

## 高校野球投手に対する投球フォーム指導前後の変化 — 3次元動作解析装置による分析 —

三浦祐揮 飯田博己 愛知医科大学病院 リハビリテーション部  
中路隼人 岩本 賢 尾関圭子 田中拓哉  
愛知医科大学 整形外科科学教室  
岩堀裕介 梶田幸宏  
国際武道大学 体育学部  
神事 努  
愛知医科大学 リハビリテーション科  
木村伸也

### 【はじめに】

不良な投球フォームは、投球障害を発生する一要因として認識されている。「肘下がり」および「早い体の開き」は、一般的に不良とされている投球フォームの代表的なものであり<sup>1)</sup>、これらを改善するために投球フォーム指導が行われている。

投球フォーム指導の効果について、関節角度や角速度などの運動学的指標の変化を評価・検証した報告<sup>2) 3)</sup>はあるが、関節力や関節トルクなどの動力学的指標の変化は明らかにされていない。

そのため、投球フォームが改善すると、関節にかかるストレスは減少するという仮説のもと、第39回日本整形外科スポーツ医学会学術集会で専門家の投球フォーム指導による動力学的指標の変化を検証する試みがなされた。今回、ここで得られたデータから投球フォーム指導前後の運動学的・動力学的指標の変化を検討したので報告する。

### 【症例と方法】

#### 1) 症例

症例は県内強豪校の硬式高校野球投手で、年齢は18歳、身長181cm、体重68kg、野球歴10年で右投げである。既往歴として投球によるinternal impingementに対する保存的治療、および右肘内側側副靭帯(MCL)損傷に対して靭帯再建術を受けている。撮影時は疼痛なく全力投球できる状態であ

った。なお対象者、保護者及び指導者に研究の趣旨・方法を十分に説明し、承諾を得て実施した。

#### 2) データ収集

撮影手順は、十分なウォーミングアップを行わせた後、硬式球を5m先のネットに向かって全力の投球フォームを5球撮影し、専門家による投球フォーム指導を約1時間実施(並進運動時の軸脚下肢の使い方を中心に指導)した直後にもう一度5球撮影した。

投球動作の計測には光学式3次元モーションキャプチャシステムVicon MX (Oxford Metrics Inc.)を使用した。撮影は太陽光の影響を防ぐため、すべて屋内にて行った。赤外線反射マーカは、国際バイオメカニクス学会が推奨<sup>4)</sup>するマーカ貼付位置を参考に投球側の肩・肘・手関節・手指の身体セグメント座標系と関節座標系を定義するための身体的特徴点13箇所(頸切痕、剣状突起、第7頸椎棘突起、第8胸椎棘突起、肩峰、肩関節前部、肩関節後部、上腕骨内側上顆、上腕骨外側上顆、橈骨茎状突起、尺骨茎状突起、第3中手骨遠位、第3末節骨遠位)とした(図1)。ボールは4箇所とした。記録には専用カメラ(MX+シリーズ)を12台使用し、サンプリング周波数は1000Hzに設定した。角度の算出は記録したマーカの位置をもとに中村らの方法<sup>5)</sup>に従った。体幹に対する上腕の角度を肩関節の角度、カメラ座標系に対する胸部の角度を体幹の角度とした。いずれも体節間をボール&ソケットジョイントと仮定した。

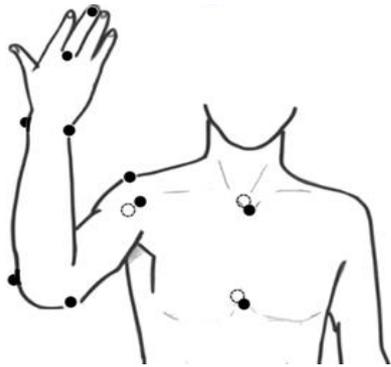


図1: 反射マーカ貼付位置

頸切痕, 剣状突起, 第7頸椎棘突起, 第8胸椎棘突起, 肩峰, 肩関節前部, 肩関節後部, 上腕骨内側上顆, 上腕骨外側上顆, 橈骨茎状突起, 尺骨茎状突起, 第3中手骨遠位, 第3末節骨遠位の13箇所  
※○は背面を表す

3) 評価項目

身体部位の関節角度についてはボールリリース(以下, BR) 時の肩外転・水平内転, 体幹左回旋角度を, 関節の角速度については加速期最大値の肩内旋, 肘伸展, 体幹左回旋角速度を測定した. 球速についてはボールの初速度(合成速度)を, 動力学的指標としては肩関節最大外旋位(以下, MER)時の肩内旋トルク・肘外反トルク, BR時の肩前方関節力を測定した.

指導前後の各データの比較には, Wilcoxonの符号付き順位検定を有意水準5%未満として用いた.

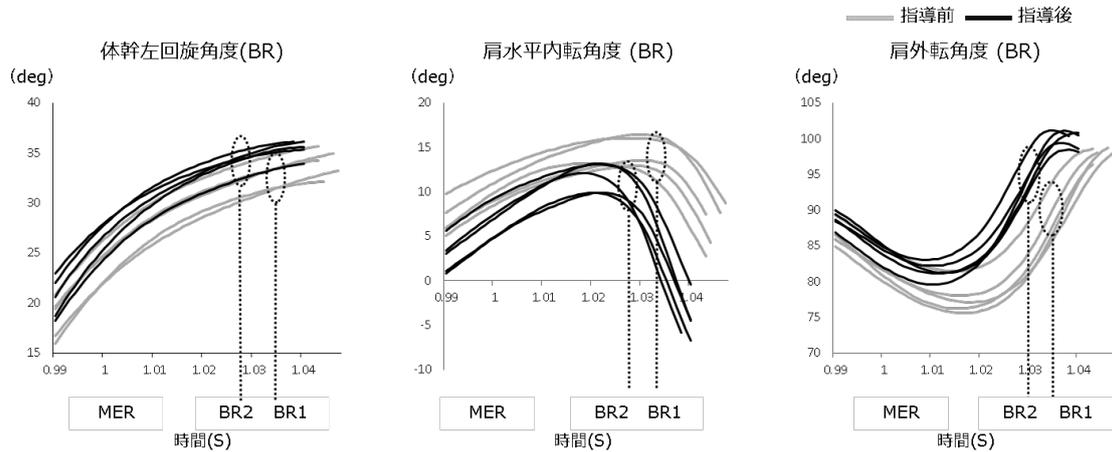


図2: 投球フォーム指導前後の角度

MER: 肩関節最大外旋位, BR1: 指導前 BR, BR2: 指導後 BR  
横軸: MERを1とした.

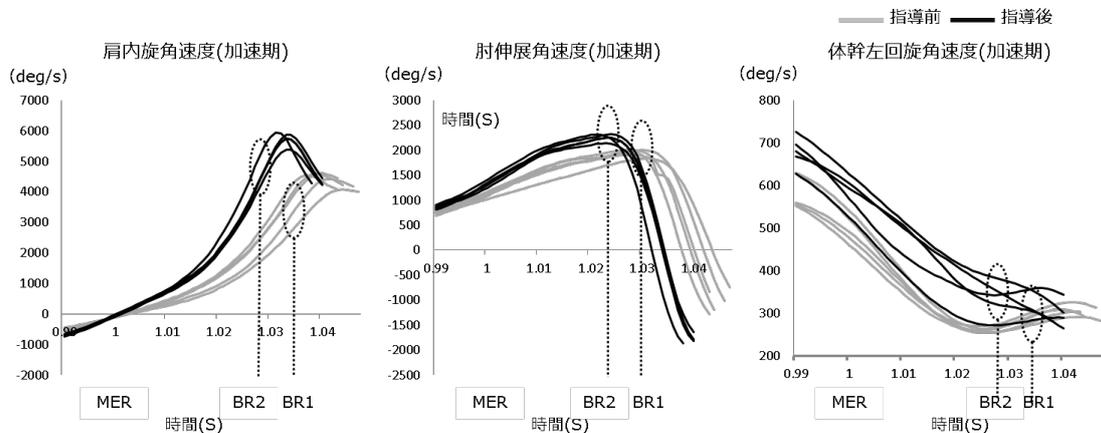


図3: 投球フォーム指導前後の角速度

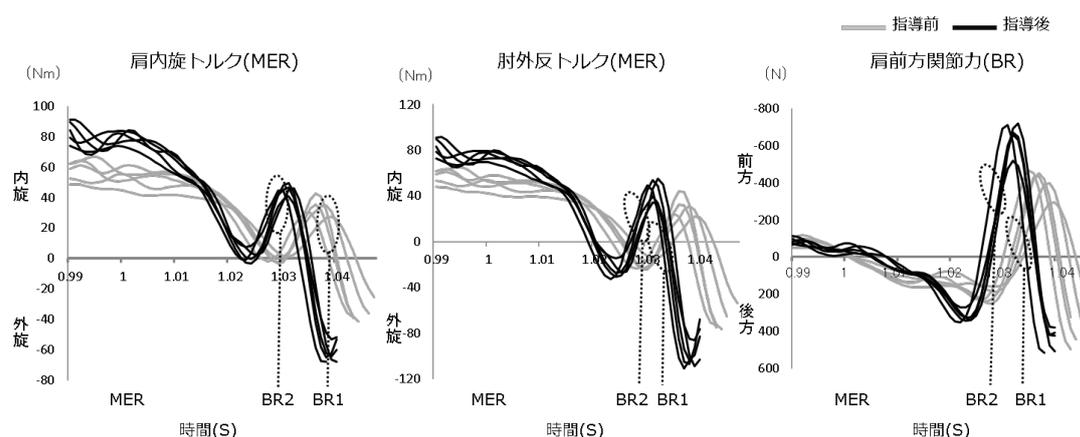


図4: 投球フォーム指導前後の動力的指標

**【結果】**

投球フォーム指導前後の値 (平均値 ± 標準偏差) を示す (表1).

1) 体幹・上肢の角度

BR 時における各計測角度は, 体幹左回旋が指導前  $26.0 \pm 1.2^\circ$ , 指導後  $29.6 \pm 0.6^\circ$ , 肩水平内転が指導前  $13.5 \pm 1.9^\circ$ , 指導後  $8.6 \pm 1.9^\circ$ , 肩外転が指導前  $88.7 \pm 2.3^\circ$ , 指導後  $94.7 \pm 1.3^\circ$  であった. 体幹・上肢の角度について, 指導後に肩水平内転は有意に減少, 肩外転は有意に増大したが, 体幹左回旋は有意差を認めなかった (図2).

2) 体幹・上肢の角速度

加速期における各計測角度は, 体幹左回旋が指導前  $497.6 \pm 32.5 \text{ deg/sec}$ , 指導後  $583.5 \pm 39.2 \text{ deg/sec}$ , 肩内旋が指導前  $3672.7 \pm 276.2 \text{ deg/sec}$ , 指導後  $5072.4 \pm 153.4 \text{ deg/sec}$ , 肘伸展は指導前  $1953.0 \pm 74.1 \text{ deg/sec}$ , 指導後  $2256.0 \pm 72.8 \text{ deg/sec}$  であった (図3). 体幹・上肢の角速度は, 指導後にすべて有意に増大した.

3) 球速

球速は指導前  $26.6 \pm 1.2 \text{ m/s}$ , 指導後  $29.6 \pm 0.6 \text{ m/s}$  であり, 指導後に有意に増加した.

4) 動力的指標

MER 時の肩内旋トルクが指導前  $53.4 \pm 6.0 \text{ Nm}$ , 指導後  $79.6 \pm 4.2 \text{ Nm}$ ・肘伸展トルクが指導前  $50.9 \pm 5.9 \text{ Nm}$ , 指導後  $75.3 \pm 4.1 \text{ Nm}$ , BR 時の肩前方関節力が指導前  $-219.0 \pm 89.9 \text{ N}$ , 指導後  $-400.3 \pm 39.6 \text{ N}$

であった (図4). 動力的指標は, 指導後にすべて有意に増大した.

**【考察】**

今回, 専門家による指導前後の投球フォームを三次元動作解析装置を用いて分析した. その結果, 運動学的指標の変化については, 指導後に, 肩外転角度が有意に増大し, 肘下がりに改善がみられた. さらに, 指導後は投球毎のばらつきが減少しており, 投球フォームが安定したと考えられる. また, BR 時の体幹左回旋が指導後に高値傾向を示し, 肩水平内転角度が有意に減少した. 坂田ら<sup>5)</sup>は Stride 相での身体の開きは早期の体幹回旋終了を招くため, リリース時の肩水平内転角度を著しく増加させる報告している. 本症例において, BR 時の体幹回旋がより大きく生じたことや, 水平内転が減少したことから, 早い身体の開きが矯正され, 体幹と上肢の連動が改善したと推察される. また, 加速期の体幹左回旋・肩内旋・肘伸展角速度は有意に増大した. 宮西ら<sup>7)</sup>は BR 時の体幹左回旋・肩内旋・肘伸展・手関節掌屈運動がボールの合成速度に貢献していると報告している. 本症例においても, 各角速度の増加は球速の増加に影響したと考えられる.

一方, 動力的指標の変化については, すべての動力的指標が投球フォーム指導後に有意に増大した. 松尾ら<sup>8)</sup>は, 肘外反トルクや肩の関節力は球速と正の相関があるとしている. Werner<sup>9)</sup>らは, 肘障

		指導前		指導後		P値
球速		26.6 ± 1.2		29.6 ± 0.6		0.043*
角度(°) (BR)	肩外転	88.7 ± 2.3		94.7 ± 1.3		0.043*
	肩水平内転	13.5 ± 1.9		8.6 ± 1.9		0.043*
	体幹左回旋	26 ± 1.2		29.6 ± 0.6		0.043*
角速度(deg/sec) (加速期最大値)	肩内旋	3672.7 ± 276.2		5072.4 ± 153.4		0.043*
	肘伸展	1953 ± 74.1		2256.0 ± 72.8		0.043*
	体幹左回旋	497.6 ± 32.5		583.5 ± 39.2		0.138
肩前方関節力(N) (BR)		-219 ± 89.9		-400.3 ± 39.6		0.043*
肩内旋トルク(MER) (Nm)		53.4 ± 6.0		79.6 ± 4.2		0.043*
肘外反トルク(MER) (Nm)		50.9 ± 5.9		75.3 ± 4.1		0.043*

\* p &lt; 0.05

表1: 投球フォーム指導前後の値と指導後の変化

害を起こした投手の方が球速が速いと報告している。本症例の動力学的指標の増大にも、球速の上昇が影響していると考えられる。

投球フォーム指導の効果として、関節への動的ストレス軽減や球速の上昇が期待される。本症例では投球フォームの短期的な指導によって、投球フォームに改善はみられたが、関節への動的ストレスは増大した。球速の上昇に伴う関節への動的ストレスの増大が必然的であるならば、その程度は最小限であることが望ましく、それが投球フォーム指導の意義と言える。今後、この点についてさらに検証していく必要がある。

本研究の限界は、症例数が1名のみということや、肩甲骨や下肢の評価が行われていないことである。そのため、すべての選手に当てはまるかどうかは確認できていないため結果の解釈には注意が必要である。今後、症例数を増やすこと、肩甲骨と股関節を含む下肢の運動学的指標を含めた検討も行っていきたい。

#### 【結論】

今回、専門家による投球フォーム指導を行い、指導前後の投球フォームを三次元動作解析装置を用いて分析した。

投球フォームは改善したが、球速が増したため、肩肘への動的ストレスとしての動力学的指標は増大した。

謝辞: 本論文は、第39回日本整形外科スポーツ医学会学術集会ワークショップで行われたデータをまとめたものである。この研究を進めるにあたり、素晴らしい機会を与えてくださった、大会長である大塚隆信教授(名古屋市立大学大学院医学研究科整形外科)に厚く御礼申し上げます。また、選手に対する投球フォーム指導にご協力いただいた前田健氏およびBCSベースボールパフォーマンスのスタッフに深く感謝いたします。そして、前日からのセッティングなども含めワークショップの運営にご尽力いただいたインターリハ株式会社の皆様に深く御礼申し上げます。

【参考文献】

- 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, 山口光國編, Skill-up リハビリテーション&リコンディショニング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, 東京: 文光堂; 2010, 91-117.
- 2) 元脇周也, 投球障害症例に対する投球フォーム指導の効果, スポーツ傷害, 2013; 18: 27-30.
- 3) 細川十郷, 小学生における真下投げ練習の有効性, 体力科学 2000; 49(6): 845.
- 4) Ge Wu, Frans CT, et al, ISB recommendation on definitions of joint coordinate systems of various joints for the reporting of human joint motion—Part II: shoulder, elbow, wrist and hand, Journal of Biomechanics, 2005; 38: 981-992.
- 5) 中村康雄, 林 豊彦・他: 投球フォームとボール・リリース時の肩関節負荷, バイオメカニズム, 2004; 17: 123-132.
- 6) 岩堀裕介, 運動連鎖を取り入れた投球障害の対応 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) 坂田淳, 鈴川仁人, 赤池敦 ほか, 内側型野球肘患者の疼痛出現相における投球フォームの違いと理学所見について, 日本整形外科スポーツ医学会雑誌 2012; 32 (3) : 55-62.
- 8) 信原克哉, 肩 その機能と臨床, 第4版, 東京: 医学書院; 2012, 307.
- 9) 宮西智久, 藤井範久, 阿江通良, 大学野球選手における速投および遠投動作の3次元比較研究, 体育学研究 1995; 40: 89-103.
- 10) 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 2012; 29: 313-319.
- 11) Werner, S. L. et al, Relationships between ball velocity and throwing mechanics in collegiate baseball pitchers, J. Shoulder Elbow Surg 2008; 17: 905-908.