

非投球側の肩関節可動域を 制限した投球動作の運動学的特徴

Kinematic analysis of baseball pitching motion with partial restriction of the non-pitching shoulder joint

植田篤史*^{1,2}, 松村 葵*³, 新熊孝文*⁴
大木 毅*⁴, 中村康雄*⁵

キー・ワード : Pitching motion, non-pitching arm, shoulder
投球動作, 非投球側, 肩関節

〔要旨〕本研究の目的は、投球動作における非投球側肩関節の動きの役割を明らかにするために、非投球側の肩関節可動域を制限した投球動作を運動学的に評価することとした。対象は、健康な大学野球選手23名とした。野球の投球動作はモーションキャプチャ・システムを用いて測定した。測定条件は制限を行わない投球（通常投球）と非投球側の肩関節可動域をテーピングにて制限した投球（肩制限投球）の2条件とした。Early cocking 期から late cocking 期における非投球側の肩関節外転、水平内転、内旋角度のピーク値に関して、肩制限投球は通常投球よりも有意に低下していた。また、late cocking 期のピーク値から acceleration 期のピーク値までの非投球側の肩関節内転、水平外転、外旋角度の変化量についても肩制限投球は通常投球よりも有意に低下していた。さらに、球速、体幹の投球側の捻転角度、体幹回旋および前傾角速度、投球側の肩関節内旋および肘関節伸展の角速度のピーク値も同様に低下していた。このことから、投球動作中の非投球側の肩関節の動きの低下による非投球側上肢の挙上と畳み動作の低下は、体幹の回旋や投球側上肢の運動、さらに球速を低下させることが示唆された。

緒 言

投球動作において、下肢と体幹により生み出されたエネルギーは、投球側の肩関節からボールを握る手へと伝達される¹⁾。投球動作は、大きな筋群が付着する中枢セグメントである体幹の動きが末梢セグメントである上肢に効率よく伝達されることで、適切なパフォーマンスが発揮される¹⁾。投球障害に対するリハビリテーションや投球動作の指導現場では、肩と肘関節の負荷と関連する体幹動作の低下^{2,3)}を引き起こす一因となる非投球側上肢の欠陥動作が着目されている³⁻⁸⁾。

投球動作における非投球側上肢の動きは、クラブを身体から遠ざけるために上肢を前方に出す動作（以下、非投球側挙上動作）と、クラブを身体に近づけるため上肢を畳む動作（以下、非投球側畳み動作）の2パターンに分けられる^{4,5)}。投球動作は wind up 期、early cocking 期（以下、EC 期）、late cocking 期（以下、LC 期）、acceleration 期（以下、AC 期）、follow through 期の5つのフェーズで構成され^{9,10)}、非投球側挙上動作は、EC 期に生じ、体幹の捻転角度の増大、いわゆる体の開きの増大を抑制する役割があると考えられている^{4,5)}。また、非投球側畳み動作は、LC 期に実施され、AC 期における体幹の回旋を増大させる補助的な役割があると考えられている^{4,5)}。一方で、松尾らは質的な動作分析から、非投球側上肢の挙上と畳み動作の欠陥動作は体の開きと関連していることを報告している⁵⁾。非投球側上肢の欠陥動作に関する定

*1 同志社大学大学院スポーツ健康科学研究科

*2 阪堺病院リハビリテーション部

*3 株式会社テイクフィジカルコンディショニング

*4 阪堺病院整形外科

*5 同志社大学スポーツ健康科学部

表 1 2条件における被験者ごとの球速の変化

| | ポジション | 通常 | 肩制限 | Difference |
|--------|-------|-----|-----|------------|
| 被験者 1 | 投手 | 114 | 117 | -3 |
| 被験者 2 | 投手 | 105 | 101 | 4 |
| 被験者 3 | 投手 | 113 | 113 | 0 |
| 被験者 4 | 投手 | 104 | 97 | 7 |
| 被験者 5 | 外野手 | 113 | 104 | 9 |
| 被験者 6 | 投手 | 120 | 117 | 3 |
| 被験者 7 | 投手 | 110 | 111 | -1 |
| 被験者 8 | 投手 | 108 | 104 | 4 |
| 被験者 9 | 内野手 | 104 | 98 | 6 |
| 被験者 10 | 投手 | 118 | 105 | 13 |
| 被験者 11 | 投手 | 117 | 105 | 12 |
| 被験者 12 | 投手 | 114 | 87 | 27 |
| 被験者 13 | 投手 | 117 | 107 | 10 |
| 被験者 14 | 内野手 | 100 | 88 | 12 |
| 被験者 15 | 外野手 | 113 | 98 | 15 |
| 被験者 16 | 投手 | 107 | 98 | 9 |
| 被験者 17 | 内野手 | 101 | 101 | 0 |
| 被験者 18 | 投手 | 110 | 113 | -3 |
| 被験者 19 | 投手 | 105 | 101 | 4 |
| 被験者 20 | 投手 | 108 | 105 | 3 |
| 被験者 21 | 投手 | 110 | 104 | 6 |
| 被験者 22 | 投手 | 100 | 100 | 0 |
| 被験者 23 | 投手 | 121 | 113 | 8 |

量的な動作解析に関して、坂田らは、非投球側上肢の欠陥動作の中でも非投球側上肢が下がる動作いわゆる肩関節の外転の低下（非投球側上肢の挙上の低下）は肩、肘関節の負荷の増大に関係する体幹の早期回旋の動きと関連することを報告している⁷⁾。また、Ishidaらは、投球動作中に非投球側上肢を体幹に完全固定することで、非投球側上肢の制限が体幹の運動や投球パフォーマンスに与える影響を報告した⁸⁾。この結果、非投球側上肢を体幹に制限した投球は、通常投球の投球動作と比較し、ステップ脚足部の接地時点の体幹の捻転角度が有意に減少し、球速も減少することが示された⁸⁾。これは非投球側上肢の挙上や畳みの動きが生じないために、体幹の動きが低下し、結果として投球パフォーマンスを低下させたと推察されている⁸⁾。このことから、非投球側上肢の挙上と畳み動作の低下は投球パフォーマンスや投球動作中の体幹運動の低下を引き起こすことが考えられる。しかしながら、Ishidaらの研究方法では、非投球側上肢全体を完全に固定したため、非投球側上肢の挙上と畳みの動きを引き起こす肩関節単独の可動域の制限が投球動作に与える影響は評価できなかったが、より詳細に評価するためには、非投

球側の肩関節のみを可動域制限した投球動作を評価する必要がある。そこで本研究の仮説は、「投球動作中の非投球側の肩関節可動域を制限し、非投球側上肢の挙上と畳みの動きを低下させることで、体幹の動きと投球パフォーマンスが低下する」とした。この仮説を検証するために本研究の目的は、擬似的に非投球側の肩関節運動のみを制限した投球動作を計測し、その運動学的な特徴を明らかにすることとした。

対象と方法

対象は、大学硬式野球部および大学準硬式野球部に所属する健常な男性選手23名（年齢 19.8 ± 2.2 歳、身長 175.2 ± 7.7 cm、体重 71.1 ± 9.2 kg、競技歴 11.3 ± 1.3 年）とした。なお、対象者の利き腕は、右投げ17名、左投げ6名であった。また、対象者のポジションの内訳は、投手18名、内野手3名、外野手2名であった（表1）。対象の除外基準は、データ計測の1ヶ月前までに投球時痛があるもの、明らかな整形外科疾患を有するものとした。なお、本研究は同志社大学「人を対象とする研究」に関する倫理審査委員会に承認を受けて実施した（承認番号：16033）。

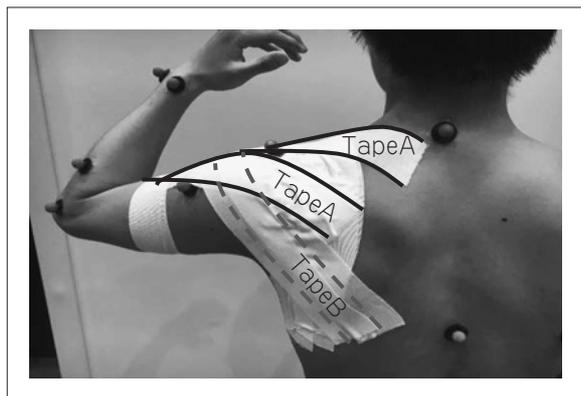


図1 テーピングを用いた肩関節の部分制限方法
肩関節の部分制限は、おもに内転を制限するため、肩関節外転 120° 位を保持した状態で、肩関節前後軸中心の上方に非伸縮性テープを2本貼付した (Tape A)。テープ A を貼付した状態から被験者自身の力で運動 (自動運動) を行い、肩関節最大内転位を保持した。その状態から肩の外転を制限するため、肩関節前後軸中心の下方の三角筋粗面周囲を通過するように、非伸縮性テープ2本を貼付した (Tape B)。

投球動作は、モーションキャプチャ・システム (Mac3D, Motion Analysis, USA) を用いて計測した。サンプリング周波数は 240Hz とした。赤外線反射マーカは解剖学的指標を参考に頭部、胸部、腰部、両上肢、両下肢に 48 個貼付した^{11,12)}。球速は、スピードガン (Sports Radar Ltd. SRA3000) を用いて計測した。

測定した試技は、非投球側の肩関節のみを部分制限した投球、制限しない通常投球の2種類の投球とした。被験者の肩関節には、おもに内転を制限するため、肩関節外転 120° 位を保持した状態で、肩関節前後軸中心の上方に非伸縮性テープを2本貼付した (図1 (Tape A))。次に被験者は、その状態から被験者自身の力で肩関節を内転させ、テープ A により制限された最大内転位を保持した。加えて肩の外転を制限するため、肩関節前後軸中心の下方の三角筋粗面周囲を通過するように、非伸縮性テープ2本を貼付した (図1 (Tape B))。なお、内転の制限は非投球側上肢の畳み動作の制限、外転の制限は非投球側上肢の挙上動作の制限のそれぞれを想定した。これらの部分制限は、同一の理学療法士が実施した。以上から測定条件は、①制限なし (以下、通常投球)、②非投球側の肩関節の部分制限 (以下、肩制限投球) の2条件とした。投球動作の試技は全力による直球とした。また、測定開始前と各条件間において、十分な

ウォーミングアップと投球練習を実施した。なお、各条件は、ランダムに順序を決定して、それぞれ3回計測した。各条件で球速の最速となる試技を解析対象とした。

運動学的解析のための局所座標系は、GeらとWuaらの方法を用いて決定した^{11,12)}。なお、肩関節中心は、先行研究を参考に肩峰から推定される位置とした¹³⁾。関節角度、角速度、身体重心位置は、Fleisigらの方法を用いて推定した¹³⁾。なお、肩関節の3軸方向の姿勢 (水平内・外転、内・外転、内・外旋) は胸部に対する上腕の角度¹³⁾、床面に対する骨盤角度と体幹角度は、地面に対する腰部と胸部の姿勢¹³⁾とした。また、投球動作中の体の開きを評価するために、腰部に対する胸部の相対的な姿勢を体幹捻転角度 (骨盤に対する胸部の姿勢) として算出した⁸⁾。

解析時点は、ステップ脚の離地時 (以下、ST) から、踏み出し脚の接地時 (以下、SFC)、最大肩外旋時 (以下、MER)、ボールリリース時 (以下、BR) とした。また、各時点間の解析区間は、ST から SFC の区間を EC 期、SFC から MER の区間を LC 期、MER から BR の区間を AC 期とした^{9,10)}。解析区間の時間軸は、非投球側上肢については ST から BR まで、投球側上肢については SFC から BR までを 0 から 100 までに規格化した。時間パラメータは、規格化した後の SFC、MER、BR 時点の平均値とした。前述した各関節の評価パラメータは、各投球相の区間内の最大値と最小値、投球相の区切り時点 (SFC、MER、BR) の値を評価対象とした。

なお、テーピングによる運動制限の効果は、非投球側の挙上動作から畳み動作に至る区間で評価した。そこで、1) EC 期～LC 期 (以下、挙上動作局面) における肩関節の3軸運動のそれぞれの最大角度と2) LC 期までの最大角度から AC 期まで (以下、畳み動作局面) の肩関節角度の変化量を算出した (図2)。

これらの解析には、MATLAB R2016a (Math Works) を用いた。通常投球と肩制限投球の差は、対応のある t 検定を用いて検定した。統計処理は、IBM SPSS statistics ver24 (日本 IBM 社) を用いて実施し、有意水準は 5% 未満とした。

■ 結 果

球速は、①通常投球：110.1 ± 6.3 [km/h]、②肩

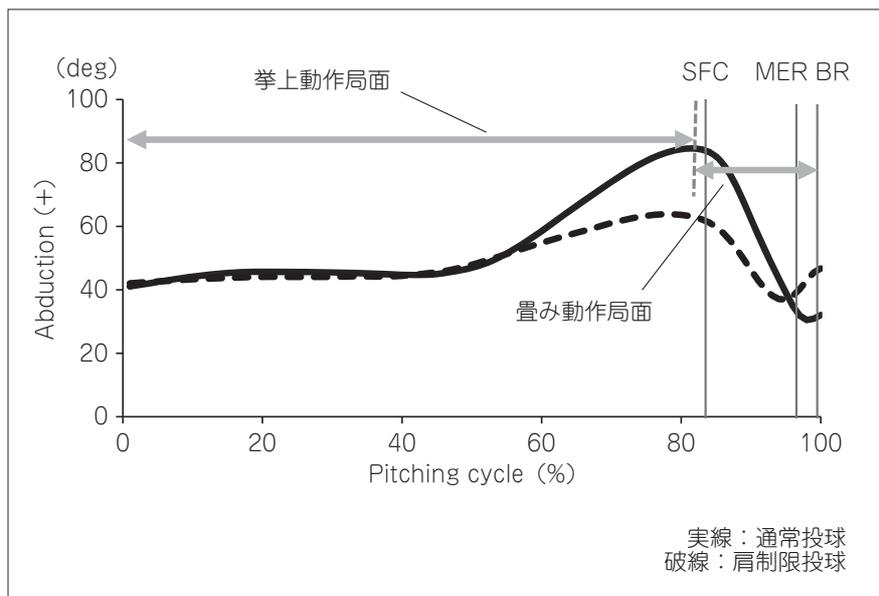


図2 非投球側上肢のフェーズの定義

挙上動作局面は、開始から肩関節の外転が最大となる時点までとした。畳み動作局面は、それ以降からBR時点までと定義した。

制限投球： 103.8 ± 8.0 [km/h]であり、肩制限投球が通常投球よりも有意に小さかった(表2)。また、通常投球に比した肩制限投球の球速変化において、5km/h以上の球速低下は23名中12名(投手8名、野手4名)で認められた(表1)。一方で、肩制限に伴う球速の低下においては、投手18名中10名、野手5名中1名が5km/h未満であった(表1)。なお、肩制限投球の平均球速は通常投球に比べて、約6km/hの低下を認めたことから、球速低下の基準は5km/h以上とした。

非投球側上肢の挙上動作局面における非投球側の肩関節外転・水平内転・内旋角度は、肩制限投球が通常投球よりも有意に低下していた(表2)。また、非投球側上肢の畳み動作局面における非投球側の肩関節内転・水平外転・外旋角度の変化量は肩制限投球が通常投球よりも有意に低下していた(表3)。

体幹の動作に関して、LC期の体幹の投球側捻転角度、AC期の体幹の非投球側回旋角度のピーク値は、肩制限投球が通常投球よりも有意に小さかった(表2)。また、体幹の非投球側回旋、前傾の角速度のピーク値は、肩制限投球が通常投球よりも有意に小さかった(表4)。投球側の動作に関して、投球側の肩関節内旋角速度、肘関節伸展角速度のピーク値は、肩制限投球が通常投球よりも有意に小さかった(表4)。

考 察

投球動作における非投球側上肢の肩関節の動きの役割を明らかにするため、非投球側の肩関節可動域をテーピングで制限した投球動作と制限をしない通常投球を運動学的に評価した。

非投球側の肩関節に対するテーピングの効果について、結果1)から非投球側挙上動作において肩関節外転・水平内転・内旋角度が通常投球よりも有意に低下し、結果2)から非投球側畳み動作において肩関節内転・水平外転・外旋角度の変化量も通常投球よりも有意に低下していた。このことから、肩制限投球は通常投球よりも非投球側の肩関節運動による挙上と畳み動作がテーピングにより制限されていたことが確認された。

投球パフォーマンスについて、肩制限投球は、通常投球よりも球速が有意に低下していた。さらにLC期において、体幹の投球側方向への捻転角度のピーク値と投球側方向への床に対する体幹回旋角速度の最大値が低下した。また加速期において、投球側方向への体幹回旋角度のピーク値、投球側の肩関節内旋角速度、肘関節伸展角速度、体幹前傾角速度のピーク値も有意に低下していた。これらの結果から、投球動作中の非投球側上肢の挙上局面における肩関節角度の最大値と畳み局面における肩関節角度の変化量の低下は、体幹運動

表 2 2条件における球速と非投球側の肩関節及び体幹回旋角度

| | 通常 | | 肩制限 | | p value |
|---|-------|-------|-------|---------|---------|
| | Mean | SD | Mean | SD | |
| 球速 (km/h) | 110.1 | ±6.3 | 103.8 | ±8.0** | < .001 |
| 関節角度 (deg) | | | | | |
| Early Cocking Phase | | | | | |
| 非投球側肩関節 | | | | | |
| 外転 | 89.5 | ±13.8 | 70.1 | ±15.6** | < .001 |
| 水平外転 | -85.8 | ±23.9 | -61.9 | ±22.0** | < .001 |
| 外旋 | 70.4 | ±22.7 | 45.3 | ±24.6** | < .001 |
| 体幹 | | | | | |
| 非投球側回旋 | -24.4 | ±9.6 | -21.0 | ±8.9 | .32 |
| 非投球側捻転 | -29.0 | ±10.5 | -24.3 | ±11.5** | .014 |
| Stride Foot Contact | | | | | |
| 非投球側肩関節 | | | | | |
| 外転 | 71.8 | ±15.3 | 53.5 | ±14.7** | < .001 |
| 水平外転 | 25.3 | ±12.9 | 4.5 | ±19.9** | < .001 |
| 外旋 | -34.2 | ±15.3 | -13.8 | ±21.8** | < .001 |
| 体幹 | | | | | |
| 非投球側回旋 | -10.3 | ±11.1 | -2.5 | ±17.1 | .32 |
| 非投球側捻転 | -28.8 | ±10.3 | -23.7 | ±11.6** | .014 |
| Late Cocking Phase | | | | | |
| 非投球側肩関節 | | | | | |
| 外転 | 31.2 | ±9.6 | 38.6 | ±11.1 | 1.000 |
| 水平外転 | 45.8 | ±14.7 | 13.2 | ±23.6** | < .001 |
| 外旋 | -53.4 | ±17.4 | -27.0 | ±22.3** | < .001 |
| 体幹 | | | | | |
| 体幹投球側回旋 | 101.4 | ±8.5 | 98.4 | ±8.8 | .13 |
| 体幹投球側捻転 | -32.9 | ±10.0 | -27.7 | ±11.6** | .02 |
| Maximal External Rotation of Shoulder Joint | | | | | |
| 非投球側肩関節 | | | | | |
| 外転 | 31.2 | ±9.6 | 38.6 | ±11.1 | .07 |
| 水平外転 | -7.0 | ±23.8 | -39.9 | ±24.1** | .011 |
| 外旋 | -17.2 | ±25.0 | 0.7 | ±15.7** | < .001 |
| 体幹 | | | | | |
| 非投球側回旋 | 101.4 | ±8.5 | 98.4 | ±8.8 | .13 |
| 非投球側捻転 | 6.1 | ±9.4 | 3.2 | ±9.9 | .23 |
| Acceleration Phase | | | | | |
| 非投球側肩関節 | | | | | |
| 外転 | 26.5 | ±8.0 | 38.1 | ±11.5** | < .001 |
| 水平外転 | -51.1 | ±23.0 | -61.2 | ±15.7** | .04 |
| 外旋 | -17.2 | ±25.0 | 0.6 | ±15.7** | .011 |
| 体幹 | | | | | |
| 非投球側回旋 | 123.6 | ±7.9 | 119.9 | ±8.8** | .01 |
| 非投球側捻転 | 13.6 | ±9.2 | 9.7 | ±10.7 | .10 |
| Ball Release | | | | | |
| 非投球側肩関節 | | | | | |
| 外転 | 32.1 | ±8.8 | 46.8 | ±13.3** | < .001 |
| 水平外転 | -50.7 | ±23.0 | -58.8 | ±15.7* | .09 |
| 外旋 | 34.7 | ±17.5 | 34.9 | ±24.7* | 1.000 |
| 体幹 | | | | | |
| 非投球側回旋 | 123.6 | ±7.9 | 119.9 | ±8.8** | .01 |
| 非投球側捻転 | 11.5 | ±9.3 | 8.3 | ±10.5 | .19 |

平均値 ± 標準偏差

* : p<0.05, ** : p<0.01

表 3 2条件における非投球側の肩関節の角度変化量

| | 通常 | | 肩制限 | | p value |
|-----------|------|--------|------|----------|---------|
| | Mean | SD | Mean | SD | |
| 変化量 (deg) | | | | | |
| 非投球側肩関節 | | | | | |
| 内転 | 58.3 | ± 13.0 | 31.6 | ± 16.1** | < .001 |
| 水平外転 | 97.0 | ± 27.4 | 75.1 | ± 21.0** | < .001 |
| 外旋 | 78.7 | ± 27.8 | 50.8 | ± 27.1** | < .001 |

平均値 ± 標準偏差

* : p<0.05, ** : p<0.01

表 4 2条件における体幹と投球側上肢の角速度

| | 通常 | | 肩制限 | | p value |
|---------------|--------|---------|--------|-----------|---------|
| | Mean | SD | Mean | SD | |
| 最大角速度 (deg/s) | | | | | |
| 体幹非投球側回旋 | 1098.1 | ± 137.6 | 930.4 | ± 142.1** | < .001 |
| 体幹前傾 | 649.5 | ± 145.7 | 571.3 | ± 125.2* | .02 |
| 投球側肩関節内旋 | 4999.1 | ± 590.5 | 4529.3 | ± 604.4** | < .001 |
| 肘関節伸展 | 2660.4 | ± 295.2 | 2403.0 | ± 283.6** | .02 |

平均値 ± 標準偏差

* : p<0.05, ** : p<0.01

と投球側上肢の運動、球速を低下させることが示唆された。パフォーマンス低下の要因として、非投球側上肢の挙上および畳み動作の低下による慣性モーメントの変化が影響していると考えられる。前者の結果 1) より、非投球側上肢の挙上動作が小さくなると、質量は変わらないが胸部の中心からクラブを含む非投球腕全体の重心までの距離が短くなる。そのため肩制限投球は、LC 期において上肢を含む胸部の回旋に対する慣性モーメントが小さくなり、腰部に対して非投球腕を含む胸部が回旋しやすい状態つまり体幹捻転が低下した状態であったと考えられる。坂田らは、投球動作中の非投球側の肩関節外転角度の低下が体幹の早期回旋角度と関連があったと報告している⁷⁾。同様に、肩制限投球による投球動作は、EC 期における非投球側挙上動作の低下を一因として、体幹の投球側捻転角度が通常投球よりも有意に低下したと考えられる。次に、後者の結果 2) より非投球側畳み動作が小さくなると、非投球腕を含む胸部の慣性モーメントの変化量が抑制される。角運動量の保存則の観点から、慣性モーメントの低下量が抑制されると、角速度の増加量も低下する。実際に肩制限投球は、胸部非投球側の回旋および前傾角

速度が通常投球よりも有意に小さくなっていた。これらから肩制限投球は、非投球側の肩関節の内転・水平外転・外旋の低下量が小さくなったため、非投球腕を含む胸部の慣性モーメントの減少が抑制され、角運動量保存による角速度の増加が抑制されたと推察される。また、体幹の角速度の低下の要因について、Ishida らは体幹捻転角度の低下により体幹の回旋筋の伸張による弾性エネルギーの生成^{14,15)}が制限されるため、体幹回旋の角速度が低下すると報告している⁸⁾。このため、体幹の回旋や前傾の角速度の低下は体幹の捻転の低下によっても生じる可能性があると考えられる。

以上をまとめると、肩制限投球は、EC~LC 期において非投球側の肩関節外転・水平内転・内旋角度（非投球側上肢の挙上）のピーク値を抑制することから胸部の回旋に関する慣性モーメントが減少し体幹の捻転角度が抑制される。また、非投球側の肩関節内転・水平外転・外旋角度の変化量（非投球側上肢の畳み）も抑制されることから胸部の慣性モーメント減少による角速度の増加が制限される。体幹の捻転角度と角速度の増加が共に抑制されることで、胸部の非投球側回旋や前傾角速度が通常投球よりも小さくなったと考えられる。

投球側のパフォーマンスについて肩制限投球は、投球側の肩関節内旋角速度と肘関節伸展角速度のピーク値が通常投球よりも有意に小さかった。体幹運動により生じた力学的エネルギーは、投球側肩関節内旋、肘関節伸展角速度を増加させる¹⁷⁾。また、投球側の肩関節内旋と肘関節伸展運動は、体幹の回旋角速度により生じている¹⁸⁾。これらから投球動作中の投球側の肩、肘関節運動は、個々の関節のみで運動が起こっているのではなく、体幹運動からの貢献が大きい。よって、非投球側の肩関節の可動域制限は、体幹の非投球側回旋、前傾角速度の最大値を抑制した。その結果として投球側上肢へ伝達される力学的エネルギーが小さくなり、投球側の肩関節内旋、肘関節伸展角速度のピーク値が低下したと推察される。

本実験において、テーピングを用いることで、非投球側上肢の肩関節に対して制限を加えることで、投球動作中の非投球側上肢の挙上と畳み動作の制限を呈した投球動作を疑似的に再現できたと考えられる。また、本研究の結果より非投球側の挙上および畳み動作中の肩関節可動域が小さくなると、全体の平均では、体幹の投球側捻転角度が小さくなり、体幹、投球側上肢の角速度、球速が低下した。一方で、テーピングによる非投球側の肩制限に伴う球速低下の影響が小さい選手も存在した。このことから、テーピングによる肩関節の制限に伴う5km/h以上の球速低下を評価することで、非投球側の肩関節の可動域制限に起因した球速低下が著しくなる選手を抽出でき、非投球側上肢の有効な動作指導を行うことが期待できる。本研究結果から、投球動作中の非投球側上肢の動きの指導のポイントとして、①EC期に非投球側の肩関節外転、内旋、水平内転を伴う非投球側上肢の挙上により投球側への体幹の捻転を誘導する②EC～AC期までに非投球側の肩関節内転、外旋、水平外転を伴う非投球側上肢の急激な畳みにより体幹の非投球側への回旋を増加させることが重要であると推察する。以上のことから、投球動作中の非投球側の肩関節の可動域制限は医師、理学療法士などの医療従事者やトレーナー、コーチが実施する投球動作指導の際の重要な着眼点となる。また、本研究結果はさらにデータを蓄積することで、投球パフォーマンスを低下させる非投球側上肢の不良動作³⁾における客観的な評価基準を決定するための有益な情報となることが期待される。

る。

本研究の限界は、テーピングによる疑似的な非投球側の肩関節の可動域制限を呈した状態で投球動作を評価したため、実際の通常投球における非投球側上肢の動きの良し悪しが、投球動作中の投球側の肩および肘関節負荷や投球パフォーマンスに与える影響を明らかにできないことである。そのため本研究結果からは、投球動作中の非投球側上肢の良否を判断する評価基準が決定できない。内田らはハイスピードカメラを用いて投球動作中の軸脚の動きの良否の評価基準を明らかにし、不良な軸脚の動きが骨盤の早期回旋（体の開き）に関連することを報告した¹⁹⁾。本研究で着目した非投球側上肢の動きに関しても、評価基準を設定し、その妥当性の検証を行うことで、非投球側上肢の不良な動作と投球パフォーマンスや投球中の肩や肘関節に生じる負荷との関連性が評価できると考えられる。よって、今後の課題は、投球動作中の非投球側上肢の良否に関する評価基準を検討することと、通常投球中の非投球側上肢の動きと投球パフォーマンスおよび肩や肘関節負荷との関連を明らかにすることである。

結 語

1. 非投球側の肩関節可動域を制限した投球動作と制限しない通常投球の動作を運動学的に評価した。
2. 肩関節可動域を制限した投球は、EC期～LC期の非投球側の肩関節外転・水平内転・内旋角度が、通常投球よりも有意に低下した。LC期のピーク値～AC期までの非投球側の肩関節内転・水平外転・外旋角度の変化量も同様に有意に低下した。
3. 肩関節可動域を制限した投球は、通常投球よりも球速、LC期の体幹捻転角度が有意に低下した。また、体幹の非投球側回旋と前傾角速度、投球側の肩関節内旋、肘関節伸展角速度のピーク値も有意に低下した。
4. 投球動作中の非投球側の肩関節の動きの低下による非投球側上肢の挙上と畳み動作の低下は、体幹の回旋や投球側上肢の運動、さらに球速を低下させることが示唆された。

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) Kibler WB. The role of the scapula in athletic shoulder function. *Am J Sports Med.* 1998; 26: 325-337.
- 2) 田中正栄, 西野勝敏, 山本智章, 他. 球速比肩関節間力による小学生投球運動解析の検討. *臨床バイオメカニクス.* 2015; 36: 241-245.
- 3) 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.
- 4) 松尾知之, 平野祐一, 川村 卓. 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.* 2013; 58: 195-210.
- 5) 松尾知之, 平野祐一, 川村 卓. 発話解析から探る欠陥動作の連関性: 投球解析の発話共起度によるデータマイニング. *体育学研究.* 2013; 58: 195-210.
- 6) 山口光國, 牛島和彦, 筒井廣明. 実際の投球を踏まえた対応. In: 筒井廣明(編). *投球障害肩 こう診てこう治せ.* 改訂第2版. 東京: メジカルビュー(社); 258-265, 2016.
- 7) 坂田 淳, 鈴川仁人, 赤池 敦, 他. 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: 259-266.
- 8) Ishida K, Hirano Y. Effect of Non-throw Arm on Trunk and Throwing Arm Movement in Baseball Pitching. *Int J Sport Health Sci.* 2004; 2: 119-128.
- 9) 信原克哉. 肩とスポーツ. In: 信原克哉(監修). *肩—その機能と臨床—*. 第4版. 東京: 医学書院; 354-358, 2012.
- 10) Meister K. Injuries to the shoulder in throwing athlete Part one: biomechanics patho-physiology classification of injury. *Am J Sports Med.* 2000; 28: 265-275.
- 11) Wua G, van der Helm FC, Veeger HGA, et al. ISB recommendation on definitions of joint coordinate system of various joints for the reporting of human joint motion-part I: ankle, hip, and spine. *J Biomech.* 2002; 35: 543-548.
- 12) Wua G, van der Helm FC, Veeger HGA, 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.
- 13) Fleisig GS, Barrentine SW, Zheng N, et al. Kinematic and kinetic comparison of baseball pitching among various levels of development. *J Biomech.* 1999; 32: 1371-1375.
- 14) Asmussen E, Bonde PF. Storage of elastic energy in skeletal muscles in man. *Acta Physiol Scand.* 1974; 91: 385-392.
- 15) Cavagna GA, Dusman B, Margaria R. Positive work done by a previously stretched muscle. *J Appl Physiol.* 1968; 24: 21-32.
- 16) Hirashima M, Kadota H, Sakurai S, et al. Sequential muscle activity and its functional role in the upper extremity and trunk during overarm throwing. *Sports Sci.* 2002; 20: 301-310.
- 17) 宮西智久, 藤井範久, 阿江通良, 他. 野球の投球動作における体幹および投球腕の力学的エネルギー・フローに関する3次元解析. *体力科学.* 1997; 46: 55-67.
- 18) Hirashima M, Yamane K, Nakamura Y, et al. Kinetic chain of overarm throwing in terms of joint rotations revealed by induced acceleration analysis. *J Biomech.* 2008; 41: 2874-2883.
- 19) 内田智也, 大久保吏司, 古川裕之, 他. 投球動作における体の開きの評価基準の提示. *日本臨床スポーツ医学会誌.* 2019; 27: 222-228.

(受付: 2019年11月5日, 受理: 2020年6月26日)

Kinematic analysis of baseball pitching motion with partial restriction of the non-pitching shoulder joint

Ueda, A.^{*1,2}, Matsumura, A.^{*3}, Shinkuma, T.^{*4}
Oki, T.^{*4}, Nakamura, Y.^{*5}

^{*1} Graduate School of Health and Sports Science, Doshisha University

^{*2} Department of Rehabilitation, Hankai Hospital

^{*3} TAKE PHYSICAL CONDITIONING Inc.

^{*4} Department of Orthopaedic Surgery, Hankai Hospital

^{*5} Department of Health and Sports Science, Doshisha University

Key words: Pitching motion, non-pitching arm, shoulder

[**Abstract**] We evaluated kinematic characteristics of the pitching motion with a partially restricted non-pitching arm/shoulder to investigate the role of the non-pitching arm/shoulder joint motion during the pitching motion. Twenty-three healthy male college baseball players participated in this study. Pitching motion was measured under normal and partially restricted conditions using a motion capture system. The range of motion of the shoulder joint was partially restricted using tape. The peak abduction, horizontal adduction, and internal rotation angles of the restricted shoulder of the non-pitching arm were significantly smaller than those of the normal shoulder of the non-pitching arm from early to late cocking. The peak adduction, horizontal abduction, and external rotation with a restricted shoulder were also significantly smaller than with a normal shoulder from early cocking to acceleration. Concerning the pitching performance, the maximum ball velocity, trunk rotation angular velocity, shoulder internal rotation, and elbow extension angular velocity of the pitching arm with a restricted shoulder were significantly reduced compared to those with a normal shoulder. In conclusion, the results suggested that restriction of the non-pitching shoulder during the pitching motion caused a reduction in trunk rotation, pitching arm movement and ball velocity.