

機関番号：33910

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2009～2010

課題番号：21700665

研究課題名（和文） 発育期選手の投球障害予防を目的とした投球動作ストラテジーの関節運動学的分析

研究課題名（英文） Biomechanical analysis of throwing strategy in adolescent baseball players for the purpose of throwing injury prevention

研究代表者

宮下 浩二 (MIYASHITA KOJI)

中部大学・生命健康科学部・准教授

研究者番号：40403604

研究成果の概要（和文）：本研究は成長期野球選手の投球障害予防を目的に、投球の加速運動に関与する主な関節運動である股関節内転、体幹回旋、肩関節内旋、肘関節伸展の角度変化量や運動速度とボールに与える力（手加速度で代用）の相関を分析し、中学生と大学生で比較した。中学生で手加速度と有意な相関（ $p < 0.05$ ）が認められたものは体幹左回旋角度変化量、肘伸展角度変化量、肩速度、肘速度であり、大学生では、股関節速度、肘速度だった。中学生が大学生と比較して、上肢関節に依存している傾向が示唆された。また股関節運動ではなく体幹回旋運動が強調される傾向にあり、腰部への悪影響も危惧される。中学生への投球動作指導では股関節運動の活用が重要となる。

研究成果の概要（英文）：

The purpose of the present study was to demonstrate the correlation between the force to a ball and joint motion of hip, trunk, shoulder and elbow in adolescent baseball players. The subjects were 15 adolescent baseball players (13.7 ± 0.8 yrs) and 15 collegiate baseball players (22.1 ± 1.5 yrs). Throwing motion images were captured by three high-speed cameras, and a 3D analysis established by direct leaner translation method was performed to obtain the angles and the angular velocity of each joint, and the acceleration of wrist toward the target at ball release (Acc). In the adolescent players, significant linear correlations were found between Acc and trunk rotation angle ($r = -0.59$), elbow extension angle ($r = -0.75$), shoulder internal rotation velocity ($r = -0.76$) and elbow extension velocity ($r = -0.61$). In the collegiate players, significant linear correlations were found between Acc and hip adduction velocity ($r = -0.51$) and elbow extension velocity ($r = -0.61$). The finding indicates the adolescent players may depend on the upper extremity motion more than hip joint motion during throwing. Coaches and athletic trainers may need to focus on the hip joint motion in order to prevent throwing injuries from occurring in adolescent baseball players.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	500,000	150,000	650,000
2010年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
年度			
総計	1,000,000	300,000	1,300,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：健康・スポーツ科学 スポーツ科学

キーワード：成長期野球選手・投球動作・投球障害予防・ストラテジー・三次元分析・関節運動

1. 研究開始当初の背景

発育期の野球選手に生じる投球障害（投球による肩関節、肘関節の障害）は、骨変形や関節可動域制限など後遺症を残すこともあり、予防が重要であるとされている（日本臨床スポーツ医学会整形外科学術部会 1998）。投球障害に対するリハビリテーションでは、運動器機能の向上とともに投球動作を改善することが重要である（Whitely 2007）。特に発育期は、運動器機能の向上が成人のように十分に見込めないこともあり、投球動作の改善がより重要と考えられる。投球障害の予防に関する最近の研究も投球動作に焦点が当てられたものが多いが、発育期の選手の特徴を記したものはほとんどない。投球障害予防のための動作指導を行うにあたって発育期の動作の特徴を理解することは重要である。

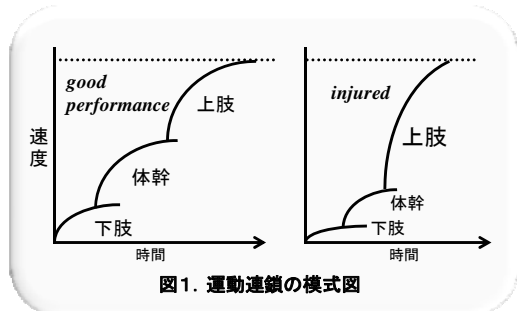


図1. 運動連鎖の模式図

投球動作は、図1に示す模式図のように下肢から始まり、体幹、上肢に至る運動連鎖である。全身の関節が効率よく運動することで達成される（Morehouse & Cooper 1950）。図の縦軸は、球速や飛距離などパフォーマンスの能力を示す。図1左のように各関節が効率的に連鎖し、かつ運動速度が分担されていれば高いパフォーマンスを発揮できる。しかし、例えば図1右のように下肢関節の運動が妨げられると、結果として、代償的に肩関節や肘関節の運動が増してくる。さらに「より速く」など、パフォーマンスを向上しようとするといずれかの関節の運動を速く、大きくする必要があるのである。運動器機能が成熟した選手は下肢から、体幹、上肢に至るまで効率的な関節の運動、運動連鎖を呈する。特に「腰のキレ」や「脚を使って投げる」など、上肢以外の関節運動を有効に用いてパフォーマンスを上げる（高橋 2003）。つまり動作ストラテジーとして下肢関節や体幹を有効利用している。しかし、発育期の選手は投球については上肢に依存してパフォーマンスを維持、向上しよ

うとする動作ストラテジーを用いる傾向にある。いわゆる「手投げ」の投球動作になり、その結果、投球障害に至ることが多い。

しかし過去の研究では、「手投げ」など抽象的表現や動作を数種類のパターンに分類した定性的分析が多い(中村 2003)。また、定量的分析においても重心位置の変化やエネルギー効率などの運動力学的(kinetics)な分析が多く(池上 2003)、動作ストラテジーを具体的な関節運動(kinematics)で示した研究はほとんどみられない。

2. 研究の目的

本研究では、運動器機能が未発達な中学生野球選手が球速を高めるために用いる動作ストラテジーを関節運動学の視点から分析し、その結果を高校、大学、社会人選手と比較することで、中学生選手の動作ストラテジーの特徴を明らかにすることを目的とする。これにより発育期の野球選手に生じる投球障害予防のために行う投球の動作指導の要点を提示することが期待される。

具体的には、投球の加速運動に関与する主要な関節運動である、股関節内転、体幹回旋、肩関節内旋、肘関節伸展について三次元動作解析を行い、各関節の運動速度や角度変化量と球速との相関を分析し、球速に関する要因分析を行う。この結果をもとに球速に対する中学生の選手の動作ストラテジーの特徴を分析する。

3. 研究の方法

1. 対象

対象は中学野球選手 15 名（年齢 13.7 ± 0.8 歳、身長 163.3 ± 8.2 cm、体重 49.8 ± 7.4 kg、野球歴 6.6 ± 1.4 年）とした（以下、中学生）。また対象群と比較するコントロール群を大学野球選手 15 名（年齢 22.1 ± 1.5 歳、身長 173.7 ± 5.0 cm、体重 66.7 ± 7.3 kg、野球歴 9.5 ± 2.9 年）とした（以下、大学生）。ポジションの内訳は両群とも投手 3 名、捕手 1 名、内野手 7 名、外野手 4 名であった。対象の条件として測定時に肩や肘関節に痛みなどの症状がないこととした。対象は全員、本研究の趣旨を理解した上で参加に同意した。なお、本研究は中部大学生命健康科学研究所倫理委員会の承認を得た。

2. 方法

1) 投球動作撮影および座標値算出方法

投球動作の撮影は室内で行い、撮影方法、分析方法等は先行研究に従った。対象が投球する位置の床面に人工芝を敷き、対象から 5m

の位置に防球ネットを設置した。ネットの中央に3cm角の標的を貼付した。対象の上半身は裸または反射マーカが観察できるように背面を四角穴状に裁断したノースリーブシャツとした。左手にはグラブを装着させた。直径1cmの反射マーカを第1腰椎棘突起、両上後腸骨棘、ステップ脚の上前腸骨棘、大腿骨外側上顆、非投球側の肩峰に貼付した。また投球側の肩峰、上腕遠位端背側面、前腕遠位端背側面に、ウレタン素材のテーピング用パッド（日東電工社ニトリートテーピングパッド）を棒状（20cm×1cm×1cm）に裁断して貼付した。このパッドの両端にも反射マーカを貼付した。動作中のたわみを防止し、かつパッドの軽量化を妨げないようにパッドの裏面全面にテープで裏打ちした。肩峰のパッドは肩峰遠位端の形状に沿って前後方向に、上腕と前腕は各長軸と直交するように棒状のパッドを位置させた。

対象の周囲に3台のハイスピードカメラ（フォーアシスト社製 IEE1394b 高速カメラ FKN-HC200C）を設置した。コマスピードは1/200秒とし、3台のカメラを同期して撮影した。全力による投球動作の画像をパーソナルコンピュータに動画ファイルとして保存した。画像に対して、1/200秒毎に各反射マーカをプロットした。DKH社製3次元ビデオ動作解析システムFrame-DIAS IIを用いてDirect Linear Transformation method (DLT法)により各反射マーカの三次元座標値を得た。分析した位相は左足部接地からリリースまでとした。

2) 関節角度算出方法

得られた座標値からステップ脚の股関節内転角度、体幹回旋角度、肩内旋角度、肘伸展角度の平均値を算出した。各角度の算出方法は以下の方法とした。

(1) 股関節内転角度

両上後腸骨棘の結線が上前腸骨棘と、大腿骨外側上顆の結線がなす角度について内積を用いて算出した。二直線が直行する肢位を0度とし、内転方向をプラス、外転方向をマイナスとした。

(2) 体幹回旋角度

投球側肩峰パッドの中心と非投球側の肩峰からなる直線と、両上後腸骨棘の結線がなす角度について内積を用いて算出した。二直線が直行する肢位を0度とし、投球方向（右投手の左回旋）をプラス、反投球方向（右投手の右回旋）をマイナスとした。

(3) 肩内旋角度

体幹に対して前腕がなす角度で、肩全体の内旋角度である。算出方法は次の通りとした。まず、右手関節（前腕に貼付したパッドの中心）、右肘関節（上腕に貼付したパッドの中心）、右肩関節（肩峰に貼付したパッドの中心）の3点からなる平面の法線ベクトルと、

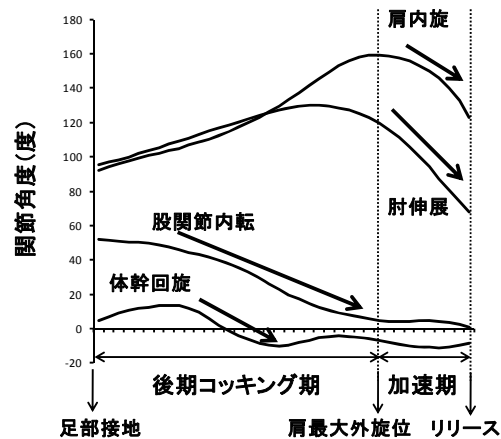
右肘関節、右肩関節、第8胸椎棘突起の3点からなる平面の法線ベクトルを算出した。次にこの2つの法線ベクトルの内積を求め、その余弦から2つの平面のなす角度を算出した。二平面が直行する肢位を0度とし、内旋運動をプラス、外旋運動をマイナスとした。

(4) 肘伸展角度

肩峰パッドの中心と上腕パッドの中心を結んだ直線と、上腕パッドの中心と前腕パッドの中心を結んだ線がなす角度について内積を用いて算出した。二直線が直列となるときを0度とし、屈曲方向をマイナスとした。

3) 投球の加速運動に関するパラメータの算出

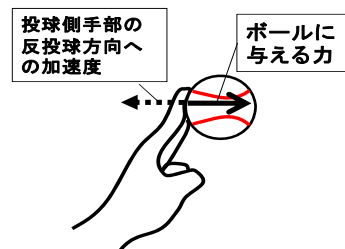
算出した各関節角度から投球の加速運動に関するパラメータを抽出した。(1)から(4)に示す角度の経時変化をグラフに示すと下図のようになるが、股関節内転と体幹回旋の運動は主に後期コッキング期に生じ、肩内旋と肘伸展の運動は主に加速期に生じることから、以下のようなパラメータを抽出した。



- ・後期コッキング期における股関節内転角度変化量と角速度
- ・後期コッキング期における体幹左回旋角度変化量と角速度
- ・加速期における肩内旋角度変化量と角速度
- ・加速期における肘伸展角度変化量と角速度

4) ボールに与えた力の代替値

ボールに与えた力を直接算出するためにはボールに圧力計を設置するなどの方法が必要である。しかし、方法論的に困難であるため、ボールに与えた力を示す代替値として、ボールからの反作用を示す投球側手部の反投球方向への加速度を算出した（右図）。つまり、リリース



ス時の手加速度が負の値ほどボールに与えた力は大きいということを示す。なお今回は、撮影条件により指先の詳細な変化を分析できないため、前腕パッドの midpoint の加速度を手部の加速度（手加速度）とした。

5) 統計学的分析

手加速度と各関節のパラメータとの相関を分析した。分析にはピアソンの相関係数を用いた。危険率 5%未満を有意とした。その結果をもとに、両群間で特徴を比較・検討した。

4. 研究成果

中学生野球選手および大学生野球選手の手加速度と各パラメータの実測値、および手加速度と各パラメータの相関を図 6 に示す。中学生で、手加速度と有意な相関が認められたものは、体幹左回旋角度変化量 ($r=-0.59$)、肘伸展角度変化量 ($r=-0.75$)、肩内旋角速度 ($r=-0.76$)、肘伸展角速度 ($r=-0.61$) であった。大学生で、手加速度と有意な相関が認められたものは、股関節内転角速度 ($r=-0.51$)、肘伸展角速度 ($r=-0.61$) であった。

中学生		(手加速度=-577.2±55.6m/s)	
パラメータ		測定値	相関係数
股関節	角度変化量	33.8±7.5°	-0.419
	角速度	563.3±207.5°/s	-0.352
体幹	角度変化量	24.5±12.6°	-0.590 ※
	角速度	598.7±265.6°/s	-0.346
肩内旋	角度変化量	38.7±6.0°	0.011
	角速度	1296.8±458.7°/s	-0.756 ※
肘伸展	角度変化量	69.1±20.9°	-0.754 ※
	角速度	1038.2±300.2°/s	-0.610 ※

※p<0.05

大学生		(手加速度=-804.4±131.8m/s)	
パラメータ		測定値	相関係数
股関節	角度変化量	50.2±8.3°	-0.261
	角速度	709.3±130.8°/s	-0.531 ※
体幹	角度変化量	15.1±15.0°	-0.046
	角速度	739.6±455.7°/s	-0.336
肩内旋	角度変化量	33.2±7.8°	-0.181
	角速度	2305.1±817.5°/s	-0.269
肘伸展	角度変化量	50.2±14.9°	-0.455
	角速度	1729.3±508.0°/s	-0.606 ※

※p<0.05

投球動作は、下肢から始まり、体幹、上肢に至る運動連鎖である。全身の関節が効率よく連動することで達成される。各関節が効率的に連動し、かつ運動速度が分担されていれば高いパフォーマンスを発揮できる。しかし、例えば下肢関節の運動が妨げられると、結果として、代償的に肩関節や肘関節の運動が増してくる。さらに「より速く」など、パフォーマンスを向上しようとするといずれかの関節の運動を速く、大きくする必要があり、その場合、競技能力が高い選手は下肢から、

体幹、上肢に至るまで効率的な関節の連動、運動連鎖を呈しており、特に「腰のキレ」や「脚を使って投げる」など、上肢以外の関節運動を有効に用い、動作ストラテジーとして下肢関節や体幹を有効に利用している。しかし、成長期の選手の投球動作は上肢に依存してパフォーマンスを向上しようとする動作ストラテジーの傾向にある。いわゆる「手投げ」の投球動作になり、投球障害の発生に関係してしまう。

成長期の投球動作分析に関する先行研究では、「手投げ」など抽象的表現や動作パターンを分類した定性的分析がほとんどである。また、定量的分析においても重心位置の変化やエネルギー効率などの運動力学的な分析が多い。本研究は、関節運動学の分析により動作ストラテジーの定量化を試みたものである。今回の研究では成長期選手の特徴が明らかとなった。

手加速度と有意な相関が認められたパラメータは中学生では、体幹回旋角度変化量、肩内旋速度、肘伸展角度変化量、肘伸展速度であり、大学生では、股関節内転速度、肘伸展速度であった。つまり、中学生は股関節以外の体幹・肩・肘を主体に、大学生は股関節と肘を主体に球速を高める傾向にあることが示唆された。成長期野球選手は、いわゆる「手投げ」など上肢運動に依存した投球動作を呈しやすいことなどが先行研究で指摘されている。本研究でも中学生は大学生と比較して上肢関節に依存していることが示された。

投球動作における下肢・体幹と上肢の連動の代表例として、投球の後期コッキング期にみられる肩外旋運動があげられる。この位相における肩外旋運動は lagging back 現象により生じている。lagging back とは近位部に対して遠位部が遅れる現象であり、投球動作では後期コッキング期に体幹の回旋や肩関節水平屈曲の運動が生じると上腕および前腕の近位端は投球方向に移動し、ボールを持った手後は後方に残る結果として肩関節は外旋することを示す。つまり、肩外旋運動は体幹などからの連動によって生じる要素が大きく、体幹や股関節の運動により影響を受ける。体幹や股関節の運動が十分に行われない場合、後期コッキング期の肩外旋運動およびその後の加速期における内旋運動も変化する。体幹や股関節から肩の運動が誘発されない場合、その運動は肩の筋力などに依存することとなり、肩関節への依存度が増すと考えられる。今回の研究でみられた成長期の肩の運動の特徴は、体幹・下肢の運動の結果である可能性も高い。我々の先行研究でも、大学生は股関節運動による骨盤回旋運動が中学生より大きく、今回の結果でも股関節が十分に活用されていると考えられる。また、先行研究でも成人野球投手は投球時の骨盤運動

と球速など競技力に関係があることを示している。

一方で中学生は、骨盤の動きが少なく、体幹回旋を主体とした運動になっていた。先行研究の結果ではさらに体幹回旋運動の生じるタイミングが大学生より遅く、下肢・体幹から上肢に至る運動連鎖が効率的に行われていないことも推察され、上肢関節の運動に依存した投球動作であったことがこの点からも推察される。また、中学生の投球動作が股関節運動ではなく体幹回旋運動が強調される傾向にあったことは、上肢のみならず腰部の投球障害についても危惧される。成長期に腰椎の回旋、伸展ストレスが繰り返されることで腰椎分離症が発症する可能性が高まることが知られている¹⁾。股関節運動による骨盤回旋運動が制限されると腰椎回旋が代償的に強まり、さらに回旋運動を強めると腰椎伸展運動も伴う。そのため、今回の結果は中学生野球選手の投球動作は腰部障害の発生との関係も示唆しているであろう。

以上のことより、投球障害予防を目的とした中学生への投球動作指導では、大学生のような股関節内転運動の獲得を目指す必要があると考える。中学生の運動器は機能的には未発達な場合もあるものの、股関節運動が十分に遂行できるような運動指導は重要である。たとえば股関節に可動域制限がなくても、骨盤が後傾したアライメントでの投球は骨盤の回転運動は生じにくい。そのため、骨盤などのアライメントを中心とした姿勢の修正など、股関節がより効率的に投球動作の中で機能するような指導が望まれる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計3件)

①宮下浩二、小林寛和、越田専太郎、成長期野球選手の投球動作における肩複合体の運動の特徴、臨床スポーツ医学会誌 18(3)、2010、511-517、査読有

②宮下浩二、投球動作と障害の研究、Sportsmedicine22(9)、2010、5-23 査読無

③宮下浩二、小林寛和、越田専太郎、成長期野球選手の投球障害予防を目的とした投球動作の関節運動学的分析、臨床スポーツ医学会誌、印刷中、査読有

[学会発表] (計5件)

①宮下浩二、小林寛和、越田専太郎、成長期野球選手の投球障害予防を目的とした投球動作の関節運動学的分析、第21回日本臨床スポーツ医学会学術集会、2010.11.6~7 つくば国際会議場(つくば市)

②宮下浩二、小林寛和、越田専太郎、川野大二郎、成長期選手の投球時のlagging back現象による肩外旋運動の分析、第7回肩の運動機能研究会、2010.10.8~9 仙台国際会場(仙台市)

③宮下浩二・小林寛和・越田専太郎・川野大二郎：成長期野球選手の投球動作における下肢・体幹・上肢関節運動の特徴、第45回日本理学療法学術大会、2010.5.27~29、長良川国際会議場(岐阜市)

④宮下浩二、小林寛和、越田専太郎、成長期野球選手の投球動作における肩関節運動の特徴、第20回日本臨床スポーツ医学会学術集会、2009.11.14~15、神戸国際会議場(神戸市)

⑤宮下浩二、小林寛和、越田専太郎、川野大二郎、投球時の肩甲上腕関節と肩甲胸郭関節における運動様式の分析、第6回肩の運動機能研究会、2009.10.9~10、山形テルサ(山形市)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

宮下 浩二 (MIYASHITA KOJI)

中部大学・生命健康科学部・准教授

研究者番号：40403604