

# 投球動作の Early Cocking 期における軸足股関節の運動学・運動力学的特徴

Characteristics of pivot leg kinematics and kinetics during the early cocking phase of the pitching motion

内田智也\*<sup>1,2</sup>, 大久保吏司\*<sup>3</sup>, 松本晋太郎\*<sup>1</sup>  
小松 稔\*<sup>1</sup>, 野田優希\*<sup>1</sup>, 石田美弥\*<sup>1</sup>  
佃美智留\*<sup>1</sup>, 古川裕之\*<sup>1</sup>, 藤田健司\*<sup>1</sup>

キー・ワード：Pitching motion, three-dimensional motion analysis, hip joint  
投球動作, 三次元動作解析, 股関節

〔要旨〕 投球動作において、Early Cocking 期（以下 E.C. 期）の体重移動はその後の投球動作に影響を与えるため、良好な投球動作を獲得する上で重要なポイントとなる。そこで本研究は良好な E.C. 期の体重移動における軸足下肢運動の運動学的及び運動力学的な特徴を明らかにすることを目的とした。中学野球選手 51 名を対象にビデオカメラ及び三次元動作解析装置で投球動作の測定を行い、E.C. 期の体重移動の良否別に膝関節・股関節の関節角度、関節トルクを群間比較した。良好群は股関節屈曲角度、股関節伸展トルクが有意に大きく、E.C. 期の良好な体重移動を遂行するには軸足股関節屈曲位を保持するべく股関節伸展筋群の活動を意識することが重要だと考えられた。

## はじめに

投球動作は下肢からの運動連鎖に基づく全身運動であり、非投球側下肢（以下、ステップ足）の動き出しから足部接地（以下、フットプラント）までのフェーズは投球側下肢（以下、軸足）による並進運動によって成り立ち、それ以降のボールリリースまでのフェーズはステップ足を軸とした回転運動によって構成される<sup>1-3)</sup>。

投球動作における下肢関節運動の役割をバイオメカニクス的に分析した報告として、島田らは軸足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を経由し投球腕各部位およびボールに伝達されること、さらにはボールの初速度を大きくするためには大腿から下脛への力学的エネルギーの伝達が求められることを報告している<sup>2)</sup>。そ

の他にも、下肢関節角度・角速度を分析した報告や筋電図解析により筋活動を示した報告が散見され、投球動作における下肢運動の重要性は周知されている<sup>4-6)</sup>。

中でも、軸足動作は良好な投球動作を獲得する上での重要な役割を担うとされており、岩堀<sup>7)</sup>は Early Cocking 期（以下、E.C. 期）の不十分な軸足股関節の屈曲はその後の投球動作に多大な悪影響を与えると報告している。また、元脇ら<sup>8)</sup>は投球動作の指導において、E.C. 期に軸足股関節屈曲位を保持した骨盤の並進運動を習得することで、不良な投球動作の典型例である体幹の早期の開きを抑制できると報告している。

これらのことから、スポーツ現場や投球障害のリハビリテーションを行う臨床現場において投球動作の指導を行う際に“軸足股関節を引き込む”や“軸足に乗せる”といった抽象的な表現が用いられることがしばしばみうけられるが、そのような良好とされる投球動作と不良な投球動作における下肢関節の運動の違いをバイオメカニクス的に検討

\*1 藤田整形外科・スポーツクリニック

\*2 神戸学院大学大学院総合リハビリテーション学研究所

\*3 神戸学院大学総合リハビリテーション学部

し、客観的な指標で提示した報告は少ない。

そのため、スポーツ現場や臨床現場で実施可能なデジタルビデオカメラなどによる二次元動作解析を用いて投球動作の良否を分類し、良好とされる投球動作における下肢の運動学および運動力学的な特徴を三次元動作解析によって明らかにすることは投球動作の指導を行う医療従事者や指導者にとって有益な情報になり得ると考えられる。

そこで、本研究は中学野球選手を対象に投球動作における E.C. 期の良好な軸足下肢の運動学および運動力学的な特徴を三次元動作解析によって明らかにすることを目的とした。

## 対象と方法

### 1. 対象者

対象は中学野球選手の投手 51 名（年齢：13.7 ± 0.4 歳，身長：165.0 ± 8.3cm，体重：54.0 ± 9.7kg，全て男性）とし，除外基準は疼痛等により全力投球が困難な選手，左投げの選手，サイドスロー・アンダースローの選手とした。対象者の保護者及び指導者に本研究の目的，個人情報保護等について口頭及び文書で説明し，文書にて同意を得た。なお，本研究は藤田整形外科・スポーツクリニック倫理審査委員会の承認（承認番号：141127-1）を得て実施した。

### 2. 測定環境

投球動作の測定は屋内実験室で行い，上方に 6 台，下方に 4 台の合計 10 台の赤外線カメラを備えたモーション・キャプチャー・システム（MAC3D system：Motion Analysis 社製）及び床反力計（Kistler 社製）を用いた。また，同時に 2 台のハイスピード撮影の可能なデジタルカメラ（EX-ZR400：CASIO 社製）を対象者の後方（二塁側）及び側方（三塁側）に設置して投球動作を撮影した。なお，赤外線カメラの取込周波数は 250 Hz とした。さらに，球速の測定には，マルチスピードテスター II（SSK 社製）を用いた。

### 3. 方法

対象者には 10 分間のウォーミングアップの後，全身に 49 個の反射マーカー（直径 12mm）を貼付した。マーカーの貼付位置は頭頂，頭部前方・後方，第 7 頸椎，第 10 胸椎，胸骨柄，剣状突起，仙骨，右肩甲棘中央，左右の肩峰，肘関節内側上顆及び外側上顆，尺骨茎状突起，橈骨茎状突起，第 3 中手骨頭，上前腸骨棘，上後腸骨棘，大転子，

膝関節内側上顆及び外側上顆，足関節内果及び外果，踵骨，第 1 中足趾節関節，第 2 中足趾節関節，第 5 中足趾節関節，第 2 末節骨，大腿中央外側（膝関節外側上顆と大転子の中央），下腿中央外側（足関節外果と膝関節外側上顆の中央）とした。測定動作として，対象者に 5 メートル先のネットに向けて 4 球の全力投球を行ってもらった。全ての対象者に対し，「試合同様にストレートを全力投球するように」口頭で指示した。

#### (1) 二次元動作解析

全 4 球の試技の中で，スピードガンで計測した球速が最速だった試技を解析に使用し，対象者の後方および側方に設置したハイスピードカメラによる投球動作の映像から，投球障害のリハビリテーションに従事する 3 名の理学療法士が E.C. 期の軸足の動作に着目し定性的な評価を以下に示す基準に則り行った。

①後方からの評価：岩堀<sup>7)</sup>が示している方法に準じ，「軸足の足趾尖部における垂線（以下，つま先ライン）に対して，矢状面での膝関節中央点が軸足・ステップ足とも，近くに位置していた場合を“良好”，一方でそれぞれの膝関節中央点がつま先ラインから明らかに離れていた場合を“不良”」と判断した（図 1）。

②側方からの評価：いわゆる「ヒップファースト」と表現される「ステップ足の股関節が体幹より先行して投球側に移動する動作」が遂行されていること，および「骨盤の開き」が早期に生じていないことを満たすものを“良好”とし，そうでないものを“不良”とした。骨盤の開きが生じていないと判断するために，本研究では「両上前腸骨棘に貼付したマーカーを十分に視認することができ，且つ軸足の股関節—膝関節中心—足関節がほぼ一直線上に位置しているもの」と定義した（図 2）。

3 名の評価者は個別的に評価を行い，後方且つ側方からの評価が良好だった場合を良好，その他の場合を不良と最終判定した。そして，Davis ら<sup>10)</sup>の方法に準じ，3 名の評価者中 2 名以上が良好と判定した選手を良好群，2 名以上が不良と判定した選手を不良群に分類した（図 3）。

#### (2) 三次元動作解析

モーション・キャプチャー・システムによって投球動作データを測定し骨格モデルを作成した。次に，得られたデータを筋骨格モデル動作解析ソ

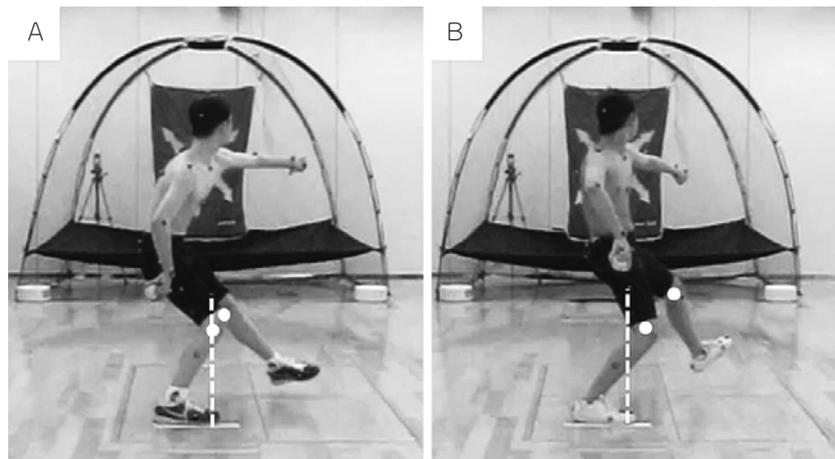


図1 後方からの評価における評価基準 (A:良好, B:不良)

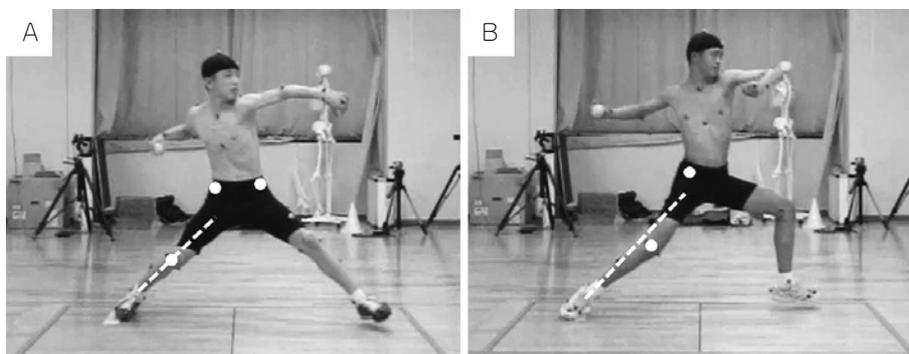


図2 側方からの評価における評価基準 (A:良好, B:不良)

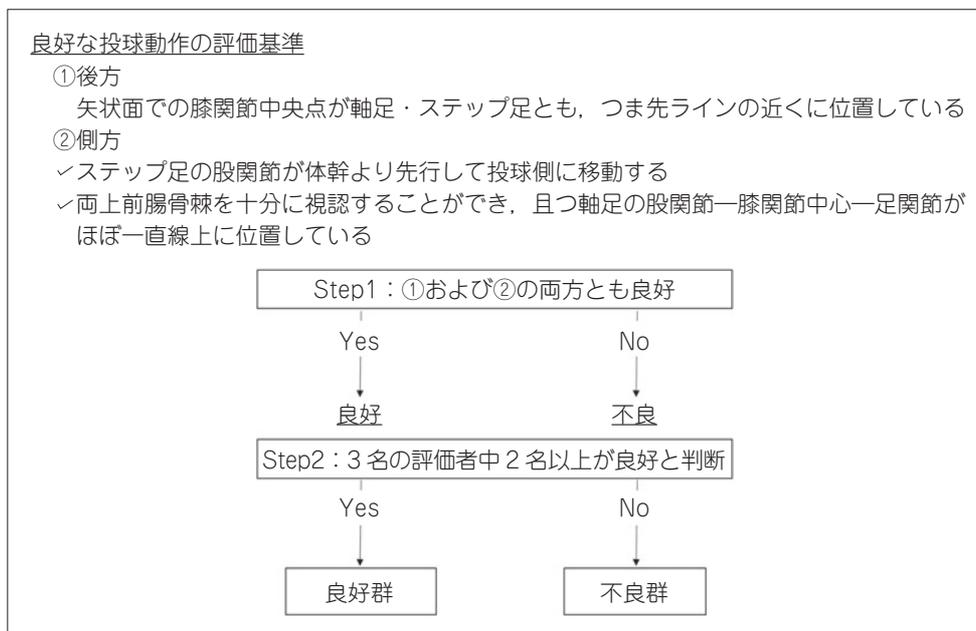


図3 二次元動作解析による対象者の群分け方法

フト nMotion (nac 社製) で被験者の身体寸法に合わせてスケーリングされた筋骨格モデルを作成

し、逆運動学解析を行いモデルの各身体部位の座標位置や各関節角度を算出し、さらに逆動力学解

表 1 各群の基本特性

	良好群 N = 16	不良群 N = 28	p 値
年齢 (years)	13.7 ± 0.5	13.8 ± 0.4	n.s
身長 (cm)	163.2 ± 7.7	166.1 ± 8.5	n.s
体重 (kg)	49.2 ± 8.2	56.8 ± 9.5	< 0.01
球速 (km/h)	96.3 ± 10.1	95.6 ± 9.1	n.s

※Mean ± SD, Unpaired t-test

析を行い、床反力計から得られた外力データから、筋骨格モデルの関節トルクを算出した。

これらの解析データから、E.C. 期の軸足膝関節屈曲角度、股関節屈曲・外転・内旋角度の最大値および膝関節伸展トルク、股関節伸展・内転トルクの最大値を抽出した。関節トルクは諸家の方法に基づき<sup>3,9)</sup>、体重で除して正規化した値を解析値とした。

#### 4. 統計処理

二次元動作解析によって群分けした各群の E.C. 期の膝関節・股関節角度および関節トルクの最大値を対応のない t-検定により群間比較した。なお、統計学的有意水準は危険率 5% 未満を有意とした。

## 結果

除外基準に当てはまらなかったものを取り込み基準とし、それを満たした対象者は 44 名であった。そのうち先述した二次元動作解析による群分けは良好群 16 名、不良群 28 名であった(表 1)。

E.C. 期の膝・股関節の関節角度、関節トルクの最大値の二群間比較を図 4, 5 に示す。股関節屈曲角度は良好群 33.3 ± 12.0 (°), 不良群 21.5 ± 10.5 (°)であり、良好群が有意に大きかった(p < 0.01)。股関節伸展トルクは良好群 2.0 ± 0.7 (Nm/kg), 不良群 1.5 ± 0.6 (Nm/kg)であり、良好群が有意に大きかった(p < 0.05)。

## 考察

投球動作の動作解析の方法として、ビデオカメラなどの映像による二次元動作解析が一般的に多く用いられている。三次元動作解析はハード面(測定環境)やソフト面(人材)などの問題から一般的な普及が困難であるものの、二次元動作解析はスポーツ現場や臨床現場でも簡便に行える評価方法であり、その着眼点は諸家により報告されてい

る<sup>15-17)</sup>。

宮下<sup>1)</sup>は Wind up 期の不良姿勢が E.C. 期や Late Cocking 期の不良動作に繋がると述べており、松尾らは熟練指導者の投球動作指導のポイントを質的研究の観点から、共起関係の強さを定量化する手法を用いて検討した結果から“軸足荷重”と“体幹の早期の開き”に因果関係があることを報告している<sup>18)</sup>。

さらに、E.C. 期までのフェーズは投球動作の約 6 割を占めており<sup>4)</sup>、比較的運動速度が遅く、動作の修正を行いやすいフェーズであることから、E.C. 期の軸足動作を修正することが Late Cocking 期以降の投球動作の改善に有効であると考えられる。

そこで、本研究ではこれまでに良好とされてきた軸足動作の運動力学的特徴を三次元動作解析によって明らかにするべく、まずは過去の報告を基に二次元動作解析の評価基準を設定し、軸足動作の良否を分類した。

そのポイントとして、E.C. 期における体幹後傾や腰椎後弯を伴う体重移動は加速期での投球側肩関節外転角度の減少や肩関節最大水平外転角度の増大などの不良な上肢動作に繋がることが報告されていることから<sup>19,20)</sup>、良好な投球動作を獲得するためには骨盤前傾および軸足股関節屈曲位で投球側への体重移動を行うことが重要であり、岩堀<sup>7)</sup>は成長期の野球選手における軸足動作の良否を分類する指標として、図 1 に示した評価基準を提示している。

体幹後傾や腰椎後弯などの不良な体幹アライメントでの体重移動の特徴として、上体が後方に変位することで、そのバランスを取るためにステップ足を前方に振り上げることや股関節・膝関節の連動した屈曲が見られず、膝関節優位の屈曲を呈することが挙げられ、この方法はそれらの不良動作を抽出する指標であると解釈することが出来る。よって、この方法を用いることで“不良な投球動作”の一つとして挙げられてきた「軸足股関節屈曲角度が小さい体重移動」を抽出することが出来ると考え、本研究における評価基準として採用した。

しかし、この評価基準は足部と膝関節の位置関係のみで良否を判断しているため、不良な体重移動とされる、反投球方向への体幹の傾斜や軸足の過度な knee-in を呈する場合でも良好と判断され

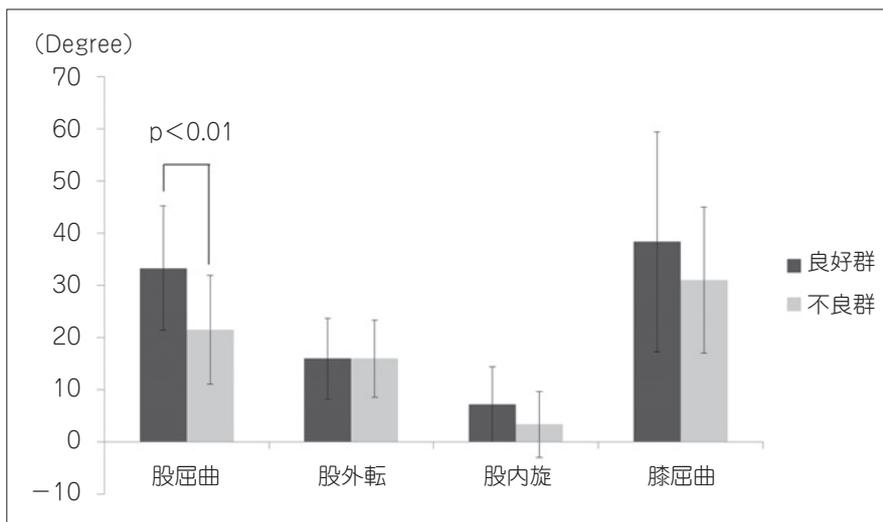


図4 E.C.期における膝関節・股関節の最大角度の比較

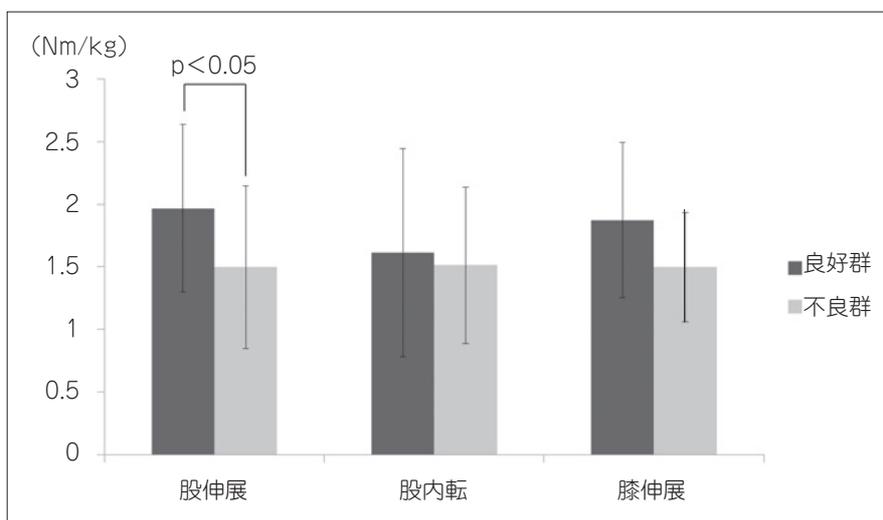


図5 E.C.期における膝関節・股関節の最大トルクの比較

てしまう可能性があり、一方向のみの評価では不十分であると考えられる。そのため、我々は評価判定の精度を高めるために、側方からの評価における評価基準を設定し、二方向からの評価を行った。

その評価基準として、E.C.期の軸足股関節は軸足の並進運動から骨盤・体幹の回転運動へと力学的エネルギーを伝達する役割を持ち<sup>2,3)</sup>、その際に、骨盤左回旋および軸足股関節の伸展・内旋方向への角度変化が早期に開始する動作（いわゆる、骨盤の開きが早い動作）はE.C.期の動作を前額面からみた場合に、左上前腸骨棘のマーカースが消失することや、股関節-足関節ラインよりも膝関節中心が内側に変位する動作を確認することによって

評価可能であると考えられる。そのため、本研究では、軸足股関節の屈曲位を保持した状態での並進運動が行えているか否かの判断基準を図2に示した「左上前腸骨棘に貼付したマーカースを十分に視認することができ、且つ軸足の股関節-膝関節中心-足関節がほぼ一直線上に位置している」こととして、側方からの評価基準とした。

そして、これらの二つの評価基準を基に各対象者をE.C.期の骨盤、軸足の動きについて二次元動作解析によって分類し、三次元動作解析により下肢関節の働きの運動学的および運動力学的特徴を比較したところ、良好群は不良群と比較して軸足股関節屈曲角度および股関節伸展トルクが有意に大きいことが示された。

良好な投球動作を獲得するためには軸足股関節の屈曲位を保持した状態での並進運動が重要であると報告されており<sup>7,8,11,12)</sup>、良好群の股関節屈曲角度が大きかった本結果はその動作が遂行されていたことを示している。よって、本研究で用いた二次元動作解析による評価は抽象的に示されていた軸足動作の良否を適切に分類することが出来たと考えられ、これまで“良好な投球動作”とされていた軸足動作の働きを定量的に確認することができたと考えられる。

次に、運動力学的な特徴として、瀬尾ら<sup>9)</sup>は軸足の並進運動により身体重心が支持基底面である足底から離れていくため、その姿勢を制御すべく、軸足股関節伸展筋群の筋活動が増大すると報告しており、島田ら<sup>3)</sup>も投球動作における軸足の役割は E.C. 期に股関節伸展トルクを発揮して身体を支持することであると報告している。また、Campbell ら<sup>21)</sup>は筋電図解析により E.C. 期の大殿筋、大腿二頭筋は高い筋活動を示すと報告していることから、安定した E.C. 期の体重移動には軸足股関節伸展筋群の筋活動が重要になると考えられ、本研究においても良好群の選手は E.C. 期の体重移動の際に軸足股関節屈曲位を保持するために股関節伸展筋群がより大きく活動していることが示唆された。

したがって、本研究ではこれまで投球動作の指導に用いられてきた“軸足に乗せる”や“軸足股関節を引き込む”などの抽象的な表現による動作の良否を、二次元動作解析を用いて作成した判断基準により分類し、E.C. 期における“良好な投球動作”の運動力学的な特徴の一つを明らかにすることが出来たと考えられた。

投球動作におけるこのような抽象的表現は他にも多く見受けられるため、今後はそれらの表現の解釈が統一されるべく、他のフェーズにおける動作に対しても、明確な判断基準を作成することが必要であると考えられる。またその妥当性について明確にしていく必要があると考えられる。

## ■ 本研究の限界

E.C. 期の軸足動作に関与する因子として、Wind up 期の骨盤・体幹アライメントが挙げられるか<sup>1,22)</sup>、本研究における二次元動作解析は膝関節と足関節・股関節の位置関係に着目することで E.C. 期の軸足動作を評価しているため、Wind up

期の骨盤・体幹のアライメントが本研究の交絡因子になった可能性がある。また、後方からの評価における「つま先ラインと両膝関節中央点の位置関係」において、定量的な定義付けをしていないことから、評価結果に検者間での誤差が生じる可能性があると考えられる。以上のことから、今後は他のフェーズにも着目した評価指標と組み合わせることやさらに厳密な評価基準を設定することで、評価判定の精度および信頼性を高めていく必要があると考えられる。

次に、本研究の対象は中学生であり、今回用いた評価基準を大幅に逸脱した特徴的な投球動作を呈する選手は見られなかった。しかし、技術的スキルの向上や体格の変化により、本研究で用いた評価基準で不良と判定された投球動作であっても、高いパフォーマンスを発揮できる可能性があり、本研究の評価基準が中学生以外の他の年代の選手にも適応出来るか否かは不明である。

そのため、今後は幅広い年代の選手を対象とした検討を行うことで、本研究の評価基準の妥当性の検証を行う必要があると考えられた。

## ■ まとめ

1. 中学野球選手を対象に Early Cocking 期における軸足運動の良否における運動学的・運動力学的特徴を比較検討した。
2. Early Cocking 期の体重移動が良好な選手は軸足股関節屈曲角度および股関節伸展トルクが高値を示した。
3. 本研究における評価基準はこれまでに“良好な軸足動作”とされてきた投球動作を抽出することが出来ると考えられた。
4. 良好な投球動作を遂行するためには、Early Cocking 期の体重移動において、軸足股関節屈曲位を保持すべく、股関節伸展筋群の活動を意識することが重要であると考えられた。
5. 今後はその他のフェーズにおける動作に対しても、二次元動作解析を用いた明確な評価基準を作成し、その妥当性を検討することが重要であると考えられた。

## 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関節機能に関する検討. *Journal of Athletic Rehabilitation* 2: 65-72, 1999.

- 2) 島田一志, 阿江通良, 藤井範久ほか: 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: 12-26, 2004.
- 3) 島田一志, 阿江通良, 藤井範久ほか: 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的研究. バイオメカニクス研究 4: 47-60, 2000.
- 4) Milewski, D, Ounpuu, S, Solomito, M et al.: Adolescent baseball pitching technique: lower extremity biomechanical analysis. J Appl Biomech 28: 491-501, 2012.
- 5) Matsuo, T, Escamilla, RF, Fleisig, GS: Comparison of Kinematic and Temporal Parameters Between Different Pitch Velocity Groups. J Appl Biomech 17: 1-13, 2001.
- 6) 古旗了伍, 松本秀男, 赤尾 健ほか: 投球動作時における下肢筋の筋活動(筋電図解析). 臨床バイオメカニクス 32: 509-514, 2011.
- 7) 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 29: 67-75, 2012.
- 8) 元脇周也, 小柳磨毅, 境 隆弘ほか: 投球障害例に対する投球フォーム指導の効果—体幹回旋運動における定量的評価を用いた検証—. スポーツ傷害 18: 27-30, 2013.
- 9) 瀬尾和弥, 森原 徹, 松井知之ほか: 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 21: 618-622, 2013.
- 10) Davis, JT, Limpisvasti, O, Fluhme, D et al.: The effect of pitching biomechanics on the upper extremity in youth and adolescent baseball pitchers. Am J Sports Med 37: 1484-1491, 2009.
- 11) 秋吉直樹, 菊池貴之, 久保田正一ほか: 投球動作の「開く」を考える. スポーツメディスン 26(2): 40-45, 2014.
- 12) 秋吉直樹, 菊池貴之, 久保田正一ほか: 投球動作の「タイミング」を考える. スポーツメディスン 26(3): 40-44, 2014.
- 13) 松尾知之: 競技復帰のための投球フォーム—指導者の経験知とバイオメカニクス研究の融合点から探る—. 臨床スポーツ医学 29: 313-319, 2012.
- 14) 森原 徹, 松井知之, 高島 誠: 運動連鎖から考える投球障害. 全日本病院出版会, 東京, 30-53, 2014.
- 15) 加藤貴志, 飯田博己, 岩本 賢ほか: 投球障害に対する保存療法の効果について—投球動作指導を中心に—. スポーツ傷害 13: 23-25, 2008.
- 16) 尾関圭子, 加藤貴志, 中路隼人ほか: 股関節内旋可動域が投球動作における骨盤回旋運動に及ぼす影響. 愛知県理学療法学会誌 22: 74-75, 2010.
- 17) 伊藤博一, 河崎尚史, 井尻哲也ほか: 年代別にみた投動作の特徴(第二部)—加速期における下肢・股関節運動—. 日本臨床スポーツ医学会誌 19: 489-497, 2011.
- 18) 松尾知之, 平野裕一, 川村 卓: 発話解析から探る欠陥動作の連関性—投球解説の発話共起度によるデータマイニング. 体育学研究 58: 195-210, 2013.
- 19) 井尻朋人, 宮下浩二, 浦辺幸夫: 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 58: 73-80, 2009.
- 20) 近 良明, 塩崎浩之, 山本智章: 投球動作解析. 臨床スポーツ医学 22: 1343-1351, 2005.
- 21) Campbell, BM, Stodden, DF, Nixon, MK: Lower extremity muscle activation during baseball pitching. J Strength Cond Res 24: 964-971, 2010.
- 22) 鈴木 章: 投球動作のバイオメカニクスと運動連鎖—投球フォームの基礎. 臨床スポーツ医学 29: 29-40, 2012.

---

(受付: 2016年3月14日, 受理: 2016年8月24日)

## Characteristics of pivot leg kinematics and kinetics during the early cocking phase of the pitching motion

Uchida, T.<sup>\*1,2</sup>, Okubo, S.<sup>\*3</sup>, Matsumoto, S.<sup>\*1</sup>  
Komatsu, M.<sup>\*1</sup>, Noda, Y.<sup>\*1</sup>, Ishida, M.<sup>\*1</sup>  
Tsukuda, M.<sup>\*1</sup>, Furukawa, H.<sup>\*1</sup>, Fujita, K.<sup>\*1</sup>

<sup>\*1</sup> Fujita Orthopaedic & Sports Clinic

<sup>\*2</sup> Kobe Gakuin University, Graduate School of Rehabilitation

<sup>\*3</sup> The Faculty of Rehabilitation, Kobe Gakuin University

**Key words:** Pitching motion, three-dimensional motion analysis, hip joint

**[Abstract]** Pitching mechanics in the early cocking phase is an important element of acquiring a good pitching motion, as it impacts the upper kinematics and kinetics. The purpose of this study was to illustrate the kinematic and kinetic characteristics of the lower limb motion of the pivot leg in the early cocking phase. A video camera and three-dimensional motion analysis device were used to measure the pitching motion of 51 junior high school baseball players. The subjects were categorized into “good” and “bad” groups according to the shift in body weight in the early cocking phase on video camera. The angle and torque of the knee and hip joints were compared between the groups. The hip flexion angle and hip extension torque were significantly greater in the good group. This suggested that maintaining the hip flexion position on the pivot leg side and being conscious of the hip extensors' action are important in executing good weight shift in the early cocking phase.