

## 研究報告



## 少年野球選手の遠投の3次元動作解析 ～ボール・リリース時の体幹と肩関節に着目して～\*

三浦祐揮<sup>1)</sup>・飯田博己<sup>1)</sup>・中路隼人<sup>1)</sup>・岩本 賢<sup>1)</sup>・尾関圭子<sup>1)</sup>  
田中拓哉<sup>1)</sup>・岩堀裕介<sup>2)</sup>・梶田幸宏<sup>2)</sup>・神事 努<sup>3)</sup>・木村伸也<sup>4)</sup>

### 【要 旨】

臨床では、遠投練習が契機となって投球障害を発症した少年野球選手の治療にあたることがたびたびある。本研究では、少年野球選手の20m投球と遠投時の投球フォームを定量的にとらえ、遠投によるフォーム変化を検討した。対象は軟式少年野球チームに所属する小学5年生6名とした。全員右投げであった。選手には、20m投球と遠投をそれぞれ5球ずつ投げさせ、モーションキャプチャ・システムで解析した。評価項目はボール・リリース時の体幹前傾角度、体幹左側屈角度、体幹左回旋角度と肩関節水平外転角度とした。20m投球と遠投時について、各角度を計測し、20m投球を基準として、遠投時の変化を増加するものと減少するものに分類し、人数分布を調査した。その結果、遠投時、すべての選手の肩水平外転が増加し、体幹前傾が減少していた。体幹側屈は増加4名、減少2名であった。体幹回旋は増加1名、減少5名であった。少年野球選手の遠投は、体幹・上肢の不良な投球フォームを惹起し、肩関節の動的ストレスを増大させる可能性が示唆された。

キーワード：遠投，三次元動作解析，投球動作

### はじめに

臨床では、遠投練習が契機となって投球障害を発症した少年野球選手の治療にあたることがたびたびある。野球選手における遠投練習について、効率的な重心移動や全身を使った投球動作の習得に良いとする肯定的な意見がある一方、遠投によって肘下がりや早い体の開きといった不良な投球フォームを惹起し、投球障害につながる危険性を指摘する否定的な意見もある。

通常投球時の不良な投球フォームと関節への動的ストレスや投球障害との関係は多く報告されている。その代表として肘下がりがあげられる。千葉ら<sup>1)</sup>は、肘下がりがあるとボール・リリース時（以下、BR）に肘の伸展運動ができない状態を招き、肘の外反ストレスが加わり負担の大きい動作になると述べている。また坂田ら<sup>2)</sup>は、少年野球選手の前向き調査において、肘下がりや肘内側障害の発生要因になると述べている。先行研究<sup>3)</sup>で

\* Three-dimensional motion analysis of the long distance throw in little league baseball players - Focusing on motion of trunk and shoulder at the point of ball release -

1) 愛知医科大学病院 リハビリテーション部  
(〒480-1195 愛知県長久手市岩作雁又1番地1)  
Yuki Miura, RPT, Hiroki Iida, RPT, Hayato Nakaji, RPT,  
Ken Iwamoto, RPT, Ozeki Keiko, RPT, Takuya Tanaka,  
RPT: Department of Rehabilitation medicine, Aichi  
Medical University Hospital

2) 愛知医科大学 整形外科学教室  
Yusuke Iwahori, MD, Hiroyuki Kajita, MD: Department  
of Orthopedic Surgery, Aichi Medical University School  
of Medicine

3) 國學院大學 人間開発学部  
Tsutomu Jinji: Faculty of Human Development,  
Kokugakuin University

4) 愛知医科大学 リハビリテーション科  
Shinya Kimura, MD: Department of Rehabilitation  
medicine, Aichi Medical University

# E-mail: miurayu@aichi-med-u.ac.jp

は、少年野球選手の遠投動作を肘下がりに着目して3次元的に検討しているが、遠投によって肘下がりが出現する選手を認めなかった。

また、通常投球時の体幹に着目した報告で Oyama ら<sup>4)</sup>は、高校生を対象に体幹・上肢の運動を3次元的に分析した結果、体幹傾斜がみられた場合には肘外反トルクと上腕骨長軸の牽引トルクが増大したと述べている。また中村ら<sup>5)</sup>は、上腕骨骨端線損傷を有す選手のフォームの特徴に体幹側屈を挙げている。伊藤ら<sup>6)</sup>は、投球時に必要な体幹回旋運動が不足すると、それを補うために、肩関節は肩甲骨面の軸より後方で過度の内旋運動を行うこととなり、これが上肢投球障害発生の原因となると述べている。さらに肩水平外転についても投球障害との関連が示されている。田中ら<sup>7)</sup>は投球動作解析のなかで、acceleration相のBR時において、剪断力と考えられる前後方向と上下方向の肩関節力が最少となる肩関節姿勢を推定しており、その姿勢から逸脱すると肩関節への剪断力は6倍程度増加するため過度の水平外転位は避けるべき姿勢であると述べている。信原<sup>8)</sup>はlate cocking相やacceleration相での肩関節水平外転は障害を起こしやすい投げ方であると指摘し、腱板疎部損傷や中関節上腕靭帯損傷などの原因となると述べている。

そこで本研究は、少年野球選手の遠投によるフォーム変化を体幹の前傾・側屈・回旋角度と肩水平外転角度に着目して、3次元動作解析装置を用いて定量的に検討した。

## 方法

### 1. 対象

軟式少年野球チームに所属する小学5年生6名とした。全員右投げであった。全例投球時に四肢・体幹の愁訴を認めなかった。平均年齢は10.3 ± 0.5歳(10～11歳)、平均身長は139.5 ± 7.9 cm(128～147 cm)、平均体重は33.7 ± 4.8 kg(28～41 kg)であった。守備位置の内訳は投手1名、捕手1名、内野手2名、外野手2名であった。競技歴は3 ± 0.9年(2～4年)であった。全対象者、保護者およ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

投球動作における関節角度の計測には光学式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、すべて屋内体育館にて行っ

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>9)</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を使用し、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>10)</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。

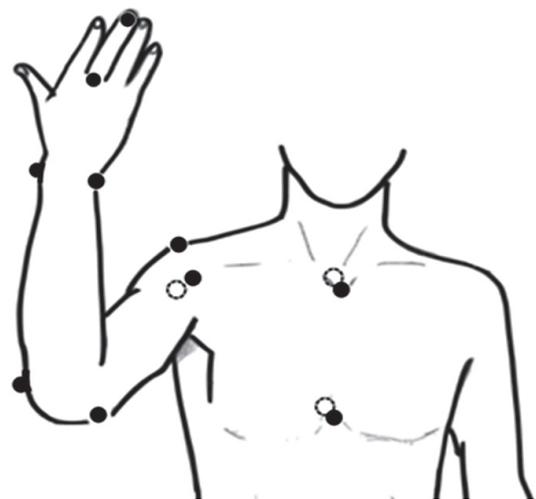


図1. 反射マーカ貼付位置

※○は背面を表す

選手には計測前に十分なウォーミングアップを行わせた。実験試技として、異なる2種類の投球動作を選手に行わせた。一つは前方20 m地点にいる捕球者に向かってできるだけ速いボールを投げる(以下、20 m投球)、もう一つはできるだけ遠くへ山なりでボールを投げる(以下、遠投)を選手に指示し、それぞれ5球ずつ投げさせた。また、いずれの投球においても、助走を用いず、水平の地面上からワインドアップモーションで投げさせた。分析対象は、20 m投球では最も球速が速かった投球、遠投では最も長距離遠投した投球とした。

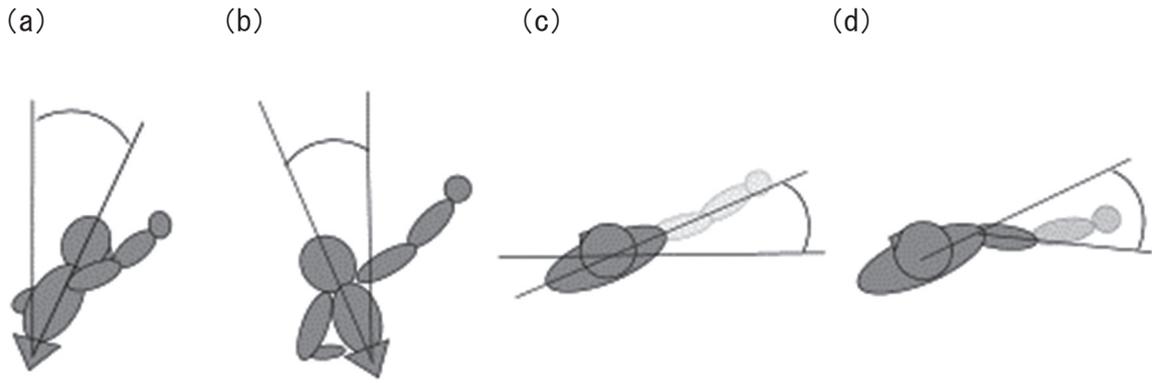


図 2. 評価項目

体幹前傾 (a), 体幹側屈 (b), 体幹回旋 (c), 肩水平外転 (d) ※ すべて BR 時の角度を計測

表 1. 20 m 投球・遠投の体幹計測角度

	体幹前傾 (°)				体幹側屈 (°)				体幹回旋 (°)			
	20m 投球	遠投	変化量	(判定)	20m 投球	遠投	変化量	(判定)	20m 投球	遠投	変化量	(判定)
選手 A	70	62	8	↓	17	37	20	↑	49	50	1	↑
選手 B	46	26	20	↓	38	54	16	↑	30	20	10	↓
選手 C	67	36	31	↓	27	43	16	↑	47	38	9	↓
選手 D	38	27	11	↓	19	36	17	↑	36	33	3	↓
選手 E	38	17	21	↓	36	34	2	↓	16	8	8	↓
選手 F	40	10	30	↓	47	39	8	↓	27	15	12	↓
mean ± SD	49.8 ± 14.8	29.6 ± 18.2	20.2 ± 9.5		30.7 ± 11.7	40.5 ± 7.3	13.2 ± 6.8		34.2 ± 12.5	27.3 ± 15.7	7.2 ± 4.3	

※判定について、遠投時に増加するものを「↑」、低下するものを「↓」と表記した。

### 3. 評価項目および判定方法

評価項目はBR時の体幹前傾角度（以下、体幹前傾）、体幹左側屈角度（以下、体幹側屈）、体幹左回旋角度（以下、体幹回旋）と肩関節水平外転角度（以下、肩水平外転）とし、各角度を計測した（図2）。判定は20m投球を基準として、遠投で増加するものと減少するものに分類し、その人数分布を調査した。

### 結果

投射角度は、20m投球  $9.7 \pm 1.9^\circ$ 、遠投  $310 \pm 4.4^\circ$ であった。

BR時の20m投球と遠投時の計測角度、および変化量と、その判定結果を示す（表1）。

- 1) 体幹前傾 20m投球・遠投ともに前傾位を呈しており、遠投時にすべての選手で前傾角度の減少を認めた。
- 2) 体幹側屈 20m投球・遠投ともに左側屈位を

表 2. 20 m 投球・遠投の肩関節計測角度

	肩水平外転 (°)			
	20m 投球	遠投	変化量	(判定)
選手 A	18	29	11	↑
選手 B	11	16	5	↑
選手 C	22	29	7	↑
選手 D	11	20	9	↑
選手 E	10	20	10	↑
選手 F	3	9	6	↑
mean ± SD	12.5 ± 6.6	20.5 ± 7.7	8.0 ± 2.4	

呈しており、遠投時に左側屈が増加する選手4名、減少する選手2名であった。

- 3) 体幹回旋 20m投球・遠投ともに左回旋位を呈しており、遠投時に左回旋が増加する選手1名、減少する選手5名であった。

4) 肩水平外転 20 m 投球・遠投ともに水平外転位を呈しており、遠投時にすべての選手で水平外転角度の増加を認めた。

## 考察

本研究は20 m 投球と遠投時のフォームの違いを検討した。今回の遠投の方法は、できるだけ遠くへ山なりで投げるように指示することで、20 m 投球とは投射角度が異なるように設定した。その結果、投射角度は遠投が  $31.0 \pm 4.4^\circ$  で20 m 投球は  $9.7 \pm 1.9^\circ$  であった。先行研究では宮西ら<sup>11)</sup>が大学野球選手を対象として遠投と速投の投球フォームの違いを検討している。投射角度はそれぞれ  $30.3 \pm 3.2^\circ$ ,  $6.3 \pm 2.5^\circ$  であったと報告している。これらより20 m 投球と遠投で平地からとマウンド上からの投球による投射角度の差があったと考えられるものの、遠投についてはほぼ同等の結果であり、遠投の条件設定は妥当であったと考えられる。

今回、少年野球選手の遠投によるフォーム変化を体幹の前傾・側屈・回旋角度と肩水平外転角度に着目して、3次元動作解析装置を用いて分析した。その結果、遠投時、体幹前傾が全例減少、体幹側屈は増加4名、体幹回旋は減少5名であり、体幹は前傾減少、側屈増大、回旋減少する傾向を認めた。

投球動作は、下肢のエネルギーが体幹から投球側上肢に伝えられ、最後にボールにスピードを与える運動連鎖に基づく全身運動であるといわれている。宮西ら<sup>11)</sup>は、大学野球選手の遠投と速投を3次的に比較し、遠投時には体幹の後傾、左側屈の増加と左回旋の減少を認め、これらはボールの投射角度をつけるための体幹動作の変化であると述べている。しかし、岩堀ら<sup>12)</sup>は投球時に下肢のエネルギーを上肢に伝えるうえで阻害因子として体幹側屈増大と骨盤回旋不良を挙げている。また、Fleisigら<sup>13)</sup>は、大学生投手の最大遠投と18.4 mの速球を3次的に比較した結果、最大遠投は体幹前傾角度が減少することと、肩内旋・肘内反トルクが増加するため、リハビリテーションやトレーニングに有効でない可能性を示唆している。これらの所見から、筋力が弱く骨端線のある子供にとって遠投動作は大きな負荷になることが予想される。

肩水平外転の変化について、20 m 投球時にBR時の肩関節は水平外転位であり、遠投によりさらに増加した。BR時の肩水平外転について、Fleisigら<sup>14)</sup>は投球動作解析の結果、BR時の肩関節は軽

度水平内転位となっていると報告している。大学生やプロを対象とした報告でこれまで渉猟しえた限りでは肩関節水平外転位でBRが行われているという報告はない。しかし、中溝ら<sup>15)</sup>は子供と大人の投球動作を比較し、BR時に肩関節が水平外転位になる投手が子供に多く見られることを報告している。本研究も中溝らと同様に、すべての選手が20 m 投球時に肩関節は水平外転位となっていた。

中村ら<sup>10)</sup>はBR時に肩関節が水平外転位にあると肩に加わる前方負荷が増大すると報告している。また信原<sup>8)</sup>はLate cocking相、acceleration相における肩水平外転位は、正しくない投げ方の一つであり、投球障害の危険性を増加させると述べている。本研究では、遠投時に水平外転のさらなる増加を認めたことから少年野球選手の遠投は、肩関節への動的ストレスをより一層増加させる可能性が示唆された。

以上より少年野球選手において、投射角度をつけた遠投は、体幹の不良な投球フォームを惹起することで下肢からのエネルギー伝達を破綻させる可能性と、肩関節水平外転角度の増加により肩関節の動的ストレスを増大させる可能性が示唆された。

本研究の限界は、症例数は少ないことや、肩甲骨や下肢の評価が行われていないことである。今後、症例数を増やすこと、肩甲骨と股関節を含む下肢の評価も行うこと、どの程度の遠投または投射角が許容できるのか検討することが必要と考えている。

## 結語

少年野球選手の遠投によるフォーム変化を体幹の動きと肩水平外転に着目して、3次元動作解析装置を用いて検討した。

その結果、遠投時に体幹の前傾減少、側屈増大、回旋減少、肩水平外転増加という変化を認めた。

少年野球選手の遠投は、肘下がりやを惹起しないものの未熟な投球フォームをさらに崩す可能性がある。

## 【文献】

- 1) 千葉慎一, 筒井廣明: 投球障害肘に対するリハビリテーションアプローチ. 日本臨床スポーツ医学会誌. 2012; 20: 227-229.
- 2) 坂田 淳: 少年野球選手における肘内側障害の危険因子に関する前向き研究. 日本整形外科スポーツ医学会雑誌. 2014; 34(4): 394.

- 3) 三浦祐揮, 飯田博己・他：少年野球選手の遠投動作解析－3次元動作解析による測定－. 東海スポーツ傷害学会誌. 2013 ; 32 : 9-11.
- 4) Oyama S, Yu B et al: Effect of excessive contralateral trunk tilt on pitching biomechanics and performance in high school baseball pitchers. *Am J Sports Med.* 2013; 41: 24-30.
- 5) 中村絵美：上腕骨近位骨端線損傷を有する少年野球選手の投球フォームの特徴. 肩の運動機能研究会. 2014 ; 11 : S63.
- 6) 伊藤博一, 河崎尚史・他：年代別にみた投動作の特徴（第一部）－加速期体幹運動とボール・リリース－. *日本臨床スポーツ医学会誌.* 2011 ; 19 (3) : 480-483.
- 7) 田中 洋, 二宮裕樹・他：臨床応用を目的とした投球動作解析システムの開発. *整スポ会誌.* 2012 ; 32 : 69-75.
- 8) 信原克哉：肩 その臨床と機能（第4版）. 医学書院, 東京, 2012, pp 349-415.
- 9) Ge W, 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. *J Biomech.* 2005; 38: 981-992.
- 10) 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.
- 11) 宮西智久, 藤井範久・他：大学野球選手における速投および遠投動作の3次元的比較研究. *体育学研究.* 1995 ; 40 : 89-103.
- 12) 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. 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. 山口光國（編）. 文光堂, 東京, 2010, pp 91-117.
- 13) Fleisig GS, Bolt B, et al: Biomechanical Comparison of Baseball Pitching and Long-Toss: Implications for Training and Rehabilitation. *J Orthop Phys Ther.* 2011; 41 (5) : 296-303.
- 14) Fleisig GS, Barrentine SW, et al: Kinematic and kinetic comparison of baseball pitching among various levels of development. *J Biomech.* 1999; 32: 1371-1375.
- 15) 中溝寛之, 橋本 淳・他：子供の投球動作の特徴. *The Shoulder Joint.* 2004 ; 28 (2) : 355-358.