

原著論文

投球動作のステップ脚における接地位置の違いが肩関節の
負荷に与える影響 —平地での検討—

Variations in Shoulder Loading Due to Differences in the Site of
Stepping Foot Contact during Baseball Pitching
— Consideration on flat floor —

法所 遼汰¹⁾ 西脇 秀太郎²⁾ 淵本 隆文²⁾
Ryota Hosho¹⁾ Shutaro Nishiwaki²⁾ Takafumi Fuchimoto²⁾

Abstract

This study examined the effect of the site of contact of the stepping foot on shoulder loading during baseball pitching. Measurements were performed in 10 right-handed pitchers who belonged to a university baseball club, on an indoor flat floor. Pitching movements were classified into 7 categories: (1) [normal], (2) Stepping stride with a [narrow], [medium], or [wide] and (3) Stepping with an [inside] (in the right direction for the pitcher), [center], and an [outside] direction. VICON was used to make the measurements. The velocity of the ball and motion-dynamic data of the right shoulder joint were calculated based on the 3-D coordinate values obtained. As a result, the velocity of the ball and the anterior, inferior shearing forces in the humeral head were significantly higher in the [normal] compared with [narrow] and [outside] conditions. There were no significant differences in the internal rotation and posterior shearing force under the different conditions. This suggests that, when the velocity of the ball is low, the pitcher has fewer injuries in relation to the anterior and inferior shearing forces. However, even when a step condition that slows down the ball velocity is selected, the shoulder loading may be relatively great, depending on the direction of the shearing force.

キーワード 投球障害肩, 三次元動作解析, 内旋トルク, 剪断力
throwing shoulder injuries, 3-D motion analysis, internal rotation torque,
shearing force

1) 牧病院
2) 大阪体育大学

Maki Hospital
Osaka University of Health and Sport Sciences

1. 緒言

投球障害肩は野球選手に多い障害の一つである。近年、投球動作中に発生する肩関節の負荷は、バイオメカニクスの手法を用いて定量化するという動力的な視点から検討されている (Fleisig et al., 1995, pp. 233-239; 中村ほか, 2004, pp. 123-132; 車谷ほか, 2007, pp. 420-427; 田中ほか, 2012, pp. 47-54)。Fleisig et al. (1995, pp. 233-239) は、最大外旋位直前に危険度の高い瞬間があり、肩関節では 67 Nm の内旋トルクと 310 N の前方剪断力が生じると報告している。宮西ほか (1999, pp. 583-596) は、フォロースルー期に肩関節が内転・内旋位になると同時に、上腕骨頭が上方に移動する力によって肩峰下インピンジメント症候群が引き起こされる可能性があること示唆している。そして、投球障害肩は後期コッキング期 (足底接地から最大外旋位) から加速期 (最大外旋位からボールリリース) にかけて生じる肩関節外旋および内旋運動に起因した症状を呈することが多い (信原, 2012, pp. 349-395; 宮下, 2012, pp. 55-60) ことから、投球動作中に発生する肩関節の負荷の中でも、特に肩関節内旋トルクの値が肩関節の負荷を示す指標の一つとして挙げられる (Aguinald et al., 2007, pp. 42-51)。

一方で、投球障害肩が発生する原因の一つとして、下肢から生じる運動連鎖が上手く行われないことが指摘されている (宮下, 2012, pp. 55-60)。松尾ほか (2010, pp. 343-362) は、肩関節や肘関節の障害予防の観点から、着地からボールリリースにかけてのステップ脚への加重といった下肢動作が重要であると述べている。Davis et al. (2009, pp. 1484-1491) は、ステップ脚の接地位置を通常よりも開くと肩関節内旋トルクが増大すると報告している。また、ステップ幅が狭いと、投球フォームが不安定になることや体幹の異常な運動が引き起こされることが言われている (川島, 2004, pp. 152; 坂田, 2015, pp. 35-38)。投球動作は全身運動であると言われており (信原, 2012, pp. 349-395)、下肢の並進運動の後に身

体各部分の回転や回旋運動が顕著となる (宮西, 2004, pp. 268-277)。このことから、投球動作中に発生する肩関節の負荷は、下肢運動の影響を受けると推察され、それを定量的に検討することで投球障害肩の予防につながる知見が得られると考える。しかしながら、同一被験者に対して投球動作におけるステップ脚の接地位置を細かく変化させることによって、肩関節の負荷がどのように変化するかを動力的に検討した研究は見当たらない。

そこで本研究では、投球動作におけるステップ脚の接地位置を 7 条件設定することによって、肩関節内旋トルクと肩関節における上腕骨頭の剪断力および牽引力がどのような影響を受けるのかを検証しようとした。なお、野球場のマウンドを使用すると接地位置を変えることによって高低差が生じるため、本研究は平地で実施した。

2. 方法

2.1. 被験者

被験者は、体育大学の硬式野球部に所属する右投げ投手の内、実戦での最高球速が 130 km/h 以上の男子 10 名 (年齢 19.9 ± 1.1 歳、身長 178.4 ± 4.1 cm、体質量 76.3 ± 7.8 kg) で、過去に肩関節障害の既往のない者とした。本研究は〇〇〇〇大学倫理委員会に倫理申請書を提出し、承認を得た。なお、被験者には、事前に本研究の目的や測定内容および測定時の危険性について説明し、同意を得た。

2.2. 実験手順

測定場所は屋内の平地とし、投球動作 (右投げ) はセットポジションから行わせた。

動作条件の規定は床にテープを貼ることによって行った。まず基準点を定め、基準点を通る基準線①を引いた。次に、基準点から基準線①に垂直となる基準線②を引いた (図 1)。被験者には、軸脚となる右足関節 (内果と外果を結ぶ線の中点) が基準点上に位置し、右爪先が基準線①上に位置するセットポジションの姿勢をとらせた。そして、的的位置を被

験者毎に設定するため、まずネットに向かって1球投げさせた。その際、被験者には、基準線②の方向の18.44m先にホームベースがあることを想定させ、ホームベース上の中央でベルトの高さ（床から70cm）に向かってボールを投げることをイメージさせて、基準点から3.7 m先に設置したネットに向かって硬式の野球ボールを全力で投げさせた。そして、後述する方法にて的を設置した後（図2）、本試技を行った。

動作は以下の7条件とした。

- 1) [通常]：被験者が最も投げやすい方法で投げさせた。なお、[通常]におけるステップ幅の平均値は、下肢長の $162 \pm 7\%$ 、ステップ方向は「中」付近であった。
- 2) ステップ脚の幅が「狭い」・「中間」・「広い」：基準線②上に基準点からの距離が下肢長（上前腸骨棘と脛骨内果を結ぶ線）の130%、150%、170%になる地点に印をつけ、その印上にステップ脚である左足関節が接地するように投げさせた（図1）。
- 3) ステップ脚の方向が「内」（投球方向に対して右側）・「中」・「外」：基準線②から左右に各15°回転させた線を基準点から引き、その線上にステップ脚である左足関節が接地するように投げさせた（図1）。なお、この時のステップ幅は、「中」は「中間」付近に、「内」と「外」は「狭い」付近に接地していた。

なお、疲労やウォーミングアップ効果による影響を考慮し、試技の順序は被験者毎に変えた。試技は各条件について3回ずつ行い、全ての試技について分析を行った後、それぞれの平均値を比較した。

測定には、9台の光学式3次元動作分析装置（VICON, VICON社製）を使用し、座標のサンプリング周波数は250Hzとした。反射マーカーは、投球側の第3中手骨頭、投球側の橈・尺骨茎状突起、投球側の上腕骨内・外側上顆、投球側の肩関節前・後面、両側の肩峰、胸骨上縁、第7頸椎棘突起、両側の肋骨下端、両側の上前腸骨棘、両側の上後腸骨棘、両側の足

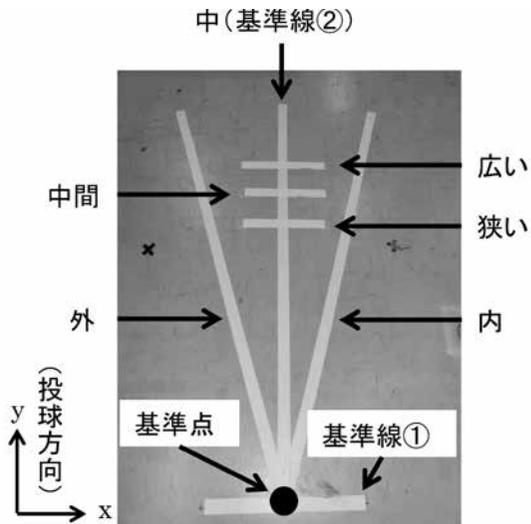


図1 動作条件の規定方法

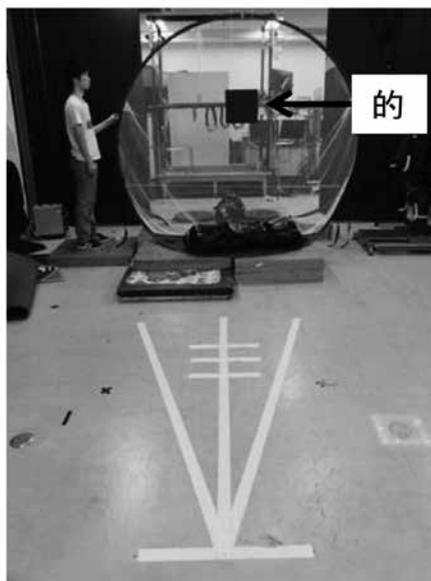


図2 的の設定

関節内・外果、両側の踵部、ボール（2個）の計25点に貼付した（図3, 4）。マーカー番号を図4に示した点1から点25で表すと、右肩関節中心は点6と点7の midpoint、右肘関節中心は点4と点5の midpoint、右手関節中心は点2と点3の midpointと定義した。得られた座標値をもとに逆動力学解析を行い、右肩関節の運動力学的データを算出した（宮西, 1998, pp. 46-56）。

測定点の3次元座標は、遮断周波数を10Hzとして、4次のButter Worth filterを用いて平滑化した。遮断周波数は、Winter (1990, pp. 41-43)の方法を用いて決定した。また、試技の前にステップ脚の幅と方向を設定した線上に反射マーカを配置させ、設定した線上の座標値を得ることで、ステップ脚の接地位置と設定した線との誤差を確認した。なお、実験場面ではステップ脚の踵（縦は足長の後ろ1/3、横は靴幅）が5cm幅のテープ上に位置し、ボールが的に命中した試技を成功試技として採用した。

また、本研究で用いた静止座標系は基準点を原点とした右手系の直交座標系であり、X軸の正は投球方向に対して右方向、Y軸の正は投球方向、Z軸の正は鉛直上方向とした(図3)。

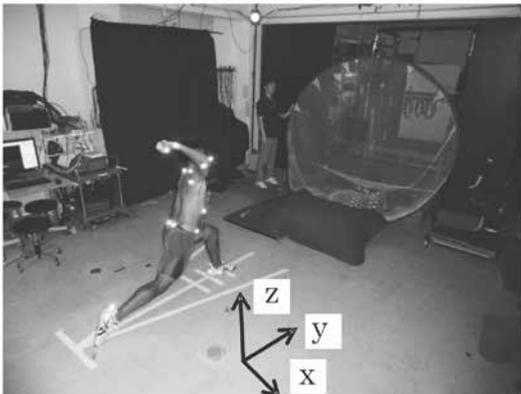


図3 実験風景

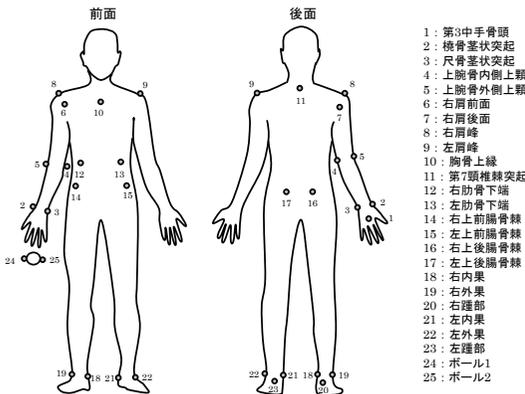


図4 反射マーカへの貼付位置

2.3. 運動座標系の定義

本研究では、宮西 (1996, pp. 23-37; 1998, pp. 46-56) によるモデルに基づき、肩関節における上腕骨頭に作用する関節間力(剪断力、牽引力)および肩関節の上腕骨に作用する関節トルクを求めた。宮西 (1996, pp. 23-37; 1998, pp. 46-56)の方法では、肩関節の運動座標系は上腕を基準として定義していたが、本研究では、肩関節における上腕骨頭に作用する関節間力および肩関節の内旋トルクの算出を行うために、体幹と上腕の長軸を基準とした運動座標系を定義した(図5)。

体幹を基準とした運動座標系では、胸骨上縁と第7頸椎棘突起を結ぶ線の中点から左右肋骨を結ぶ線の中点へ向かうベクトルを基準軸(Z軸)とし、胸骨上縁と第7頸椎棘突起を結ぶ線の中点から右肩関節中心へ向かうベクトルとZ軸のベクトルの外積から、これらに直交するベクトル(X軸)を求めた。そして、X軸方向を示すベクトルとZ軸方向を示すベクトルから残る1軸(Y軸)を決定した。右上腕および右肩関節における運動座標系では、右肘関節中心から右肩関節中心へ向かうベクトルを基準軸(Z軸)とし、右肩関節中心から右肩関節前面へ向かうベクトルとZ軸のベクトルの外積から、これらに直交するベクトル(X軸)を求めた。そして、X軸方向を示すベクトルとZ軸方向を示すベクトルから残る1軸(Y軸)を決定した。右前腕および右肘関節における運動座標系では、右手関節中心から右肘関節中心へ向かうベクトルを基準軸(Z軸)とし、右肘関節中心から右内側上顆へ向かうベクトルとZ軸のベクトルの外積から、これらに直交するベクトル(X軸)を求めた。そして、X軸方向を示すベクトルとZ軸方向を示すベクトルから残る1軸(Y軸)を決定した。右手および右手関節における運動座標系では、右第3中手骨頭から右手関節中心へ向かうベクトルを基準軸(Z軸)とし、右手関節中心から右尺骨茎状突起へ向かうベクトルとZ軸のベクトルの外積から、これらに直交するベクトル(X軸)を求めた。そして、X軸方向を

示すベクトルとZ軸方向を示すベクトルから残る1軸(Y軸)を決定した。

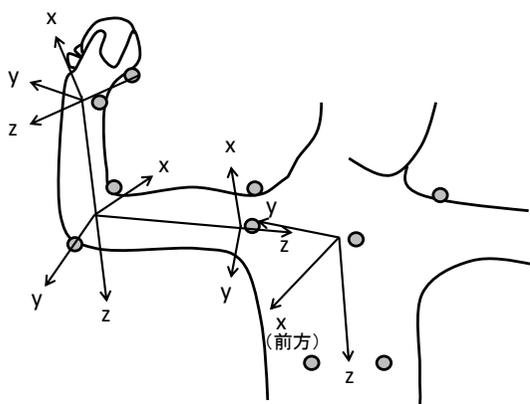


図5 上胸および上肢の運動座標系

2.4. ボール速度の算出と的の設置位置の決定

ボール速度 (V_b) は、リリース直後から 0.02s (5 フレーム) 後までの平均速度とした。

的の設置位置は次のようにして決定した。まず、通常投げの練習投球におけるボールリリース時のボールの座標値 (x, y, z) とボールリリース時の水平 y 方向のボール速度 (V_y) を測定した。次にそのボールリリース位置から y 方向速度 V_y のボールが投げられた場合に、目標とする仮想のホームベース上位置 (0, 18.44, 0.7) をボールが通過する三次元座標上での放物線軌道を算出した。そして、その軌道における y 方向 3.7m 地点に的の中心を合わせて設置した。

2.5. データの算出項目

1) 動作の局面分け

本研究における投球動作の局面は、足底接地から最大外旋位をコッキング期、最大外旋位からボールリリース時点までを加速期、ボールリリース時点以降をフォロースルー期とした (Jobe et al., 1983, pp. 3-5)。足底接地は、ステップ脚である左踵部の Z 座標が最低値付近で静止した時点とした。最大外旋位は、右肩関節外旋角度が最大値付近で静止した時点

とした。また、ボールリリース時点は、第3中手骨頭とボール中心との距離が、各被験者の第3指の指長 (第3中手骨頭から第3指の指先) とボール半径 (4cm) との和を超えた最初の時点とした。

2) 肩関節における関節間力と内旋トルク

肩関節における上腕骨頭に作用する関節間力 (剪断力、牽引力) と内旋トルクは次のように算出した。体幹における運動座標系にて、X 軸方向に作用する関節間力を前方・後方剪断力、Z 軸方向に作用する関節間力を上方・下方剪断力として算出した。また、上腕における運動座標系にて、Z 軸方向に作用する関節間力を近位牽引力、Z 軸回りに作用する関節モーメントを肩関節内旋トルクとして算出した。

2.6. 統計処理

本研究では、各測定項目について、ステップ幅における [通常], [狭い], [中間] および [広い] の4条件間、およびステップ方向における [通常], [外], [中] および [内] の4条件間について、一元配置分散分析を行った後、Bonferroni の多重比較検定を用いて平均値の差の検定を行った。有意水準は 5% とした。

3. 結果

3.1. ボール速度

リリース直後のボール速度を全被験者の平均値と標準偏差で示すと、ステップ幅条件においては、[通常], [広い], [中間], [狭い] の順に $32.7 \pm 1.3\text{m/s}$, $32.4 \pm 1.2\text{m/s}$, $32.0 \pm 1.1\text{m/s}$, $31.3 \pm 1.3\text{m/s}$ であった。またステップ方向条件においては、[通常], [中], [内], [外] の順に $32.7 \pm 1.3\text{m/s}$, $32.1 \pm 1.6\text{m/s}$, $32.0 \pm 1.5\text{m/s}$, $30.9 \pm 1.6\text{m/s}$ であった。そのうち、[通常] は [狭い], [中間] と [外] よりも有意に高い値を示した。また、[中間] は [狭い] よりも、[内] は [外] よりも有意に高い値を示した (表 1・2)。

3.2. 肩関節における内旋トルクと関節間力

肩関節内旋トルクのピーク値において、各条件間で有意な差は認められなかった（表1・2）。関節間力のピーク値において、前方剪断力は[通常]が[狭い]と[外]よりも、[中間]が[狭い]よりも有意に高い値を示した。上方剪断力は[広い]が[狭い]と[中間]よりも有意に高い値を示した。また、下方剪断

力は[通常]が[狭い]、[中間]、[内]および[外]よりも、[内]が[外]よりも有意に高い値を示した。近位牽引力は[通常]と[内]が[外]よりも有意に高い値を示した（表1・2）。なお、足底接地および最大外旋位の時点、肩関節内旋トルクおよび関節間力のピーク値の出現時点に関しては、各条件間で有意な差は認められなかった（表3・4）。

表1 ボール速度、関節トルクおよび関節間力のピーク値（ステップ幅）

n=10	通常	狭い	中間	広い	有意差
ボール速度(m/s)	32.7 ± 1.3	31.3 ± 1.3	32.0 ± 1.1	32.4 ± 1.2	通常>狭い, 通常>中間, 中間>狭い
内旋トルク(N・m)	59 ± 10	57 ± 9	58 ± 9	58 ± 9	n.s.
前方剪断力(N)	252 ± 23	234 ± 25	243 ± 26	237 ± 26	通常>狭い, 中間>狭い
後方剪断力(N)	497 ± 96	459 ± 92	474 ± 96	471 ± 77	n.s.
上方剪断力(N)	76 ± 50	68 ± 47	75 ± 47	93 ± 48	広い>狭い, 広い>中間
下方剪断力(N)	422 ± 49	361 ± 41	373 ± 37	400 ± 64	通常>狭い, 通常>中間
近位牽引力(N)	689 ± 100	629 ± 114	647 ± 111	643 ± 97	n.s.
平均値±標準偏差	有意水準は5%				

表2 ボール速度、関節トルクおよび関節間力のピーク値（ステップ位置）

n=10	通常	外	中	内	有意差
ボール速度(m/s)	32.7 ± 1.3	30.9 ± 1.6	32.1 ± 1.6	32.0 ± 1.5	通常>外, 内>外
内旋トルク(N・m)	59 ± 10	59 ± 9	58 ± 10	57 ± 10	n.s.
前方剪断力(N)	252 ± 23	226 ± 27	241 ± 34	247 ± 28	通常>外
後方剪断力(N)	497 ± 96	437 ± 109	474 ± 104	470 ± 97	n.s.
上方剪断力(N)	76 ± 50	65 ± 47	72 ± 28	76 ± 53	n.s.
下方剪断力(N)	422 ± 49	327 ± 54	390 ± 57	377 ± 42	通常>外, 通常>内, 内>外
近位牽引力(N)	689 ± 100	584 ± 113	653 ± 102	680 ± 102	通常>外, 内>外
平均値±標準偏差	有意水準は5%				

表3 足底接地および最大外旋位、関節トルクおよび関節間力のピーク値時点（ステップ幅）

n=10	通常	狭い	中間	広い	有意差
足底接地(s)	-0.150 ± 0.022	-0.168 ± 0.021	-0.160 ± 0.021	-0.168 ± 0.025	n.s.
最大外旋位(s)	-0.062 ± 0.003	-0.065 ± 0.003	-0.064 ± 0.003	-0.064 ± 0.003	n.s.
内旋トルク(s)	-0.044 ± 0.002	-0.047 ± 0.003	-0.047 ± 0.004	-0.046 ± 0.003	n.s.
前方剪断力(s)	-0.102 ± 0.016	-0.107 ± 0.014	-0.108 ± 0.014	-0.108 ± 0.013	n.s.
後方剪断力(s)	0.068 ± 0.004	0.068 ± 0.004	0.068 ± 0.004	0.069 ± 0.004	n.s.
上方剪断力(s)	-0.096 ± 0.013	-0.105 ± 0.027	-0.097 ± 0.015	-0.095 ± 0.012	n.s.
下方剪断力(s)	0.026 ± 0.006	0.025 ± 0.006	0.025 ± 0.006	0.025 ± 0.008	n.s.
近位牽引力(s)	0.008 ± 0.006	0.006 ± 0.005	0.008 ± 0.005	0.006 ± 0.004	n.s.
平均値±標準偏差	※リリース直後を基準				

表4 足底接地および最大外旋位, 関節トルクおよび関節間力のピーク値時点 (ステップ位置)

n=10	通常	外	中	内	有意差
足底接地(s)	-0.150 ± 0.022	-0.161 ± 0.028	-0.164 ± 0.023	-0.170 ± 0.024	n.s.
最大外旋位(s)	-0.062 ± 0.003	-0.065 ± 0.004	-0.064 ± 0.003	-0.064 ± 0.002	n.s.
内旋トルク(s)	-0.044 ± 0.002	-0.046 ± 0.003	-0.047 ± 0.003	-0.046 ± 0.003	n.s.
前方剪断力(s)	-0.102 ± 0.016	-0.105 ± 0.012	-0.103 ± 0.013	-0.107 ± 0.016	n.s.
後方剪断力(s)	0.068 ± 0.004	0.071 ± 0.004	0.070 ± 0.005	0.069 ± 0.005	n.s.
上方剪断力(s)	-0.096 ± 0.013	-0.102 ± 0.033	-0.098 ± 0.011	-0.100 ± 0.015	n.s.
下方剪断力(s)	0.026 ± 0.006	0.028 ± 0.005	0.026 ± 0.007	0.025 ± 0.006	n.s.
近位牽引力(s)	0.008 ± 0.006	0.004 ± 0.006	0.006 ± 0.004	0.006 ± 0.004	n.s.
平均値±標準偏差	※リリース直後を基準				

4. 考察

本研究におけるボール速度は, [通常] で最高, [外] で最低であった. 大学生を対象としたマウンドにて行われた先行研究において, ボール速度は 38.0 m/s (Dillman et al., 1993, pp. 402-408), 38.3 m/s (Fleisig et al., 1995, pp. 233-239) が計測されており, 本研究の値はマウンドでの計測値より低かった. 一方, 平地にて行われた先行研究では, 29.2 m/s のボール速度が報告されており (宮西ほか, 1996, pp. 23-37), 本研究の方がボール速度は高かった. また, 条件をステップ幅とステップ方向に分けてみると, ボール速度は, ステップ幅で比較した場合, [通常] は [狭い], [中間] と [外] よりも, [中間] は [狭い] よりも有意に高い値を示し, ステップ方向で比較した場合, [内] は [外] よりも有意に高い値を示した. 以上の結果から, ステップ幅で比較すると, [狭い] は [通常] と [中間] よりもボール速度が低くなる条件であると考えられた. 同様に, ステップ方向で比較すると, [外] は [通常] と [内] よりもボール速度が低くなる条件であると考えられた.

投球動作中に発生する肩関節における関節トルクは, 特に内旋トルクのピーク値が投球障害肩に影響していると報告されており, その値は 67 Nm (Fleisig et al., 1995, pp. 233-239), 78 Nm (Aguinald et al., 2007, pp. 42-51) を示している. 本研究における値は, [通常] で 59 Nm とやや低い値を記録しているが, ピーク値は先行研究と同様に最大外旋位付近で出

現した (表3, 4). また, ボール速度は Fleisig et al. (1995, pp. 233-239) より本研究の方が低かったことを考慮すると, 本研究における値は妥当であると考えられた. 先行研究において, ボール速度が高い方が肩関節内旋トルクは大きいことから, 肩関節内旋トルクはボール速度と関係していると考えられる (Fleisig et al., 1995, pp. 233-239; Aguinald et al., 2007, pp. 42-51). 本研究における肩関節内旋トルクのピーク値は, 条件間で有意差が認められなかった. この結果から, [狭い] や [外] ではボール速度が低いにも関わらず, その他の条件と同じぐらい, 肩関節内旋トルクによる肩関節への負荷が生じていると考えられた. また肩関節内旋トルクのピーク値は, 全ての条件において加速期 (最大外旋位からボールリリースの間) に出現していた. 後期コッキング期から加速期にかけて生じる肩関節外旋・内旋運動は, 身体の近位部に対して遠位部が遅れる現象によって生じると言われている (宮西, 2004, pp. 268-277; 宮下, 2012, pp. 55-60). また, 極端に外側に着地した場合には腰の回転が早く起こりすぎることになると報告されている (宮永ほか, 2010, pp. 486). よって, [外] では肩関節外旋運動が生じ難くなり, ボール速度の割に肩関節内旋トルクが増大することで肩関節外旋から内旋への切り替えを行っていると考えられる. また, ステップ脚が [狭い] の条件では, 軸脚からステップ脚への体重移動が少なくなり, 並進運動による力が発揮し難くなると考えられる. そのため, 身体

の開きを早くすることで、回転運動を利用して動作を遂行していると考えられた。この肩関節内旋トルクは、肩関節内旋筋群（大胸筋、肩甲下筋、大円筋、広背筋）の強い伸張性収縮によって生成されると報告されている（宮永ほか、2010）。そのため、これらの筋が力を発揮し続けることで、[外] や [狭い] ではボール速度が遅い割に、[通常] と同等の負荷が肩関節内旋筋群に生じている可能性があると考えられた。

次に、肩関節における上腕骨頭の関節間力について考える。この関節間力は、前方・後方・上方・下方の剪断力と近位方向への牽引力に分けられる。まず前方剪断力について、[通常] が [狭い] と [外] の条件よりも、[中間] が [狭い] の条件よりも有意に高い値を示した。ボール速度も同様の結果を示していることから、ボール速度が高い方が前方剪断力による負荷は生じやすいと考えられた。また、前方剪断力のピーク値は、全ての条件において、足底接地から最大外旋位の間で出現していた。コッキング期から加速期に発生しやすい肩関節前面の疾患として、前方関節唇損傷や腱板疎部損傷があることから、この前方剪断力は前方から引っ張られる力によって発生すると考えられた。今回の結果を生成される力の観点から考えると、[通常] よりも [狭い] と [外] の方が投球障害肩は発生し難くなると考えられた。しかしながら、投球障害肩が発生する要因を考える上では、生成される力の量に加え、力を受ける肢位にも考慮する必要があるため、その点に関しては今後検討が必要となる。

後方剪断力については、条件間において有意差は認められなかった。これは、ステップ脚が [狭い] と [外] の条件では、ボール速度が高い通常の条件と同等の後方剪断力が発生していると考えられた。後方剪断力のピーク値はボールリリース以降に出現していた。ボールリリース以降の時期に発生しやすい肩関節後面の疾患として、後方関節包炎や棘下筋炎があることから、後方剪断力は上腕がもつ前方への勢いを止めるために発生する後方

へ引っ張る力と考えられた。今回の結果から、[狭い] と [外] の条件はボール速度が低い割には、[通常] やその他の条件と同様の確率で、肩関節後面の疾患が発生する可能性があると考えられた。

上方剪断力については、ステップ脚が [広い] 条件は [狭い] と [中間] の条件よりも、有意に高い値を示した。上方剪断力のピーク値は、足底接地から最大外旋位の間で出現しており、この時期に上腕の末梢端は挙上している。そのため、上方剪断力は重力に対抗して、上腕を上方へ引き上げる力ではないかと考えられた。ステップ脚が [広い] 条件の方が、[狭い] と [中間] の条件よりも上腕を上方へ引き上げる力が大きくなるため、肩峰下インピンジメント症候群など肩関節上方に起因する疾患は、ステップ脚が広い条件では発生しやすい可能性があるとして唆された。

下方剪断力については、[通常] が [狭い]、[中間]、[外] および [内] の条件よりも、[内] が [外] の条件よりも有意に高い値を示した。ボール速度も同様の結果を示していることから、ボール速度が高い方が下方剪断力による負荷が生じやすいと考えられた。また、下方剪断力のピーク値は、全ての条件において、ボールリリース以降に出現していた。ボールリリース直後は、肩関節内旋運動に伴い、末梢部である手の加速度は下方へ大きくなる。そのため、手には下方への中枢端力が発生し、前腕を介して上腕の中枢端には下方剪断力が発生すると考えられた。今回の結果を発生する力の観点から考えると、[通常] よりも [狭い]、[中間]、[外] および [内] の条件の方が投球障害肩は発生し難いと考えられた。

近位牽引力については、ステップ幅の条件間では有意な差は認められなかった。これは、ステップ脚が [狭い] と [中間] の条件では、ボール速度が低い割には、ボール速度が高い [通常] の条件と同等の近位牽引力が発生していると考えられた。一方で、ステップ位置の条件間では、[通常] が [外] の条件よりも、[内] が [外] の条件よりも有意に高い値を示した。

ボール速度も同様の結果を示していることから、ボール速度が高い方が近位牽引力による負荷が生じやすいと考えられた。また、近位牽引力のピーク値は、全ての条件において、ボールリリース直後に出現していた。近位牽引力はボールリリース直後に発生する上腕の遠心力によって、上腕が遠位へ引っ張られるのを引き戻す力により発生すると考えられた。今回の結果を発生する力の観点から考えると、[通常]と[内]よりも[外]の条件の方が投球障害肩は発生し難いと考えられた。

5. まとめ

本研究は、ステップ脚の接地位置の違いが肩関節の負荷に与える影響を明らかにするための予備研究として、平地にて実施した。その結果、以下の知見が得られた。

- ① 肩関節内旋トルクのピーク値は、ステップ脚の接地位置を変えても有意差が認められなかった。
- ② 肩関節の上腕骨頭に作用する前方および下方の剪断力と近位牽引力は、[通常]が最も大きい値を示した。一方で、後方および上方剪断力は、[通常]と他の条件間では有意差が認められなかった。

以上のことから、ステップ脚の接地位置の違いは肩関節の負荷に影響を与えるということが分かった。ボール速度が高くなるに伴って肩関節に加わる負荷も増大することになるが、負荷に加わる方向によっては、ボール速度が低くなっても肩関節に加わる負荷が大きくなる可能性があることが分かった。今後はマウンドの傾斜上での検討を行うことで、より実戦的な知見を得ることが可能となり、投球障害予防の一助となると考える。

参考文献

- Arnel L. Aguinaldo, Janet Buttermore, and Henry Chambers (2007) Effects of upper trunk rotation on shoulder joint torque among baseball pitchers of various levels. *Journal of Applied Biomechanics*, 23: 42-51.
- Davis JT, Limpisvasti O, Fluhme D, Mohr KJ, Yocum LA, Elattrache NS, Jobe FW (2009) The effect of pitching biomechanics on the upper extremity in youth and adolescent baseball pitchers. *Am J Sports Med*, 37: 1484-1491.
- Dillman CJ, Fleisig GS, Andrews JR (1993) Biomechanics of the shoulder with emphasis upon shoulder kinematics. *J Orthop Sports Phys Ther*, 18: 402-408.
- Fleisig GS, et al. (1995) Kinetics of baseball pitching with implications about injury mechanisms. *Am J Sport Med*, 23: 233-239.
- Jobe FW, et al. (1983) An EMG analysis of the shoulder in throwing and pitching. A preliminary report. *Am J Sport Med*, 11:3-5.
- 川島堅 (2004) 野球肩・野球ひじを治す本。株式会社マキノ出版, pp. 152.
- 車谷洋・村上恒二・金子文成・山崎和博 (2007) 肩関節外旋筋群の疲労が肩関節へ与える力学的変化に関する研究—preliminary study—。日本臨床スポーツ医学会誌, 15: 420-427.
- 松尾知之・平野裕一・川村卓 (2010) 投球動作指導における着眼点の分類と指導者間の意見の共通性；プロ野球投手経験者および熟練指導者による投球解説の内容分析から。体育学研究, 55: 343-362.
- 宮永豊 (2010) スポーツ科学・医学大辞典 スポーツ運動科学—バイオメカニクスと生理学—。西村書店, pp. 486.
- 宮西智久 (1996) 野球の投球動作におけるボール速度に対する体幹および投球腕の貢献度に関する3次元的研究。体育学研究, 41: 23-37.
- 宮西智久 (1998) 剛体リンク系における身体運動の3次元関節トルク算出法の実際。仙台大学紀要, 30: 46-56.
- 宮西智久 (1999) 投球動作における肘・肩関節の3次元動力学的研究—投球上肢の運動パターンと障害発生の可能性と関連—。

- 体力科学, 48 : 583-596.
- 宮西智久 (2004) 野球のピッチング —キネティクス—. バイオメカニクス 身体運動の科学的基礎. 杏林書院, pp. 268-277.
- 宮下浩二 (2012) 投球動作のバイオメカニクスと運動連鎖 運動連鎖から見た投球動作. 臨床スポーツ医学, 29 : 55-60.
- 中村康雄・林豊彦・中村真理・中溝寛之・信原克哉・加藤直・飯塚大輔 (2004) 投球フォームとボール・リリース時の肩関節負荷. バイオメカニクス, 17 : 123-132.
- 中村康雄・林豊彦 (2010) ストレートとカーブの投球動作の運動学・動力学解析. 同志社スポーツ健康科学, 2 : 38-46.
- 信原克哉 (2012) 肩 その機能と臨床 第4版. 医学書院, pp. 349-395.
- 坂田淳 (2015) 投球動作の見方と修正. Sportsmedicine, 167 : 35-38.
- 田中洋・立花孝・大井雄紀・二宮祐樹・駒井正彦・信原克哉・林豊彦・佐志隆士 (2012) 投球動作のバイオメカニクスと運動連鎖 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, 29 : 47-54.
- Winter D. A (1990). Biomechanics and motor control of human movement (2nd ed.). John Wiley and Sons, Inc. : 41-43.
- (平成 29 年 5 月 8 日受付, 平成 29 年 8 月 24 日受理)