

ステップ脚股関節筋力と 投球動作の関連性に関する運動学的検討

Kinematic analysis of the relationship between the stride leg strength
of the hip joint and pitching motion

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

キー・ワード：Pitching motion, three-dimensional motion analysis, stride leg strength
投球動作, 三次元動作解析, 下肢筋力

【要旨】 【緒言】ステップ脚股関節内転動作は投球動作において重要な役割があり、投球障害肩を有する選手の中には股関節機能の低下がその動作不良を引き起こしている可能性もある。そこで、本研究ではステップ脚股関節筋力と投球時のステップ脚股関節内転角速度とボールリリース時の肩関節角度の関連を検討することを目的とした。

【対象及び方法】対象者は高校生の投手12名とした。投球動作を三次元動作解析装置Mac3Dsystemで測定し、フットコンタクト以降における股関節内転角速度の最大値およびボールリリース時の肩関節水平内転角度を算出した。股関節筋力はステップ脚を前方接地した立位姿勢におけるステップ脚股関節内転動作時の筋発揮をハンドヘルドダイナモメーターによって測定し、得られた値を体重で除したものを解析に使用した。統計学的解析は股関節筋力と股関節内転角速度および肩関節水平内転角度の相関をピアソンの積率相関係数を用いて検討した。

【結果】股関節筋力と股関節内転角速度の相関係数は0.54であり、肩関節水平内転角度との相関係数は-0.59であった。

【考察】投球動作を模した姿勢におけるステップ脚股関節の筋発揮の不良はフットコンタクト以降の不十分な股関節内転運動に繋がり、その結果肩関節が求心位から逸脱した状態でボールリリースを迎える可能性が示唆された。

はじめに

投球障害肩はオーバーヘッドアスリートに発症し、投球時の疼痛などによりパフォーマンス低下を引き起こす病態の総称である。

近年、投球障害肩の病態は諸家により報告されており、比較的コンセンサスを得られている病態の中に、肩峰下インピンジメントやインターナルインピンジメント、peel-backメカニズムなどが挙げられる¹⁻⁴⁾。これらの病態は総じて、肩関節の機能低下や構造的な破綻により関節窩に対して上腕

骨頭を求心位に保持する能力が衰退することによるものであると考えられている。

投球動作中に肩関節に加わるメカニカルストレスを検証した報告は散見され、ボールリリース時の水平内転角度が増大すると肩関節の力学的負荷が増大すること⁵⁾やフォロースルー期においては肩関節後方組織の拘縮が烏口肩峰靭帯と大結節との接触圧を高めることなどが報告されており⁶⁾、ボールリリース時における肩関節求心位からの水平面上での逸脱は投球障害肩の発生リスクを高める可能性がある。また、投球動作は運動連鎖に基づく全身運動であり、下肢関節動作が骨盤や体幹および上肢関節動作に連動することが報告されている^{7,8)}。我々はフットコンタクト以降の投球動作

*1 藤田整形外科・スポーツクリニック

*2 神戸学院大学総合リハビリテーション学部

の生体力学的検討によりステップ脚股関節内転動作の重要性を報告しており⁹⁾、宮下らも下肢関節動作を効率良く連動させるにはステップ脚股関節内転角速度が重要であることを報告していることから¹⁰⁾、ステップ脚の下肢関節動作においてフットコンタクト以降の回転運動の効率を高めることは良好な投球動作獲得に寄与すると考えられる。実際に、投球障害肩のリハビリテーションにおいても下肢関節機能改善を目的としたトレーニング介入などを行うことで疼痛の改善がみられることも多く経験し、下肢関節の機能低下は投球動作中の運動連鎖に悪影響を与えてボールリリース時の上肢関節動作にも影響を及ぼすことが推察されるが、下肢関節機能と投球動作の関連を三次元動作解析によって検討した報告は少ない。

それらの関係を明らかにすることは下肢関節機能が投球動作に影響を及ぼすとした概念の根拠を示すことや投球障害肩のリハビリテーションにおける身体機能評価の着眼点を示すことに繋がると考えられる。

そこで、本研究はステップ脚股関節筋力と投球動作中の股関節動作および肩関節動作の関連を三次元動作解析により定量的に検討することを目的とした。

対象および方法

対象は高校野球選手の投手 14 名とした。除外基準は疼痛により全力投球困難な選手、疼痛により下肢筋力測定が困難な選手とした。本研究はヘルシンキ宣言及び、個人情報保護法の趣旨に則り、対象者並びに指導者及び保護者に研究の趣旨や内容、データの取り扱い方法について十分に説明し、研究への参加の同意を得た。

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) を用いて行い、赤外線カメラの取込周波数は 250Hz とした。

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、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。解析は専用の制御ソフト Cortex を用いて行い、任意に設定したセグメント間の回転をオイラー角で表した。

まず、股関節動作を測定するために、両上前腸骨棘の midpoint (Virtual Pelvis Origin : V-PO) から仙骨に貼付したマーカーの midpoint に骨盤中央点 (Mid-pelvis) を作成し、V-PO から Mid-pelvis へのベクトルを y 軸、V-PO から右上前腸骨棘マーカーへのベクトルを z 軸、それらの外積から x 軸を規定した骨盤セグメントを作成した。そして、股関節中央点から膝関節中央点へのベクトルを y 軸、股関節中央点から大腿外側に貼付したマーカーへのベクトルを z 軸、それらの外積から x 軸を規定した大腿セグメントを作成し、骨盤セグメントに対する大腿セグメントの回転を算出した。

次に、肩関節動作を測定するために、両肩峰の midpoint (Mid-trunk) から投球側肩峰へのベクトルを y 軸、Mid-trunk から投球側肩甲棘に貼付したマーカーへのベクトルを z 軸、それらの外積から x 軸を規定した上腕セグメントを作成した。そして、投球側肩峰から肘関節中央点へのベクトルを y 軸、投球側肩峰から上腕骨外側上顆に貼付したマーカーへのベクトルを z 軸、それらの外積から x 軸を規定した上腕セグメントを作成し、上腕セグメントに対する上腕セグメントの回転を算出した。

解析項目として、フットコンタクト以降のステップ脚股関節内転角度を算出し、得られた角度を時間積分することでステップ脚股関節内転角速度 (以下、股関節内転角速度) を算出して、その最大値を解析に使用した (図 1)。また、ボールリリース時の肩関節水平内転角度 (以下、肩関節水平内転角度) を算出した (図 2)。なお、ボールリリースは第 3 中手骨に貼付したマーカーの加速度が最大値を示したフレームと規定し、それぞれ運動方向の符号は股関節内転および肩関節水平内転

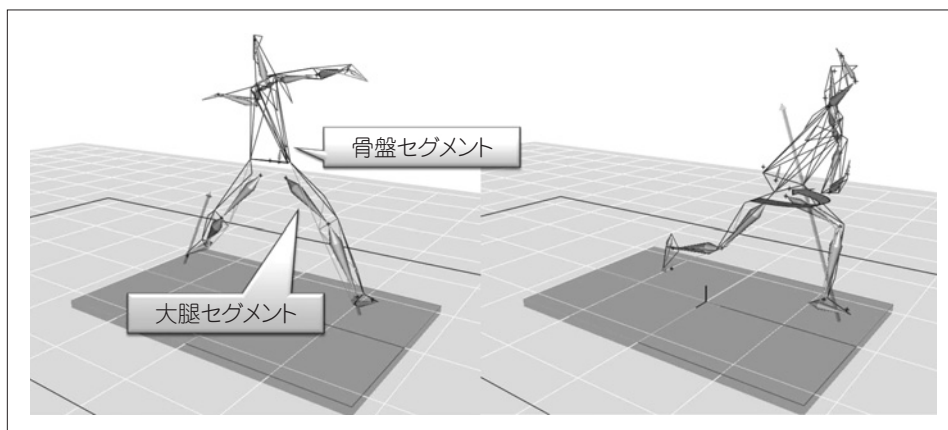


図1 股関節動作算出時の定義 (左図：フットコンタクト, 右図：ボールリリース)

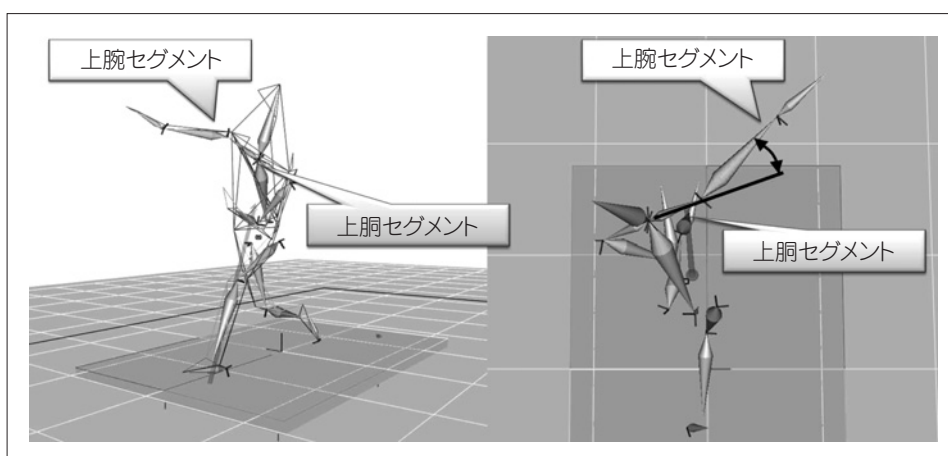


図2 肩関節動作算出時の定義 (左図：前方, 右図：上方)

を正とした。

さらに、ステップ脚股関節筋力（以下、股関節筋力）をハンドヘルドダイナモメーターによって測定した。投球動作を模した姿勢で測定することを目的として、測定肢位は検者に正対した位置からステップ足を前方に接地した立位とし、股関節・膝関節軽度屈曲位、内外転および内外旋中間位とした。そして、大腿遠位内側にセンサーを設置した Microfet を支柱に固定し、約5秒間の最大努力による等尺性運動を2回行わせ、得られた結果の最大値を体重で除した値を解析に用いた（図3）。股関節筋力の測定において、ハンドヘルドダイナモメーターの固定に非伸縮性のベルトを用いることで測定の信頼性が高まることが報告されていることから¹¹⁾、本研究でも非伸縮性のベルトを固定具として使用した。なお、軸足からステップ脚の接地位置までの距離は投球動作中のステップ幅と同様にすること、過度な体幹の側屈や骨盤の

回旋による代償動作が生じないことを指示し、全ての対象者の測定を同一検者によって行った。

統計学的解析

股関節筋力と股関節内転角速度および肩関節水平内転角度の関連を検討するべく、それぞれの相関関係をピアソンの積率相関係数により検討した。統計学的有意水準は危険率5%未満とし、全ての解析はエクセル統計2010（社会情報サービス社）を使用して行った。

結果

包含基準を満たした対象者は12名であり、平均年齢 16.5 ± 0.5 歳、平均身長 173.4 ± 3.4 cm、平均体重 69.0 ± 4.5 kgであった。なお、そのうち右投手は8名、左投手は4名であった。

股関節筋力と股関節内転角速度の相関係数は0.56であり、中等度の正の相関が認められた（図



図3 股関節筋力測定方法

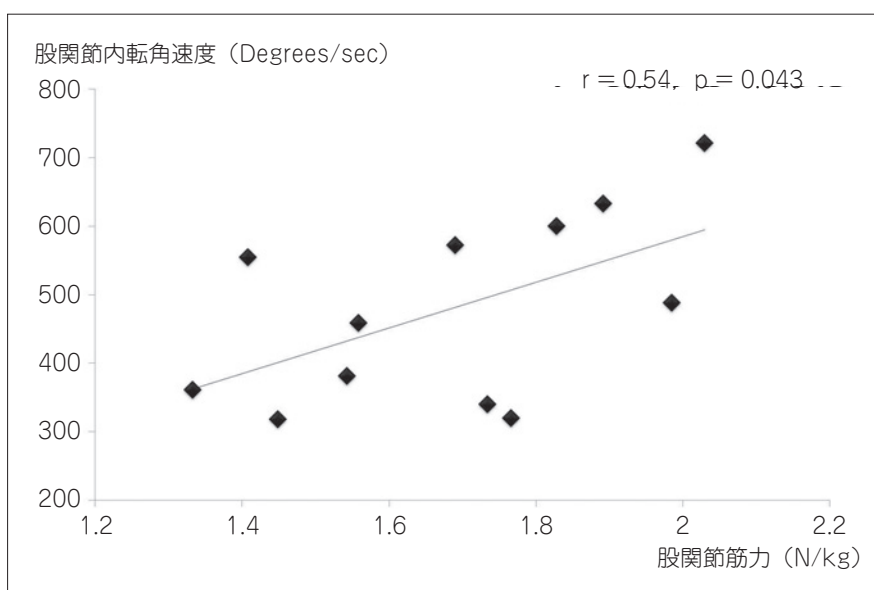


図4 股関節内転角速度と股関節筋力の相関

4, $p < 0.05$). また, 股関節筋力と肩関節水平内転角速度の相関係数はそれぞれ -0.59 であり, 中等度の負の相関が認められた (図5, $p < 0.05$).

■ 考 察

下肢関節機能と投球動作の関連について, 岩堀らは加速期における骨盤前方回旋が不良な投球動作の原因には股関節内旋・内転方向の可動域制限

と単なる動作不良の二つが挙げられ, 高校生以上の年代では可動域制限などの下肢関節の機能低下が原因となることを報告している¹²⁾. さらに, Sakata からも投球障害に關与する因子を前向きに検討した報告の中で, 股関節の柔軟性低下はリスクファクターになり得ることを報告していることから¹³⁾, 股関節機能の低下は投球障害発生に關与することが示唆されており, その背景には下肢関

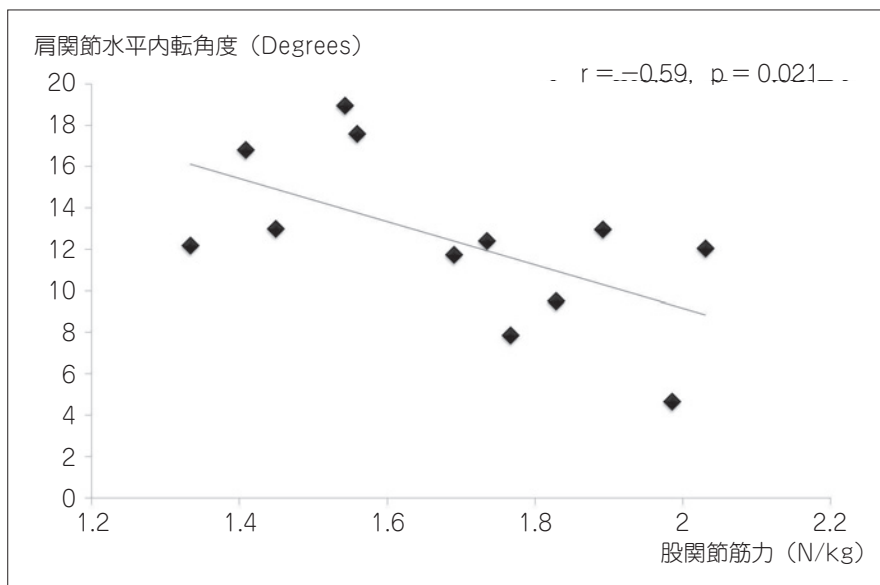


図5 肩関節水平内転角度と股関節筋力の相関

節の機能低下に伴う投球動作の乱れがあると考えられる。そこで、本研究ではステップ脚股関節の機能低下はフットコンタクト以降の股関節動作およびボールリリース時の肩関節動作の不良に繋がるという仮説の基、そのメカニズムの根拠を示すべく、投球動作を模した姿勢での股関節筋力と投球動作の関連を定量的に検討した。その結果、股関節筋力と股関節内転角速度には有意な中等度の正の相関が認められ、股関節筋力と肩関節水平内転角度には有意な中等度の負の相関が認められた。

フットコンタクト以降の投球動作はステップ脚股関節の屈曲・内転を主とした回転運動により力学的エネルギーを産出することが重要であると報告されている¹⁴⁾。さらに、蔭山らは大学野球選手を対象にその力学的仕事量と球速の関連を検討した報告の中で、ステップ脚股関節内転運動の仕事量と球速に正の相関があったと報告していることからフットコンタクト以降のステップ脚内転運動はパフォーマンスに影響を及ぼすものであると考えられる¹⁵⁾。

また、ボールリリース時の肩関節動作では関節窩に対して上腕骨頭を求心位に保持することが重要であり、運動力学的な検討からも求心位からの水平面上での逸脱はボールリリース時の肩関節に加わる力学的負荷を増大させることが報告されている⁵⁾。そのため、ボールリリース時に肩関節水平内転角度が増大することは投球障害肩発生リスク

を高めることに繋がる不良な投球動作であると考えられる。

股関節動作の不良を肩関節動作により代償している投球動作の一例を図6に示す。図6の上図の投球動作はフットコンタクト以降の股関節内転角速度が高値を示した選手の投球動作であり、股関節内転運動に伴う骨盤および体幹の回旋によって回転運動を行っているため、肩関節を求心位に保持した状態でボールリリースを迎えることが出来ている。一方で、下図に示す投球動作はフットコンタクト以降の股関節内転角速度が低値を示した選手の投球動作であり、下肢関節動作で十分な回転運動を行うことが出来なため、加速期に肩関節水平内転角度を増大させる代償動作が生じていたと推察される。よって、本研究の結果は投球動作を模した姿勢におけるステップ脚股関節の筋発揮の不良は不十分な股関節内転運動に繋がり、その結果肩関節が求心位から逸脱した状態でボールリリースを迎えるというメカニズムを定量的に示すものであると考えられた。

これまでも投球障害肩を有する選手のリハビリテーションにおいて、下肢関節機能を改善することの重要性は報告されていたが¹⁶⁾、その根拠を定量的に示した報告は少なかった。そのため、本研究の結果はボールリリース時に肩関節痛を訴える選手の投球動作を指導する際には単純な動作不良のみならず、その背景にある投球動作を模した姿勢での筋発揮の改善が重要であることを示唆する



図6 投球動作の一例（上図：良好例，下図：不良例）

結果となった。

今後は股関節内転筋力の強化などの介入を行い、その前後での投球動作の変化を検討する介入研究を行うことで、下肢関節トレーニングの意義を明確にすることが重要であると考えられる。さらに、岩堀ら¹²⁾が述べているように、若年者でも本研究の結果が適応されるか否かは明らかでないため、幅広い年代を対象とした検討を行うことで、各年代の選手が下肢関節からの運動連鎖が良好な投球動作を獲得するために単純な動作不良を修正すべきなのか、あるいはその背景にある下肢関節機能の低下を改善させるべきなのかという着眼点の違いを示すことが出来るのではないかと考えられた。

本研究の限界として、ボールリリース時の肩関節動作に影響を及ぼすとされる肩甲骨の動きや体幹の回旋動作を考慮出来ていないことである。三次元動作解析における肩甲骨の動作に関する研究は肩甲骨の可動性が大きいことやマーカーを貼付した皮膚のずれなどの影響を受けやすく、投球動作の様な高速度の動作中の動作を測定することが困難であるとされることが多い^{17,18)}。しかしながら、宮下らのように測定方法を工夫することで投球動作中における肩甲骨の動作は徐々に明らかになってきており¹⁹⁾、我々の測定方法もまだ改善の余地があると考えられる。そのため、今後はそれ

らの交絡因子も含めた検討を行うことで、ボールリリース時の肩関節動作を改善するために必要な要素が明らかになると考えられ、今後の検討課題と考えている。

結 語

投球動作を模した姿勢におけるステップ脚股関節の筋発揮の不良はフットコンタクト以降の不十分な股関節内転運動に繋がり、その結果肩関節が求心位から逸脱した状態でボールリリースを迎える可能性が示唆された。そのため、投球障害肩のリハビリテーションや投球障害予防のためのフィジカルチェックにおいて、股関節機能に着目することは重要である可能性が示唆された。

利益相反

本論文に関連し、開示すべき利益相反はなし。

謝 辞

本研究にご協力いただいた、H 高等学校硬式野球部の指導者および選手に深謝いたします。なお、本研究は平成 29 年度兵庫県理学療法士協会研究助成を受けて行った。

文 献

- 1) Burkhart SS, Morgan CD, Kibler WB. The disabled throwing shoulder spectrum of pathology Part I anatomy and biomechanics. *Arthroscopy*. 2003; 19:

- 404-420.
- 2) Meister K. Injuries to the shoulder in the throwing athlete. Part1 Am J Sports Med. 2000; 28: 265-275.
 - 3) 大泉尚美. 投球障害の病態. MB Orthop. 2007; 20: 13-18.
 - 4) 杉本勝正. 投球障害肩の病態と診断. MB Orthop. 2003; 16: 43-50.
 - 5) Tanaka H, Hayashi T, Inui H, et al. Estimation of shoulder behavior from the viewpoint of minimized shoulder joint load among adolescent baseball pitchers. Am J Sports Med. 2018; 46: 3007-3013.
 - 6) Muraki T, Yamamoto N, Zhao KD, et al. Effect of posteroinferior capsule tightness on contact pressure and area beneath the coracoacromial arch during pitching motion. Am J Sports Med. 2010; 38: 600-607.
 - 7) Milewski MD, Öunpuu S, Solomito M, et al. Adolescent baseball pitching technique: lower extremity biomechanical analysis. J Appl Biomech. 2012; 28: 491-501.
 - 8) Werner SL, Gill TJ, Murray TA, et al. Relationships between throwing mechanics and shoulder distraction in professional baseball pitchers. Am J Sports Med. 2001; 29: 354-358.
 - 9) 内田智也, 大久保史司, 古川裕之, 他. 中学野球選手のステップ脚股関節動作に関する生体力学的分析. 日本臨床スポーツ医学会誌. 2018; 26: 410-416.
 - 10) 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.
 - 11) 宮崎雄樹, 宮津真寿美, 木山喬博. ハンドヘルドダイナモメーターを用いた把持法・牽引法における股関節伸展筋力測定の絶対信頼性. 愛知県理学療法学会誌. 2016; 28: 54-60.
 - 12) 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.
 - 13) Sakata J, Nakamura E, Suzukawa M, et al. Physical risk factors for a medial elbow injury in junior baseball players: A prospective cohort study of 353 players. Am J Sports Med. 2017; 45: 135-143.
 - 14) 島田一志, 阿江通良, 藤井範久, 他. 野球のピッチング動作における体幹および下肢の役割に関するバイオメカニクス的研究. バイオメカニクス研究. 2000; 4: 47-60.
 - 15) 蔭山雅洋, 鈴木智晴, 杉山 敬, 他. 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) 内田智也, 古川裕之, 松本晋太郎, 他. 投球動作におけるステップ側下肢筋力と身体重心速度および肩関節内旋トルクの関係. スポーツ傷害. 2017; 22: 20-22.
 - 17) Ludewig PM, Phadke V, Braman JP, et al. Motion of the shoulder complex during multiplanar humeral elevation. J Bone Joint Surg Am. 2009; 91: 378-389.
 - 18) Bourne DA, Choo AM, Regan WD, et al. Three-dimensional rotation of the scapula during functional movements: an in vivo study in healthy volunteers. J Shoulder Elbow Surg. 2007; 16: 150-162.
 - 19) 宮下浩二, 小山太郎, 太田憲一郎, 他. 投球時の肩甲骨内転・外転運動に関する三次元動作解析. 日本臨床スポーツ医学会誌. 2017; 26: 397-403.

(受付：2018年11月18日，受理：2019年5月16日)

Kinematic analysis of the relationship between the stride leg strength of the hip joint and pitching motion

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

^{*1} Fujita Orthopaedic & Sports Clinic

^{*2} Department of Rehabilitation, Kobe Gakuin University

Key words: Pitching motion, three-dimensional motion analysis, stride leg strength

[Abstract] The purpose of this study was to investigate the relationship between the stride leg strength at the hip joint and the motion of the shoulder and hip joint during the pitching motion. The pitching motion was analyzed using a 3-dimensional motion analysis system. The subjects were 12 male high school baseball pitchers. The analysis parameters were the joint angular velocity of the stride leg at the hip joint in a coronal plane, and the joint angle of the shoulder joint in the transverse plane. The strength of the hip joint was measured during the adduction motion with a hand-held dynamometer. The relationship between the stride leg strength and the pitching motion were analyzed by Pearson's correlation coefficient. The hip joint strength was significantly correlated with the pitching parameters. This study indicated that incorrect hip joint strength is associated with incorrect hip motion in the acceleration phase, and incorrect position of the shoulder joint at ball release.