

# 投球動作の足底接地時における 肩関節外転の至適角度

Optimal angle of shoulder abduction at stride foot flat during the  
throwing motion

宮下浩二\*1, 小山太郎\*2, 太田憲一郎\*3  
谷 祐輔\*4, 播木 孝\*2

キー・ワード：throwing motion, optimal shoulder abduction angle, elbow height  
投球動作, 至適肩外転角度, 肘下がり

【要旨】 【目的】投球障害につながる投球動作として肘下がりがある。そのため肘をより上げることが推奨されるが、しかし、足底接地時の至適肩外転角度に関する客観的かつ具体的な指標はない。本研究では、ステップ脚の足底接地時の肩外転角度と肩最大外旋時（MER）の肩外転角度との関係を分析し、至適外転角度を求めた。

【方法】対象は大学硬式野球部投手 38 名とし、投球動作を三次元解析した。肘の高さの指標として肩外転角度を算出した。MER での肩外転角度を予測するために、ステップ脚の足底接地時の肩外転角度を説明変数（x）、MER の肩外転角度を目的変数（y）として整次多項式回帰分析した。

【結果】説明変数を三次の項としたモデルの自由度修正済み決定係数が 0.40 と最も高く、目的変数の変動をよく説明した。回帰式は  $y = -0.00094x^3 + 0.167249x^2 - 8.81927x + 226.0089$  だった ( $R^2 = 0.447, p < 0.001$ )。MER の最大肩外転角は足底接地時の外転角度が 79 度の時だった。

【考察】足底接地時に肩外転角度を上げすぎると、MER での肩外転角度を増加するためには効果的ではないことが示唆された。

## 緒言（はじめに）

投球障害は投球動作の問題により肩や肘にストレスが集中した結果として誘発されることが多く、その代表的な問題として「肘下がり」があげられる<sup>1)</sup>。肘下がりとは運動学的には肩外転角度の減少と捉えられ、肩外転角度の減少は肩や肘関節へのストレスを増加させることが報告されている<sup>2,3)</sup>。肘下がりなどの投球動作の問題により発生する投球障害の症状は主に肩最大外旋時（Maximum External Rotation：MER）で生じることが

多い<sup>4)</sup>。一方、MER における肩関節角度はそれ以前の位相の影響を受ける<sup>5-7)</sup>。例えばステップ脚（右投げの左脚）の足底接地時に肩関節伸展角度が大きい程、MER の角度は大きくなる<sup>5)</sup>。そのため投球の動作分析のチェックポイントや動作改善の指導では、痛みの生じる位相ではなく足底接地時の肘の高さに着目することが多い。しかし、足底接地時の至適肩外転角度に関する客観的かつ具体的な指標はない。そこで今回、三次元動作解析を用いて投球動作における肩外転角度を算出し、足底接地時と MER の肩外転角度の関係から、MER 時に肩外転角度が最大となる足底接地時の肩外転角度を分析することを目的とした。

\*1 中部大学生命健康科学部理学療法学科

\*2 まつした整形外科

\*3 わたなべ整形リハビリクリニック

\*4 アドバンスリハ株式会社

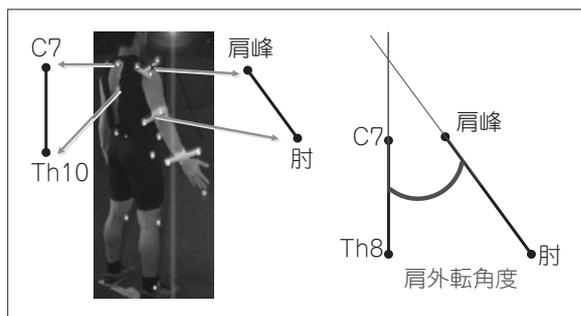


図1 マーカー貼付位置と肩外転角度算出方法

## 対象および方法

### 1. 対象

本研究の対象は、某県大学野球リーグ1部に所属する大学硬式野球部投手38名とした。平均年齢(±標準偏差)は20.6±1.1歳、身長は178.9±6.0cm、体重は75.3±7.3kg、野球歴は11.0±1.0年であった。右投げ34名、左投げ4名であった。全員オーバースローであった。対象の条件として、測定時に肩関節や肘関節に疼痛がないこととした。全員、本研究の趣旨に同意した。本研究は中部大学倫理審査委員会の承認を得た(承認番号270008)。

### 2. 撮影環境および測定方法

投球動作の撮影は室内練習場で行った。対象の周囲に電氣的に同期した4台の高速カメラ(フォーアシスト社製IEEE1394b高速カメラFKN-HC200C)を設置した。コマスピードは1/200秒とした。対象から15m離れた位置に防球ネットを設置した。

測定方法は先行研究<sup>9)</sup>に準じた。対象には反射マーカーが隠れないように裁断したノースリーブシャツを着用させた。反射マーカーなどは図1のように配置した。直径1cmの反射マーカーを第7頸椎棘突起(C7)、第10胸椎棘突起(Th10)両側の上後腸骨棘(PSIS)に貼付した。また同時に、各端に反射マーカーを添付したウレタン素材のテーピング用パッドを肩峰に貼付した。さらに投球側の上腕遠位端背側面、前腕遠位端背側面にも各端に反射マーカーを添付したテーピング用パッドを貼付した。上腕と前腕には各長軸と直角するようにパッドを位置させた。

対象の投球動作を撮影し、その画像をパーソナルコンピュータ(PC)に動画ファイルとして保存

し、分析した。PC画像に対して、1/200秒毎に各反射マーカーをプロットした。DKH社製3次元ビデオ動作解析システムFrame-DIASIVを用いてDirect Linear Transformation method<sup>9)</sup>(DLT法)により各反射マーカーの三次元座標値を得た。

### 3. 関節角度の算出方法

はじめに、MERの位相を決定するために、肩外旋角度を算出した。肩外旋角度は肩複合体全体の角度として、先行研究<sup>9)</sup>と同様の方法により、体幹に対する前腕のなす角度を算出した。

肩外転角度は体幹に対する上腕のなす角度とした。算出方法は、C7とTh10の結線と、肩峰パッドの中心(肩峰)と上腕パッドの中心(上腕遠位端)の結線がなす角度から算出した。図1を基本肢位として、各角度を正規化した。角度表記は日本リハビリテーション医学会および日本整形外科学会の関節可動域測定法に準じた。

### 4. 統計分析

ステップ脚の足底接地時の肩外転角度を説明変数(x)、MERの肩外転角度を目的変数(y)として整次多項式回帰分析を行った。有意水準は5%とした。

## 結 果

図2に、横軸を足底接地時、縦軸を最大外旋時の肩外転角度とした散布図を示す。説明変数を一次の項、二次の項として用いたモデルに比べ、三次の項を加えたモデルの方が自由度調整済み決定係数の値が0.398と最も高く、目的変数の変動をよりよく説明していた(表1)。回帰式は $y = -0.00094x^3 + 0.167249x^2 - 8.81927x + 226.0089$ だった( $R^2=0.447, p<0.001$ )(図3)。この回帰式から、MERの最大肩外転角度は足底接地時の外転角度が79度の時だった。その際のMERの肩外転角度は109.6度だった。なお、足底接地時の肩外転角度は最小44度から最大96度の範囲だった。

## 考 察

投球時の肘の高さの問題が投球障害の発生と関係することは予てから経験的にもよく知られている<sup>10,11)</sup>。肩の外転角度が低下すると肩甲骨の上方回旋や後傾運動は制限されて、肩甲上腕関節や肘関節へのストレスは高まることが考えられる<sup>12)</sup>。しかし、これは主にMER付近での運動に関する見解である。MER付近で肩には非常に大きな外旋

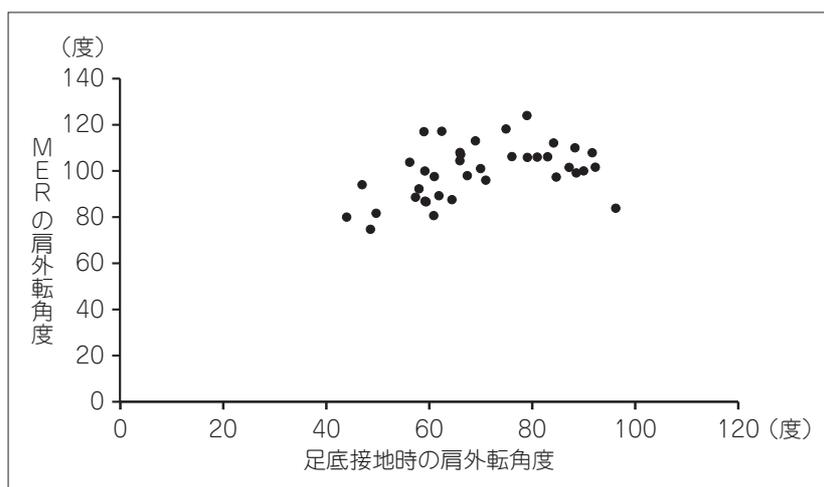


図2 足底接地時と肩最大外旋時 (MER) の肩外転角度の散布図

表1 整次多項式回帰分析の結果

次数	1	2	3	4
重相関係数 R	0.428	0.631	0.669	0.669
決定係数 R <sup>2</sup>	0.183	0.398	0.447	0.447
自由度修正済み決定係数	0.161	0.364	0.398	0.380

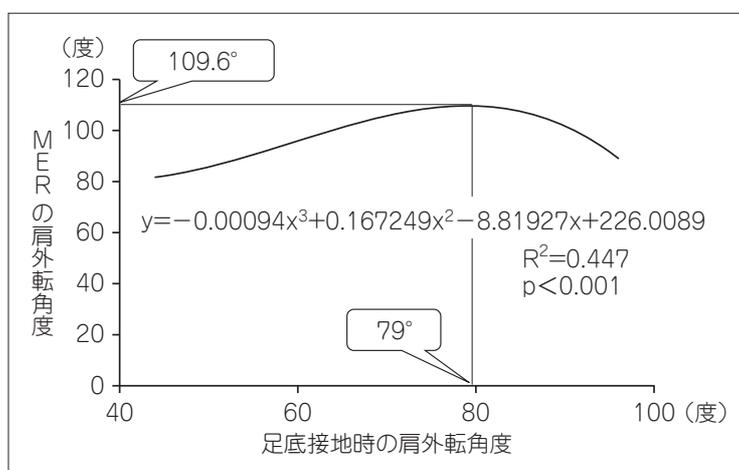


図3 足底接地時と肩最大外旋時 (MER) の肩外転角度の関係を示す回帰曲線

足底接地時の肩外転角度が79度の時にMER時の肩外転角度が最大値109.6度となることを示す。

トルクや前方剪断力が加わる<sup>13)</sup>。そのため投球障害の症状もこの位相付近で多く発生している。MERを境界とする後期コッキング期から加速期での肘下がりを防止し、効率的な投球動作に改善するために、その前の位相となるステップ脚の足底接地時の段階から肘の高さを一定以上に上げる

ように推奨されている。その際、肘の高さの指標は主に両肩を結んだラインとする報告<sup>14~17)</sup>が多い。また、足底接地時では肘の高さが最も高い方が良いと指摘する研究<sup>18)</sup>もある。これらの先行研究では、足底接地時の肩外転角度は90度以上が良いことを意味している。これらは定性的な分析に

よるものである。

しかし一方で、三次元動作解析により運動力学的な分析をした先行研究では異なる結果となっている。Werner ら<sup>7)</sup>は足底接地時の肩外転角度が大きいと肘最大外反モーメントが増加すると報告している。また田中ら<sup>19)</sup>も足底接地時の肘下がりが投球障害の危険因子とされている動力学的パラメータに与える影響は大きくないと述べている。つまり、足底接地時での肩外転角度を強調することでむしろリスクが高まることを示している。今回の研究では、直接的に障害発生やリスク要因との因果関係をもとに分析はしていない。しかし、足底接地時に肩外転角度が79度をを超えて大きくなるほど、MERでの肩外転角度が減少することは示された。MERを境界とした後期コッキング期から加速期は投球障害が発生しやすい位相であり、この位相における肘下がり投球障害に関係する代表的な投球動作である<sup>1-4)</sup>。この位相での肩外転角度の減少を極力避けることが投球障害予防には重要となる。Werner ら<sup>7)</sup>、田中ら<sup>19)</sup>の先行研究は今回の研究で示された関係性が影響している可能性が考えられる。少年野球等の現場では肘下がり避けるために、最初から極端に肘を高くあげさせる指導をみることがあるが、このような動作は最終的に肘下がり強めるため決して有効な指導とは言えない。

屍体肩を用いた先行研究<sup>20)</sup>では、投球の後期コッキング期を模した肩外旋位で肩外転角度を減少するほど肩甲上腕関節に加わるストレスが増加することが示されている。つまり、後期コッキング期と加速期の境界となるMERでは、できるだけ肩外転角度が大きい方がリスクは少なくなること示唆している。本研究では、足底接地時の外転角度が79度より大きくても小さくてもMERでの外転角度は減少していくため、79度が至適角度であると示唆された。つまり、足底接地時には両肩を結ぶラインより肘が少しだけ低い位置が至適であり、MERでの肘の高さをより高くするためには、肩外転角度が90度よりも大きい必要はないと考えられる。一方で、足底接地時の肩外転角度が79度よりも低い角度になるとMERでの肩外転角度も減少してくる。そのため、肩外転角度が79度より低い範囲においては、先行研究<sup>14-18)</sup>の通り、肘が低くなるほどMERでのリスクは高くなると考えられる。

本研究の限界として、今回の結果で示された回帰式は、あくまでも対象が示した足底接地時の肩外転角度が44度から96度の範囲のことと限定される。三次関数であるため、この回帰式で足底接地時の肩外転角度を0度とした場合、MERの肩外転角度は226度になってしまうが、現実的な投球動作ではそのようなことはないと考えられる。今回のデータ分析において、足底接地時の外転角度が大きかったデータを除いても至適外転角度が79度であることに変化はなかったため、一次関数の関係ではないと考えられるが、二次関数でなく三次関数になった要因は明確ではない。データ数をさらに増やして検討を続けたい。

また、肩外転角度には肩外旋・内旋角度や水平伸展・屈曲角度も影響をするため、単に外転角度のみではなく、肩全方向の組み合わせでも検討する必要がある。加えて、内旋・外転可動域制限や外転筋力低下、肩甲胸郭関節の機能低下など身体機能の影響も受ける可能性はある。さらには、本研究は大学野球投手を対象としており、プロ野球選手や成長期選手については今後の分析が必要になる。

## ■ 結語 (まとめ)

1. 大学投手38名を対象に、肩最大外旋位の肩外転角度を指標として、足底接地時の肩の至適外転角度を分析した。
2. 足底接地時の肩の至適外転角度は79度であった。その際、肩最大外旋位での肩外転角度は109.6度であった。
3. 足底接地時に肩外転角度を上げすぎるとは、MERでの肩外転角度を増加するためには効果的ではないことが示唆された。

## 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) 信原克哉. 肩—その機能と臨床—. 第4版. 東京: 医学書院; 349-415, 2012.
- 2) 石井壮郎, 青木 慶, 宮川俊平. 肘下がりの投球動作では上腕骨頭病変が生じやすいか? 肩関節. 2012; 36: 731-735.
- 3) Matsuo T, Fleisig GS, Zheng N, et al. Influence of Shoulder Abduction and Lateral Trunk Tilt on

- Peak Elbow Varus Torque for College Baseball Pitchers during Simulated Pitching. *Journal of Applied Biomechanics*. 2006; 22: 93-102.
- 4) 田中 洋, 立花 孝, 大井雄紀, 他. 投球動作のバイオメカニクスと投球障害. *臨床スポーツ医学*. 2012; 29: 47-54.
  - 5) Miyashita K, Urabe Y, Kobayashi H, et al. Relationship between maximum shoulder external rotation angle during throwing and physical variables. *JSSM*. 2008; 7: 47-53.
  - 6) Fleisig GS. The biomechanics of baseball pitching injuries: Kinematic factors related to increased kinetics. Doctoral thesis. University of Alabama at Birmingham; 92-113, 1994.
  - 7) Werner SL, et al. Relationship between throwing mechanics and elbow valgus in professional baseball pitchers. *J Shoulder and Elbow Surg*. 2002; 11: 151-155.
  - 8) 宮下浩二, 小山太郎, 太田憲一郎, 他. 投球動作の後期コッキングから加速期における肩甲骨の三次元運動解析. *日本臨床スポーツ医学会誌*. 2017; 5: 374-381.
  - 9) Abdel-Aziz YI, Karara HM. Direct linear transformation from comparator coordinates in close-range photogrammetry. In: *Proceedings American society of photogrammetry symposium on close-range photogrammetry*. Falls Church (VA): American Society of Photogrammetry Symposium on Close-Range Photogrammetry; 1-19, 1971.
  - 10) Albright JA, Jokl P, Shaw R, et al. Clinical study of baseball pitchers: correlation of injury to the throwing arm with method of delivery. *Am J Sports Med*. 1978; 6: 15-21.
  - 11) 岡崎壯之. 野球肘について. *整形外科*. 1991; 42(3): 415-421.
  - 12) Burkhart SS, Morgan CD, Kibler WB. The disabled throwing shoulder: spectrum of pathology Part III: The SICK scapula, scapular dyskinesis, the kinetic chain, and rehabilitation. *Arthroscopy*. 2003; 19: 641-661.
  - 13) Fleisig GS, Andrews JR, Dillman CJ, et al. Kinetics of baseball pitching with implications about injury mechanisms. *Am J Sports Med*. 1995; 23: 233-239.
  - 14) 岩堀裕介, 佐藤啓二, 花村浩克. 投球肩障害に対する投球フォーム矯正を中心とした保存療法の効果. *肩関節*. 2000; 24: 377-381.
  - 15) 後藤英之, 土屋篤志, 吉田雅人, 他. 上腕骨小頭部離断性骨軟骨炎が判明した野球選手の投球フォームの特徴. *日本整形外科スポーツ医学会雑誌*. 2014; 34: 109-115.
  - 16) 遠藤康裕, 中澤理恵, 坂本雅昭. 中学生野球選手を対象とした質的な投球動作分析. *日本臨床スポーツ医学会誌*. 2014; 22: 36-44.
  - 17) 坂田 淳, 中村絵美, 鈴川仁人, 他. 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*. 2016; 36: 43-51.
  - 18) 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.
  - 19) 田中 洋, 林 豊彦, 二宮裕樹, 他. 投球動作におけるステップ足接地の肘下がりは動力学的パラメータに影響するか? *日本整形外科スポーツ医学会雑誌*. 2017; 37: 46-52.
  - 20) Akeda M, Mihata T, Jeong WK, et al. Lower shoulder abduction during throwing motion may cause forceful internal impingement and decreased anterior stability. *J Shoulder Elbow Surg*. 2018; 27: 1125-1132.

(受付：2019年12月12日, 受理：2021年4月13日)

## Optimal angle of shoulder abduction at stride foot flat during the throwing motion

Miyashita, K.<sup>\*1</sup>, Koyama, T.<sup>\*2</sup>, Ota, K.<sup>\*3</sup>  
Tani, Y.<sup>\*4</sup>, Hariki, T.<sup>\*2</sup>

<sup>\*1</sup> Department of Physical Therapy, College of Life and Health Sciences, Chubu University

<sup>\*2</sup> Matsushita Orthopedics

<sup>\*3</sup> Watanabe Orthopaedics and Rehabilitation Clinic

<sup>\*4</sup> Advanced Reha Co.Ltd

**Key words:** throwing motion, optimal shoulder abduction angle, elbow height

**[Abstract]** “Hijisagari” or dropping elbow is a representative throwing motion that causes throwing injuries. Thus, further raising of the elbow is recommended to prevent throwing injuries. However, the timing of when and the extent to which the elbow should be raised are not clear. In this study, the relationships between the elbow height at stride foot flat (FF) and the elbow height at maximum shoulder external rotation (MER) were analyzed to determine the optimal abduction angle.

Thirty-eight university baseball pitchers underwent three-dimensional analysis of their throwing movements. Shoulder abduction angle (SAA) was calculated as an index of elbow height. To predict SAA at MER, the SAA at FF was used as the explanatory variable (x) and the SAA at MER was used as the objective variable (y) in polynomial regression analyses.

A model with the explanatory variable as a tertiary term had the highest corrected coefficient of freedom at 0.40. The regression equation was  $y = -0.00094x^3 + 0.167249x^2 - 8.81927x + 226.0089$  ( $R^2 = 0.45$ ,  $p < 0.01$ ). The maximum SAA at MER was observed when the SAA at FF was 79°.

Over-raising of the elbows at FF was not effective, and the SAA was optimal at FF when the angle was slightly lower than 90°.