

三次元投球動作解析から見た成長期野球選手の 投球動作の特徴についての検討

○田中 正栄 (たなか まさえい) (PT)¹⁾, 西野 勝敏 (PhD)¹⁾, 山本 智章 (MD)²⁾, 大森 豪 (MD)³⁾, 古賀 良生 (MD)⁴⁾

¹⁾ 新潟県健康づくり・スポーツ医科学センター

²⁾ 新潟リハビリテーション病院 整形外科

³⁾ 新潟医療福祉大学 健康スポーツ学科

⁴⁾ 二王子温泉病院

緒 言

投球による肩・肘関節障害の主な発生因子として投球過多, 技術的に未熟な投球動作, 身体特性などが考えられ, これらの因子が複合的に影響することで投球障害が発生する. 本研究は技術的に未熟な小学生選手と高校生選手の投球動作を生体力学的に分析し, その比較検討から特徴を捉え, 障害予防の知見を得ることを目的とした.

対 象

対象は, 8歳から18歳までの男性野球選手165名とし, 年代別に8歳から12歳の小学生74名 (小学生群), 15歳から18歳の高校生91名 (高校生群) の2群とした. 各群

の平均年齢, 野球歴, 身長, 体重などの身体的特性を表1に示す.

方 法

1. 投球動作の3次元測定

測定機器は赤外線カメラ6台を備えたモーション・キャプチャー・システム VICON (Vicon Motion Systems社), 2台の高速度ビデオカメラ (nac社) を使用した. 計測周期は250Hzとし, 身体上の特徴点35点に反射マーカーを貼付した (図1). 投球試技は, ピッチングプレートから11m先のターゲットゾーンに向け直球を全力投球させ, その球速をレーダースピードガン (Radar Sales社) で計測した. 分析した試技は, ターゲットを通過した5試技以

表1. 各群のプロフィール

	小学生群	高校生群
人 数 [名]	74	91
年 齢 [歳]	10.5±1.2	16.6±0.7**
野球歴 [年]	2.0±1.3	7.2±1.9**
身 長 [cm]	144.2±9.6	174.8±5.7**
上肢長 [cm]	30.1±10.6	50.5±8.4**
下肢長 [cm]	73.4±5.7	87.8±4.0**
体 重 [kg]	38.3±8.7	69.9±7.4**

※** : p<0.01

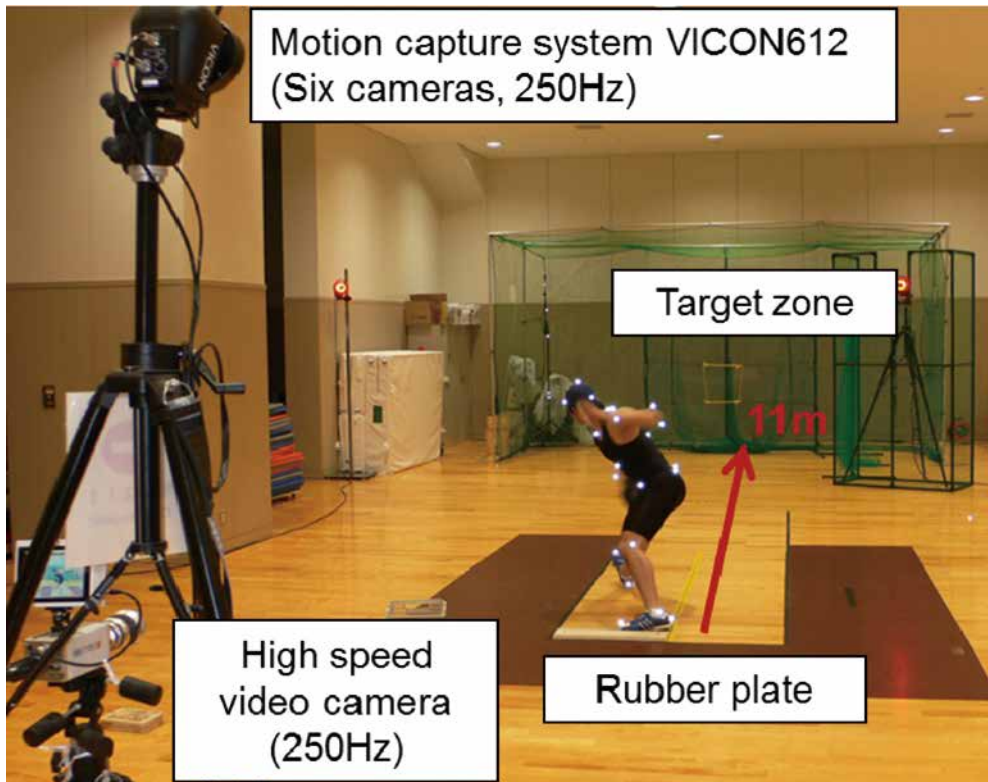


図1. 測定環境

上の中で選手が満足し、かつ球速が最も速い試技を採用した。

2. 投球動作の分析

投球動作は、モーション・キャプチャー・システムのデータと高速度ビデオカメラの映像を基にして5つの局面を特定した：①踏込み脚の膝が最高位に到達 (Knee high, KH)；②踏込み脚の足底完全接地 (Foot plant, FP)；③投球側肩関節最大外旋位 (Maximum external rotation, MER)；④ボールリリース (Ball release, BR)；⑤投球側肩最大内旋位 (Maximum internal rotation, MIR)。この5局面で分けられた6区間を次の相として分類した：① Wind up (～ KH)；② Early cocking (KH ～ FP)；③ Late cocking (FP ～ MER)；④ Acceleration (MER ～ BR)；⑤ Deceleration (BR ～ MIR)；⑥ Follow through (MIR ～)。本研究の分析区間は局面KHからMIRまでとした。

モーション・キャプチャー・システムから得られたデータは、動力学と運動学の観点から以下のように分析した。動力学的分析項目は肩関節と肘関節の関節間力（体重で除して標準化）、球速比関節間力（標準化関節間力を球速で除した値）とした。関節間力はボールを含む手部の末端から体幹に至るまでの上肢の剛体リンクモデルを作成し、ニュートン・オイラー法を用いて逆動力学的解析により算出した。算出に用いる各体節の係数は、阿江らの身体部分慣性係数に準じた¹⁾。球速比関節間力は、関節間力を体重

で除して標準化し、さらに標準化関節間力を球速で除した値を球速1kmあたりの肩・肘関節にかかる球速比負担として評価した。また、運動学的分析項目として、KH～FPまでの地面に対する体幹の前後傾斜角、踏込み脚のストライド長とストライド幅、地面に対する骨盤と胸部の回旋角、骨盤に対する胸部の回旋角を体幹の捻れ角として評価した（図2）。

3. 統計学的データ分析

プロフィールや投球動作分析の項目について2群間の比較を student t test で評価し、有意水準を5% ($p < 0.05$) とした。

結 果 (表2)

1. 肩・肘関節の標準化関節間力と球速比関節間力

肩・肘関節の標準化関節間力は球速の速い高校生群が有意に高く ($p < 0.01$)、球速で除した球速比関節間力では、小学生群が有意に高かった ($p < 0.01$)。関節間力の最大値は、ともにMERからBRの区間で算出された。

2. 体幹の前後傾斜角と骨盤・胸部の回旋角と体幹の捻れ角

KHの体幹前後傾斜角は小学生で後傾が有意に大きく ($p < 0.01$)、ストライド身長比は高校生が有意に大きかった ($p < 0.01$)。ストライド幅は小学生が有意に大きく ($p < 0.01$)、open stanceの選手が多く見られた。FPにおいても小学生の体幹の後傾は有意に大きく ($p < 0.01$)、地面

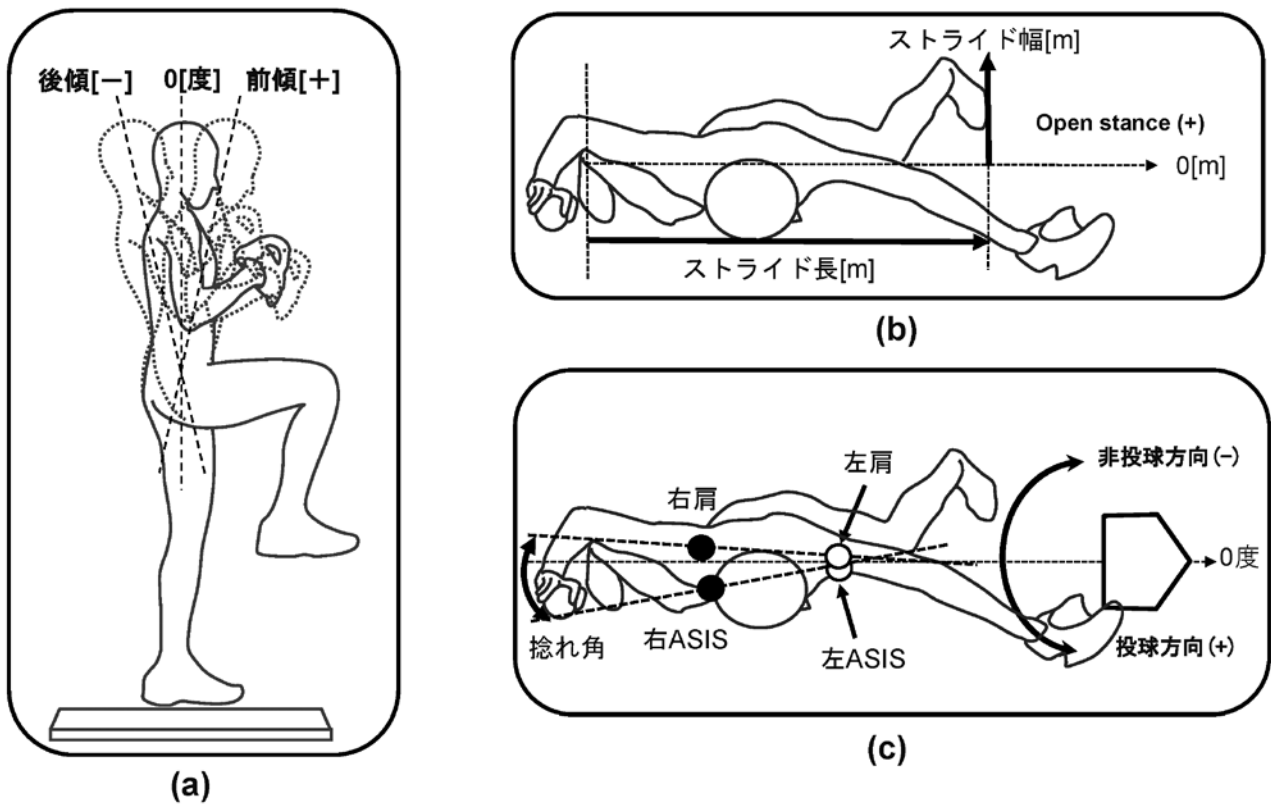


図2. 運動学的分析項目

(a) 体幹の前後傾斜角 (b) 踏み込み脚のストライド長, ストライド幅 (c) 骨盤, 胸郭回旋角, 体幹の捻れ角

表2. 動力学・運動学的分析項目

	小学生群	高校生群
肩関節間力[%体重]	83.9±13.2	100.5±11.5**
肘関節間力[%体重]	73.4±10.3	83.3±8.0**
肩関節間力/球速[%体重/km/h]	1.08±0.18	0.87±0.08**
肘関節間力/球速[%体重/km/h]	0.95±0.16	0.72±0.06**
ストライド身長比 [%身長] @FP	79.7±7.7	83.5±6.4**
ストライド幅 [m] @FP	0.08±0.10	0.00±0.08**
体幹傾斜角 [deg] @KH	-5.1±11.9	0.6±7.7**
体幹傾斜角 [deg] @FP	-22.2±11.3	-11.3±10.5**
骨盤回旋角 [deg] @FP	40.6±12.2	43.5±12.0
胸部回旋角 [deg] @FP	17.2±14.2	9.3±14.1**
体幹捻れ角 [deg] @FP	-21.7±11.1	-32.5±9.5**

※** : p<0.01

に対する骨盤の回旋には有意な差を認めなかったが、胸部の回旋は小学生が有意に大きく ($p < 0.01$)、体幹の捻れ角は高校生が有意に大きかった ($p < 0.01$)。

考 察

投球は下肢-体幹-上肢の各関節が適切なタイミングで連動し成り立つ動作である。投球障害が発症する late cocking から acceleration phase の所要時間は非常に短く、この phase への直接的な技術指導は難しいため、前位相の early cocking phase からの運動連鎖を考慮した指導が求められる。また、生体力学的検討においては、これまでに球速の増加に伴う関節トルクや関節間力の増加や FP の際の骨盤、体幹の回旋と肩・肘への負担との関連について報告されている^{2)~6)}。本研究も、球速の速い高校生の肩・肘関節間力が高い結果であった。しかし、球速比負担では小学生が高く、その要因として FP の際の open stance と胸部回旋が早い、いわゆる肩の開きが早いことによる影響と考えられた。よって小学生の方が肩・肘への球速比負担が大きい投球動作であることから、未成熟な骨・骨端軟骨への負担が増加し、投球障害の発症につながるものと推察される。そのため少年期の投球障害の予防には KH の際の姿勢制御、FP への体重移動と骨盤を回旋しながら胸部を開かない体幹の捻れを維持する協調運動を習得した投球技術と成長段階や投球技術に適した投球数の制限が必要と考える。今後は投球技術に関する多くの要因に対して、多変量解析による分析をすすめ、各要因の関連性について明確にしていきたいと考えている。

結 語

1. 小学生群と高校生群の投球動作解析を生体力学的に比較検討した。
2. 球速の速い高校生群では肩・肘関節にかかる関節間力が大きく、肩・肘関節間力を球速で除した球速比負担では小学生群が高い結果であった。
3. 小学生群の肩・肘関節への負担の増加要因として、Knee high、Foot plant の際の体幹後傾位と Foot plant の際の open stance、early cocking phase の肩の開きによる影響と考えられた。

参考文献

- 1) 阿江通良：日本人幼少年およびアスリートの身体部分慣性係数。Jpn. J. Sports. Science 1996；15：155-62。
- 2) Fleisig GS, Barrentine SW, Zheng N, et al. Kinematic and kinetic comparison of baseball pitching among various levels of development. J Biomech. 1999；32：1371-5。
- 3) Stodden DF, Fleisig GS, McLean SP, et al. Relationship of biomechanical factors to baseball pitching velocity：within pitcher variation. J Appl Biomech. 2005；21：44-56。
- 4) Wight J, Richards J, Hall S. Influence of pelvis rotation styles on baseball pitching mechanics. Sports Biomech. 2004；3：67-83。
- 5) Aguinaldo AL, Chambers H. Correlation of throwing mechanics with elbow valgus load in adult baseball pitchers. Am J Sports Med. 2009；37：2043-8。
- 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；37：1484-91。