

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

The relationship between hip flexion angle of the pivot leg and
pelvis rotation at foot contact

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
石田美弥*¹, 佃美智留*¹, 藤田健司*¹

キー・ワード：Pitching motion, three-dimensional motion analysis, trunk and lower extremity motion
投球動作, 三次元動作解析, 下肢・体幹動作

【要旨】 不良な投球動作の一つに「投球方向への早期の骨盤回旋」が挙げられ、その動作は Foot Contact (FC)での軸足股関節屈曲角度と関係があると考えられている。そこで、本研究はFCの軸足股関節屈曲角度と骨盤回旋との関係を検討することを目的とした。中学野球選手の投手45名の投球動作を三次元動作解析装置で撮影し、FCでの軸足股関節屈曲角度(HF)及び骨盤回旋のタイミング(TPR)を抽出し、ピアソンの積率相関係数の検定を用いて分析した。HFとTPRには有意な中等度の正の相関が認められた($r=0.46, p<0.01$)。不良な投球動作の典型例である投球方向への骨盤の早期回旋を修正するにはFCにおける軸足股関節屈曲角度に着目することが重要であると考えられた。

はじめに

投球障害の危険因子として、コンディショニング不良やオーバユースなど様々な因子が挙げられるが、不良な投球動作はその主因になると考えられている¹⁻³⁾。中でも、早期に骨盤・体幹の回旋動作が開始する動作、いわゆる“体の開き”は不良な投球動作の代表例であり、投球動作指導における重要な着眼点とされている^{4,5)}。

投球動作は軸足の並進運動およびステップ足を軸とした回転運動によって構成され、体の開きは主にLate Cocking期からAcceleration期に発生する不良動作の一例であり、その修正のためにはEarly Cocking期(以下、E.C.期)の動作が重要であると考えられる。E.C.期における軸足動作の特

徴として、岩堀⁶⁾は股関節屈曲角度が小さい動作はその後の運動連鎖に多大なる悪影響を与え、体幹の後傾や早い開きを誘導すると述べており、元脇ら⁷⁾は股関節屈曲を保持した状態で、Wind upから回旋を伴わず並進移動のみで投球方向へステップする動作を獲得することにより、骨盤の早期回旋を抑制することが出来ると報告していることから、E.C.期の軸足股関節屈曲動作と骨盤・体幹の早期回旋には関連があると考えられる。

しかし、それらの関係を客観的に示した報告は少ないことから、投球動作指導において「軸足でタメを作る」や「軸足に乗せる」などの抽象的な指導用語が用いられることも多く、再現性の高い動作指導を行うための基礎データが必要であると考えられる。

そこで、本研究はE.C.期の最終ポイントとなるフットコンタクト(Foot Contact:以下、FC)時の軸足股関節屈曲角度と骨盤回旋のタイミングを

*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

三次元動作解析装置によって検討することを目的とした。

■ 対象と方法

1. 対象者

対象は当院が主催するメディカルチェックに参加した中学野球選手の投手64名であった。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末節骨のマーカーよりステップ足踵骨のマーカーが前方(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末節骨のマーカーが軸足踵骨のマーカーより後方(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、マルチスピードテスターII(SSK社製)によって球速を測定した。

3. 方法

対象者には10分間のウォーミングアップの後に、全身に49個の赤外線反射マーカー(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フォースプレート上で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」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。

4. 解析方法

解析は専用の制御ソフト cortex を用いて行い、FC時の軸足股関節屈曲角度(Hip Flexion: 以下HF)は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。

次に、骨盤回旋のタイミング(Timing of Pelvis Rotation: 以下TPR)を算出するため、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%、ボールリリースを100%としたピッチングサイクルにおける最大左回旋角度の出現時間を算出した^{9,10)}(図1)。

つまり、この指標は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。

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)。

5. 統計学的解析

統計学的解析はHFとTPRの相関関係を検討するべく、ピアソンの積率相関係数を算出し、統計学的有意水準は危険率5%未満とした。

■ 結 果

対象者数は49名であり、平均年齢 13.4 ± 0.6 歳、平均身長 163.8 ± 8.0 cm、平均体重 54.4 ± 10.3 kgであった。HFとTPRの相関係数は0.46であり、有意な中等度の正の相関が認められた($p < 0.01$)(図

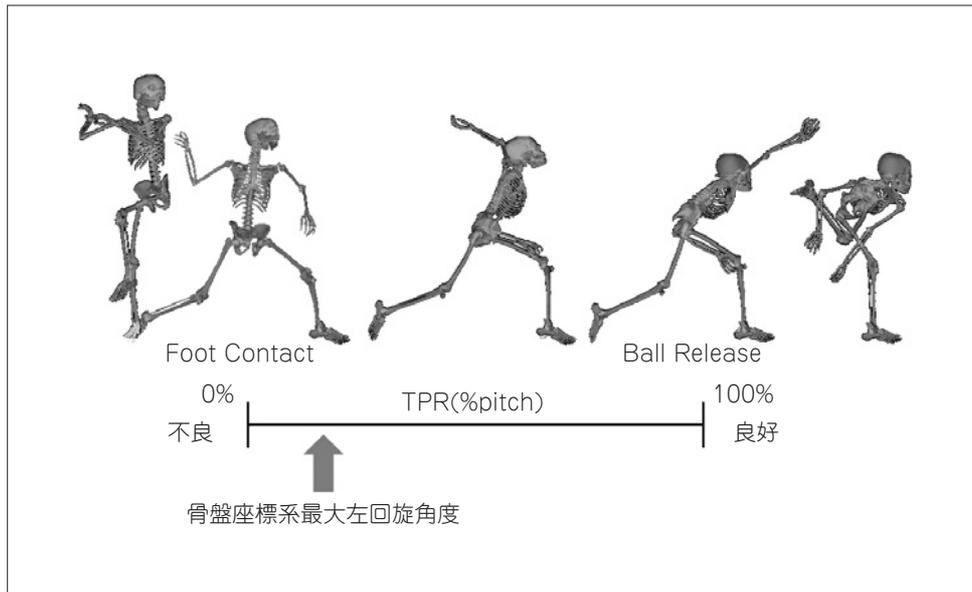


図1 TPRの算出方法

3).

考察

投球動作は下肢・体幹からの運動連鎖に基づく全身運動であり、投球障害予防のためには良好な下肢動作を獲得することが重要となる¹¹⁾。また、松尾ら¹²⁾は野球指導者に投球動作指導におけるチェックポイントを調査したところ、「軸足への荷重」や「ストライド期の“くの字”姿勢などの前額面での体幹の姿勢」など下肢・体幹動作の良否を評価する項目が数多く挙げられたと報告しており、野球技術の向上を目的とするスポーツ現場でもその重要性は周知されている。

下肢・体幹の動作不良が及ぼす運動力学的影響として、Aguinaldoら⁹⁾はFC以前に骨盤が投球方向へ回旋する選手はFC以降に回旋する選手と比較して、肘関節外反トルクが大きかったとしている。さらに、プロ野球選手と若年野球選手を比較したところ、プロ野球選手は骨盤回旋開始時間が遅く、身長及び体重で正規化された肩関節内旋トルクが小さかったことを報告している¹⁰⁾。このように、投球方向への骨盤の早期回旋は上肢関節に過剰なストレスを与える投球動作であることが運動力学的検討により明らかになっていることから、いわゆる“体の開き”は投球動作指導における重要なチェックポイントであるといえる。

“体の開き”に関与する要因として、岩堀⁶⁾はE.C.期に軸足股関節の屈曲角度が小さく、膝関節の

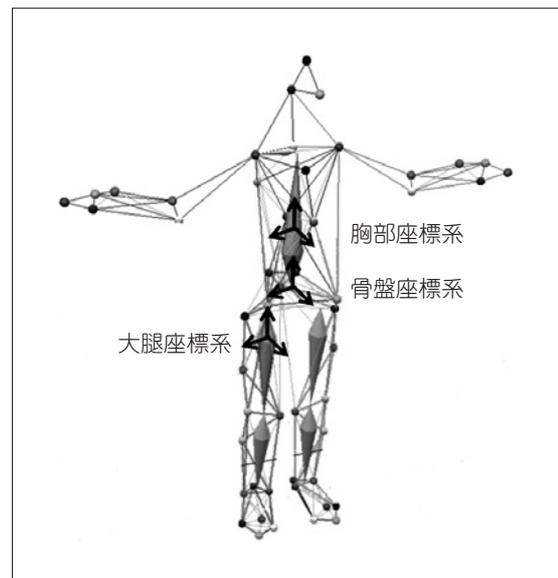


図2 各セグメントの定義

屈曲が優位になることがFC以降の早期の体幹回旋に繋がると述べており、松尾ら¹³⁾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「体幹の早期の開き」と「軸足荷重」に因果関係があることを報告している。つまり、体幹の早期回旋を改善するには、それ以前のフェーズであるE.C.期の軸足動作を修正するための動作指導を行うことが有用であるとされている。

しかし、その指導には“お尻を投球方向へ向け

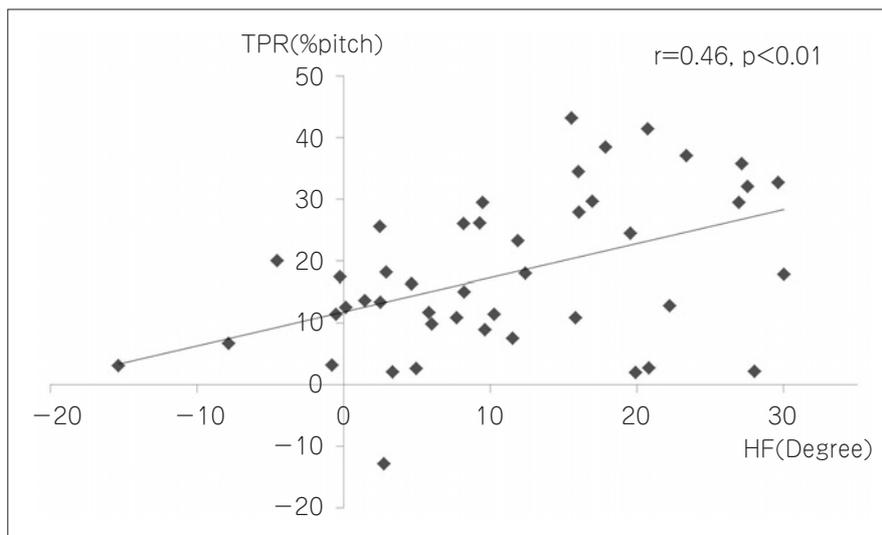


図3 HF と TPR の相関図

る”軸足に体重を乗せる”など抽象的な表現による指導が用いられることもあり，投球動作分析および指導の客観性を高めるためにも，軸足動作と体幹回旋の関係に関する基礎データが必要であると考えられる。

そこで，本研究はFC時の軸足股関節屈曲角度(HF)と骨盤回旋のタイミング(TPR)の相関関係を分析したところ，それらに中等度の正の相関が認められた。

軸足股関節動作と体幹回旋の関係について，島田ら¹⁴⁾はE.C.期後半の股関節伸展トルクによる正のトルクパワーが骨盤を投球方向へ回旋させる役割を果たしていると報告している。また，軸足動作の関節モーメントの変化を評価した報告では，並進運動から回転運動へ切り替わるFC直前に股関節伸展モーメントが最大値を示し，その直後に屈曲モーメントへと切り替わる力学的変化が示されている¹⁵⁾。

これらのことから，投球動作における回転運動は軸足—骨盤の順に行われており，軸足の股関節伸展動作は並進運動から回転運動へ切り替わるきっかけの動作になり得ることが推察された。

本研究で用いたHFはFC時の股関節屈曲角度であることから，股関節伸展方向への角度変化が生じるタイミングが早ければ，低値を示す指標であると考えられる。また，内田ら¹⁶⁾はE.C.期に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ことが重要であると述べており，E.C.期において軸足股関節屈曲位を保持出来ない不良な

体重移動を呈した場合にはHFが低値を示したと推察された。

以上のことから，本研究はFC時の軸足股関節屈曲の保持が早すぎる骨盤回旋を抑制することを明らかにし，投球動作の指導に軸足の股関節運動が重要とする報告を支持した。

本研究の限界

並進運動から回転運動へと切り替わる時の軸足股関節動作として，本研究で焦点を当てた屈曲動作以外に，内旋・外転方向への角度変化が生じている。そのため，今後はそれらの動作も含めた解析を行うことで，軸足股関節動作と骨盤回旋の関係がより明確に示されることが考えられる。

また，体幹の早期回旋を問題視する報告では，骨盤の早期回旋のみならず，上部体幹の早期回旋いわゆる”肩の開き”と表現される動作に着目したのも多いが^{17,18)}，本研究で用いたTPRは骨盤座標系の回転に着目した指標であることから，上部体幹の回旋動作は考慮されていない。さらに，TPRが骨盤座標系と胸部座標系の位置関係から算出される項目であることから，上部体幹の回旋のタイミングが本研究の交絡因子になった可能性があると考えられる。

よって，今後は上部体幹の早期回旋いわゆる”肩の開き”と表現される動作にも着目した解析を行うことでより精度の高い分析が可能になると考えられる。

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) 岩堀裕介. 成長期における上肢スポーツ障害の特徴と治療. In: 山口光國 (編). 投球障害のリハビリテーションとリコンディショニング—リスクマネジメントに基づいたアプローチ—第1版, 東京: 文光堂; 91-117, 2010.
- 2) Lyman, S, Fleisig, GS, Waterbor, JW et al.. Longitudinal study of elbow and shoulder pain in youth baseball pitchers. *Med Sci Sports Exerc.* 2001; 33: 1803-1810.
- 3) 原田幹生, 高原政利, 佐々木淳也. 少年野球選手の投手における野球肘の発症に關与する危険因子の検討. *日本肘関節学会雑誌.* 2011; 18: 226-229.
- 4) 岩堀裕介. 身体機能の改善と動作への介入 1) 成長期選手の特徴と対応. In: 山崎哲也, 柏口新二, 能勢康史 (編). 肘実践講座 よくわかる野球肘 肘の内側部障害—病態と対応—第1版, 東京: 全日本病院出版会; 294-312, 2016.
- 5) 久保田正一. 野球用語を動作的に考える—「手投げ」「下半身を使って投げる」とは. In: 福井 勉, 山田英司 (編). エキスパート理学療法1 バイオメカニクスと動作分析第1版, 東京: ヒューマン・プレス; 158-165, 2016.
- 6) 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.
- 7) 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.* 2013; 18: 27-30.
- 8) Solomito, MJ, Ferreria, JV, Nissen, CW. Biomechanical differences between left- and right-handed baseball pitchers. *Sports Biomech.* 2016; 2: 1-9.
- 9) 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.
- 10) Aguinaldo, AL, Chambers, H. Correlation of throwing mechanics with elbow valgus load in adult baseball pitchers. *Am J Sports Med.* 2009; 37: 2043-2048.
- 11) 森原 徹, 松井知之, 高島 誠. 運動連鎖からみた投球動作—各期におけるチェックポイントと評価—. In: 運動連鎖から考える投球障害. 第1版, 東京: 全日本病院出版会; 30-53, 2014.
- 12) 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.
- 13) 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.
- 14) 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の研究. *バイオメカニクス研究.* 2000; 4: 47-60.
- 15) 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.* 2013; 21: 618-622.
- 16) 内田智也, 大久保吏司, 松本晋太郎ほか. 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.
- 17) 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.* 2014; 26(2): 40-45.
- 18) 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.* 2014; 26(3): 40-44.

(受付: 2016年12月5日, 受理: 2017年3月27日)

The relationship between hip flexion angle of the pivot leg and pelvis rotation at foot contact

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

^{*1} Fujita Orthopaedic & Sports Clinic

^{*2} Department of Rehabilitation, Kobegakuin University

Key words: Pitching motion, three-dimensional motion analysis, trunk and lower extremity motion

[Abstract] One of the improper pitching mechanics includes “the early onset of trunk rotation”. It is considered that this motion correlates with the hip flexion angle at foot contact. The purpose of this study was to investigate the correlation between the hip flexion angle at foot contact (HF) and the timing of pelvis rotation (TPR). Forty-five youth baseball pitchers were analyzed using a 3-dimensional motion analysis system. The relationship between HF and TPR were analyzed by Pearson’s correlation coefficient. HF was significantly positively correlated with TPR ($r=0.46$, $p<0.01$). This study indicates that the hip flexion angle at foot contact is associated with trunk rotation.