

中学野球選手の投球動作における Early Cocking 期の下肢関節・体幹動作の不良と上肢関節トルクの関係

The relationship between the joint torque of the upper extremity and improper motion of the lower extremity and the trunk during the early cocking phase in youth baseball players

内田智也*^{1,2}, 大久保吏司*³, 古川裕之*¹
松本晋太郎*¹, 小松 稔*¹, 野田優希*¹
石田美弥*¹, 佃美智留*¹, 藤田健司*¹

キー・ワード : Baseball, pitching motion, three-dimensional motion
野球, 投球動作, 三次元動作解析

〔要旨〕 良好な投球動作を遂行するには、Early Cocking 期（以下、E.C.期）の良好な下肢関節・体幹動作が重要とされる。そこで本研究は E.C.期の下肢関節・体幹動作の良否が上肢関節トルクに及ぼす影響を検討した。中学野球選手 51 名を E.C.期の下肢関節・体幹動作の良否により二群に分け、球速と肩関節内旋トルク及び肘関節内反トルクとの相関を分析した。良好群では有意な相関は見られなかったが、不良群では肩関節内旋トルクは $r=0.89$ 、肘関節内反トルクは $r=0.72$ であった ($p<0.01$)。E.C.期の下肢関節・体幹動作の不良は、上肢関節へのストレスを増大させる一因になると考えられ、運動力学的にも障害発生リスクの高い投球動作であることが示唆された。

はじめに

投球障害は投球動作の繰り返しにより発症する肩関節・肘関節の障害であり、その発生因子として、オーバーユースやコンディショニング不良、投球動作不良などが挙げられる¹⁾。また、年齢によってもその発生因子は異なり、成長期の野球選手では投球動作不良を修正することで症状が改善される場合も多く、運動機能の向上のみならず投球動作の改善が必須である。

投球動作は投球方向への並進運動および回転運動から構成され²⁾、軸足股関節トルクによって生み出された力学的エネルギーが投球腕各部位および

ボールに伝達する運動連鎖に基づく全身運動であるため、良好な投球動作を獲得するには下肢関節・体幹からの運動連鎖に着目することが重要となる³⁾。

不良な下肢関節・体幹動作と投球側上肢関節動作の関係として、Wind up 期の不良姿勢は Late Cocking 期（以下、L.C.期）以降の肩関節外転角度の減少いわゆる肘下がりの一因になることや E.C.期の並進運動における下肢関節・体幹のアライメント不良はその後の運動連鎖に悪影響を与え、L.C.期の体幹の早期回旋などに繋がるということが報告されている^{4,5)}。つまり、投球動作中に上肢関節へのストレスが最大となる L.C.期の動作を修正するためには、それ以前のフェーズである Wind Up 期や E.C.期の下肢関節・体幹アライメントに着目することが重要であると考えられている⁶⁾。

しかし、これまで E.C.期の下肢関節・体幹動作

*1 藤田整形外科・スポーツクリニック

*2 神戸学院大学大学院総合リハビリテーション学研究所

*3 神戸学院大学総合リハビリテーション学部

の不良が投球障害の発生因子になり得るとした報告の多くは三次元動作解析を用いた分析により、そのメカニズムを考察したものが多く、スポーツ現場や臨床現場でも応用可能な評価指標を用いた報告は少ない⁷⁻⁹⁾。一方で、ビデオカメラを用いた二次元動作評価によってE.C.期の下肢関節・体幹動作の良否を分類し、その良否と上肢関節トルクとの関係を比較した報告では、良好群と不良群の対象者数の隔たりが大きいことや用いられた評価指標の妥当性が検討されていないことから、一般的に不良とされる投球動作を抽出できていたかは定かではない¹⁰⁾。

そのため、二次元動作評価によって一般的に“不良”と定義される下肢関節・体幹動作を抽出し、その動作と上肢関節トルクとの関係を検討することは競技復帰や障害予防を目的とした投球動作指導を行う医療従事者にとって有益な情報になり得ると考えられる。

そこで、本研究はE.C.期の下肢関節・体幹アライメントを評価する二次元動作評価によって抽出された不良な下肢関節・体幹動作がその後の上肢関節トルクに及ぼす影響を運動力学的観点から検討することを目的とした。

対象と方法

1. 対象者

対象は中学野球選手の投手51名(年齢:13.7±0.4歳,身長:165.0±8.3cm,体重:54.0±9.7kg,全て男性の軟式野球選手)とし、除外基準は疼痛等により全力投球が困難な選手、左投げの選手、サイドスロー・アンダースローの選手とした。対象者の保護者及び指導者に本研究の目的、個人情報保護等について口頭及び文書で説明し、文書にて同意を得た。なお、本研究は神戸学院大学ヒトを対象とする医学系研究等倫理審査委員会の承認(承認番号:HEB141127-1)を得て実施した。

2. 測定環境

投球動作の測定は屋内実験室で行い、上方に6台、下方に4台の合計10台の赤外線カメラを備えたモーション・キャプチャー・システム(MAC3D system: Motion Analysis社製)及び床反力計(Kistler社製)を用いた。また、同時に2台のハイスピード撮影の可能なデジタルカメラ(EX-ZR400: CASIO社製)を対象者の後方(二塁側)及び側方(三塁側)に設置して投球動作を撮

影した。なお、赤外線カメラの取込周波数は250Hzとした。さらに、球速の測定には、マルチスピードテスターII(SSK社製)を用いた。

3. 方法

対象者には10分間のウォーミングアップの後、全身に49個の反射マーカー(直径12mm)を貼付した。マーカーの貼付位置は頭頂、頭部前方・後方、第7頸椎、第10胸椎、胸骨柄、剣状突起、仙骨、右肩甲棘中央、左右の肩峰、肘関節内側上顆及び外側上顆、尺骨茎状突起、橈骨茎状突起、第3中手骨頭、上前腸骨棘、上後腸骨棘、大転子、膝関節内側上顆及び外側上顆、足関節内果及び外果、踵骨、第1中足趾節関節、第2中足趾節関節、第5中足趾節関節、第2末節骨、大腿中央外側(膝関節外側上顆と大転子の中央)、下腿中央外側(足関節外果と膝関節外側上顆の中央)とした。測定動作として、対象者に5メートル先のネットに向けて4球の全力投球を行わせた。全ての対象者に対し、「試合同様にストレートを全力投球するように」口頭で指示した。

(1) 二次元動作評価

全4球の試技の中で、スピードガンで計測した球速が最速だった試技を解析に使用した。そして、我々が過去に報告した方法に基づき、投球障害のリハビリテーションに従事する3名の理学療法士がE.C.期の軸足下肢関節・体幹動作の良否を分類した¹¹⁾。以下に、その評価基準を示す。

①後方からの評価:ステップ側膝最大拳上から軸足の踵部が離地するまでの期間において、足趾尖部における垂線(以下、つま先ライン)に対して、矢状面での膝関節中央点が軸足・ステップ足とも、近くに位置していた場合を“良好”、一方でそれぞれの膝関節中央点がつま先ラインから明らかに離れていた場合を“不良”と判断した(図1)。

②側方からの評価:いわゆる「ヒップファースト」と表現される「ステップ足の股関節が体幹より先行して投球側に移動する動作」が遂行されていること、および骨盤の早期回旋が生じていないことを満たすものを“良好”と判断するために、本研究では「フットコンタクトの直前に両上前腸骨棘に貼付したマーカーを十分に視認することができ、且つ軸足の股関節—膝関節中心—足関節がほぼ一直線上に位置しているもの」を“良好”と定義した(図2)。

3名の評価者は個別に評価を行い、後方且つ

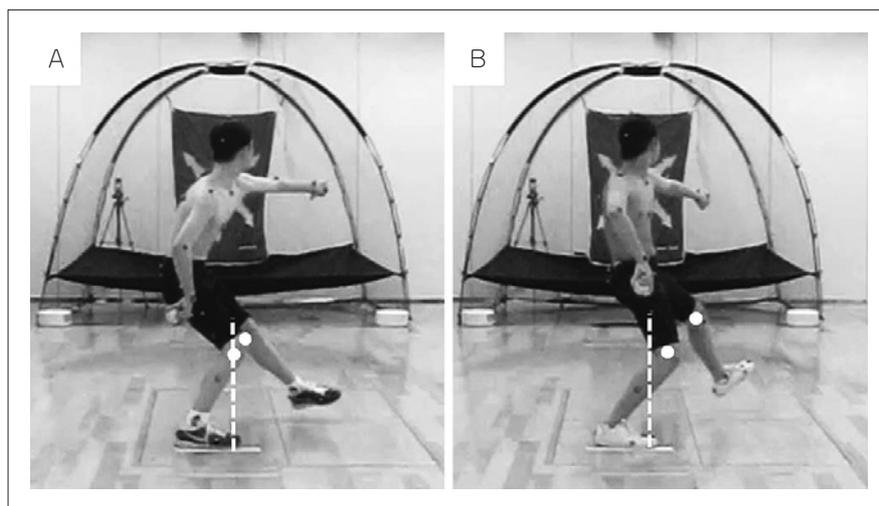


図1 後方からの評価における評価基準 (A:良好, B:不良)

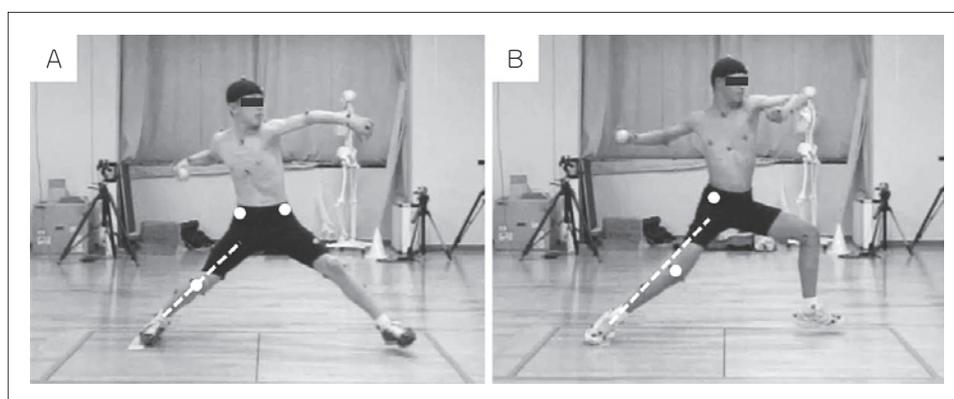


図2 側方からの評価における評価基準 (A:良好, B:不良)

側方からの評価が良好だった場合、すなわち後方からの評価で1項目、側方からの評価で2項目、計3項目の全てが良好であった場合を良好、その他の場合を不良と最終判定した。そして、3名の評価者全てが良好と判定した選手を良好群、3名全てが不良と判定した選手を不良群に分類し、それ以外の選手は比較対象から除外した。

(2) 三次元動作解析

モーション・キャプチャー・システムによって投球動作データを測定し骨格モデルを作成した。次に、得られたデータを筋骨格モデル動作解析ソフト nMotion (nac 社製) で被験者の身体寸法に合わせてスケーリングされた筋骨格モデルを作成し、逆運動学解析を行いモデルの各身体部位の座標位置や各関節角度を算出し、さらに逆動力学解析を行い、床反力計から得られた外力データから、筋骨格モデルの関節トルクを算出した。

これらの解析データから、投球側肩関節内旋ト

ルク (Shoulder Internal Rotation Torque : SIRT), 肘関節内反トルク (Elbow Varus Torque : EVrT) の最大値を抽出し、過去の報告に基づき、身長及び体重で除して正規化した値を解析値とした^{9,10,13}。

4. 統計処理

まず、各群の背景比較を行うため、年齢・身長・体重・球速を対応のない t 検定を用いて群間比較した。

次に、投球フォームの良好群及び不良群それぞれの球速と SIRT および EVrT の関係を比較するため、各群別に Pearson の相関分析を用いて分析した。いずれも検定にはエクセル統計 2015 (社会情報サービス社) を使用し、統計学的有意水準は危険率 5% 未満を有意とした。

■ 結果

除外基準に該当しない対象者は 44 名であった。

そのうち先述した二次元動作解析による群分けは良好群 10 名, 不良群 14 名であった (表 1).

各群の背景比較の結果, 年齢・身長・球速には

表 1 各群の背景比較

	良好群 n=10	不良群 n=14	p 値
年齢 (years)	13.7±0.5	13.7±0.5	n.s
身長 (cm)	163.0±8.4	166.1±10.5	n.s
体重 (kg)	48.4±7.9	57.5±11.7	<0.01
球速 (km/h)	98.2±10.1	96.4±10.9	n.s

※Mean ±SD, Unpaired t-test

差がなかったが, 体重のみ不良群が高値を示した (表 1).

SIRT 及び EVrT と球速の相関分析の結果を図 3, 4 に示す. 良好群では SIRT, EVrT とともに有意な相関は見られなかった. 一方, 不良群では SIRT は $r=0.89$, EVrT は $r=0.72$ であり, とともに有意な正の相関が認められた ($p<0.01$).

考 察

E.C.期の下肢関節・体幹動作がその後の運動連鎖に及ぼす影響として, 軸足股関節屈曲位を保持した状態での並進運動の動作を習得することは体

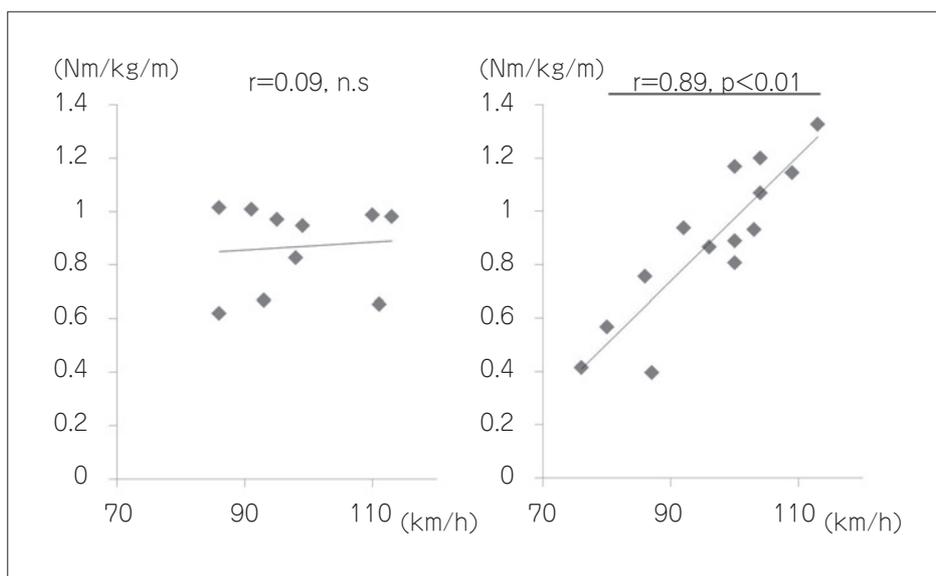


図 3 球速と SIRT との相関関係 (左: 良好群, 右: 不良群)

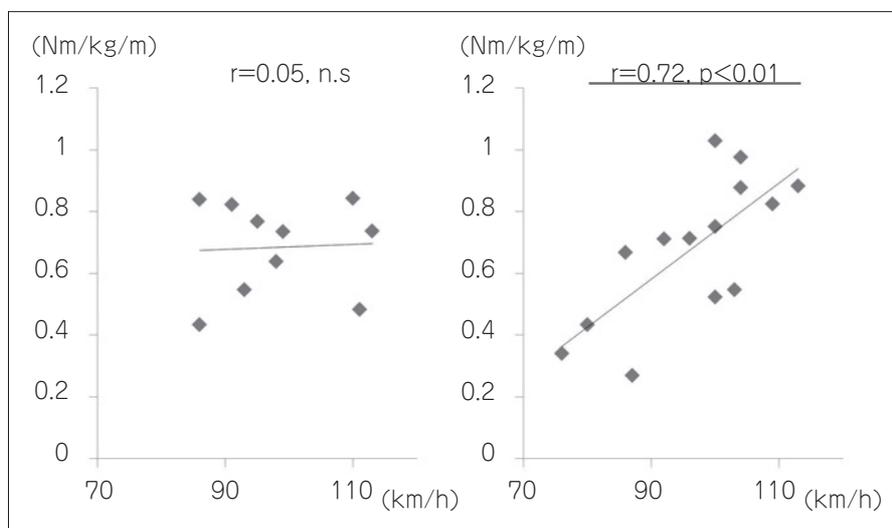


図 4 球速と EVrT との相関関係 (左: 良好群, 右: 不良群)

幹の早期回旋の改善に繋がるとされており¹²⁾、軸足股関節動作の不良は体の開きなどその後の投球動作に参与する可能性がある。

また、運動力学的観点から検討したものとして、Aguinaldo ら¹³⁾ はプロ野球選手と若年野球選手を比較したところ、プロ野球選手は体幹回旋開始時間が遅く、身長及び体重で補正された肩関節内旋トルクが小さかったことから、体幹の早期回旋は肩関節ストレスを増大させる一因になると報告しており、Oyama ら¹⁴⁾ はフットコンタクト時の体幹の非投球側への過度な側屈は肩関節内旋トルク及び肘関節内反トルクを増大させることを報告している。

以上のことから、E.C.期の下肢関節・体幹動作の乱れはいわゆる体の開きなどの不良な投球動作に繋がり、L.C.期以降の上肢関節ストレスを増大させると考えられている。

さらに、E.C.期の下肢関節動作と球速の関係について、軸足股関節伸展の力学的仕事量と投球速度に正の相関があったことや軸足の床反力と投球側手関節の速度に正の相関があったことが報告されており、軸足股関節動作の不良は下肢関節によって産出される力学的エネルギーを減少させ、球速を低下させる一因になり得る。

そのため、E.C.期の不十分な軸足股関節の運動はその後の運動連鎖に悪影響を及ぼし、上肢関節に過度なストレスを与える投球動作を招くことのみならず、下肢関節から生み出された力学的エネルギーがボールに伝達されない投球動作、すなわち上肢関節に依存した球速増大を図る投球動作に繋がることが推察され、良好な投球動作を獲得するには軸足の下肢関節・体幹動作に着目することが重要であると考えられる。

そこで、本研究は E.C.期における軸足の下肢関節・体幹のアライメントから不良な下肢関節・体幹動作を抽出する二次元動作評価によって対象者を二群に群分けし、各群別に上肢関節トルクと球速の相関関係を検討したところ、不良群の対象者のみ球速と SIRT・EVrT それぞれに強い正の相関が認められた。

本研究で用いた二次元動作評価での分類における不良群の動作は良好群と比較して軸足股関節屈曲角度および伸展トルクが低値を示したと報告されており¹¹⁾、不良群は E.C.期の体重移動の際に、軸足股関節動作の不良によって体幹の早期回旋など

運動連鎖が破綻したことや上肢関節に依存した投球動作であったことが推察される。

投球動作は下肢関節・体幹動作も含めた複合運動であるが故に、球速と上肢関節トルクの相関はないと考えられ、それらの相関関係がないことを示した報告も散見される¹⁷⁾。

よって、本研究の結果から運動力学的観点からも E.C.期の下肢関節・体幹動作の乱れが投球障害の発生リスクを高める一因になり得ることが示され、投球障害からの競技復帰やその予防を目的とした投球指導を行う際には、軸足の下肢関節・体幹動作に着目することが重要であると考えられた。

本研究の限界

本研究で用いた二次元動作評価は一部に定性的な基準を設けていることもあり、検者内・検者間信頼性を検討する必要があると考えられる。

また、今回の不良群の動作がフットコンタクト以降の運動連鎖に与えた運動学的な考察は推測の域を出ない。そのため、今後は本研究で用いた二次元動作評価の妥当性を検討するべく、不良群の動作がその後の投球動作に与えた運動学的な影響を定量的に示していくことも重要であると考えられた。

まとめ

1. Early Cocking 期の下肢関節・体幹動作の不良と上肢関節トルクの関係について検討した。
2. 下肢関節・体幹動作の不良を呈する選手は球速と肩関節内旋トルク・肘関節内反トルクに正の相関があった。
3. Early Cocking 期の下肢関節・体幹動作の乱れは上肢関節へのストレスを増大させる一因になると考えられた。

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) 岩堀裕介. 成長期における上肢スポーツ障害の特徴と治療. In: 山口光國 (編). 投球障害のリハビリテーションとリコンディショニング—リスクマネジメントに基づいたアプローチ—第1版, 東京: 文光堂; 91-117, 2010.
- 2) 芳福康郎. 投げる—物体にパワーを注入する. Jap.

- J. Sports Sci. 1982; 1: 85-90.
- 3) 島田一志, 阿江通良, 藤井範久ほか. 野球のピッチング動作における力学的エネルギーの流れ. バイオメカニクス研究. 2004; 8: 12-26.
 - 4) 井尻朋人, 宮下浩二, 浦辺幸夫ほか. 体幹アライメントが投球時の肩関節運動に与える影響. 体力科学. 2009; 58: 73-80.
 - 5) 岩堀裕介. 成長期の投球障害への対応とアプローチ. 臨床スポーツ医学. 2012; 29: 67-75.
 - 6) 宮下浩二. 下肢・体幹機能からみた肩関節インピンジメント症候群に対する運動療法—その評価と治療のコツ—. 臨床スポーツ医学. 2013; 30: 473-478.
 - 7) 田中正栄, 西野勝敏, 山本智章. 3次元動作解析による成長期(小学生)野球選手の投球動作の特徴. 臨床スポーツ医学. 2016; 33: 52-56.
 - 8) 宮下浩二, 小林寛和, 横江清司. 投球動作で要求される下肢関節機能に関する検討. Journal of Athletic Rehabilitation. 1999; 2: 65-72.
 - 9) Aguinaldo, AL, Chambers, H. Correlation of throwing mechanics with elbow valgus load in adult baseball pitchers. Am J Sports Med. 2009; 37: 2043-2048.
 - 10) 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.
 - 11) 内田智也, 大久保吏司, 松本晋太郎ほか. 投球動作の Early Cocking 期における軸足股関節の運動学・運動力学的特徴. 日本臨床スポーツ医学会誌. 2017; 25: 16-23.
 - 12) 元脇周也, 小柳磨毅, 境 隆弘ほか. 投球障害例に対する投球フォーム指導の効果—体幹回旋運動における定量的評価を用いた検証—. スポーツ傷害. 2013; 18: 27-30.
 - 13) Aguinaldo, AL, Buttermore, J, Chambers, H. Effects of upper trunk rotation on shoulder joint torque among baseball pitchers of various levels. J Appl Biomech. 2007; 23: 42-51.
 - 14) Oyama, S, Yu, B, Blackburn, JT et al. Effect of excessive contralateral trunk tilt on pitching biomechanics and performance in high school baseball pitchers. Am J Sports Med. 2013; 41: 2430-2438.
 - 15) 蔭山雅洋, 鈴木智晴, 杉山 敬ほか. 大学野球投手における下肢関節の力学的仕事量と投球速度との関係. 体育学研究. 2015; 60: 87-102.
 - 16) MacWilliams, BA, Choi, T, Perezous, MK et al. Characteristic ground-reaction forces in baseball pitching. Am J Sports Med. 1998; 26: 66-71.
 - 17) Post, EG, Laudner, KG, McLoda, TA et al. Correlation of Shoulder and Elbow Kinetics With Ball Velocity in Collegiate Baseball Pitchers. J Athl Train. 2015; 50: 629-633.

(受付：2016年10月17日, 受理：2017年3月31日)

The relationship between the joint torque of the upper extremity and improper motion of the lower extremity and the trunk during the early cocking phase in youth baseball players

Uchida, T.^{*1,2}, Okubo, S.^{*3}, Furukawa, H.^{*1}
Matsumoto, S.^{*1}, Komatsu, M.^{*1}, Noda, Y.^{*1}
Ishida, M.^{*1}, Tsukuda, M.^{*1}, Fujita, K.^{*1}

^{*1} Fujita Orthopaedic & Sports Clinic

^{*2} Kobegakuin University, Graduate School of Rehabilitation

^{*3} Department of Rehabilitation, Kobegakuin University

Key words: Baseball, pitching motion, three-dimensional motion

[Abstract] The lower extremity and the trunk motion in the early cocking phase are considered to be important for good pitching motion. The purpose of this study was to compare the upper extremity kinetics between “good” and “bad” motion of the lower extremities and the trunk in the early cocking phase. Fifty-one junior high-school baseball pitchers were categorized into two groups according to our criteria of motion of the lower extremities and the trunk in the early cocking phase. The correlations between the ball speed and shoulder internal rotation torque and elbow varus torque were analyzed. There was significant correlation between the speed of a pitched ball and the torque of the upper extremity in the bad group, but there was no significant correlation in the good group. Improper lower extremity motion in the early cocking phase caused decreased efficiency of the kinetic chain, and increased the upper extremity joint torque.