

投球動作中の投球側肘関節の 高さ と 胸郭角度の運動学的関連性 — 学童期野球選手における検討 —

The kinematic relationship between throwing elbow joint height and the thoracic angle during the throwing motion
— A study in elementary school baseball players —

浅野慶祐*^{1,2}, 佐々木賢太郎*², 木村 剛*³
東 利紀*², 中瀬順介*⁴

キー・ワード : throwing motion, three-dimensional motion analyzer, throwing elbow joint height
投球動作, 3次元動作解析装置, 投球側肘関節の高さ

【要旨】 学童期野球選手 16 人を対象とし、投球動作中の投球側肘関節の高さと胸郭角度および上肢関節の運動学的な関連性を明らかにすることを目的とした。投球動作の計測に 3 次元動作解析装置を用い、6 回の投球を行った。late cocking (LC) 時点における投球側肘関節の高さ及び胸郭、投球側肩、肘関節角度を抽出した。LC 時点における投球側肘関節の高さと非投球側への胸郭側屈角度、投球側肩関節外転角度、外旋角度、投球側肘関節屈曲角度に有意な正の相関関係が、非投球側への胸郭回旋角度に有意な負の相関関係が認められた。本結果より、投球動作中の投球側肘関節の高さと胸郭角度および上肢関節に運動学的な関連性があることが明らかとなった。また投球側肘関節の高さは、肘関節内反トルク増大に関与する Arm slot の構成要素である胸郭側屈や肩関節外転、肘関節屈曲の影響を受けることが示唆された。

緒 言

アマチュアやプロレベルの野球選手において投球障害の発生が増加しており、中でも肘関節および肩関節障害の発生が野球選手の中で一般的な障害となりつつある^{1,2)}。とりわけ、学童期野球選手の上肢障害の発生は、過去 10 年間で着実に増加しており³⁾、障害の大部分は野球肘発生が占めている⁴⁾。その現状の中、野球肘の発生予防を講じるため、生体力学的な観点より分析する方法が主流となっており⁵⁾、下肢から始動する投球動作の運動連鎖の関係上⁶⁾、“投げ方”から学童期野球選手におけ

る野球肘の発生リスク因子を抽出することが肝要であると考えられる。

野球肘は、late cocking (LC) 中に最大となる肘関節外反ストレス、すなわち肘関節内反トルクが加わることで発生する⁷⁾。また、野球選手は身体的な成長により身長、腕の長さ、および前腕周径が増加し投球動作中の肘関節内反トルクが減少する⁸⁾ため、体格が未発達である学童期に肘関節部へのストレスが集中することが予測される。よって、運動学的視点より学童期野球選手の投球動作中に発生する LC 中における肘関節内反トルクを軽減することが求められる。

肘関節内反トルクに関与する因子として、球速や上肢の回転速度が挙げられ、それぞれ正の相関関係が認められている⁹⁾が、これらを抑制することによってパフォーマンスの低下をもたらす可能性がある。その中で、運動学的視点である Arm slot

*1 社会医療法人財団董仙会恵寿金沢病院リハビリテーション科理学療法課

*2 金城大学大学院総合リハビリテーション学研究所

*3 金城大学社会福祉学部

*4 金沢大学整形外科

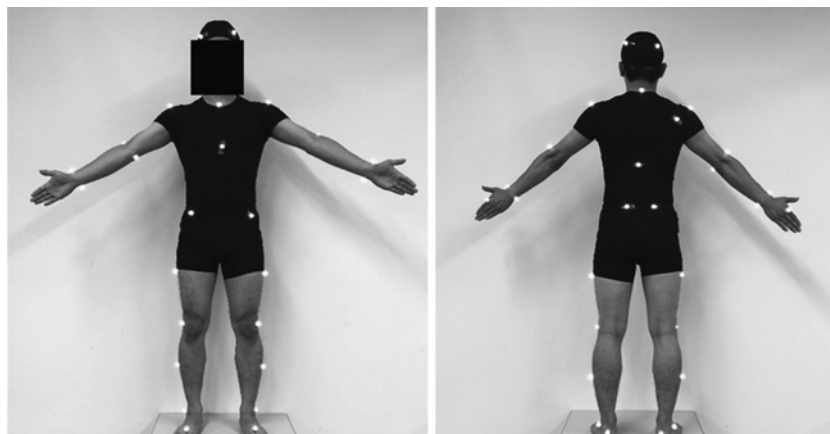


図1 全身の反射マーカの貼付位置 (36個)

と表現される LC 時点における地面と前腕のなす角度は、胸郭側屈により代償できることが示されており¹⁰⁾、投球動作中の胸郭角度と肘関節内反トルクの増大との関連性が明らかになっている^{11,12)}。また、肘関節内反トルクと LC 時点における投球側肩関節外転角度に負の相関が認められた¹³⁾ことから、肘関節内反トルクの増大には、肘下がり及び胸郭角度が密接に関与していると推測される。しかし、肘関節内反トルクの増大因子として、LC 時点における投球側肘関節の高さと3軸方向の胸郭角度の関連性を検討した報告は渉猟する限り見当たらない。本研究では、学童期野球選手を対象として3次元動作解析装置を使用し、投球動作中の LC 時点における投球側肘関節の高さと3軸方向の胸郭角度および上肢関節の運動学的な関連性を明らかにすることを目的とした。

対象および方法

対象は、学童期野球選手 16 人 (平均年齢 10.2 ± 1.5 歳, 身長 140.7 ± 10.2cm, 体重 32.8 ± 5.9kg, ローレル指数 117.1 ± 7.5kg/m³, 全員右投げ, 経験年数 3.6 ± 1.6 年) とした。研究概要を保護者及び指導者に対して、十分に説明し、同意書に署名を得て実施した。また、学童期野球選手は未成年者であり、インフォームドコンセントを取得するために、研究対象者の理解度に応じて文書を作成し、意思確認書にて同意を得た。除外基準は、ローレル指数が 145kg/m³ 以上の者、胸郭および他関節など整形外科的疾患の治療中の者、脊柱や胸郭に変形がある者、運動時や動作時に痛みの訴えのある者、医師から運動を禁止されている者、制限を余儀なくされる重篤な疾患を有する者、研究目的

に同意ができない者とした。本研究はプライバシーおよび尊厳を遵守し、ヘルシンキ宣言に則って実施した。本研究は研究開始前に金城大学研究倫理委員会の承認を得た (通知番号 29-18 号)。

測定には3次元動作解析装置 (VICON MX, Oxford Metrics 社製), 床反力計 (BP400600HF-2000, AMTI 社製) を使用した。カメラ 9 台, 床反力計 3 枚を使用し, 各マーカの3次元空間座標及びフォースプレートをサンプリング周波数 400Hz にて測定し, パーソナルコンピュータに取り込んだ。対象者には反射マーカ (直径: 14mm) を, 頭部の前方と後方にそれぞれ 2 点と剣状突起, 胸骨柄, 第 7 頸椎棘突起, 第 10 胸椎棘突起, 肩峰, 上腕骨外側上顆, 橈骨茎状突起, 尺骨茎状突起, 第 2 中手骨頭, 上前腸骨棘, 上後腸骨棘, 大腿外側部下 1/3, 膝関節外顆中央, 下腿外側部下 1/3, 足関節外果, 踵部, 第 2 中足骨頭 (全て左右), 右肩甲骨, 投球側上腕骨内側上顆の全身の解剖学的骨特徴点に計 36 個貼付した (図 1)。

対象者は, 上半身は裸体にグローブを装着し, 下半身はスパッツを着用し裸足となり投球を行った。投球開始位置はフォースプレート上とし, 10 m 先の前方に投球用ネットを配備した。なお投球時には, 公式試合に使用されている軟式ボール (トップインターナショナル株式会社製) を用いた。対象者の投球動作として, ワインドアップ投法, オーバースローを採用した。全ての対象者に対して, 投球動作開始後, 全力投球を行い, 非投球側下肢をフォースプレート上に着地するように指示した。十分な投球練習を行った後, 投球用ネットに 6 回の投球を行った。投球動作中にバランスを大きく崩した試技は失敗とみなし, 再度投球を

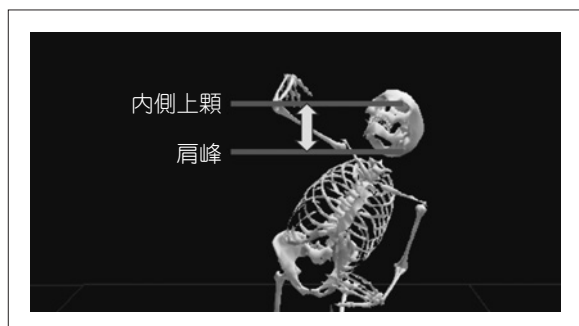


図2 投球側肘関節の高さの定義

投球側肘関節の高さは、LC時点における投球側内側上顆に貼付したマーカーの垂直距離から投球側肩峰に貼付したマーカーの垂直距離を減じた値を採用した。

行った。なお、本研究で投球動作中における肩関節や肘関節の疼痛発生などの有害事象はなかった。

投球動作のLC（投球側上腕骨内側上顆の最高位¹²⁾）時点における投球側肘関節の高さおよび胸郭（屈曲—伸展，投球側—非投球側への側屈，投球側—非投球側への回旋：3軸），肩関節（水平屈曲—水平伸展，内転—外転，内旋—外旋：3軸），肘関節（屈曲—伸展：1軸）角度の3関節の角度を抽出した。投球側肘関節の高さは、LC時点における投球側内側上顆に貼付したマーカーの垂直距離から投球側肩峰に貼付したマーカーの垂直距離を減じた値を採用した（図2）。また、胸郭角度はVICON Nexus2.6ソフトのパイプライン処理にて自動的に算出された空間座標系上の3軸方向の胸郭（剣状突起，頸切痕，第7頸椎棘突起，第10胸椎棘突起の4点を結んだ剛体）の角度から骨盤（左右の上前腸骨棘，上後腸骨棘の4点を結んだ剛体）の角度を減じた値，すなわち骨盤の角度に対する胸郭の角度を本研究における胸郭角度と定義した。さらに、肩関節角度は胸郭角度と同様に自動的に算出された空間座標系上の胸郭と上腕（肩峰，上腕骨外側上顆の2点を結んだ剛体）の間の角度を肩関節角度，肘関節角度は上腕と前腕（上腕骨外側上顆，橈骨茎状突起，尺骨茎状突起の3点を結んだ剛体）の間の角度を肘関節角度と定義した。

統計処理には、統計ソフトウェアIBM SPSS Statistics23を用いた。LC時点における投球側肘関節の高さと胸郭角度，投球側肩関節および肘関節の関節角度の相関関係を検討するため，Spear-

manの順位相関係数を用いて検討した。すべて5%水準にて有意判定を行った。

結果

LC時点における投球側肘関節の高さと各関節角度の結果および投球側肘関節の高さと3軸方向の胸郭角度と投球側肩関節，肘関節の関節角度の相関関係を表1に示した。

LC時点における投球側肘関節の高さと胸郭角度，投球側肩関節および肘関節の関節角度の関連性を検討した結果，投球側肘関節の高さは，非投球側への胸郭側屈角度（ $\rho=0.40, p<0.001$ ）と中等度の有意な正の相関関係が，投球側肩関節外転角度（ $\rho=0.35, p<0.01$ ），投球側肩関節外旋角度（ $\rho=0.23, p<0.05$ ），投球側肘関節屈曲角度（ $\rho=0.35, p<0.01$ ）と弱い有意な正の相関関係が，非投球側への胸郭回旋角度（ $\rho=-0.28, p<0.05$ ）と弱い有意な負の相関関係が認められた（表1）。

考察

LC時点における投球側肘関節の高さと胸郭角度，投球側肩関節および肘関節の関節角度の関連性を検討した結果，投球側肘関節の高さと胸郭，投球側肩関節および肘関節運動と有意な相関関係が認められた。このことから，投球動作中のLC時点における肘関節の高さと胸郭角度に運動学的な関連性が示された。

学童期野球選手のLC時点における投球側肘関節の高さは，前額面上の運動である非投球側への胸郭側屈角度，投球側肩関節外転角度，投球側肘関節屈曲角度と正の相関関係が認められた。すなわち，非投球側への胸郭側屈角度や投球側肩関節外転角度の増加により，投球側肘関節の高さが高くなる可能性がある。LC時点における投球側肩関節外転角度の低下は，野球肘が生じやすい投球動作中の肘下がりのpositionを誘発¹⁴⁾，肘関節内反トルクの増大に繋がる¹⁵⁾。肩関節外転運動は肩甲骨の上方回旋運動によって生じており¹⁶⁾，運動学的に胸郭の対側への側屈運動が随伴する必要がある。すなわち，胸郭が投球側に傾き，肩甲骨上方回旋が制限されると肩関節外転が制限され，肘下がりのpositionが招来される。そのため，投球動作中のLC時点における非投球側への胸郭側屈角度や投球側肩関節外転角度を増加させることで，肘下がりのpositionの改善に繋がる可能性が

表 1 LC 時点における投球側肘関節の高さと各関節角度の平均値と標準偏差の値および投球側肘関節の高さと各関節角度の相関関係

LC		平均値	相関係数
投球側肘関節	高さ	8.72 ± 3.38	
	胸郭		
	伸展角度	34.07 ± 10.81	0.19
	非投球側への側屈角度	25.94 ± 14.38	0.40***
	非投球側への回旋角度	5.23 ± 6.28	-0.28*
投球側肩関節	水平屈曲角度	6.02 ± 7.91	-0.10
	外転角度	93.76 ± 8.21	0.35**
	外旋角度	151.98 ± 13.51	0.23*
投球側肘関節	屈曲角度	90.37 ± 14.82	0.35**

平均値 ± 標準偏差

単位 (角度) : ° (高さ) : cm

*p<0.05

**p<0.01

***p<0.001

あると考える。

さらに、肘関節内反トルクの増大因子として、LC 時点における前腕と地面との間のなす角度である Arm slot が示されている⁹⁾。投球中に前腕と地面の角度が 0° と平行に近づく LC 時点における Arm slot の低下は、サイドスロー投手に近い投球動作であり、オーバースロー投手と比較し、サイドスロー投手では肘関節内反トルクが増大する¹³⁾。その要因として、投球側肘関節伸展角度の増加に伴い、肘関節から手首までの距離が延長し、LC 時点におけるモーメントアームが長くなり、投球側肘関節へのストレスが増大することが報告されている¹³⁾。そのため、非投球側への胸郭側屈角度や投球側肩関節外転角度を増加させることにより、投球側肘関節伸展に伴う前腕と地面との間のなす角度を増加させ、Arm slot の低下を代償することが出来る¹⁰⁾。よって、LC 時点における非投球側への胸郭側屈角度や投球側肩関節外転角度の低下により発生する肘下がりの position は、結果として投球側肘関節伸展角度の増加に伴う Arm slot の低下を導き、肘関節内反トルクの増大に関与することが推察される。

また、投球動作中の矢状面上の運動である投球側肩関節外旋角度と投球側肘関節の高さに正の相関関係が認められた。本研究結果より、投球側肘関節の高さと投球側肩関節外転角度に正の相関関係が認められており、投球側肩関節外転角度の低下は肘下がりの position を導く¹⁴⁾。その際、烏口上腕靭帯や上関節上腕靭帯が伸張されることで、投球側肩関節外旋角度が低下する¹⁷⁾。すなわち、投球

側肩関節外転角度の増加に伴い、烏口上腕靭帯や上関節上腕靭帯による制限が小さくなることが推察され、投球側肩関節外旋角度が増加し、結果として投球側肘関節の高さが高くなると考える。

水平面上の運動として、学童期野球選手では非投球側への胸郭回旋角度と投球側肘関節の高さに有意な負の相関関係が認められた。LC 時点における非投球側への胸郭の早期回旋は野球肘を惹起する可能性を秘めており¹²⁾、胸郭の早期回旋により投球側上肢を挙上するための準備期間を短縮させる¹⁸⁾。また、投球相の後半で非投球側への胸郭回旋が開始した選手の肘関節内反トルクは減少する¹³⁾ため、肘関節への力学的ストレスにも影響する。すなわち学童期野球選手の LC 時点における非投球側への胸郭回旋角度の低下（投球側への胸郭回旋角度の増加）は、「体の開き¹⁹⁾」を抑制し投球側肘関節を高位に配置するための準備運動として作用していると考えられる。

本研究結果より、前額面上の運動である非投球側への胸郭側屈角度、投球側肩関節外転角度に肩甲骨上方回旋運動が加わり、LC 時点における投球側肘関節の高さ調節および Arm slot の増加に関与している可能性が示された。また、投球側肩関節外転角度増加の結果として生じる投球側肩関節外旋角度の増加、投球側への胸郭回旋角度の増加による「体の開き¹⁹⁾」の抑制により、LC 時点における投球側肘関節の高さ調節に影響を与えていることが示唆された。

本研究の限界として、投球側肘関節の高さと投球側肩関節外転角度、投球側肩関節外旋角度、投

球側肘関節屈曲角度、非投球側への胸郭回旋角度の関連性は「弱い相関」に留まっていることが挙げられる。発達段階である学童期野球選手の投球動作は成人の投球動作と比較しバラツキが大きいと報告²⁰⁾されており、各投球動作間のバラツキが大きいことが推察できる点、対象者が16人と少ない点が要因になっている可能性がある。今後は対象者を増やし、再度検討を行う。また、本研究で認められた知見が、中学生や高校生野球選手においても認められるのかを検討し、LC時点の投球側肘関節の高さに関与する各年代に共通する投球動作中の運動学的特性について明らかにする必要がある。

結 語

1. 学童期野球選手を対象とし、投球動作中のLC時点における投球側肘関節の高さと胸郭角度および上肢関節の相関関係を検討した。

2. 投球動作中のLC時点における投球側肘関節の高さと胸郭、投球側肩関節および肘関節角度と有意な相関関係が認められた。

3. LC時点における投球側肘関節の高さは、肘関節内反トルク増大に関与するArm slotの構成要素である胸郭側屈や投球側肩関節外転、肘関節屈曲の影響を受け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

- Conte S, Requa RK, Garrick JG. Disability days in major league baseball. *The American Journal of Sports Medicine*. 2001; 29: 431-436.
- Posner M, Cameron KL, Wolf JM, et al. Epidemiology of major league baseball injuries. *The American Journal of Sports Medicine*. 2011; 39: 1676-1680.
- Atanda AJ, Averill LW, Wallace M, et al. Factors Related to Increased Ulnar Collateral Ligament Thickness on Stress Sonography of the Elbow in Asymptomatic Youth and Adolescent Baseball Pitchers. *The American Journal of Sports Medicine*. 2016; 44: 3179-3187.
- 日本協会. 公共社団法人「運動器の10年」・平成27年度少年野球(軟式・硬式)実態調査 調査報告. 入手先: http://www.bjd-jp.org/news/news_20160616_01.html [参照日 2017年2月23日].
- Nissen CW, Westwell M, Ounpuu S, et al. A biomechanical comparison of the fastball and curveball in adolescent baseball pitchers. *The American Journal of Sports Medicine*. 2009; 37: 1492-1498.
- Braun S, Kokmeyer D, Millett PJ. Shoulder injuries in the throwing athlete. *The Journal of Bone & Joint Surgery*. 2009; 91: 966-978.
- Fleisig GS, Andrews JR, Dillman CJ, et al. Kinetics of baseball pitching with implications about injury mechanisms. *The American Journal of Sports Medicine*. 1995; 23: 233-239.
- Okoroha KR, Lizzio VA, Meta F, et al. Predictors of Elbow Torque Among Youth and Adolescent Baseball Pitchers. *The American Journal of Sports Medicine*. 2018; 46: 2148-2153.
- Camp CL, Tubbs TG, Fleisig GS, et al. The Relationship of Throwing Arm Mechanics and Elbow Varus Torque: Within-Subject Variation for Professional Baseball Pitchers Across 82,000 Throws. *The American Journal of Sports Medicine*. 2017; 45: 3030-3035.
- Matsuo T, Fleisig GS. 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.
- Oyama S, Yu B, Blackburn T, et al. Effect of Excessive Contralateral Trunk Tilt on Pitching Biomechanics and Performance in High School Baseball Pitchers. *The American Journal of Sports Medicine*. 2013; 41: 2430-2438.
- Davis JT, Limpisvasti O, Fluhme D, et al. The Effect of Pitching Biomechanics on the Upper Extremity in Youth and Adolescent Baseball Pitchers. *The American Journal of Sports Medicine*. 2009; 37: 1484-1491.
- Aguinaldo AL, Chambers HG. Correlation of Throwing Mechanics With Elbow Valgus Load in Adult Baseball Pitchers. *The American Journal of Sports Medicine*. 2009; 37: 2042-2048.
- 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. *The Journal of Arthro-*

- scopic and Related Surgery. 2003; 19: 641-661.
- 15) Chu SK, Jayabalan P, Kibler WB, et al. The Kinetic Chain Revisited: New Concepts on Throwing Mechanics and Injury. *PM&R*. 2016; 10: 69-77.
- 16) 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.
- 17) Ferrari DA. Capsular ligament of the shoulder, Anatomical and functional study of the anterior superior capsule. *The American Journal of Sports Medicine*. 1990; 18: 20-24.
- 18) Limpisvasti O, ElAttrache NS, Jobe FW. Under-standing shoulder and elbow injuries in baseball. *Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons*. 2007; 15: 139-147.
- 19) 内田智也, 大久保吏司, 古川裕之, 他. 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. *臨床スポーツ医学会誌*. 2017; 25: 333-338.
- 20) Fleisig G, Chu Y, Weber A, et al. Variability in baseball pitching biomechanics among various levels of competition. *Sports Biomechanics*. 2009; 8: 10-21.
-
- (受付 : 2019 年 12 月 6 日, 受理 : 2020 年 12 月 18 日)

The kinematic relationship between throwing elbow joint height and the thoracic angle during the throwing motion — A study in elementary school baseball players —

Asano, K.^{*1,2}, Sasaki, K.^{*2}, Kimura, T.^{*3}
Azuma, T.^{*2}, Nakase, J.^{*4}

^{*1} Department of Physical Therapy, Keiju Kanazawa Center

^{*2} Course of Rehabilitation, Kinjo University Graduate School of Rehabilitation

^{*3} Department of Social Welfare, Kinjo University

^{*4} Department of Orthopedic Surgery, Kanazawa University

Key words: throwing motion, three-dimensional motion analyzer, throwing elbow joint height

[Abstract] The purpose of this study was to clarify the kinematic relationship between the throwing elbow joint height and the thorax, and the upper limb joints during throwing in 16 elementary school baseball players. A three-dimensional motion analyzer was used to measure throwing motion, and throwing was performed 6 times. The throwing elbow joint height, and the angles of the thorax, shoulder and elbow joint on the throwing side at late cocking (LC) were extracted. At LC, the throwing elbow joint height was significantly and positively correlated with the thoracic lateral flexion angle to the non-throwing side, throwing shoulder abduction angle, external rotation angle and elbow flexion angle; and was significantly and negatively correlated with the thoracic rotation angle to the non-throwing side. These results demonstrated that there was a kinematic relationship between the throwing elbow joint height and thoracic angle and the upper limb joints during the throwing motion. It was also suggested that the throwing elbow joint height is affected by thoracic lateral flexion, shoulder abduction and elbow flexion, which are components of the arm slot that are involved in an increase in elbow varus torque.