3

内側型野球肘 —投球動作のバイオメカニクスと リハビリテーション治療—

Medial Elbow Pain in Baseball Players : Biomechanics of the Throwing Motion and Rehabilitation

古島弘三* 宇良田大悟* 伊東優多*

Kozo Furushima

Daigo Urata

Yuta Ito

Key words : 投球バイオメカニクス／機能評価／リハビリテーション治療／再発予防

要
旨

投球動作のバイオメカニクスを理解することは、関節に加わる過剰な負担を推測するために重要である。復帰後の再発予防を行うためにも、バイオメカニクスの観点からリハビリテーション治療を展開していくことが必要といえる。投球動作の各相で肘関節内側に加わる負荷を整理し、リスクを低減させる機能について評価し、投球動作、機能障害と関連づけて統合と解釈をする必要がある。また、局所の機能評価にとどまらず、複数関節とのつながりを考慮した複合動作での機能評価も必要となる。

はじめに

投球動作は、位相分類がなされており¹⁾、内側型野球肘を診るうえで位相分けの理解は必要不可欠である。投球動作のバイオメカニクスを理解することは、関節に加わる過剰な負担を推測するために重要である。復帰後の再発予防を行うためにも、バイオメカニクスの観点からリハビリテーション治療を展開していくことが必要である。競技復帰、再発予防を見据えてアプローチする際には、投球動作に関連する機能と複合動作へのアプローチが不可欠であると考えらる。

投球動作の バイオメカニクスと 損傷リスクのチェックポイント

投球動作のバイオメカニクスを位相ごとに分け、それぞれの相で肘関節内側に加わる力学的負荷である外反ストレス（内反トルク）を増大させるリスク因子について、文献的考察を踏まえながら概説する。

1. wind up～foot plant

動作の始動である、knee high position（KHP）～foot plant（FP）にかけての相では、骨盤中間位から前傾位での接地を意識することが重要である。この相で骨盤の後傾が出現すると、その後の動作で体幹の早期回旋や非投球側方向への体幹傾斜が生じやすくなる。FP前に体幹早期回旋が起こる投手は肘外反ストレスが増大すること²⁾や、FP時に非投球側の肩の開きが早い投手は肩・肘への負荷

* 慶友整形外科病院スポーツ医学センター
【連絡先】〒374-0011 群馬県館林市羽附町 1741
慶友整形外科病院スポーツ医学センター
古島弘三
E-mail : furu719@nifty.com
DOI : 10.2490/jjrmc.56.764

図1 踏み出し下肢支持不良例
FP から MER にかけてステップ側膝関節が屈曲し続ける。

が増大すること³⁾が報告されている。また、肩関節最大外旋（maximal external rotation：MER）時やボールリリース時の非投球側への体幹側方傾斜が、肘関節内反トルク、肩関節内旋トルクの増大に関与することが報告されている^{4, 5)}。以上のことを踏まえると、動作の始動で骨盤の後傾を生じさせないことが重要である。また、この相において、体幹が投球方向へ早期に傾斜を始める選手も多く、その結果 arm cocking のタイミングが遅れ最終的に“手投げ”となる場合も多い。

2. foot plant (FP)

投球動作を観察する中で、FP 後にステップ下肢膝関節が屈曲をし続ける選手に多く遭遇する（図1）。FP でステップ下肢が固定されることによって、体幹に慣性力が生じ、ステップ下肢への体幹の重心移動を円滑にすることが可能となる。また、慣性力が生じることで lagging-back 現象が起これ、その後のスムーズな MER 形成に寄与すると考えられる。以上のことを踏まえると、FP でステップ下肢膝関節を固定することが重要である。

3. early cocking～MER

投球中に肘関節に加わる外反力の増大は MER 直前と ball release (BR) 直後の二峰性を呈し、特

に MER 付近の相は肘関節に加わる内反トルクが最も大きくなる相であると報告されている⁶⁾。early cocking～MER での動作不良が、肘関節内側への負荷を強めることにつながり、内側型野球肘の原因となり得ると考えられている。下肢・体幹の動きでは、骨盤の回旋と一緒に上部体幹が回旋する選手が存在する。そのような選手は、その後の MER がタイミングよく出現しない場合が多い。骨盤帯と上部体幹の分離ができず、骨盤帯と体幹が一塊となって回旋することで、相対的に肩甲上腕関節は水平外転位を強いられる（図2）。この現象によって、投球側上肢の運動には遅れが生じ、最終的に肘を突き出すような BR を迎える傾向がある。理想的な投球動作は、骨盤の回旋に遅れて上部体幹が回旋してくる動作である。早期の体幹回旋は、それ以降の肩・肘関節への負荷を増大させることから^{2, 3, 5, 7)}、複合的な機能を改善させ動作改善につなげていくことが重要である。また、MER は、肩関節外旋のみならず、胸椎伸展、肩甲骨後傾が関与していると報告されており⁸⁾、さらに、体幹下肢に着目すると、骨盤前傾、股関節伸展も関与すると推測される。肘関節への外反ストレスを強めないためにも、MER 時の複合的な関節運動が遂行できる可動性を獲得することが重要である。また、外反ストレスに抗する肘関節動的安定化機

図2 体幹早期回旋症例

骨盤帯と体幹が一塊となって回旋し、相対的に肩甲上腕関節は水平外転位を強いられる。

構の機能も重要である。投球動作において、尺側手根屈筋（flexor carpi ulnaris：FCU）、浅指屈筋（flexor digitorum superficialis：FDS）が肘外反ストレスに抗する動的安定化機構であり、投球動作中の外反ストレスに抗する重要な機能であると報告されている⁹⁻¹¹⁾。投球中のボール把持力を調査した研究では、MER直前では示指、中指、環指、母指で把持力が増大することが報告されており¹²⁾、投球中の慣性力によってボールが抜け落ちないように、リリースに向けた準備としての把握力が要求されることが考えられる。その機能を担っているのがFDSやFCUであることが考えられ、ボール把持機能としてのFDSやFCUの評価も欠かすことはできないと考える。

4. ball release (BR) ～follow through

前述したように、肘関節に加わる内反トルクはBR直後にも増大することが示されている。BR～follow throughは投球動作の最終局面であるので、この相における不良動作は、それ以前の相の動作から影響を受けると考えられる。動作評価では、BRを体幹の回旋を使って迎えられているか否かに着目している。FP以前に骨盤・体幹が早期に回旋してしまっている場合、BR～follow through期で

は体幹の回旋が終了してしまっていることが多く、上肢に頼ったBR、いわゆる“手投げ”となることが多い。そのような選手の特徴としてfollow through期での骨盤回旋が不足している点が挙げられる。また、BRでは、ボールを指で押し込む力が要求され、BR直前は示指と中指でボールを押し込む力が増大することが報告されている¹²⁾。示指と中指のFDSの筋機能が関与すると考えられ、その機能が果たす外反制動効果の評価も重要である。

リハビリテーション治療のポイント

1. wind up～foot plant

1) 股関節の屈曲を意識したエクササイズ

KHPからFPまでの動作を学習する。FPでの軸足股関節屈曲角度と骨盤回旋のタイミングには相関があると報告されており、骨盤の早期回旋を修正するためには軸足股関節屈曲角度に着目することが重要である¹³⁾。KHPから重心を下げていく際に、投球側股関節の屈曲を意識させながら椅子に座る動作を練習する（図3）。バランスを崩さず椅子に座るためには、股関節屈曲と骨盤前傾が必要となる。

2) 体重移動を意識したエクササイズ

KHP からステップ下肢を投球方向へリーチさせる下肢バランステストである Lateral Slide Test (LST) は、投球動作中の体幹早期回旋に関連があることが報告されている¹⁴⁾。LST をエクササイズとして応用し、動作学習として使用している。股関節の屈曲を意識させて、ステップ脚を投球方向へ可能な限りリーチさせ、もとに戻す動作を繰り返す (図 4)。

2. foot plant

前述したように、FP でステップ下肢を固定する

ことがその後の動作にとって重要であり、そのための動作改善エクササイズを行う。

1) フロントランジ

まず、ステップ下肢の安定性を向上させるために、フロントランジを行う (図 5-a)。その際に注意すべきことは、踏み出した下肢の膝関節が屈曲し続けずにしっかりと止まって戻ることと、knee in, knee out しないように殿部でしっかりと支えられるように行うことである。

2) プライオメトリクストレーニング

次の段階としては、プライオメトリクスの要素を含んだジャンピングランジを行う (図 5-b)。着地後すぐにジャンプへと切り替えるように意識して行

図 3 股関節屈曲を意識したエクササイズ
KHP から椅子に座るように体重移動を行う。股関節屈曲を意識して行う。

図 4 Lateral Slide Test を応用したエクササイズ
股関節屈曲を意識し、体幹の側方傾斜が起らないように注意して行う。床面が滑りやすいところであれば、タオルやスケートボードをステップ下肢において行うと取り組みやすい。

図 5 下肢の安定性向上のためのエクササイズ
a: フロントランジ, b: ジャンピングランジ, c: ダイアゴナルジャンプ。

図6 体幹と骨盤の分離運動、MER 動作改善エクササイズ

- a** : 骨盤を投球方向へ回旋させ、上部体幹を反対方向へ回旋する。
b : 上部体幹を投球上肢側へ回旋させ、外腹斜筋から前鋸筋にかけての柔軟性を改善させる。
c : ストレッチポールを使用し、胸椎伸展させながら骨盤と体幹の分離を図る。
d : MER の動作を改善させるエクササイズとスローイングドリル。

う。さらに、難易度を上げた方法として、ダイアゴナルジャンプを導入する (図 5-c)。どのエクササイズも、着地した下肢がぶれないよう固定することを意識して行う。

3. early cocking～MER

骨盤に対する上部体幹（胸郭）の非投球方向への可動性改善を目的にエクササイズを処方する。また、肘関節内反トルクが最大となるこの相において、肘関節動的安定化機構の機能改善を図る。

1) 骨盤-上部体幹の分離運動

投球動作の early cocking～late cocking に近い姿勢から骨盤を投球方向へ回旋させ、上部体幹を投球方向とは反対方向へ回旋する (図 6-a)。上部体幹を投球方向とは反対方向へ回旋させた際に、ステップ下肢の膝が内側に入ることや骨盤が逆回

旋しないように注意して行う。投球上肢側の外腹斜筋から前鋸筋にかけての筋連結部の柔軟性を改善させる方法 (図 6-b)、ストレッチポールを用いて胸椎伸展を強調した方法 (図 6-c) も必要に応じて取り入れる。

2) バランスボールスロー

MER 時の複合的な可動性を改善させるために、MER 肢位を模した胸椎伸展エクササイズや、バランスボールを用いて MER の動作を学習するスローイングドリルを行う (図 6-d)。

3) FCU・FDS の筋収縮改善エクササイズ

導入段階としては、小指を屈曲させスポンジを把持させた状態で尺屈・掌屈運動を行わせる (図 7-a, b)。無理なくできるようになったら、ダンベルを把持し、小指での把持を緩めることなく負荷を上げて実施していく。また、並行してバットを

図7 FCU・FDSの筋収縮改善エクササイズ

- a, b : 指の動きと連動させたFCUエクササイズ。
小指を屈曲させた状態で、尺屈・掌屈を行わせる。
- c : バットを用いたFCUエクササイズ。
バットを小指で強く把持するよう意識した状態で尺屈させてバットを持ち上げる。肩関節伸展・肩甲骨前傾の代償動作が出ないように注意して行う。
- d : FDSエクササイズ (MER相)。
FCUとの連動を狙い、環指・小指PIP関節を屈曲させた状態で掌屈運動を行わせる。
- e : FDSエクササイズ (BR相)。
ボールリリース前後に増大する外反ストレス・ボール押し込み力への対応として、示指・中指PIP関節を屈曲させた状態で掌屈運動を行わせる。

把持させ尺屈で持ち上げるトレーニングを行わせる (図7-c)。FDSのトレーニングは、PIP関節屈曲を意識した状態で行わせる。FCUとの連動を狙い、環指・小指PIP関節を屈曲させた状態で掌屈運動を行わせる (図7-d)。

4. ball release (BR) ~follow through

踏み込み足での支持性向上と骨盤の回旋を改善するためのエクササイズを処方する。また、BR直前の肘関節内反トルク増大が起こる相であることから、肘関節動的安定化機構の機能改善を図る。

1) 股関節内旋ストレッチ、骨盤回旋運動

改善エクササイズとして股関節内旋制限に対す

るストレッチや follow through 期を模した肢位での動的な骨盤回旋運動を行わせる (図8)。

2) FDS・FCU 機能

ボールリリース前後に増大する外反ストレス・ボール押し込み力への対応として、示指・中指PIP関節を屈曲させた状態での掌屈運動を行わせる (図7-e)。スポンジでのトレーニングからダンベルへと負荷を上げていく。

再発時の リハビリテーション治療

再発時の対応は、これまで述べてきた評価ポイントを再度見直し、機能面の低下を認めた部分を詳細に再評価する。また、初発とは異なるエピソード

図8 股関節内旋可動域獲得のためのストレッチと follow through 期の骨盤回旋エクササイズ

a : ストレッチでは股関節後方を伸張するように意識する。

b : follow through 期での骨盤回旋を意識して、股関節屈曲内旋位を維持した状態で骨盤を回旋する。

ドで再発している場合もあるので、詳細な問診は欠かすことができない。詳細な問診・機能評価・投球動作評価から得られた情報を統合・解釈することで再発の防止に努める。

文 献

- 1) 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
- 2) Aguinaldo AL, Chambers H : Correlation of throwing mechanics with elbow valgus load in adult baseball pitchers. *Am J Sports Med* 2009 ; **37** : 2043-2048
- 3) Davis JT, Limpisvasti O, Fluhme D, Mohr KJ, Yocum LA, Elattrache NS, Jobe FW : The effect of pitching biomechanics on the upper extremity in youth and adolescent baseball pitchers. *Am J Sports Med* 2009 ; **37** : 1484-1491
- 4) Oyama S, Yu B, Blackburn JT, Padua DA, Li L, Myers JB : Effect of excessive contralateral trunk tilt on pitching biomechanics and performance in high school baseball pitchers. *Am J Sports Med* 2013 ; **41** : 2430-2438
- 5) Matsuo T, Fleisig GS : Influence of shoulder abduction and lateral trunk tilt on peak elbow varus torque for college baseball pitchers during simulated pitching. *J Appl Biomech* 2006 ; **22** : 93-102
- 6) Fleisig GS, Andrews JR, Dillman CJ, Escamilla RF : Kinetics of baseball pitching with implications about injury mechanisms. *Am J Sports Med* 1995 ; **23** : 233-239
- 7) Oyama S, Yu B, Blackburn JT, Padua DA, Li L, Myers JB : Improper trunk rotation sequence is associated with increased maximal shoulder external rotation angle and shoulder joint force in high school baseball pitchers. *Am J Sports Med* 2014 ; **42** : 2089-2094
- 8) Miyashita K, Kobayashi H, Koshida S, Urabe Y : Glenohumeral, scapular, and thoracic angles at maximum shoulder external rotation in throwing. *Am J Sports Med* 2010 ; **38** : 363-368
- 9) Udall JH, Fitzpatrick MJ, McGarry MH, Leba TB, Lee TQ : Effects of flexor-pronator muscle loading on valgus stability of the elbow with an intact, stretched, and resected medial ulnar collateral ligament. *J Shoulder Elbow Surg* 2009 ; **18** : 773-778
- 10) Park MC, Ahmad CS : Dynamic contributions of the flexor-pronator mass to elbow valgus stability. *J Bone Joint Surg Am* 2004 ; **86** : 2268-2274
- 11) Lin F, Kohli N, Perlmutter S, Lim D, Nuber GW, Makhosous M : Muscle contribution to elbow joint valgus stability. *J Shoulder Elbow Surg* 2007 ; **16** : 795-802
- 12) Kinoshita H, Obata S, Nasu D, Kadota K : Finger forces in fastball baseball pitching. *Human Movement Science* 2017 ; **54** : 172-181
- 13) 内田智也, 大久保吏司, 古川裕之, 松本晋太郎, 小松 稔, 野田優希, 石田美弥, 佃 美智留, 藤田健司 : 投球動作におけるフットコンタクト時の軸足股関節屈曲角度と骨盤回旋の関係. *臨床スポーツ医学* 2017 ; **25** : 333-338
- 14) 坂田 淳, 鈴木仁人, 赤池 敦, 清水邦明, 青木治人 : 投球時体幹回旋のタイミングに対する下肢バランス機能の重要性. *日本整形外科スポーツ医学会雑誌* 2015 ; **35** : 56-62