグメントと胸郭セグメントとの成す角度



膝関節屈曲伸展角度
屈曲 (+)
伸展 (-)
大腿セグメントと下腿セグメントとの成す角度



股関節内外転角度
屈曲 (+)
伸展 (-)
骨盤セグメントと大腿セグメントとの成す角度



足関節底背屈角度
背屈 (+)
底屈 (-)
下腿セグメントと足部セグメントとの成す角度

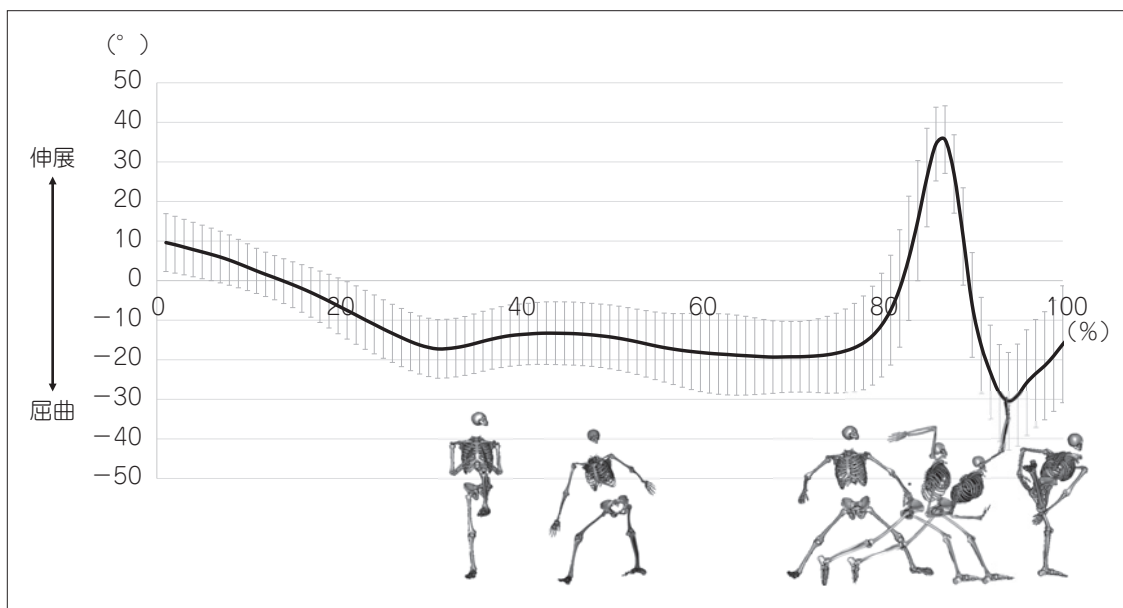


図 2 体幹伸展角度変化

-0.61, -0.42~-0.71), 足関節背屈では負の相関 ($r = -0.42 \sim -0.52$)であった。ステップ脚では(図 4), 股関節屈曲で正の相関 ($r = 0.45 \sim 0.54$), 膝関節屈曲では負の相関 ($r = -0.47 \sim -0.67$)であった。

■ 考 察

体幹伸展角度と肘関節内反モーメントに負の相関を認めた。つまり体幹伸展不足の選手では、肘関節内反モーメントが増大し、肘関節障害につながる恐れがあると考えた。

片脚立位から並進運動における下肢関節角度と体幹伸展との関係については、軸脚股関節の屈曲不足および膝関節の過屈曲、足関節過背屈姿勢(図5)が体幹伸展不足につながる結果であった。本結果は、軸脚全体(股・膝・足関節)が屈曲している、投球障害肘選手の不良なフォーム^{11,12)}や、投球動作前半において、股・膝・足関節のモーメント力積が増大している肘下がり選手と類似したフォームであった。

つまり投球前半の姿勢の崩れが、肘下がりや体幹伸展不足につながり、肩・肘関節へのストレス増大につながる恐れがあると考えられる。

フットコンタクトからボールリリースに関するステップ脚の運動力学的な報告では、ステップ脚膝関節は接地直後に膝関節伸展筋群の遠心性収縮

で衝撃吸収を行った後、求心性収縮に移行すると報告されている^{8,14)}。本結果では、ステップ脚膝関節屈曲角度が高値になると、体幹伸展角度が低値になっており、つまり膝関節伸展筋群の過剰な遠心性収縮(ブレーキ作用)が体幹伸展角度低下に影響する可能性があると考えた。またステップ脚股関節の伸展モーメントは体重の3倍程度と、大きな筋出力が必要とされている^{8,14)}。ステップ脚の支持性が低下すると、骨盤は後傾し、股関節の屈曲不足を生じ、体幹伸展不足につながる考えた。

本研究の限界として、高校生投手を対象としており、年齢、技術レベルが限定されている。また下肢関節運動に着目したが、今後上肢の動きや関節モーメントなど他の要因について検討する必要がある。本研究結果は横断的研究のため、下肢運動と体幹伸展角度との因果は不明であり、今後は得られた特徴的なポイントをスポーツ現場で実践し、野球選手の障害予防やパフォーマンスの両面において、どのような効果をもたらすのか、検討していく必要がある。

また、軸脚の特徴的な動きが体幹伸展に影響を及ぼす関節間の運動連鎖と、投球開始時(軸脚運動)が投球後半(体幹伸展)に及ぼすフェーズ間の連鎖を考慮する必要が示唆された。しかし、体幹伸展角度に及ぼす影響は、多くの因子が関連しているため、今後対象者を増やし、多変量解析な

表2 体幹伸展角度と体格、球速、肘関節内反モーメントとの関係

肘関節内反モーメントと体幹伸展角度では負の相関を示し、体幹角度が小さいと肘関節内反モーメントが増大する。

	r
身長	0.39
体重	0.18
球速	0.37
肘関節内反モーメント	-0.50

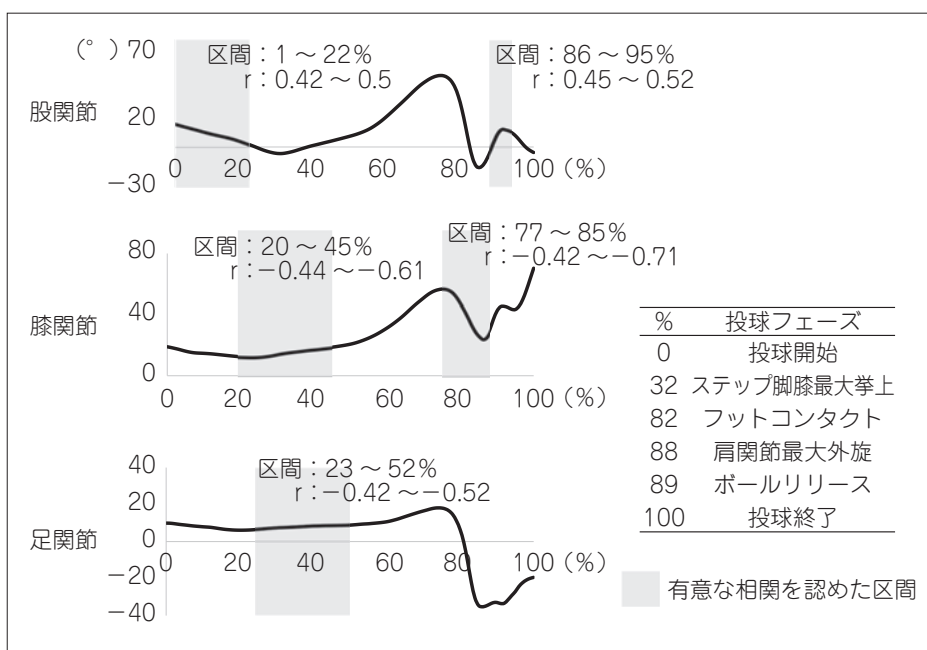


図3 体幹伸展角度と軸脚関節運動との関係

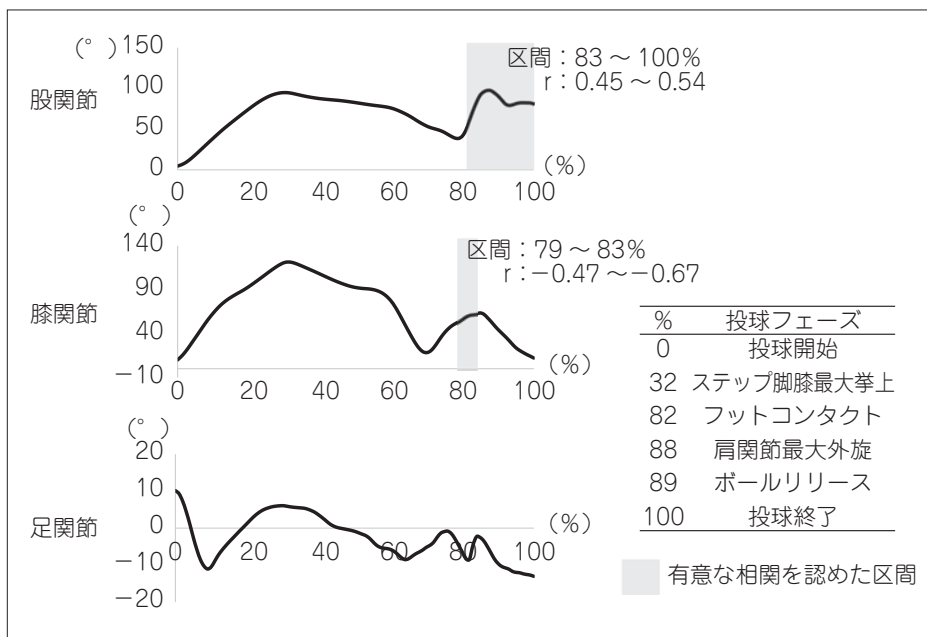


図4 体幹伸展角度とステップ脚関節運動との関係

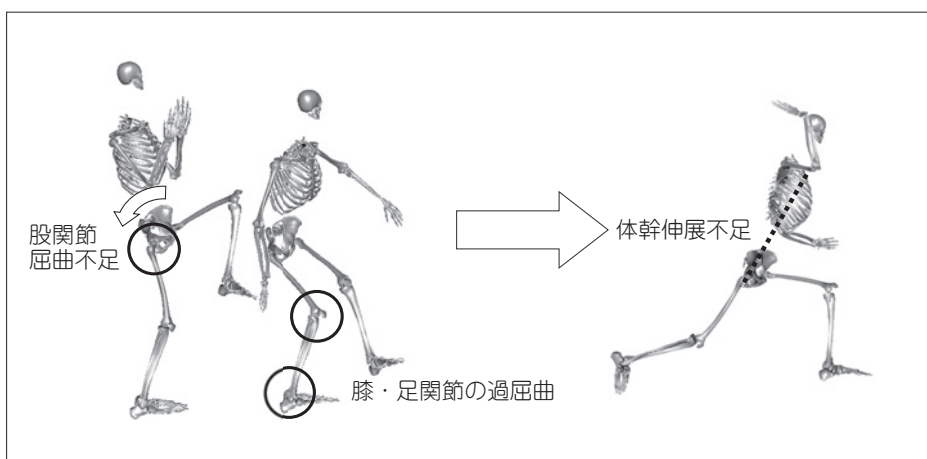


図5 投球前半の姿勢の崩れ

ワインドアップ期に、軸脚の股関節屈曲不足、並進運動時に膝関節、足関節の過度な屈曲を認めると、体幹伸展不足を認める。

どを用いて、因子間の関係を検討していく必要がある。

本研究で使用した PULSE throw は広くスポーツ現場でも使用され¹⁵⁾、その有用性が報告されている¹⁶⁾が、三次元動作解析装置で計算された値と異なる点も指摘されており^{16,17)}、今後は三次元動作解析装置から得られたストレス値でも検討していく必要がある。

結語

高校生投手 20 名に対し、投球動作中の体幹伸展角度と肘関節外反ストレスおよび下肢角度との関

係を調査した。体幹伸展角度と肘関節外反ストレスには負の相関を認めた。下肢関節運動に関しては、フットコンタクトまでの軸脚膝・足関節の過度な屈曲が体幹伸展角度不足と関係を認めた。投球時の下肢運動の崩れは、体幹伸展角度に影響を及ぼすため、重要な評価ポイントと考える。

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

松井知之(概念化, データ管理, 調査, 方法論, プロジェクト管理, リソース提供, 検証, 可視化, 草稿の執筆)

瀬尾和弥(調査, データ管理, 正式な分析, 原稿の見直しとエディティング)

東 善一(調査, 方法論, 検証)

宮崎哲哉(調査, 方法論, リソース提供, 原稿の見直しとエディティング)

平本 真知子(原稿の見直しとエディティング)

山崎勢那(調査, 方法論, 検証)

菊地雄大(調査, 方法論, 検証)

森原 徹(概念化, プロジェクト管理, 指導, 原稿の見直しとエディティング)

文 献

- 1) 坂田 淳, 中村絵美, 鈴川仁人, 他. 少年野球選手における肘内側障害の危険因子に関する前向き研究. 日本整形外科スポーツ医学会誌. 2016; 36: 43-51.
- 2) 松井知之, 幸田仁志, 甲斐義浩, 他. 中・高校生野球選手における姿勢と肘関節痛との関係. 日本肘関節学会雑誌. 2018; 25: 219-221.
- 3) 幸田仁志, 甲斐義浩, 来田宣幸, 他. 高校野球投手における肩痛と脊柱アライメントとの関係. 臨床バイオメカニクス. 2020; 41: 93-97.
- 4) 宮下浩二, 小林寛和, 越田専太郎, 他. 投球動作の肩最大外旋角度に対する肩甲上腕関節と肩甲胸郭関節および胸椎の貢献度. 体力科学. 2009; 58: 379-386.
- 5) 井田元樹, 林 豊彦, 田中 洋, 他. 野球の投球動作にみられる運動連鎖における「胸の張り」の役割. バイオメカニクス研究. 2015; 19: 118-125.
- 6) 井尻朋人, 宮下浩二, 浦辺幸夫, 他. 体幹アライメントが投球時の肩関節運動に与える影響. 体力科学. 2009; 58: 73-80.
- 7) 宮崎茂明, 石田康行, 河原勝博, 他. 投球動作における身体運動と肩甲帯周囲の筋活動特性—正常肩および投球障害肩での検討—. 日臨バイオメカ誌. 2011; 32: 167-172.
- 8) 瀬尾和弥, 山口弘佑, 松井知之. 実践! 上肢投球障害に対するリハビリテーション 投球動作から考
- える投球障害アプローチ 投球動作評価法. MEDICAL REHABILITATION. 2019; 239: 49-55.
- 9) Davis RB, Onupuu S, Dennis T, et al. A gait analysis data collection and reduction technique. *Mum Mov Sci.* 1991; 10: 575-587.
- 10) Kabada MP, Ramakrishnan HK, Wootten ME. Measurement of lower extremity kinematics during level waking. *J Orthop Res.* 1990; 8: 383-392.
- 11) 松井知之, 瀬尾和弥, 東 善一, 他. 肘関節後方障害選手のリハビリテーション前後における投球動作解析. 日本肘関節学会雑誌. 2016; 23: 1-4.
- 12) 瀬尾和弥, 森原 徹, 松井知之, 他. 肘関節後方障害を有する高校生投手の投球動作における下肢・体幹運動. 運動器リハビリテーション. 2018; 29: 447-453.
- 13) 松井知之, 瀬尾和弥, 東 善一, 他. 「肘下がり」に関係する軸脚の力学的パラメータ. 臨床バイオメカニクス. 2023; 44: 249-254.
- 14) 宮崎哲哉, 松井知之, 瀬尾和弥, 他. 高校生投手における非投球側下肢の力学的特徴. 臨床バイオメカニクス. 2022; 43: 271-275.
- 15) Yusuke K, Yoshikazu K, Kenta, et al. Effect of quantitative partial valgus stress during baseball pitching on ball velocity and subjective pitch-effort. *J Shoulder Elbow Surg.* 2022; 32: 168-173.
- 16) 植田篤史, 新熊孝文. ウェアラブル慣性センサを用いた投球動作中の肘関節外反トルク計測の検証—モーションキャプチャーシステムとの比較—. 日本臨床スポーツ医学会誌. 2024; 32: 278-285.
- 17) Camp C. L., Stacy L, Stuart N, et al. Are Wearable Sensors Valid and Reliable for Studying the Baseball Pitching Motion? An Independent Comparison With Marker-Based Motion Capture. *Am J Sports Med.* 2021; 49: 3094-3101.

(受付: 2024年3月22日, 受理: 2024年10月10日)

Relationship between lower limb motion and trunk extension angle during pitching motion

Matsui, T^{*1,2}, Seo, K^{*3}, Azuma, Y^{*2}, Miyazaki, T^{*1,2}
Hiramoto, M^{*1,2}, Yamazaki, S^{*2}, Kikuchi, Y^{*2}, Morihara, T^{*1,2,4}

*¹ Rakuwakai Kyoto Sports Medical Science Research Institute

*² Marutamachi Rehabilitation Clinic

*³ Rehabilitation Unit, University Hospital, Kyoto Prefectural University of Medicine

*⁴ Department of Orthopaedics, Graduate School of Medical Science, Kyoto Prefectural University of Medicine

Key words: Pitching Analysis, Trunk Extension, Lower Limb Joint Motion

[Abstract] Trunk extension is crucial for maximum external rotation of the shoulder joint during the throwing motion. This study investigated the relationship between lower limb motion and trunk extension angles during this motion. Twenty high school pitchers participated, with their pitching motions captured using a three-dimensional motion analyzer (VICON MX). We analyzed the correlation between lower limb joint angles and trunk extension angles using Pearson's correlation coefficient. The correlation between the joint angle and trunk extension angle of the pivot leg was positive for hip flexion ($r=0.42-0.5, 0.45-0.52$), negative for knee flexion ($r=-0.44$ to $-0.61, -0.42$ to -0.71), and negative for ankle dorsiflexion ($r=-0.42$ to -0.52). In the stepping leg, the correlation was positive for hip flexion ($r=0.45-0.54$) and negative for knee flexion ($r=-0.47$ to -0.67). We suppose that these results indicate that lower limb movements leading to decreased trunk extension angles are similar to those observed in athletes with throwing disorders. These results underscore the critical importance of evaluating whole-body mechanics, including lower limb joints, in pitching motion analysis.