

# 大学女子野球選手における 投球動作時の肩外旋運動の特徴

The characteristics of shoulder external rotation during throwing in  
female collegiate baseball players

太田憲一郎\*<sup>1</sup>, 宮下浩二\*<sup>2</sup>, 小山太郎\*<sup>3</sup>  
谷 祐輔\*<sup>4</sup>, 岡棟亮二\*<sup>3</sup>, 衛門良幸\*<sup>5</sup>

キー・ワード : throwing motion, female baseball players, shoulder external rotation  
投球動作, 女子野球選手, 肩外旋角度

〔要旨〕 一般的に女子は男子よりも関節可動域が大きいことが報告されている。そのため、女子選手は投球動作時の関節角度も男子選手より大きいことが予測されるが、女子選手における投球時の肩関節運動は明らかにされていない。本研究は女子選手の投球時の肩外旋運動を分析することを目的とした。対象は大学女子硬式野球選手 13 名とし、投球動作の三次元動作解析を行った。まず、体幹に対して前腕がなす角度を肩複合体の外旋角度(肩外旋角度)として算出した。次に、肩外旋角度が最大となった時点(MER)での肩甲上腕関節外旋角度と肩甲骨後傾角度を算出した。その結果、MER での肩外旋角度は  $131.0 \pm 9.3$  度であり、その際の肩甲上腕関節外旋角度は  $90.6 \pm 11.4$  度、肩甲骨後傾角度は  $37.1 \pm 5.2$  度であった。本研究では女子選手の投球動作中の肩外旋運動時における肩複合体の構成が明らかとなった。女子選手の投球動作を観察する際は、肩甲上腕関節と肩甲骨胸郭関節の双方に着目する必要があることが示された。

## 緒言 (はじめに)

近年の女子野球人口の増加に伴い、投球障害を有する女子選手の増加が問題視されており、その対策の重要性が高まってきている。女子選手を対象としたアンケート調査によると、女子選手においても男子選手と同様に肩関節や肘関節に疼痛を訴える選手は少なくない<sup>1)</sup>。その中でも肩関節に障害や外傷の経験がある選手が最も多かったと報告されている<sup>2)</sup>。そのため女子選手においても投球障害肩の予防は重要となるが、女子選手を対象とした投球障害の発生要因に関する分析は、男子選手と比較して不足しているのが現状である。

一般的な女子の運動器の特徴として、男子と比

較して関節可動域が大きいことが挙げられ<sup>3,4)</sup>、肩関節可動域においても女子の方が大きいことが報告されている<sup>5)</sup>。投球動作において肩最大外旋角度の増大により肩関節へ加わるストレスが増大することが報告されており<sup>6)</sup>、女子特有の関節可動域の大きさが投球障害肩発生の要因となる可能性が予測される。さらに男子選手を対象とした先行研究<sup>7)</sup>では、投球時の肩外旋運動時における肩甲骨や胸椎の運動が投球時の肩甲上腕関節へのストレスを軽減させ、投球障害肩の発生を予防するために重要であるとされている。しかし、これまでに女子選手を対象とした投球時の肩外旋運動およびその際の肩複合体における構成の詳細な分析は行われておらず、投球時の肩関節運動の特徴は明らかにされていない。そのため、女子選手における肩複合体としての外旋運動の特徴を明らかにすることで、女子選手の投球障害肩発生の予防につながると考える。そこで本研究は女子選手の投球時における肩外旋運動の特徴を明らかにすることを目的

\*1 わたなべ整形リハビリクリニック

\*2 中部大学生命健康科学部理学療法学科

\*3 まつした整形外科

\*4 アドバンスリハ株式会社

\*5 いわた整形外科クリニック

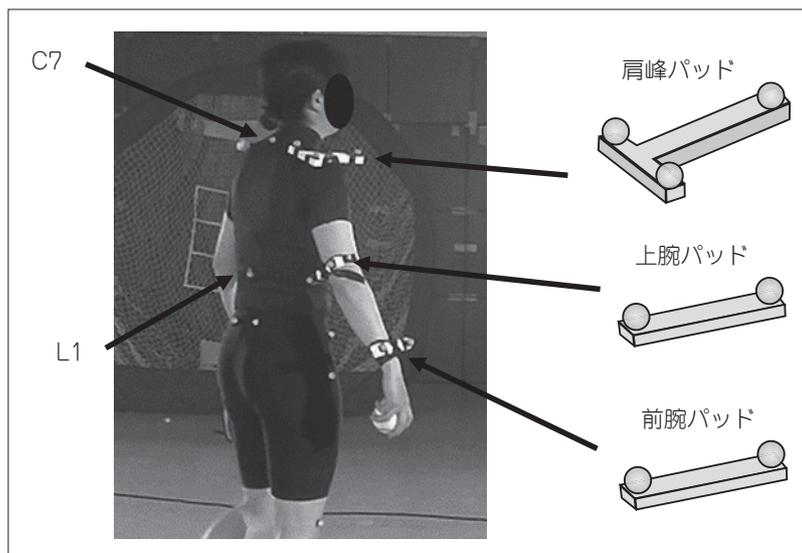


図1 反射マーカおよびパッドの貼付部位  
 反射マーカを第7頸椎棘突起 (C7) および第1腰椎棘突起 (L1) に、T字状パッドを肩峰に、棒状パッドを上腕遠位端および前腕遠位端に貼付した。

に、大学女子硬式野球選手の投球動作解析を行った。

## 対象および方法

### I. 対象

本研究の対象は大学女子硬式野球部に所属する13名(年齢  $20.5 \pm 0.7$  歳, 身長  $157.7 \pm 5.6$ cm, 体重  $56.2 \pm 7.0$ kg)とした。ポジションは投手4名, 捕手1名, 内野手5名, 外野手3名であった。利き手は右投げ12名, 左投げ1名であった。各対象のスポーツ歴は, 大学入学までの野球経験者が8名, ソフトボール経験者が5名であった。すべての選手が小学時または中学時に野球・ソフトボールを開始した。野球経験者のうち1名は小学時に野球を開始し, 中学時に軟式テニス部に所属したが, 高校で野球を再開していた。野球歴の平均値は  $8.6 \pm 4.2$  年, 中央値は10年であった。投球時に肩関節や肘関節に疼痛がないことを対象の条件とした。測定前に選手に本研究の主旨を説明し, 書面にて同意を得た。なお, 本研究は中部大学倫理審査委員会の承認を得て実施した(承認番号 290116)。

### II. 撮影環境および測定方法

投球動作の撮影は大学の実験室で行った。対象にはスパッツと野球用アンダーシャツを着用させた。肌の露出が最小限になるように配慮しながらスパッツおよびシャツの反射マーカ貼付部位周

辺を裁断した。対象の第7頸椎棘突起 (C7) および第1腰椎棘突起 (L1) に直径1cmの反射マーカを貼付した。また, T字状に採型したウレタン製のテーピング用パッド(ニトリート社製)を肩峰外側端に貼付した。パッドの端には反射マーカを貼付し, T字状のパッドの midpoint が肩峰に位置するように貼付した。さらに棒状に採型したテーピング用パッドを上腕骨遠位端背側面および前腕遠位端背側面に貼付した。T字状のパッドと同様に両端に反射マーカを貼付し, 上腕と前腕の各長軸と直行するように貼付した(図1)。十分な準備運動を行わせた後, 直球を全力投球させ, 対象の周囲に設置した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)を用いて投球動作を撮影した。なお, 4台のカメラは電氣的に同期させ,  $1/200$  秒のコマスピードで撮影した。撮影した画像をパーソナルコンピュータに保存し, 三次元ビデオ動作解析システム Frame-DIASIV (DKH 社製)を用いて  $1/200$  秒毎に反射マーカをプロットし, Direct Linear Transformation method (DLT 法)<sup>8)</sup>により反射マーカの三次元座標値を得た。

### III. 角度算出方法

分析した位相はステップ脚足部接地時からボールリリース時までとし, 分析区間を100%に規格化した。得られた反射マーカの三次元座標値か

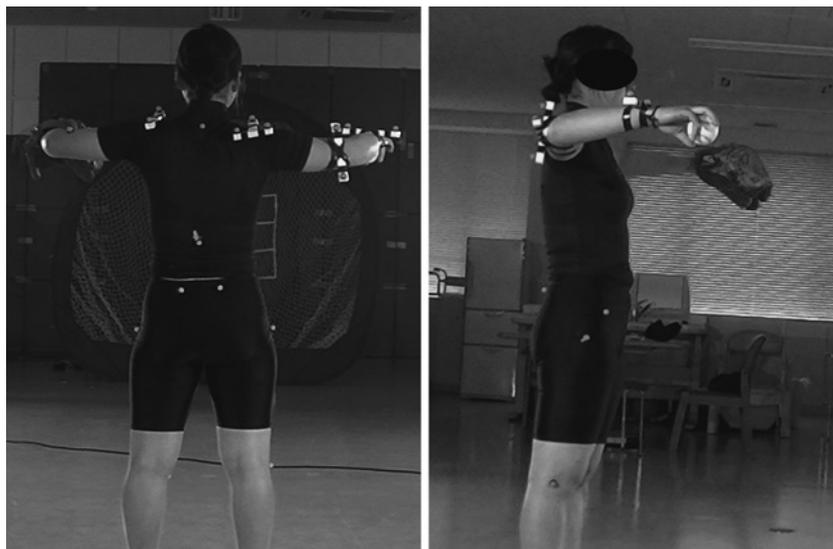


図2 基本肢位  
図の肢位を0度と規定して投球時の肩外旋角度，肩甲上腕関節外旋角度，肩甲骨後傾角度の補正を行った。

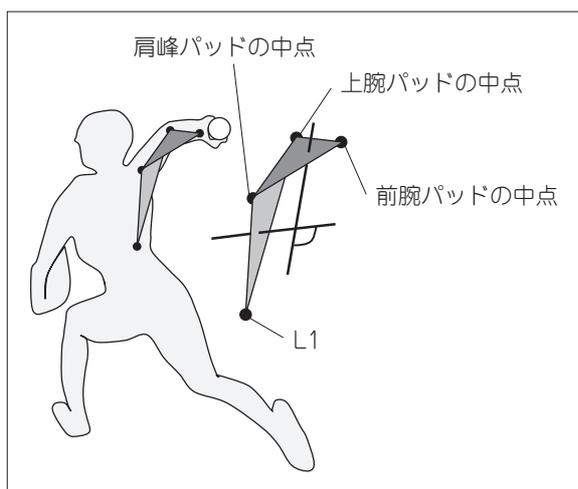


図3 肩外旋角度の算出方法  
肩峰パッドの midpoint と上腕パッドの midpoint を共通切片とした際の2平面から，体幹に対する前腕のなす角度を算出し，MERの位相を決定した。

ら，宮下ら<sup>7,9)</sup>の方法を参考に肩複合体の外旋角度(以下，肩外旋角度)を算出した。その後，肩外旋角度が最大となった時点(maximum external rotation: MER)における肩甲上腕関節外旋角度と肩甲骨後傾角度を算出した。なお，図2の肢位を基本肢位とし，基本肢位における角度を0度と規定して各角度の補正を行った。各角度は以下のように算出した。

### 1. 肩外旋角度

肩外旋角度は体幹に対して前腕がなす角度であ

る。前腕に貼付したパッド(前腕パッド)の midpoint，上腕に貼付したパッド(上腕パッド)の midpoint，肩峰に貼付したパッド(肩峰パッド)の midpoint の3点からなる平面の法線ベクトルと，上腕パッドの midpoint，肩峰パッドの midpoint，L1の3点からなる平面の法線ベクトルを算出した。算出した法線ベクトルの内積を求め，その余弦から2つの平面のなす角度を算出した(図3)。外旋方向をプラス，内旋方向をマイナスとした。

### 2. 肩甲上腕関節外旋角度

肩峰パッドの前端のマーカ，肩峰パッドの後端に貼付した2つのマーカーの midpoint，上腕パッドの外側端のマーカーの3点からなる平面の法線ベクトルと，上腕パッドの両端のマーカーと肩峰パッドの後端に貼付した2つのマーカーの midpoint の3点からなる平面の法線ベクトルを求めた。2つの法線ベクトルの内積を求め，その余弦から2つの平面のなす角度を算出した(図4)。外旋方向をプラス，内旋方向をマイナスとした。

### 3. 肩甲骨後傾角度

肩峰パッドの後端に貼付した2つのマーカーの midpoint，肩峰パッドに貼付した3つのマーカーの midpoint，C7の3点からなる平面の法線ベクトルと，C7，肩峰パッドに貼付した3つのマーカーの midpoint，L1の3点からなる平面の法線ベクトルを求めた。2つの法線ベクトルの内積を求め，その余弦から2つの平面のなす角度を算出した(図5)。後傾

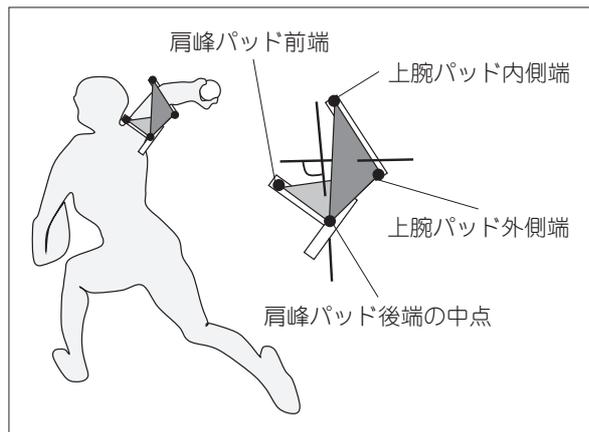


図4 肩甲上腕関節外旋角度の算出方法  
肩峰パッド後端の midpoint と上腕パッド外側端を共通切片とした際の肩甲骨側の平面と上腕骨側の平面から肩甲骨に対する上腕骨の角度を算出し、MER における肩甲上腕関節外旋角度を求めた。

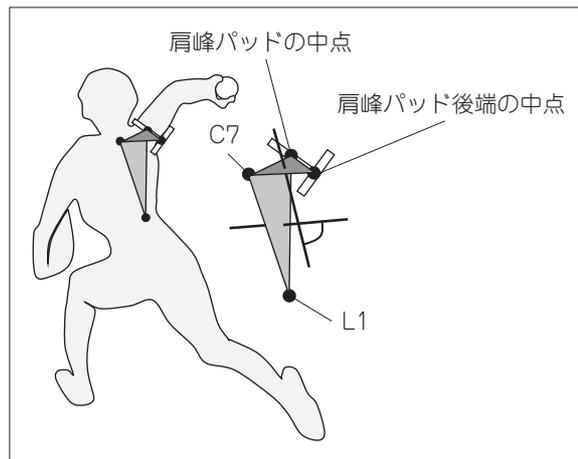


図5 肩甲骨後傾角度の算出方法  
C7 と肩峰パッドの midpoint を共通切片とした際の体幹側の平面と肩甲骨側の平面から体幹に対する肩甲骨の角度を算出し、MER における肩甲骨後傾角度を求めた。

方向をプラス、前傾方向をマイナスとした。

なお、予備研究として本研究における DLT 法のカメラ台数別の測定誤差を検証した。基本肢位において、4 台のカメラで位置を確認できた 10 名における 4 点の反射マーカー(肩峰パッド前端、上腕パッドの両端、前腕パッドの内側端)を測定誤差の確認に用いた。カメラ 3 台とカメラ 4 台で撮影した際の三次元座標値の平均誤差は、X 座標が 0.3cm、Y 座標が 0.5cm、Z 座標が 0.4cm であった。また 4 点の反射マーカーを用い、肘関節屈曲角度を例に角度誤差を検証した。肘関節屈曲角度は、肩峰パッド前端と上腕パッド両端からなる平面の法線ベクトルと、上腕パッド両端と前腕パッド内側端の 3 点からなる平面の法線ベクトルを求め、それらの法線ベクトルの内積の余弦から 2 つの平面のなす角度を算出した。その結果、カメラ 3 台とカメラ 4 台で撮影した際の角度誤差は  $0.6 \pm 0.7$  度であった。

## 結果

肩外旋角度は位相の 75% で最大値 (MER) となり、MER での肩外旋角度は  $131.0 \pm 9.3$  度であった (図 6)。MER における肩甲上腕関節外旋角度は  $90.6 \pm 11.4$  度であり (図 7)、肩甲骨後傾角度は  $37.1 \pm 5.2$  度であった (図 8)。

## 考察

本研究では大学女子野球選手を対象に投球動作の三次元動作解析を DLT 法を用いて行い、投球

時の肩外旋運動を定量的に分析した。大学男子選手を対象に同様の測定方法で実施した報告<sup>7,9-11)</sup>では、MER での肩外旋角度は 144~150 度であり、その際の肩甲上腕関節外旋角度が 103~106 度、肩甲骨後傾角度は 24~26 度であったとされている。これらの先行研究の男子選手に対する女子選手の投球時における肩関節運動の特徴として、肩外旋角度と肩甲上腕関節外旋角度は女子選手の方が小さく、肩甲骨後傾角度は大きい傾向にあることが考えられた。なお、これらの先行研究ではハイスピードカメラ 3 台を用いて分析しているが、本研究では反射マーカーをより視認しやすくするため、4 台のカメラを用いた。今回、先行研究のデータと対比させるにあたり、カメラの台数の相違により三次元座標値および算出角度に誤差が生じる可能性を検討した。その結果、本研究におけるカメラ 3 台と 4 台との座標値および角度の平均誤差はわずかであり、本研究の解析結果に影響を与えるほどの誤差は生じていないと考えた。

関節可動域の性差に関して、岡部ら<sup>3)</sup>は新生児から 80 歳未満の健常者を対象に 6 大関節の関節可動域測定を実施したところ、股関節外旋を除いて全般的に女性が男性に比較して可動域が大きい値を示す傾向にあったことを報告している。同様に Soucie et al<sup>1)</sup>は 2 歳から 69 歳の健常者を対象に両側の肘関節屈曲・伸展、前腕回内・外、肩関節屈曲、股関節屈曲・伸展、膝関節屈曲・伸展、足関節背屈・底屈可動域を測定し、ほぼすべての関節

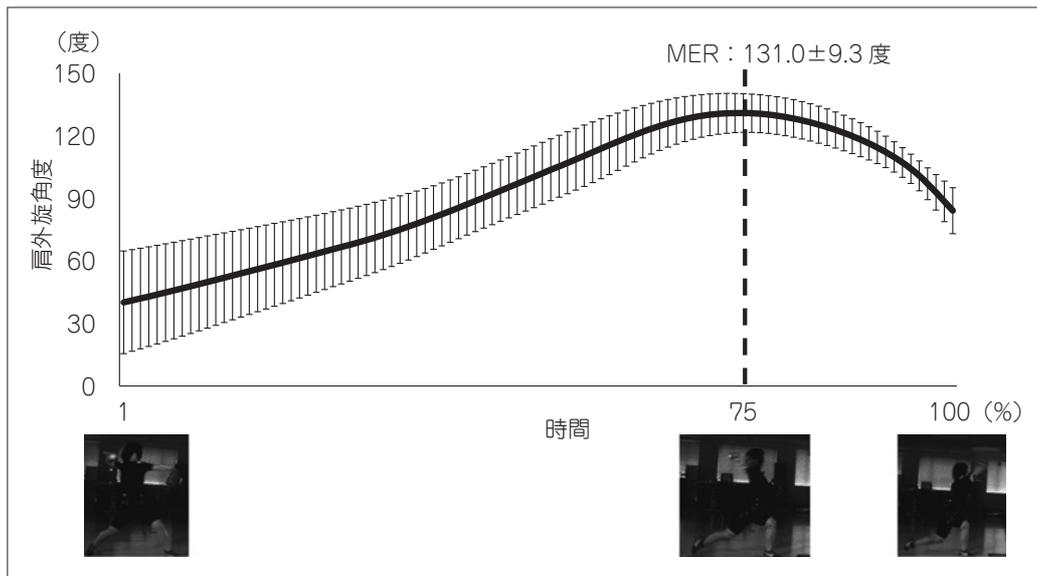


図6 肩外旋角度  
肩外旋角度の平均値±標準偏差の推移を示す。位相の75%で最大値（MER）となり、その際の肩最大外旋角度は  $131.0 \pm 9.3$  度であった。

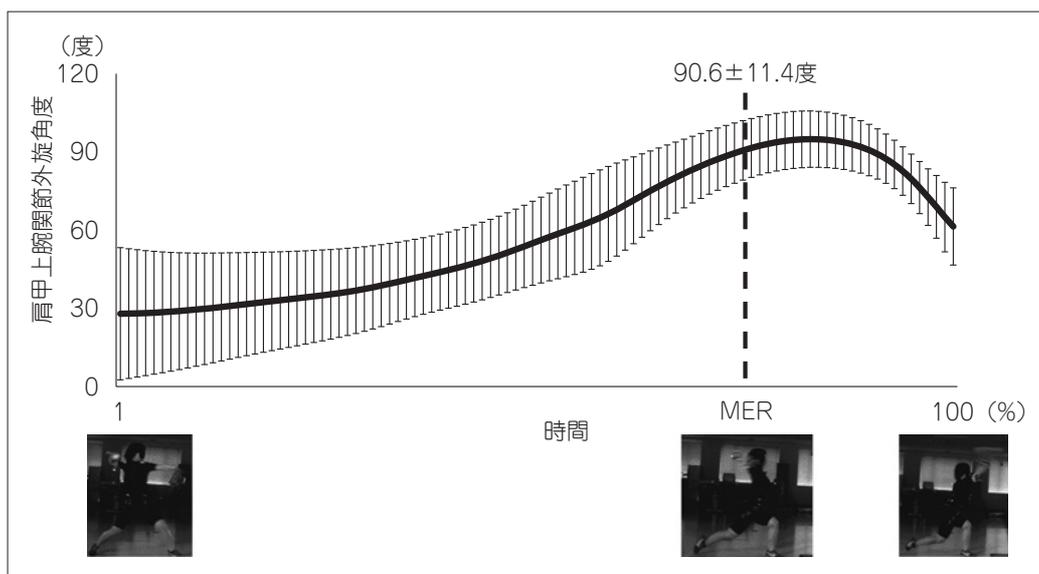


図7 肩甲骨関節外旋角度  
肩甲骨関節外旋角度の平均値±標準偏差の推移を示す。MERにおける肩甲骨関節外旋角度は  $90.6 \pm 11.4$  度であった。

において女子の方が男子と比較して関節可動域が大きかったと報告している。また野球選手を対象とした調査<sup>12)</sup>においても、学童女子選手は学童男子選手と比較して肩関節可動域が大きかったと報告されている。そのため、男子選手と比較した際の女子選手の特徴として、関節可動域が大きいことが挙げられる。しかし、投球動作における性差に関して、Chu et al<sup>13)</sup>は男女各11名の投手の投球動作を比較し、女子選手は男子選手と比較して足

部接地時のステップ幅や体幹回旋角度が小さかったと報告している。また、伊藤ら<sup>14)</sup>は男子選手と女子選手の投球時の体幹回旋角度を比較し、女子選手の方がボールリリース時の体幹回旋角度が小さかったと報告している。一方で前述のChu et al<sup>13)</sup>の報告では、男子選手の肩最大外旋角度が  $180 \pm 10$  度であったのに対し、女子選手は  $171 \pm 8$  度であり有意差が認められなかった ( $P=0.095$ )。本研究との相違点として、国際大会出場レベルの選

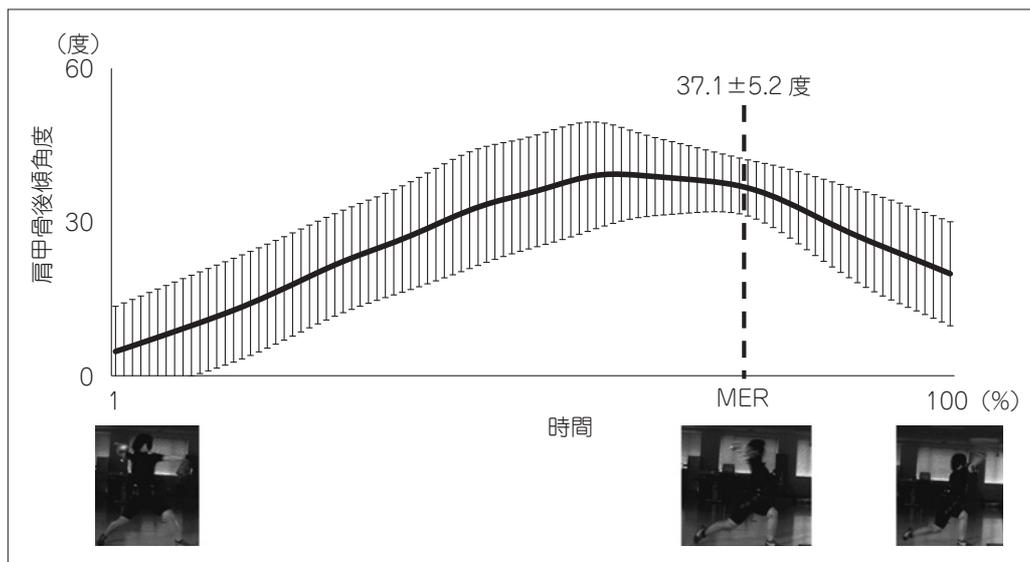


図8 肩甲骨後傾角度  
 肩甲骨後傾角度の平均値±標準偏差の推移を示す。MERにおける肩甲骨後傾角度は  $37.1 \pm 5.2$  度であった。

手を対象としていること、試合中のマウンド上での投球動作を分析していることなどが挙げられ、これら競技レベルや撮影環境などが異なることが、本研究の結果との差異に影響していると考えられる。しかし、Chu et al<sup>13)</sup>はP値が0.05をわずかに上回ったパラメータは試行数や被験者数などが多ければ性差が認められる可能性があるとも述べており、実数値は女子選手の方が小さいことから、投球時の肩関節角度は男子選手に対して決して大きくないと考えられる。

一方、肩外旋角度に対する肩甲骨後傾角度の割合は比較的大きい傾向を示した。MER時では肩外旋角度の大きさに比例して肩甲上腕関節に加わる離開力や剪断力が増大し、外旋角度を制動するためにより高い筋活動が必要となる<sup>15)</sup>。女子は関節可動域が大きいことに加え、関節弛緩性も男子と比較して大きく<sup>16)</sup>、肩甲上腕関節の運動を制御するために要求される筋活動はより大きくなることが推察される。そのため、外旋角度が大きくなるとより大きな筋力が要求されることになる。また筋力における性差に関して、女子は男子と比較して筋力が弱く、その比率は部位により異なり、体幹や下肢に対して上肢の方が性差が大きいことが報告されている<sup>17)</sup>。以上のことが相まって女子選手は肩甲上腕関節外旋角度が小さくなり、代償的に肩甲骨後傾角度が大きくなる可能性が考えられる。そのため、女子選手は肩甲帯の機能低下と

投球障害肩発生の関連がより強いことが推察される。男子選手においても肩甲骨や胸郭の可動性を獲得することは投球時の肩甲上腕関節へのストレスを軽減させ、投球障害肩の発生を予防するために重要であるとされている<sup>7)</sup>。また、女子選手は乳房の重さによる前胸部の負荷や下着による胸郭の持続的圧迫の影響により、肩甲骨および胸郭運動が制限されやすいことが報告されている<sup>18)</sup>。そのため女子選手の投球障害肩の発生を予防するためには、肩甲帯機能の維持および獲得がより重要であると考えられる。

本研究の限界として、女子選手が男子選手と比較して関節可動域が大きいと報告されているが<sup>12)</sup>、本研究は投球動作時の関節角度を分析したのみであるため、本研究の女子選手における関節可動域と投球時の関節角度との関連は不明である。そのため本研究の結果から示された女子選手の投球動作の特徴が、どのような関節機能と関連しているのかを明らかにする必要があると考えられる。また、男子選手における後期コッキング期から加速期の肩甲骨運動は前傾・後傾運動から肩甲骨の方向を変え、上方・下方回旋運動に切り替わることが報告されている<sup>19)</sup>。しかし、本研究では肩甲骨前傾・後傾運動のみの分析に留まっており、女子選手の肩甲骨の三次元運動を分析することで肩甲骨後傾角度が増大した要因を明らかにできる可能性がある。さらに、大学女子野球選手には入

学まで継続して野球をしている選手と高校までソフトボールを行っていた選手が混在する。野球より狭いフィールドで行われるソフトボールでは素早い投球動作や無理な体勢からの送球が要求されるため、上肢に依存した投球動作になりやすいことが推察される。女子選手において小学生時にソフトボールを経験した選手に肩痛が多いという報告<sup>20)</sup>があり、競技歴の違いが投球動作の特徴や投球障害肩の発生に影響している可能性がある。そのため、女子特有の競技歴の違いによる投球動作や関節機能の特徴の差異を分析し、障害特性を明らかにしていくことが女子選手における投球障害発生の予防の一助になると考える。

## まとめ

1. 大学女子野球選手の投球時の肩外旋運動を分析した。
2. 本研究における女子選手の MER は  $131.0 \pm 9.3$  度であり、MER における肩甲上腕関節外旋角度は  $90.6 \pm 11.4$  度、肩甲骨後傾角度は  $37.1 \pm 5.2$  度であった。
3. 大学女子野球選手の MER における肩複合体の構成が明らかとなり、女子選手の投球動作の特徴が示された。

## 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) 橋本留緒, 浦邊幸夫, 利根川直樹, 他. 大学女子野球選手のスポーツ傷害と貧血に関するアンケート調査. 理学療法科学. 2018; 33: 241-244.
- 2) 鳥居昭久, 米田 實. 大学女子野球におけるスポーツ損傷の実態. 日本臨床スポーツ医学会誌. 2016; 24: 36-43.
- 3) 岡部とし子, 渡辺英夫, 天野敏夫. 各年代における健康人の関節可動域について一性別による変化一. 総合リハ. 1980; 8: 41-56.
- 4) Soucie JM, Wang C, Forsyth A, et al. Range of motion measurements: reference values and a database for comparison studies. Haemophilia. 2011; 17: 500-507.
- 5) Barnes CJ, Steyn SJ, Fischer RA. The effects of age, sex, and shoulder dominance on range of motion of the shoulder. J Shoulder Elbow Surg. 2001; 10: 242-246.
- 6) Werner SL, Gill TJ, Murray TA, et al. Relationships between throwing mechanics and shoulder distraction in professional baseball pitchers. Am. J. Sports Med. 2001; 29: 354-358.
- 7) 宮下浩二, 小林寛和, 越田専太郎, 他. 投球動作の最大外旋角度に対する肩甲上腕関節と肩甲胸郭関節および胸椎の貢献度. 体力科学. 2009; 58: 379-386.
- 8) Abdel-Aziz YI, Karara HM. Direct linear transformation from comparator coordinates into object space 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.
- 9) Miyashita K, Kobayashi H, Koshida S, et al. Glenohumeral, scapula, and thoracic angles at maximum shoulder external rotation in throwing. The American Journal of Sports Medicine. 2010; 38: 363-368.
- 10) 宮下浩二, 小林寛和, 越田専太郎, 他. 投球動作における肩最大外旋角度と肩甲上腕関節および肩甲胸郭関節の可動域の相関. 日本臨床スポーツ医学会誌. 2009; 17: 573-579.
- 11) 宮下浩二, 小林寛和. 投球動作における肩複合体の運動様式の分類. 日本整形外科スポーツ医学会雑誌. 2010; 30: 113-118.
- 12) 尾関圭子, 飯田博己, 中路隼人, 他. 学童女子野球選手における肩関節可動域の特性. スポーツ傷害. 2015; 20: 18-19.
- 13) Chu Y, Fleisig GS, Simpson KJ, et al. Biomechanical comparison between elite female and male baseball pitchers. Journal of applied biomechanics. 2009; 25: 22-31.
- 14) 伊藤博一, 中里浩一, 渡會公治, 他. 女子野球選手の投動作における体幹回旋運動の特徴—体幹回旋運動と上肢投球障害—. 日本臨床スポーツ医学会誌. 2004; 12: 469-477.
- 15) 上田泰之, 田中 洋, 亀田 淳, 他. 投球時に加わる肩離開力, 前方関節間力および上方関節間力に影響を与える因子の検討. 理学療法科学. 2017; 44: 101-108.
- 16) Fairbank JC, Pynsent PB, Phillips H. Quantitative measurement of joint mobility in adolescents. Annals of Rheumatic Diseases. 1984; 43: 288-294.

- 17) Laubach L. Comparative muscular strength of men and women: a review of the literature. *Aviat Space Environ Med.* 1976; 47: 534-542.
- 18) 立原久義, 浜田純一郎, 山口光國, 他. 健常者の上肢挙上に伴う胸郭と肩甲骨の運動. 肩関節. 2012; 36: 795-798.
- 19) 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期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; 25: 374-382.
- 20) 米川正悟, 服部麻倫, 渡邊幹彦, 他. 女子硬式野球選手の肩・肘投球障害の検討—アンケート調査を用いて—. *日本整形外科スポーツ医学会雑誌.* 2012; 32: 70-73.

(受付: 2020年2月5日, 受理: 2021年12月24日)

## The characteristics of shoulder external rotation during throwing in female collegiate baseball players

Ota, K<sup>\*1</sup>, Miyashita, K<sup>\*2</sup>, Koyama, T<sup>\*3</sup>  
Tani, Y<sup>\*4</sup>, Okamune, R<sup>\*3</sup>, Emon, Y<sup>\*5</sup>

\*1 Watanabe Orthopaedics & Rehabilitation Clinic

\*2 Department of Physical Therapy, College of Life and Health Science, Chubu University

\*3 Matsushita Orthopedics

\*4 Advancedreha Co., Ltd.

\*5 Iwata Orthopedic Clinic

**Key words:** throwing motion, female baseball players, shoulder external rotation

**[Abstract]** The purpose of this study was to analyze the characteristics of shoulder external rotation during throwing in female collegiate baseball players. The subjects were 13 female collegiate baseball players. First, three-dimensional motion analysis was performed to obtain the angle of maximum external rotation (MER) of the shoulder complex during throwing. Then, the external rotation angle of the glenohumeral joint (GH) and the posterior tilt angle of the scapula at the time of MER were calculated.

The mean MER angle was  $131.0 \pm 9.3^\circ$ . The mean external rotation angle of GH at MER was  $90.6 \pm 11.4^\circ$ . The mean posterior tilt angle of the scapula at MER was  $37.1 \pm 5.2^\circ$ .

Based on the results of the current study, the components of shoulder external rotation during throwing in female baseball players were clarified. We suggest that it is necessary to focus on both GH and the scapula motion to observe the throwing motion in female baseball players.