

投球動作における“体の開き”の 評価基準の提示

原 著

Presentation of the measurement standard for early onset of pelvic rotation during baseball pitching

内田智也*1, 大久保吏司*2, 古川裕之*1, 松本晋太郎*1
小松 稔*1, 野田優希*1, 佃美智留*1, 藤田健司*1

キー・ワード：Pitching motion, three-dimensional motion analysis, early onset of pelvic rotation
投球動作, 三次元動作解析, 骨盤の早期回旋

〔要旨〕 投球障害の主因は不良な投球動作であると考えられており, その代表例として, 骨盤・体幹の回転運動が早期に開始する動作, いわゆる“体の開き”が挙げられる. 本研究はその評価基準を提示するべく, “体の開き”に関連があるとされる Early Cocking 期 (E.C.期) の軸足動作と骨盤回旋のタイミング (TPR) との関連を検討した. 対象は中学野球選手の投手 68 名であり, 投球動作の三次元動作解析およびハイスピードカメラを用いた二次元動作評価 (2D 評価) を行った. 2D 評価の結果から, E.C.期の軸足動作の良否を判定し, 各群の TPR の平均値を比較した. 各群の TPR の平均値はそれぞれ, 良好群 $28.2 \pm 9.6\%$ pitch, 不良群 $11.8 \pm 15.8\%$ pitch であり, 良好群の TPR が有意に高値を示した ($p < 0.01$). 本研究で用いた 2D 評価の評価基準は“体の開き”を評価する指標として用いることが出来ると考えられた.

はじめに

野球の試合において, 投手は最も投球機会の多いポジションであり, 「試合を作る」という言葉が存在するほど勝敗を左右する重要な役割を果たしている. そのため, 投手は競技能力向上や投球障害の予防など様々な目的から投球動作の指導を受ける機会が多い.

その指導ポイントの代表例として, 早期に骨盤・体幹の回転運動が開始する動作, いわゆる“体の開き”が挙げられ, 指導者の中でも投球動作指導における重要な着眼点であることが報告されている^{1,2)}.

しかし, その良否を図る明確な指標は提示されておらず, 「体の開きを我慢する」などといった抽象的な表現が動作指導に用いられることも多い. これは, 回転運動が水平面上の動作であるが故に

視覚的に動きを捉えづらいことや投球動作が個々の選手により特徴が異なるため回転運動開始の時点を表現することが難しく, それぞれの感覚や経験に基づいた評価が用いられてきたことによると考えられる.

さらに, スポーツ現場においては「体の開きを我慢する」には「軸足でタメを作りなさい」という表現が用いられていることも多く, 骨盤・体幹の早期回旋に関する評価として, Early Cocking 期 (以下, E.C.期) の軸足動作が重要であることは経験的に認識されている.

骨盤の早期回旋に関する研究はバイオメカニクスの領域では様々な報告があり³⁻⁶⁾, 特に軸足との関係性について, 我々は運動連鎖の観点から, 骨盤の回転運動開始の時点と Foot Contact (以下, FC) 時の軸足股関節屈曲角度には正の相関があることを報告しており, FC 時の軸足股関節屈曲角度が小さい動作パターンでは骨盤の回転運動の開始が早くなることを示した⁷⁾.

しかし, FC 時には骨盤の回転運動が既に開始

*1 藤田整形外科・スポーツクリニック

*2 神戸学院大学総合リハビリテーション学部

している選手もみられるため、その早期の骨盤回転運動を予防するためにはFCよりも前の位相、つまりE.C.期の動作が重要であると考えられる。

これらのことから、骨盤の回転運動開始のタイミングはE.C.期の軸足股関節動作に着目した評価基準を用いることで良否を判別することができるのではないかと考え、本研究は投球動作におけるE.C.期の軸足股関節動作の二次元動作評価は“体の開き”の評価基準としても有用であるという仮説に基づき、E.C.期の軸足股関節動作に対する二次元動作評価の結果と骨盤の回転運動開始の時点の三次元動作解析との関連から“体の開き”の評価基準を検討することを目的とした。

対象および方法

1. 対象者

対象は中学野球選手の投手68名であり、対象者の平均年齢は 13.4 ± 0.6 歳、平均身長は 163.4 ± 8.1 cm、平均体重は 52.9 ± 9.8 kgであった(平均値 \pm 標準偏差)。

除外基準は疼痛により全力投球困難なもの、サイドスロー・アンダースローのもの、ステップ足の接地位置が過度にインステップやアウトステップを呈するものとし、左投げの運動学的特徴は右投げとは異なると報告されていることから、左投げの選手も除外した⁸⁾。なお、インステップはFC時に軸足第2末節骨のマーカよりステップ足踵骨のマーカが前方(三塁側)に接地することとし、アウトステップはFC時にステップ足第2末節骨のマーカが軸足踵骨のマーカより後方(一塁側)に接地することと定義した。

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。

2. 測定環境

投球動作の測定は屋内実験室で行い、上方6台および下方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(MAC 3D system: Motion Analysis社製)及び床反力計(Kistler社製)を用いた。また、同時に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)にそれぞれ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250Hzとし、デジタルカメラの周波数は240fpsとした。

3. 三次元動作解析

対象者には10分間のウォーミングアップの後、全身に49個の赤外線反射マーカ(直径12mm)を貼付した。マーカの貼付位置は過去の報告と同様であった^{9,10)}。測定の取り込み周波数は250Hzとし、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球の全力投球を行わせた。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」と口頭で指示し、その中で最高速度を記録した試技を解析に使用した。

解析は専用の制御ソフトcortexを用いて行った。骨盤の回転運動開始の時点(Timing of Pelvic Rotation: 以下、TPR)はAguinaldらの方法に準じて、まずは胸部座標系に対する骨盤座標系の左回旋角度が最大値となるフレームを抽出した。そして、それぞれの対象者のFCを0%、Ball Release(以下、BR)を100%としたピッチングサイクルにおける骨盤の左回旋角度(投球方向への回旋角度)の最大値が出現する時点を算出した(図1)。

つまり、この指標は投球方向への最大骨盤回旋のタイミングをピッチングサイクルで標準化した指標であり、不良な投球動作とされる骨盤の早期回旋を呈する動作では低値を、良好な投球動作では高値を示す指標である。

また、FC時の軸足股関節屈曲角度(股屈曲)を算出するべく、骨盤座標系に対する大腿座標系の回転をオイラー角で表し、その際の符号は屈曲を正、伸展を負とした。

なお、本研究における胸部座標系は両上前腸骨棘の midpoint と両上後腸骨棘の midpoint を結んだ線の前方から6割の位置となる点(以下、骨盤点)から両肩峰の midpoint へのベクトルをY軸ベクトル、右肩峰方向へのベクトルをX軸ベクトル、それらの外積からZ軸ベクトルを設定し、骨盤座標系は骨盤点を基点とし、両上前腸骨棘の midpoint へ向かうベクトルをY軸ベクトル、右上前腸骨棘方向のベクトルをX軸ベクトルに設定し、それらの外積からZ軸ベクトルを設定した。また、大腿座標系は股関節に作成した仮想点を基点に、膝関節内側上顆と外側上顆の midpoint に向かうベクトルをy軸ベクトル、右大転子方向へのベクトルをx軸ベクトル、それらの外積からz軸ベクトルを設定した(図2)。

4. 二次元動作評価

E.C.期において、①後方から視認した際に「つま

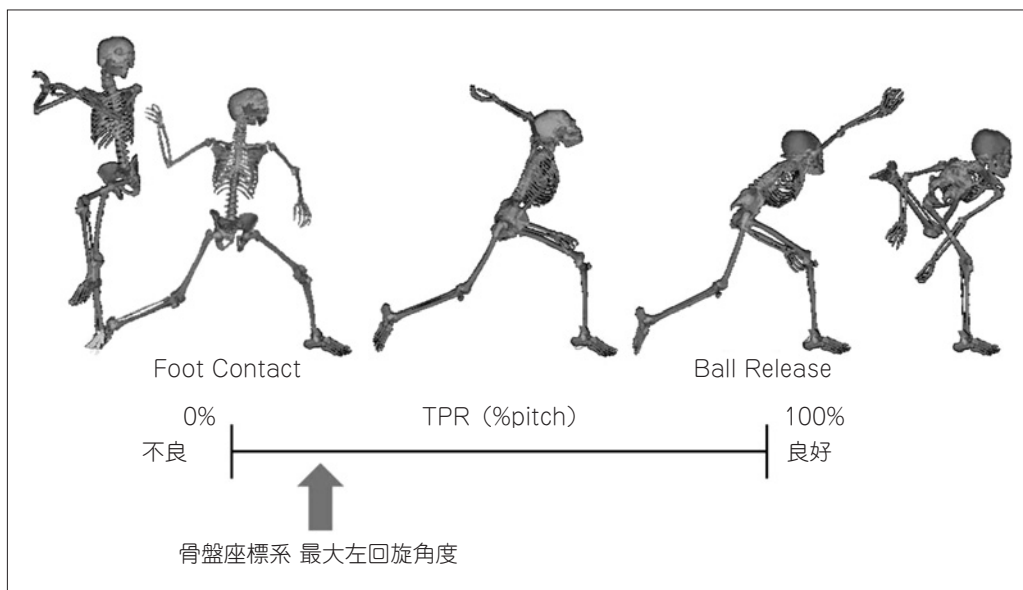


図1 TPRの算出方法

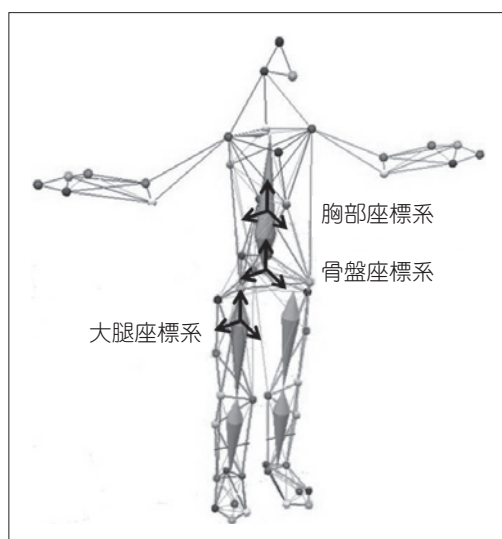


図2 各セグメントの定義

先ラインに対して、矢状面での軸足の膝関節中央点が軸足・ステップ足とも、軸足のつま先の鉛直線近くに位置している」こと(図3)、②側方から視認した際に「FC直前に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(図4)、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(図5)」ことの両条件をともに満たした場合を「良好な」軸足股関節動作であると定義した。なお、我々は過去に本指標のE.C.期における股関節動作の評価基準としての妥当性を報告している⁹⁾。

評価は投球障害のリハビリテーションに従事す

る理学療法士1名が行った。検者内信頼性の検討のため、各選手に対して2回行い、2回目の評価は1回目の評価の1か月後に実施した。

5. 統計学的解析

まず、各群の背景比較のため、年齢・身長・体重の平均値を対応のないt検定を用いて比較した。次に、二次元動作評価の検者内信頼性を検討するため1回目と2回目の評価について、kappa値(k値)を求め、0.7以上を非常に良好な一致度とした¹⁰⁾。

そして、二次元動作評価における評価基準を満たしたものを良好群、それ以外のものを不良群として二群に群分けし、各群のTPR(単位:%pitch)および股屈曲の平均値を対応のないt検定を用いて群間比較した。

いずれも検定にはエクセル統計2015(社会情報サービス社)を使用し、統計学的有意水準は危険率5%未満とした。

結果

各群の背景比較の結果、年齢・身長・体重の全ての項目に有意な差はみられなかった(表1)。k値は0.74であり、同一評価者内の一致度は非常に良好であった。

各群のTPRの平均値はそれぞれ、良好群 $28.2 \pm 9.6\%pitch$ 、不良群 $11.8 \pm 15.8\%pitch$ であり、良好群のTPRが有意に高値を示し、その効果量も1.16と高値であった(図6)。また、股屈曲の平均

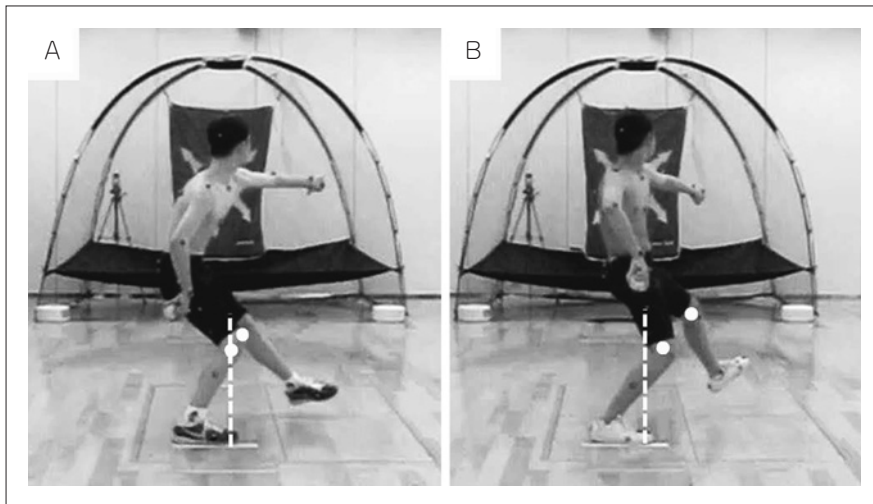


図3 後方からの評価における評価基準 (A:良好, B:不良)



図4 側方からの評価における評価基準-1 (上段:良好, 下段:不良)

値はそれぞれ、良好群 $14.7 \pm 10.1^\circ$ 、不良群 $8.84 \pm 10.5^\circ$ であり、良好群の股屈曲が有意に高値を示した (図7)。

■ 考 察

不良な投球動作の代表例である“体の開き”は投球動作指導における頻出項目であり、実際に選

手の指導に当たる際、選手に自身の投球動作の問題点や練習中に意識して取り組んでいるポイントを聴取しても、その言葉が出てくることを多く経験する。すなわち、骨盤の早期回旋を改善することは投球障害予防の観点のみならず競技能力向上の観点からも重要な点であると考えられる。



図5 側方からの評価における評価基準-2 (上段：良好, 下段：不良)

表1 各群の背景比較

	良好群 n = 18	不良群 n = 38	p 値
年齢 (years)	13.6 ± 0.5	13.4 ± 0.7	n.s
身長 (cm)	163.7 ± 6.4	163.6 ± 9.2	n.s
体重 (kg)	53.6 ± 10.6	52.4 ± 10.2	n.s

Un-paired t-test

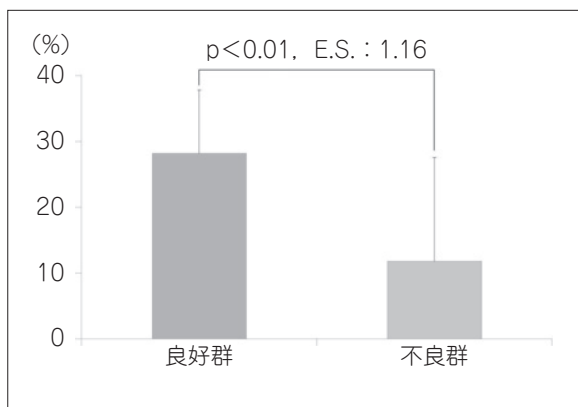


図6 TPRの群間比較

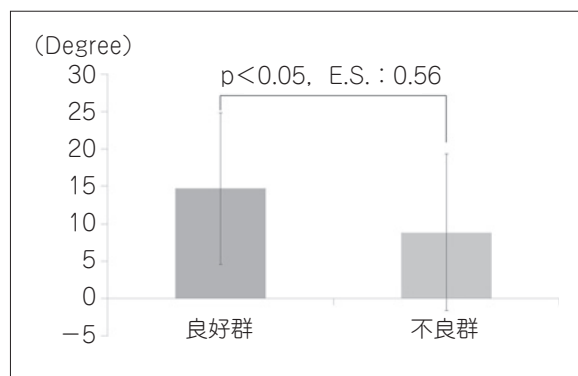


図7 FC時の軸足股関節屈曲角度の群間比較

しかし、指導者や医療従事者などが様々な表現を用いて選手を指導することから、同じポイントを指導したとしても選手の受け取り方に差が出てしまい、十分な介入効果が得られないことも経験する。つまり、指導者が用いる感覚的な表現と医療従事者が用いる運動学的・機能解剖学的な表現との間に隔たりがあり、選手が混乱してしまう可能性がある。

そのため、これまで明確に提示されていなかった

た“体の開き”の評価基準の科学的根拠を提示し、その情報を指導者と医療従事者が共有することは選手の動作指導の介入効果を大きく改善する可能性がある。

そこで、本研究はスポーツ現場でも実施可能な方法を用いるという条件から、まずはE.C.期の軸足動作を家庭用のデジタルカメラを用いた方法で分類し、その評価基準が骨盤の回転運動開始の時点の評価するツールとして有用であるか否かを三次元動作解析によって検討した。

E.C.期における軸足股関節動作は前半には屈曲且つ外転を主とした動作により重心を投球方向へ移動させ、後半には伸展および外旋動作により骨盤を回旋（右投手の場合は左回旋）させる役割を担う。そのため、矢状面上の動作では、屈曲位から伸展方向への角度変化が生じるタイミングが早ければ、早期に骨盤の回転運動が生じることに繋がるのが推察され、伸展方向へ角度変化する時点を遅くすることは骨盤の回転運動開始の時点を遅くすると考えられている¹²⁾。

そこで、まず本研究では各群のFC時の軸足股関節屈曲角度を比較したところ、良好群が不良群と比較して有意に高値を示した。また、本研究で用いた二次元動作評価の評価基準における良好群は不良群と比較してE.C.期の軸足股関節伸展トルクの最大値が高値であったことが示されている⁹⁾。よって、その報告と今回の結果を合わせると、不良群ではFC以前の位相であるE.C.期において屈曲位から伸展方向へ角度変化する時点が早かった結果、FC時の股屈曲が低値を示した一方で、良好群では股関節伸展筋群の遠心性筋活動を高めるによりE.C.期に股関節屈曲位を保持していた結果、FC時の軸足股関節屈曲角度が有意に高値を示したと解釈することが出来る。

さらに、二次元動作評価における不良群は良好群と比較して、TPRの平均値が有意に低値を示した。つまり、不良群は良好群よりも骨盤の回転運動開始の時点が早かったという結果が得られた。

我々は過去にFC時の軸足股関節屈曲角度とTPRに正の相関があったことを報告している⁷⁾。したがって、本研究における二次元動作評価はFC時の股屈曲角度の違いがTPRに影響を与え、良好群のTPRは不良群より有意に高値を示したと考えられる。

以上のことから、本研究に用いた二次元動作評

価はこれまで明確な指標が定められてこなかった“体の開き”を評価する指標として有用であると考えられ、感覚的な評価が主流となっているスポーツ現場や臨床現場に還元するデータとして、有意な結果が得られたのではないかと考えられた。

本研究の限界として、今回の二次元動作評価における検者内信頼性は十分な結果が得られており、過去の報告と合わせると妥当性も一定の水準は満たしている評価基準であると考えられるが、検者間信頼性の検討が行っていないことが挙げられる。今後は複数名の検者による評価を行い、検者間信頼性を検討することで本指標の信頼性・再現性を提示していく必要があると考えられた。

利益相反

本論文に関連し、開示すべき利益相反はなし。

文 献

- 1) 松尾知之, 平野裕一, 川村 卓. 投球動作指導における着眼点の分類と指導者間の意見の共通性 プロ野球投手経験者および熟練指導者による投球解説の内容分析から. 体育学研究. 2010; 55: 343-362.
- 2) 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. 2013; 58: 195-210.
- 3) Aguinaldo AL, Buttermore J, Chambers H. Effects of upper trunk rotation on shoulder joint torque among baseball pitchers of various levels. J Appl Biomech. 2007; 23: 42-51.
- 4) Aguinaldo AL, Chambers H. Correlation of throwing mechanics with elbow valgus load in adult baseball pitchers. Am J Sports Med. 2009; 37: 2043-2048.
- 5) 島田一志, 阿江通良, 藤井範久, 他. 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. 2000; 4: 47-60.
- 6) 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. 2009; 37: 1484-1491.
- 7) 内田智也, 大久保吏司, 松本晋太朗, 他. 投球動作におけるフットコンタクト時の軸足股関節屈曲角度と骨盤回旋の関係. 日本臨床スポーツ医学会誌. 2017; 25: 333-338.

- 8) Solomito MJ, Ferreria JV, Nissen CW. Biomechanical differences between left- and right-handed baseball pitchers. *Sports Biomech.* 2016; 2: 1-9.
- 9) 内田智也, 大久保吏司, 古川裕之, 他. 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. *日本臨床スポーツ医学会誌.* 2017; 25: 16-23.
- 10) 内田智也, 大久保吏司, 古川裕之, 他. 中学野球選手の投球動作における Early Cocking 期の下肢関節・体幹動作の不良と上肢関節トルクの関係. *日本臨床スポーツ医学会誌.* 2017; 25: 339-345.
- 11) Michael Harris, Gordon Taylor. 臨床研究およびスクリーニングのための統計. In: たったこれだけ! 医療統計学. 改定第2版. 京都: 金芳堂; 64-72, 2015.
- 12) 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.
-
- (受付: 2018年3月8日, 受理: 2018年12月19日)

Presentation of the measurement standard for early onset of pelvic rotation during baseball pitching

Uchida, T.*¹, Okubo, S.*², Furukawa, H.*¹, Matsumoto, S.*¹
Komatsu, M.*¹, Noda, Y.*¹, Tsukuda, M.*¹, Fujita, K.*¹

*¹ Fujita Orthopaedic & Sports Clinic

*² Department of Rehabilitation, Kobe Gakuin University

Key words: Pitching motion, three-dimensional motion analysis, early onset of pelvic rotation

[Abstract] One of the major check-points in baseball pitching is early onset of pelvic rotation. However, the measurement standards for early onset of pelvic rotation have not been established. Therefore, the purpose of this study was to identify the relationship between movement of the pivot leg in the early cocking phase and early onset of pelvic rotation for presentation of the measurement standard. The subjects were 68 male baseball pitchers. The pitching motion was analyzed with a 3-dimensional motion analysis system and recorded using high-speed cameras. The subjects were categorized into two groups according to the criteria of motion of the pivot leg in the early cocking phase. Statistical analysis included comparison of the timing of pelvic rotation (TPR) between these groups. TPR occurred later in pitchers who were determined to be the correct group. Therefore, the criteria of motion of the pivot leg in the early cocking phase can use the measurement standards as the early onset of pelvic rotation.