

平成 22 年 6 月 10 日現在

研究種目：若手研究 (B)
 研究期間：2008～2009
 課題番号：20700520
 研究課題名 (和文) 3次元映像解析法を用いた子どもの投動作の評価と運動発達指標の作成
 研究課題名 (英文) Creating of a developmental index of the adolescent throwing technique
 研究代表者
 神事 努 (JINJI TSUTOMU)
 独立行政法人日本スポーツ振興センター国立スポーツ科学センター・スポーツ科学研究部・
 研究員
 研究者番号：20387616

研究成果の概要 (和文)：子どもの投動作は、肘の伸展によるボール速度への貢献が大きいことが特徴として挙げられる。これは、肩関節の内旋筋群の伸張性筋収縮が十分に活用できないため、肘関節の伸展の貢献が大きくなったと考えられる。肩関節の受動的な外旋を誘発させるために、投球腕加速前に肩関節の外転位 90°、水平内外転 0°、肘関節屈曲 90° に保持することの重要性が示唆された。これら力学的、生理学的な観点から導き出された結果は、動作の巧拙および動作の発達を評価するうえで重要な指標となる。

研究成果の概要 (英文)：The contribution of the extension at the elbow joint to the ball velocity in the adolescent group was larger than it in the adult expert group. The adolescent participants didn't throw with an eccentric muscle contraction. Therefore, they couldn't accelerate the throwing arm. To keep the joint angles, abduction 90° and horizontal adduction 0° at the shoulder joint, and extension 90° at the elbow joint, before acceleration phase of the throwing arm should be recommended to provoke passively the external rotation of the shoulder. These results are the important index to evaluate not only the pitching skills but also the developments of adolescent throwing technique.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,300,000	390,000	1,690,000
2009年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
年度			
総計	1,900,000	570,000	2,470,000

研究分野：バイオメカニクス

科研費の分科・細目：健康・スポーツ科学、スポーツ科学、スポーツバイオメカニクス

キーワード：バイオメカニクス、投動作、野球、発育発達、3次元動作解析、指標

1. 研究開始当初の背景

(1) 投動作におけるパターンの発達過程

投動作の発達の研究では、動作の全体像をとらえていくつかのパターン（ステージとも呼ばれる）に分類することにより、発達を評価しようとする手法が用いられてきた（宮丸 1980、Wild 1938、Robertson 1977）。この動作パターン記述から、発達の初期段階で矢上面内に限定されていた上肢関節の動作が、肩関節の自由度（水平外転/水平内転、外旋/内旋）を有効に利用し始めることによって3次元的な動作へと拡張されていき、そこに体幹の動きと脚のステップによって体幹自身に運動量が加わることによって成人に近い動作の獲得がなされる様子をうかがうことができる（布目 1999）。しかしながら定性的な動作パターンの分析であるために、各関節の解剖学的な自由度にもとづく動作に関する記述は十分に詳細なものとはいえない。

(2) 熟練者を対象とした3次元動作解析

応募者を含め、先行研究では大学生野球投手など熟練した投手を対象として、3次元動作解析が行われてきた。それは関節角度や角速度のように運動の状態を表したキネマティクス変量や、運動を引き起こす力に着目したキネティクス変量を導出したものである。応募者は肩関節の内旋角速度、最大内旋トルクがボール速度に大きく影響していることを明らかにしている。また、体幹の回旋速度、回旋トルクもボール速度に大きく貢献していたことを報告している（島田ら 2000、Stodden et al. 2001）。つまり、身体部位の長軸回りの運動が、投動作の巧拙を決定する大きな要因になることが明らかになっている。

(3) 子どもの投動作の3次元動作解析

子どもの投動作の3次元動作解析は少数ではあるが報告されている。関根ら（1999）は小学生男子の投動作について研究しているが、肩関節の内旋/外旋の変量を算出してはいない。また、石田（2001）による研究は肩関節の内旋/外旋を変量としているものの、キネマティクス変量（関節角度・角速度）を算出ただけであり、運動を引き起こす力（関節間力、関節トルク）については明らかにされていない。

2. 研究の目的

3次元映像解析法を用い、子どもの投動作をキネマティクスだけではなく、キネティクスも算出する。そして、子どもの投球中の投球腕の加速の特徴について定量的な評価を行う。これら特徴を投動作熟練者と比較することで、巧拙および発達の評価指標を示すことを研究の目的とした。

3. 研究の方法

(1) 被験者

投動作熟練者として、プロ野球投手2名、社会人野球投手2名、大学生投手7名、高校生投手8名の合計19名が本研究に参加した。また、また、5歳2ヶ月から11歳7ヶ月の男児・女児、合計15名が本研究に参加した。これら子どもの投球動作は、宮丸ら（1980）が定義するところの、パターン6に分類される。つまり、野球の投手のワインドアップと左脚の引き上げが準備局面でみられ、投げ手と反対側の脚の投球方向へのステップがあり、体重移動をして投げる動作を獲得していた。

(2) データ収集

光学式3次元モーションキャプチャーシステム Vicon MX (Oxford Metrics Inc.) を使用し、反射マーカの3次元座標を構築した。記録には専用カメラを使用し、サンプリング周波数は500Hzに設定した。試技はすべて室内で行った。熟練者は、正規のマウンド上から18.4m先の捕手に向かって、硬式野球ボールを全力で5から8試技投球した。また、子どもの参加者については、前方に5m地点に設置した的に向かって、硬式テニスボールを全力で6から10球投球した。これら投球のうち、最もボール速度が大きかった試技を分析の対象とした。

国際バイオメカニクス学会が推奨する身体セグメント座標系と関節座標系を定義するために、身体特徴点に13カ所反射マーカを貼付した。また、ボールにも反射マーカを2点貼付した。

(3) データ処理

モーションキャプチャーシステムで求めた3次元座標から、角度、角速度、関節力、関節トルクを算出した。関節角度、関節角速度はオイラー角およびそれを微分することによって求めた。さらに、体幹および投球腕各関節の解剖学的な回転運動によって得ら

れたボール速度を3次元的に算出し(宮西ら1996)、ボール速度に対する貢献度を明らかにした。

各関節に作用する合成関節力および合成関節トルクはリンクセグメントモデルを用い、遠位末端のセグメント(ボール)から順次運動方程式を解くことにより算出した(宮西1998)。身体の慣性特性値(質量、質量中心位置、主慣性モーメント)は阿江らの方法(1996)を用いて被験者毎に推定した。これらはすべて数値解析ソフトウェアMATLABを用いて導出した。

4. 研究成果

(1) 投球腕のボール速度への貢献度からみた、子どもの投動作の特徴

ボールリリース(以下、BRL)時の、体幹および投球腕各関節の回転運動によって得られたボール速度の貢献度において、熟練者の最も貢献が大きかった運動は、肩関節内旋動作であり、 $60.2 \pm 12.9\%$ を占めていた。次いで、手関節の掌屈が 20.2% ボール速度に貢献していた。一方、子どものBRLで最も貢献が大きかったのは、肩関節内旋動作であり、 $51.4 \pm 29.1\%$ であった。また、次いで大きかった運動は肘関節の伸展であり、 $17.9 \pm 16.9\%$ ボール速度に貢献していた。この子どもの動作における肘関節伸展運動の貢献度は、熟練者の 7.0 ± 3.9 よりも有意に大きな値であった($p = 0.032$)。つまり、子どもの投動作の特徴として、肩関節内旋の貢献度が低く、肘関節伸展の貢献度が高いという結果が得られた。

(2) 投球腕加速メカニズムからみた、子どもの投動作の特徴

熟練者において、肩関節最大内旋トルクは、ボールリリースの $0.033 (\pm 0.006)$ 秒前に発現していた。肩関節最大外旋位(以下、MERとする)の発現がBRLの 0.036 ± 0.006 秒前であり、最大トルクの発現とほぼ同時であった。すべての熟練者において、肩関節の外旋運動から内旋運動への切り替え動作中に内旋トルクの発揮がみられたことから、伸張性筋収縮から短縮性筋収縮へのストレッチ・ショートニングサイクル(以下、SSC)によってボールを加速させていることが推察された。

一方、子どもの投動作では、肩関節最大内旋トルクは、BRLの 0.038 ± 0.009 秒前に発現していた。MERは、BRLの 0.057 ± 0.033 秒前に発現していた。子どもの投動作では、肩関節の内旋運動中に、内旋トルクがピークを迎えており、SSCを利用して投球腕を加速させる子どもは少なかった。

(3) 肩関節のSSCの効果的な利用からみた動作の評価指標

収縮させた筋を受動的に伸張させてから短縮させることで、筋は大きな仕事をする事が知られている。肩関節を強制的に外旋させているのは、体幹の回旋および、水平内転トルクであることが示唆されている(宮西2003)。この水平内転トルクは、上腕を前方へ加速させて肩に前方への力を発揮させる。この肩の前方力は、肩外転 90° 、肘屈曲 90° では、上肢の重心回りの外旋モーメントとなるので、この力が肩を外旋させる。つまり、肩関節の外旋は、外旋トルクによるものではなく、水平内転トルクによって、受動的に外旋されている。

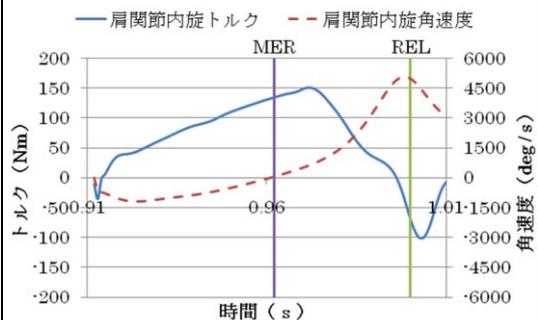


図1 熟練者の肩関節内旋トルクと内旋角速度の経時変化。外旋方向へ角速度が発現しているときから、内旋トルクの発現が認められる。つまり、最大外旋位前に、エキセントリックな筋収縮が認められる。

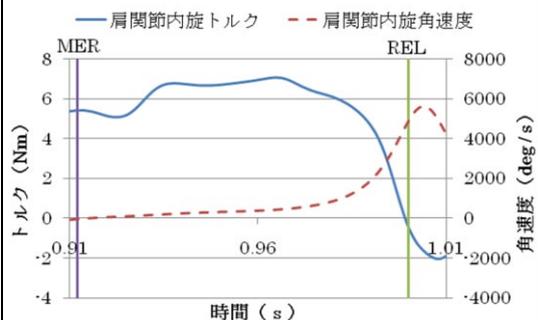


図2 子どもの肩関節内旋トルクと内旋角速度の経時変化。角速度とトルクは、共に常に内旋方向への運動が認められ、コンセントリックな筋収縮であると推測される。

この肩関節の水平内転トルクを大きくさせるためには、MER前からBRLにかけて肩関節外転位 90° に保つことが必要である。これによって、体幹の回旋軸回りの慣性モーメントを大きくし、加速局面中の体幹回旋速度の増大を抑え、水平内転筋群の発揮筋力を増大させる(力-速度関係)。

また、肘関節の屈曲位 90° にすることは、肩関節に生じる前方力による外旋モーメントを最大にする。

さらに、水平内外転位 0° にすることによって、伸張局面における肩関節のスティッフネスを高めることに繋がると考えられる。

このように、肩関節の SSC を誘発させるためには、力学的、生理学的観点から以下の肢位での投球が推奨される。

- ① MER 前から BRL にかけて肩関節の外転位を 90° に保つ
- ② MER 前に、肘関節を 90° に保持する。
- ③ MER 時に、肩関節を水平内外転 0° に保持する。

(4) 発達に伴う動作の変容の一考察

本研究に参加したのは、第二次性徴前の子どもであった。体重あたりの肩関節の内旋トルクは、子どもに比べて熟練者のほうが 3.4 倍大きかった。また、体重あたりの肩関節の水平内転トルクにおいても、熟練者のほうが 3.3 倍大きかった。このことから、子どもは、発達が未成熟なために、筋力を発揮することができないことが考えられる。

先述したように、肩関節の内旋トルク、水平内転トルクを大きくするために、推奨される肢位があることを示した。しかしながら、本研究で示された子どもの動作は、これらを逸脱する肢位で投球する子どもが多かった。特に、肘関節屈曲位と水平内外転位においては、熟練者との間に有意な差が認められた。これらは稚拙さを示す一方で、筋の出力そのものが小さいために、慣性モーメントを最大にするという方策をとらずに、その筋出力に至適な慣性モーメントで投球していた可能性も示唆される。

(5) まとめ

本研究では、子ども投動作中の投球腕の加速の特徴として、肩関節の外旋運動から内旋運動への切り替え動作中に、伸張性筋収縮から短縮性筋収縮への SSC が有効に活用できていないことが示唆された。この理由として、肩関節の受動的な外旋が引き起こされていないことが考えられた。これを誘発させるために、MER 前から BRL にかけて肩関節の外転位を 90° に保つことと、MER 前に、肘関節を 90° に保持することは、筋の出力を大きくさせるために重要である。また、MER 時に、肩関節を水平内外転 0° に保持することも、肩関節のスティッフネスを高めるためには重要である。これら力学的、生理学的な観点から導き出された結果は、動作の巧拙を評価するうえで重要な指標となる。しかしながら、筋力の発達が未熟な子どもにおいては、筋出力が小さいために、これら指標に基づいた投動作ができない可能性がある。肩関節内旋の SSC を活用するということが目的であり、これを誘発させるための推奨肢位は筋出力の大小によって逸脱する可能性があることも

考慮するべきであろう。

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 1 件)

神事努、桜井伸二、オーバーハンド投げにおけるボールリリース前後の前腕と手関節の運動に関する研究、東海保健体育科学、査読有、Vol. 30、2008、19-32

神事努、桜井伸二、投球されたボールの球質はどのような動作によって決定されるのか、バイオメカニクス研究、査読無、Vol. 12、No. 4、2008、267-277

6. 研究組織

(1) 研究代表者

神事 努 (JINJI Tsutomu)

独立行政法人日本スポーツ振興センター
国立スポーツ科学センター・スポーツ科学
研究部・研究員

研究者番号：20387616

(2) 研究協力者

桜井 伸二 (SAKURAI Shinji)

中京大学・体育学部・教授

研究者番号：20144173