

運動発達障害としての投球障害

粕山達也¹⁾

Throwing Injuries as Developmental Disorder of Motor Function

KASUYAMA Tatsuya

要 旨

投球障害はスポーツ障害の中で最も多く扱う疾患の一つであり、指導者や治療者は正しい診断と評価によって、障害を予防していく必要がある。投球障害の発症メカニズムとして、これまでのスポーツ医学研究においては身体機能やバイオメカニクスの観点から分析が行われてきた。しかし、成長期に発症する投球障害において発達運動学的側面から考察した報告は少ない。投動作の発達、10歳頃には成人と同様の投球フォームに成熟することが望ましいとされているが、未熟な発達状態での投球が障害の誘因となっていることが示唆される。本稿は発達運動学的視点から投球障害について展開する。

キーワード：傷害予防

オーバーユース症候群

成長期

縦断的研究

1) 健康科学大学健康科学部理学療法学科

投球動作の発達

投球障害と運動発達との関連を考察するうえで、投球動作の発達の概要について説明する¹⁻⁵⁾。

投球動作の発達は、1 - 2歳頃から物をつかんで放り投げるところから始まり、2 - 3歳頃に肘関節の伸展を中心とした動作となり、3歳半から5歳のあいだに肘と肩を後方に引く動作と体幹の回旋によって投げる動作となる。さらに、4 - 6歳の頃に、投げ手側の同側のステップが加わり、体重を移動しながら体幹を回旋させる。最終的に6歳半には、投げ手側と反対側の脚のステップに加えて、体重移動と体幹の回旋により投げる最終段階へと発達していく(図1)。こうした発達には男女差がみられ、男子については5歳で最終段階に入るとされているが、女子では5歳の段階でも体幹の回旋や体重移動が十分でないことが明らかになっている。総合的にみると、ワインドアップを含めた成人と同じような成熟した投球動作は8 - 9歳頃には完成していることが望ましいとされている。

投球フォームの発達の観点から分析した報告では、5 - 9歳の幼児においては練習によるフォームの改善効果が顕著に認められた報告が多いが、以降の年代においては9歳

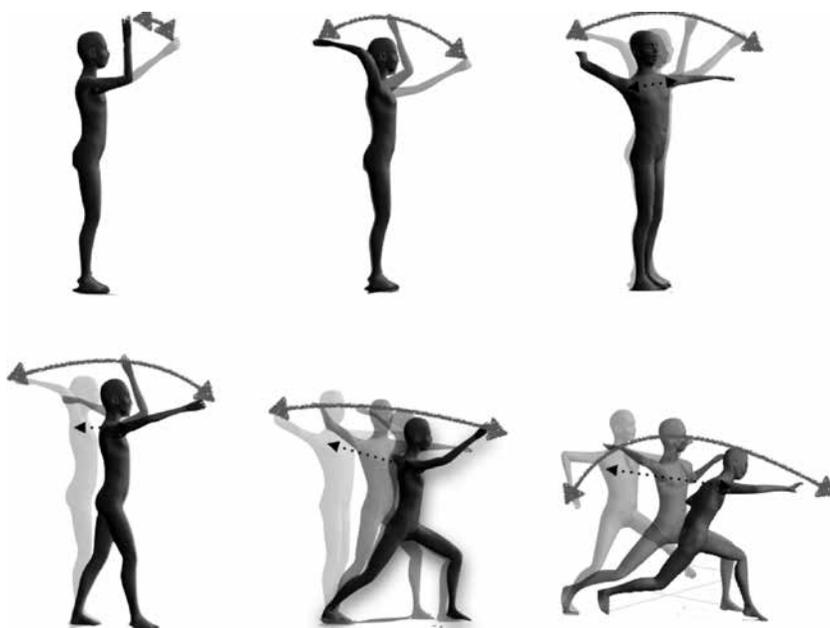


図1 投球動作の発達過程

発達1：肘関節伸展のみの動作(左上図)、発達2：肩関節の運動を伴う上肢全体の動作(中上図)、発達3：肩関節の運動に体幹の回旋を伴う動作(右上図)、発達4：投球と同側のステップ動作を伴う動作(左下図)、発達5：投球と反対側のステップを伴う動作(下中図)、発達6：テイクバックを伴う動作(右下図)。先行研究¹⁻⁵⁾を参照に作成。

頃までの変化ほど改善は認められなかったとされている⁶⁻⁹⁾。

小学校低学年（9-10歳）までに成熟した動作の獲得が必要であり、この時期までに基本的な動きを身につけないことが以後の成長期での投球障害に影響を及ぼしている可能性が示唆される。

投動作の成熟度に関する運動発達

曲線を図2に示す。肘関節中心の動作から肩関節を含めた動作となり、体幹や下肢を使った協調的な動作へと連鎖的に発達していく。発達は10歳頃までに急激な成長を示し、以後の発達においては各関節の貢献度は大きな変化を示さない。運動方略の視点から考えると、小学校低学年までは神経系の発達が活発なため、身体の各部位の動きを変化させ、さらに各関節を協調することによってパワーを生み出す戦略をとるが、小学校高学年以降は骨成長や筋力の増大によって各関節のトルクを増大することによって全体のパワーを向上させる戦略へと移行していくと考えられる。様々な報告を考慮すると、投球フォームの基本は小学校低学年までに確立することが望ましいのである。

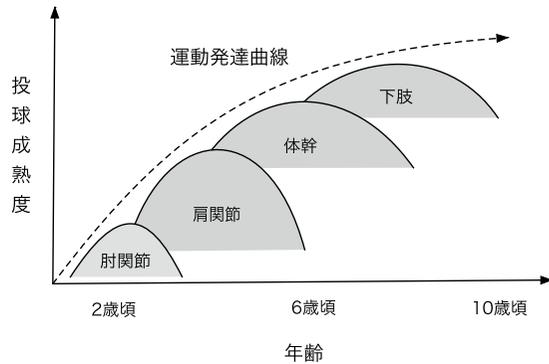


図2 投動作の運動発達曲線と各関節の貢献度

成長期の投球障害

投球障害は青少年期に多くみられるスポーツ障害の一つであり、重度の障害においてはその後の選手生命に大きな影響を及ぼす障害でもある。障害部位としては肩関節や肘関節に多く発症し、肩関節ではリトルリーグ肩、インピンジメント症候群、腱板損傷などがあり、肘関節では内側側副靭帯損傷、離断性骨軟骨炎などが成長期に多い障害として挙げられる。

障害発生件数について、年代別にみると小学生では肘関節の障害の割合が多く、中学生では肩関節、肘関節の順となり、高校では肩関節や肘関節に加えて、腰部の障害の割合が増えることが明らかになっている¹⁰⁾。運動発達曲線から考えると、運動発達の遅れが年代別の障害発生状況と関連していることがわかる。肘関節中心から肩関節の複合的な動きが不十分であると肘関節に障害が発生し、肩関節の動きと体幹の連動性が不十分だと肩関節に障害が起こる。また、体幹・下肢が十分に機能しないと肩関節や肘関節に加えて、腰部にも障害が多くなると考えられ、運動発達の過程において障害が関連することが示唆される。

投球障害の特徴的なパターンと運動発達との関連

投球障害の発生に関する特徴的なパターンとして、肘下がり、肘の突き出し、体の開きの早さ、体重移動の不足、上体の突っ込みなど様々な報告がなされている¹¹⁻¹²⁾。運動

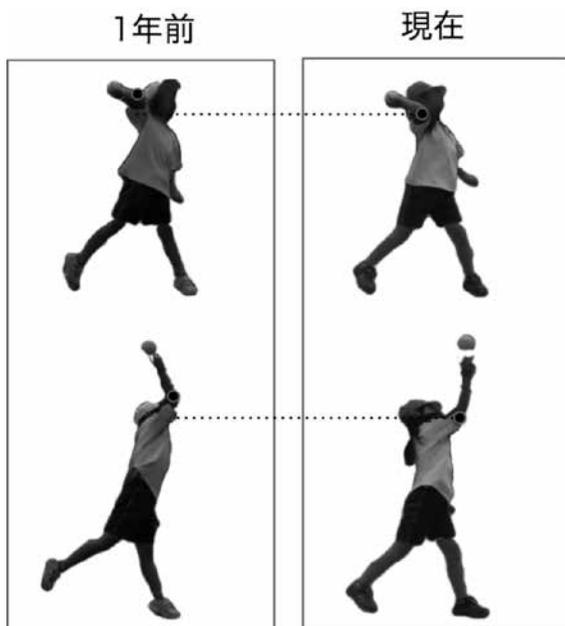


図3 投動作の発達と肘下がりに関する考察

同じ子どもの現在と1年前の比較であるが、左の1年前の画像では肘を高く上げた状態から振り下ろし肘関節の伸展を使った投動作であるが、1年後の現在画像では肘が下がり、肩関節の内旋を使った動作であることが確認される。

違いによって、肘関節の外反ストレスが変化することが報告されている¹³⁻¹⁴。肘下がり（肩外転角度の減少）は、肩関節の前方や上方への力学的負担を増大させるため、肘関節伸展から肩関節内旋への発達変化を十分に観察して、対応する必要がある。動作パターンの変化は各関節への負荷が急激に変化する時期とも考えられ、適切な指導が必要な時期となる。単純に肘を高く上げれば解決する問題ではなく、肘関節の伸展と肩関節内旋の出力バランスを考慮して身体の使い方を指導する必要がある。

また、肘の突き出しについては投動作の発達過程において肘関節の伸展を優位に使用した動作であると考えられる。成熟した投動作では、肩関節の水平外転によりテイクバックをとり、その後は胸筋を主体とした上肢全体のストレッチショートニングサイクルを利用した動きにより肩関節の水平内転と内旋の動きによって球は加速される。肘の突き出しはこうした成熟した動作が行われず、肘が投球の早い段階で前方に移行して、肘関節の伸展を出力源とするために起きる現象である。小学校低学年までにテイクバックを使った動作を獲得して対応すべき問題である。

体の開きや上体の突っ込みなどは重心移動の問題と上肢-体幹-下肢の運動連鎖の問題となる。フォロースルー時に重心が投球側と反対側に大きく移動すると体や脚の開きとなる。また、windアップで膝が最も高く上がった片脚立位の状態で上半身重心が

発達的な視点からこれらの障害パターンとの関係を考察する。

まず、肘下がりであるが、肘が下がって投動作を行うのは投球が成熟する過程の問題である。幼児期の投球では肘関節の伸展から始まり、その後肩関節の伸展を使った上肢全体の腕振りになる。こうした投球においては、肘関節は高い位置から振り下ろされ、肘が下がることはない。動作が成熟してくると、肘関節の伸展から肩関節の内旋を主な出力源として利用し始める。そのため、肘下がりという現象は、肘関節の伸展を主体とした動作から肩関節の内旋に移行する段階での現象であると考えられる（図3）。バイオメカニクス的研究において、肩関節の外転角度や体幹の傾斜角度の

前方に傾くと上体の突っ込みが起こり、逆に後方に傾くと足部接地時期での体幹や上肢の遅れにつながる。重心制御の発達に関する報告¹⁵⁾についても、幼児期から10歳頃までに急速に発達するため、立位バランスにおける発達のな影響が投球の各相に影響を及ぼしていると考えられる。

障害発生に関する報告は、肩関節や肘関節に痛みを生じている選手が特徴的なパターンを有していたという後方視的な研究が多く、特徴的な障害発生パターンが結果として障害につながったことを報告する前向き研究として明らかにしたものほとんどない。そのため、今後は投動作を前向きに調査した研究成果が待たれるところである。

骨格の成長と力学的な関係

現代の子どもの特徴として、運動機能の低下と反比例して身体骨格の成長は著しい。食生活の欧米化、栄養過多などのライフスタイルの変化によって、平均身長は増加傾向にある。8歳男子の平均身長の推移をみると、昭和32年には121 cmであったものが、昭和57年には127cmとなり、平成24年には128cmとなっている¹⁶⁾。身長増加は四肢長の増加につながるため、投動作において各関節トルクの増大につながると考えられる。

小学生の投動作を観察すると、加速期からフォロースルー期にかけて、肩関節の内旋動作を強く行くと肘関節が上方に移動する現象がみられる。この現象は成長期の骨成長の影響にて前腕骨が長くなることで、肩関節内旋の慣性モーメントが大きくなり、肩甲骨を含めた近位筋で制御できないために起こると考えられる。こうした現象は、上腕骨頭の前上方の剪断力を増加させる一因となり、インピンジメント症候群などの障害を引き起こす可能性が考えられる(図4)。

その他にも、フォロースルー期での上肢の慣性モーメントを制御するために、下肢に

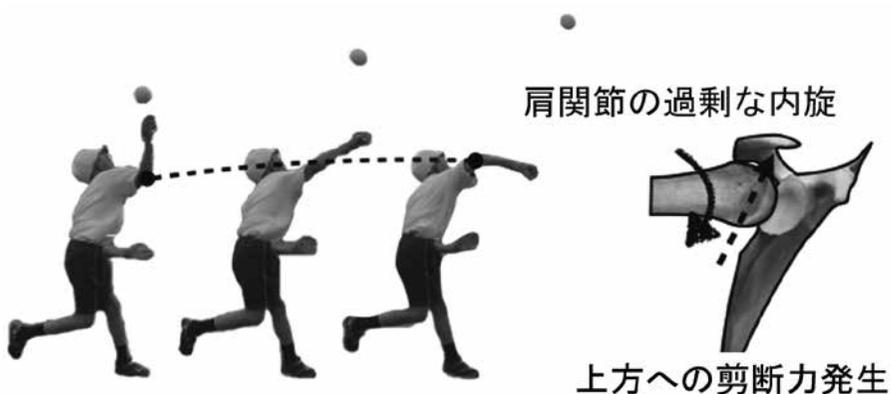


図4 ボールリリースからフォロースルー時の肘上がり現象の考察

投動作が成熟すると肩関節の内旋を中心とした動作になるが、ボールリリース時からフォロースルー時にかけて肘が上方へ移動する様子が観察される。こうした動作は肩関節の上方への剪断力を発生させ、肩関節のインピンジメント障害などの誘因となることが示唆される。

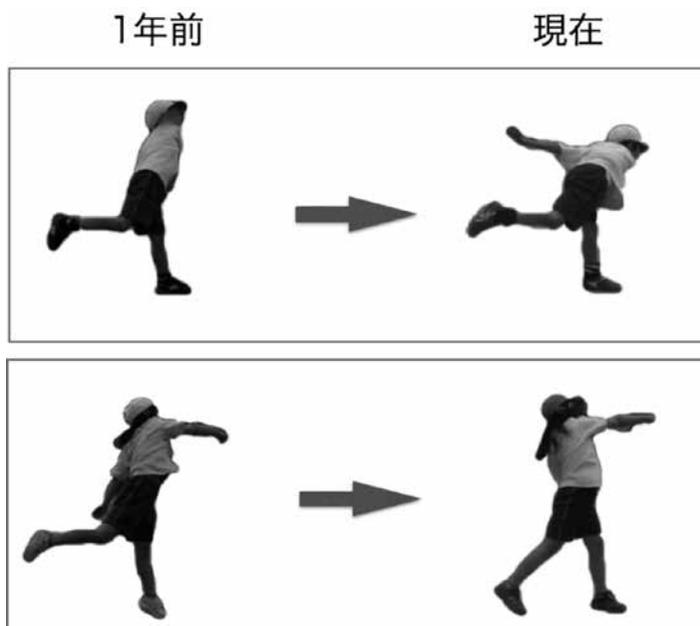


図5 発達に伴うフォロースルー時の体の使い方に関する考察
上図の子どもでは、1年間で体幹の回旋や重心移動が可能となり、フォロースルー時に重心が前方に移動していることが確認できる。一方で、下図の子どもでは1年前と比較して体幹の伸展を強めてフォロースルー時の上肢の腕振りを制御している様子が観察される。

体重をのせて制御する子どもと体幹の伸展モーメントにて制御する子どもがおり、後者では腰部の負担が増大する可能性が考えられる (図5)。

骨成長に見合った運動能力がなければ、様々な運動方略を用いて制御を行わなくてはならず、無意識に関節に過剰な負担を強いる結果となることが推測される。骨成長と動作の関係についても明らかにしていくことが必要である。

投球障害の発症要因と予防

投球障害と関連する身体的要因の報告は多く、関節可動域、関節弛緩性、肩甲骨の位置、筋力、固有受容感覚などの様々な報告がなされている¹⁷⁻¹⁹⁾。発症要因として身体的な要因に加えて、投球フォームにおけるバイオメカニクスの問題と練習量や投球数などの量的問題が存在し、多面的な視点からの評価が必要となる。

バイオメカニクスの問題に関しては、横断的・後方視的な研究が大半を占めており²⁰⁾、3次元動作分析の前向き研究は測定上の困難さからほとんど行われていないのが現状である。そのため、現在の成長期投球障害の予防に関しては、球数制限による量的問題の調整が最も有効な手段となっている。投球数の影響を調べた10年間の前向き研究では、年間100イニング以上投球を行った投手は100イニング未満の投手の3.5倍発症率が増加したことを報告している²¹⁾。また Olsen ら²²⁾の報告では、95人の肩関節または肘

関節に障害を有した選手と45人の健常選手を比較した結果、1試合80球以上の選手では障害の発症率が約4倍増加し、1年間で8ヶ月以上投球をしている選手では約5倍障害が増加したと報告している。これらの根拠をもとに、米国では2007年に全米野球健康安全促進委員会（USA Baseball Medical & Safety Advisory Committee）とアメリカスポーツ医学機構（American Sports Medicine Institute）によって球数制限に関するガイドラインが制定された。日本でも2013年に日本中学硬式野球協議会が中学生投手の球数制限に関する統一ガイドラインを制定し、2015年度より適用されることが発表された。球数制限以外に根拠のある予防法に関する報告は少なく、今後は身体機能やバイオメカニクスの観点からの前向き介入研究によって予防効果を検証していくことが必要であろう。成長期の身体機能の変化を反映する評価方法²³⁻²⁵⁾を利用して、成長期の個別性や多様性を反映した取り組みを継続して行っていく必要がある。

まとめ

投球障害について発達運動学的視点に基づき、縦断的な症例検討を交えて考察した。10歳までの神経系が著しく発達する時期に、投動作をはじめとした基本的な運動能力をいかにして高めることができるかが障害予防の観点から重要であると考えられる。投球数の負荷量を調節するだけでなく、適切な時期に適切な負荷量を多様な方法で与え、運動発達を最大限促すことが障害予防に必要な視点の一つである。幼児期の運動発達の多様性を考慮した上で、指導者や治療者は投球障害に対応していかなければいけない。

引用文献

- 1) Wild MR.: The behavior pattern of throwing and some observations concerning its course of development in children. *Res Quart.* 9 : 20-24, 1938.
- 2) 桜井伸二, 宮下充正: 子どもにみられるオーバーハンド投げの発達. *Jap J Sports Sci* 1 : 152-156, 1982.
- 3) 宮丸凱史: 投げ動作の発達. *体育の科学* 30 : 464-471, 1980.
- 4) Robertson MA. : Stability of stage categorization across trials: Implications for the stage theory of overarm throw development. *J Human Movement Studies* 3 : 49-59, 1977.
- 5) Toyoshima S, Hosikawa M, Miyashita M, et al.: Contribution of the body parts to throwing performance. *Biomechanics IV*, University Park Press, Baltimore, 164-174, 1974.
- 6) 深代千之, 稲葉勝弘, 小林規, 他: 幼児にみられる投能力の発達. *Jap J Sports Sci* 1 : 231-236, 1982.
- 7) 宮丸凱史: 幼児のボールハンドリング技能における協応性の発達(3) —投動作様式の発達とトレーニング効果—. *体育の科学* 10 : 111-124, 1982.
- 8) Dusenberry L.: A Study of the effect of training in ball throwing by children ages three to seven. *Res. Quarts.* 23 : 9-14, 1952.
- 9) 水野忠和, 角田俊幸, 辻博明, 他: 成人女子及び18歳女子の投能力. 昭和51年度日本体育協会スポーツ科学研究報告 1 : 24-28, 1976.

- 10) 川越誠, 赤岩修一, 桜井進一, 他: 当院のスポーツ外来患者における障害調査報告. 第16回よこはまスポーツ整形外科フォーラム抄録集: 15, 2008.
- 11) 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* 37: 1484-1491, 2009.
- 12) 宮下浩二: スポーツによる上肢の運動障害の予防とリハビリテーション. *日職災医誌* 60: 131-136, 2012.
- 13) Matsuo T, Matsumoto T, Mochizuki Y, et al.: Optimal shoulder abduction angles during baseball pitching from maximal wrist velocity and minimal kinetics viewpoints. *J Appl Biomech* 18: 306-320, 2002.
- 14) Matsuo T, Escamilla RF, Fleisig GS, et al.: Influence of shoulder abduction and lateral trunk tilt on peak elbow varus torque for college baseball pitcher during simulated pitching. *J Appl Biomech* 22: 93-102, 2006.
- 15) 臼井永男: 重心動揺の発達的变化. *理学療法科学* 10: 167-173, 1995.
- 16) 文部科学省: 平成24年度学校保健統計調査, 2013.
- 17) Reubild MM, Gill TJ.: Current Concepts in the Evaluation and Treatment of the Shoulder in Overhead- Throwing Athletes, Part 1: Physical Characteristics and Clinical Examination. *Sports Health* 2: 39-50, 2010.
- 18) Shanley E, Thigpen C.: Throwing injuries in the adolescent athlete. *Int J Sports Phys Ther.* 8: 630-40. 2013.
- 19) Oyama S: Baseball pitching kinematics, joint loads, and injury prevention. *Journal of Sports and Health Science* 1: 80-91, 2012.
- 20) Whiteley R.: Baseball throwing mechanics as they relate to pathology and performance -a review. *J Sports Sci Med* 6: 1-20, 2007.
- 21) Fleisig GS, Andrews JR, Cutter GR, et al.: Risk of serious injury for young baseball pitchers: a 10-year prospective study. *Am J Sports Med* 39: 253-257, 2011.
- 22) Olsen SJ, Fleisig GS, Dun S, Loftice J, et al.: Risk factors for shoulder and elbow injuries in adolescent baseball pitchers. *Am J Sports Med* 34: 905-912, 2006.
- 23) Kasuyama T, Sakamoto M, Nakazawa R.: Ankle joint dorsiflexion measurement using the deep squatting posture. *J Phys Ther Sci* 21: 195-199, 2009.
- 24) 粕山達也, 佐々木沙織, 加藤和夫: 成長期膝伸展機構障害に対するスクリーニングテストの有用性. *日本臨床スポーツ医学会誌* 21: 377-383, 2013.
- 25) 粕山達也: スポーツ傷害の予防と理学療法. *理学療法ジャーナル* 47: 295-300, 2013.

Abstract

Throwing injuries are among most common sports injuries. Therefore, coaches or healthcare professionals who treat the patients should take preventive measures based on accurate diagnosis and evaluations. As pathological mechanism, throwing injuries are analyzed through body functioning or the biomechanical view point. However, few studies reported adolescent throwing injury from the aspect of developmental kinesiology approach. It is desired to reach the mature throwing motion around 10 years of age. On the other hand, throwing motions in skeletally immature athletes are suggested as cause of injuries. This review describes throwing injury from developmental kinesiology aspects.

Key words : Developmental kinesiology

Overuse Syndrome

Growth period

Longitudinal study