

投球動作における投球側股関節周囲筋の経時的な筋活動パターンについて

東 善一¹, 森原 徹^{1,2}, 松井 知之¹, 瀬尾 和弥¹,
平本 真知子¹, 来田 宣幸³, 山田 陽介⁴, 中村 康雄⁵,
北條 達也⁵, 堀井 基行^{1,2}, 久保 俊一^{1,2}

The muscle activity patterns on hip muscles of the dominant lower extremity during pitching motion – EMG analysis –

Yoshikazu Azuma¹, Toru Morihara^{1,2}, Tomoyuki Matsui¹, Kazuya Seo¹,
Machiko Hiramoto¹, Noriyuki Kida³, Yosuke Yamada⁴, Yasuo Nakamura⁵,
Tatsuya Hojo⁵, Motoyuki Horii^{1,2}, Toshikazu Kubo^{1,2}

The evaluation of lower extremity function is important for throwing disorders. Particularly, the instability of the dominant lower extremity during initial phase of pitching motion leads to disorders of the shoulder and elbow. The lower extremity function has been reported in each phase. However, the muscle activation patterns around hip are not clear yet. The purpose of this study was to investigate the muscle activities around the dominant hip during pitching motion.

Three healthy baseball pitchers (17.7 ± 1.2 years) were enrolled in this study. Pitching motion was captured by three-dimensional motion analysis system (VICON MX) synchronized with surface electromyography (EMG). The muscle activities of tensor fasciae latae (TFL), gluteus medius (GM), adductor longus (AL), and rectus femoris (RF) were recorded by surface EMG. Kinematic and EMG data of each muscle from foot off of the non-dominant lower extremity to ball release were analyzed. Time dependent muscle activation pattern of each muscle and the timing of peak muscle activity were calculated.

As a result, TFL and GM were activated before non-dominant foot contact (FC). The timing of peak TFL and GM activities was before maximum knee elevation of non-dominant lower extremity in wind-up phase. AL and RF were activated from about FC to about maximum external rotation of the dominant shoulder. The timing of peak AL and RF activities was immediately after FC. This study suggested that TFL and GM could stabilize the pelvis in horizontal position to the ground. AL could put a brake on moving body to the catcher excessively and help the pelvis rotating in the direction of throwing.

[Keywords] pitching motion, hip joint, muscle activation pattern, electromyography

投球障害は下肢関節機能低下によって引き起こされることも多く、下肢関節機能の評価は重要である。特に投球動作初期において投球側下肢が不安定になると、肩関節や肘関節に過剰な負荷を生じると報告されている。これまで、投球動作を位相に区分し、下肢関節機能が検討されているが、経時的な筋活動パターンは不明である。そこで本研究では、投球動作中における投球側股関節周囲筋の筋活動パターンについて検討した。

対象は投手3名(年齢 17.7 ± 1.2 歳)とし、投球動作を筋電図、三次元動作解析装置で計測した。そして、投球開始からボールリリースまでの投球側大腿筋張筋、中殿筋、長内転筋、大腿直筋の筋活動パターンを検討した。

- 1 京都府立医科大学附属病院リハビリテーション部
(Rehabilitation Unit, University hospital, Kyoto Prefectural University of Medicine)
- 2 京都府立医科大学大学院運動器機能再生外科学(整形外科)
(Department of Orthopedics, Graduate School of Medical Science, Kyoto Prefectural University of Medicine)
- 3 京都工芸繊維大学大学院工学科学研究科応用生物学部門
(Graduate School of Science and Technology, Kyoto Institute of Technology)
- 4 日本学術振興会特別研究員 (Japan Society for the Promotion of Science)
- 5 同志社大学スポーツ健康科学部 (Faculty of Health and Sports Science, Doshisha University)

結果として、大腿筋膜張筋と中殿筋の筋活動は投球開始から増加し、非投球側膝関節が最大挙上する前にピークを示し、非投球側下肢が接地する前に減少した。長内転筋と大腿直筋の筋活動は非投球側下肢が接地する前から増加し、非投球側下肢が接地した直後にピークを示したのち、減少した。

大腿筋膜張筋と中殿筋は骨盤を水平に保つために働き、長内転筋は過剰な並進運動の制動と、骨盤の回旋に働くと考えられる。

【キーワード】投球動作、股関節、筋活動パターン、筋電図

I. はじめに

投球動作は下肢・体幹・上肢を含めた全身運動である(近ほか, 2005; 三原ほか, 2008)。特に下肢では、投球動作中に非投球側下肢の挙上や、片脚立位での並進運動(瀬尾ほか, 2013)、フットコンタクト後における非投球側股関節の回旋(宮下ほか, 1998, 1999)などに関わっている。下肢関節機能低下によって投球障害が引き起こされることも多く、リハビリテーションを行う上で下肢の関節機能を評価することは重要である。特に wind-up 相から early-cocking 相において投球側下肢が不安定になると、肩関節や肘関節に過剰な負荷を生じると報告されている(松岡ほか, 1994)。そのため、身体を支持する投球側下肢機能は重要である。

これまでの報告では、投球動作を位相に区分し、下肢関節機能が検討されている。Yamanouchi (1998) は、フットコンタクト前後における下肢筋の筋電図積分値から、股関節外転と内転筋の筋活動が重要であることを報告している。また、古旗ほか (2011) は投球動作を4つの相に分け、各相における下肢筋の筋電図積分値を測定している。しかし、投球動作中の、経時的な下肢筋活動パターンについては明らかではない。そこで本研究では、投球側下肢の股関節周囲筋における経時的な筋活動パターンを検討した。

II. 対象および方法

1. 対象

対象は疼痛なく投球可能な高校生投手2名、大学に進学したばかりの大学生投手1名(年齢 17.7 ± 1.2 歳、身長 181.0 ± 3.5 cm、体重 72.3 ± 3.2 kg、右投げ1名、左投げ2名)である。高校生は地方大会ベスト4以上、大学生は1部リーグのチームに所属しており、3名の投球フォームはスリークォーターである。

2. 投球動作位相の設定

38個の赤外線反射マーカーをVicon標準ソフトである Plug-In-Gait モデルに従って対象に貼付した(宮崎ほか, 2011)。対象には十分なウォーミングアップ

をさせた後、床反力計(Kistler社製, 9281B1)と赤外線カメラによる三次元動作解析装置下(VMS社製, Vicon MX)でストレートを全力投球させた。そして、球速が最も速かった1球を解析対象とした。

測定したデータから、投球動作中の非投球側下肢が床から離れるとき(以下 Start)、非投球側膝関節が最大挙上するとき(non-dominant knee elevation: 以下 NKE)、非投球側下肢の足部が床に接するとき(foot contact: 以下 FC)、投球側下肢の足部が床から離れるとき(foot off: 以下 FO)、投球側肩関節が最大外旋するとき(maximum external rotation: 以下 MER)、投球側手部が床と垂直になるとき(ball release: 以下 BR)を同定した。そして、Start から NKE を wind-up 相(以下 WU)、NKE から FC を early-cocking 相(以下 EC)、FC から MER を late-cocking 相(以下 LC)、MER から BR を acceleration 相(以下 AC)と定義した(Jobe et al., 1988; Fleisig et al., 1999)。

3. 投球側下肢の筋活動評価

表面筋電計(Noraxon社製, Telemetry System2400)を、三次元動作解析装置、床反力計と同期させ、投球側下肢の筋活動を評価した。サンプリング周波数は1500Hzとした。測定筋は投球側下肢の大腿筋膜張筋、中殿筋、長内転筋、大腿直筋とした。銀・塩化銀型ディスプレイ電極(Ambu社製, Blue Sensor M)を、十分な皮膚処理後に、下野(2004)の表面筋電図マニュアルに従って貼付した。電極間隔は20mm、筋電図導出方法は双極導出法とし、筋電図周波数帯域10~1000Hzとした(木田ほか, 2009; 永井ほか, 2010)。全力投球前に各筋の最大随意収縮(Maximal Voluntary Contraction: 以下 MVC)を、ダニエルスらの徒手筋力検査法における normal レベルの測定肢位(Hislop・Montgomery, 2003)で抵抗を加え5秒間測定した。

筋電図波形の解析には、解析ソフト(Noraxon社製, Myoresearch XP 1.06,54)を用いた。得られた各筋の筋電図波形を整流化とスムージング(Root Means Square: 50msec ウィンドウ)の処理を行ったのち、MVCの値を100%として、投球動作中のWU, EC, LC, ACにおける筋電図積分値(以下% MVC)を平

均±標準偏差で求めた。各筋の筋電図波形を Start から BR までの時間で標準化し、Start を 0%，BR を 100%とした（以下 Normalized time）（MacWilliams et al.,1998）。そして、NKE、FC、FO、MER の時点を平均±標準偏差で算出した。Normalized time で表される各筋の筋電図波形を平均±標準偏差で求め、筋活動パターンを検討した。

4. 説明と同意

本研究は京都府立医科大学医学倫理委員会の承認を得た。対象者に対し、本研究の趣旨を十分に説明し、全例同意を得た。

Ⅲ. 結果

各相における大腿筋膜張筋、中殿筋、長内転筋、大腿直筋の筋電図積分値を示す（図 1）。WU における% MVC はそれぞれ、 $45.3 \pm 46.8\%$ 、 $89.6 \pm 35.0\%$ 、 $3.8 \pm 2.1\%$ 、 $8.3 \pm 5.1\%$ であった。EC における% MVC はそれぞれ、 $27.8 \pm 11.4\%$ 、 $84.0 \pm 34.9\%$ 、 $11.5 \pm 2.0\%$ 、 $13.0 \pm 6.3\%$ であった。LC における% MVC はそれぞれ、 $18.4 \pm 11.6\%$ 、 $71.4 \pm 39.4\%$ 、 $72.7 \pm 23.4\%$ 、 $39.8 \pm 26.0\%$ であった。AC における% MVC はそれぞれ、 $40.4 \pm 34.0\%$ 、 $87.2 \pm 24.0\%$ 、 $39.4 \pm 7.9\%$ 、 $9.5 \pm 6.3\%$ であった。

Normalized time における NKE は平均 $30.4 \pm 6.2\%$ 、FC は平均 $88.1 \pm 3.3\%$ 、FO は平均 $96.9 \pm 1.7\%$ 、MER は平均 $97.5 \pm 1.1\%$ の時点であった。大腿筋膜張筋と中殿筋の筋活動は Start から増加し、Normalized time における 22%の時点（Start から NKE の間：図 2 ▽で示した箇所）でピークを示し、FC 前に減少した（図 2）。そして、FO 以降に筋活動は再度、増加した。長内転筋と大腿直筋の筋活動は FC 前から増加し、Normalized time における 89%の

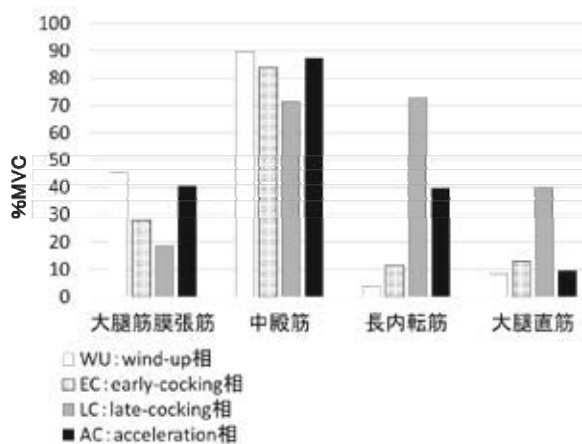


図 1 各位相における投球側股関節周囲筋の% MVC

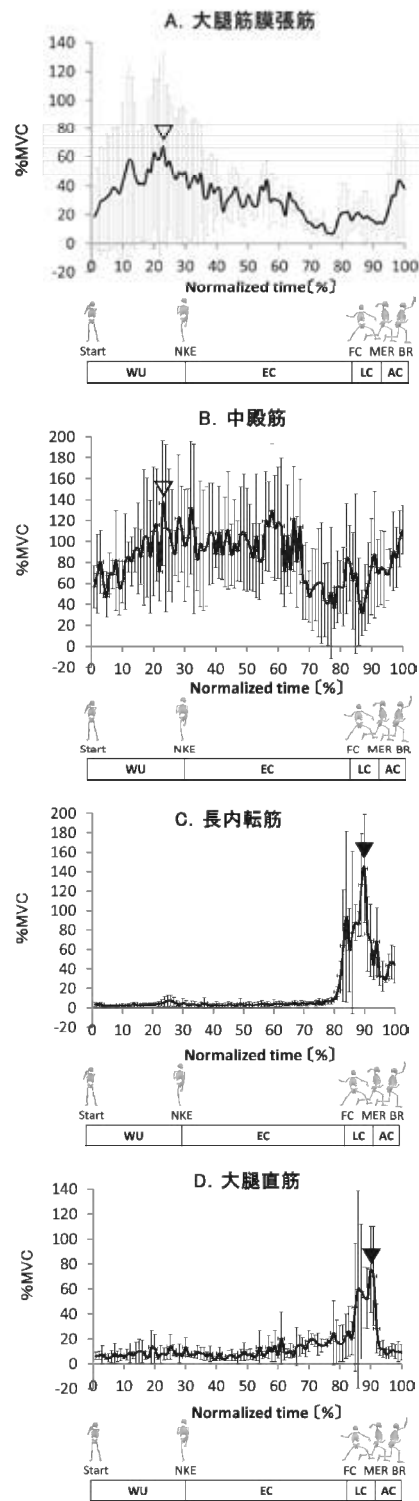


図 2 投球側下肢における筋活動パターン

A. 大腿筋膜張筋 B. 中殿筋 C. 長内転筋 D. 大腿直筋
 NKE：non-dominant knee elevation（非投球側膝最大挙上）
 FC：foot contact（非投球側下肢接地）
 MER：maximum external rotation（投球側肩関節最大外旋）
 BR：ball release
 WU：wind-up 相
 EC：early-cocking 相
 LC：late-cocking 相
 AC：acceleration 相
 ▽：大腿筋膜張筋と中殿筋の筋活動におけるピーク出現時期
 ▼：内転筋と大腿直筋の筋活動におけるピーク出現時期
 実線は平均，エラーバーは標準偏差を示す。

時点 (FC 直後: 図 2 ▼で示した箇所) でピークを示したのち, 減少した。

IV. 考察

大腿筋膜張筋と中殿筋の筋活動は Start から増加し, NKE 前にピークを示した。Start から NKE 間では, 非投球側下肢を挙上するため, 投球側下肢のみで身体を支持している。これまで, 片脚立位では大腿筋膜張筋と中殿筋の筋活動は増加することが報告されている (池添ほか, 1998; 西守ほか, 2004; 佐久間ほか, 2009)。また Kapandji (1986) は片脚立位時に骨盤を水平に維持するために中殿筋の収縮が必要であり, 大腿筋膜張筋は中殿筋筋力を補助していると報告している。これらから, 大腿筋膜張筋と中殿筋の最も重要な作用は骨盤安定化であると考えられる。

NKE 前にピークを示した大腿筋膜張筋と中殿筋の筋活動は FC 前に減少した。このことから, 大腿筋膜張筋と中殿筋は NKE から FC 間で並進運動の推進に作用したのではなく, 骨盤安定化に作用したと推察される。一方, 長内転筋と大腿直筋の筋活動は FC 前から増加した。このことから, 長内転筋は並進運動時の投球側股関節外転を制動し, 骨盤の過剰な投球方向への偏位防止に作用したと考えられる。大腿直筋は二関節筋であり, 股関節屈曲と膝関節伸展の作用を有する。FC 前の投球側股関節は外転・外旋から伸展・内転・内旋し, 膝関節は伸展するため, 大腿直筋は股関節伸展の制動と膝関節伸展に作用したと思われる。瀬尾ほか (2013) は EC 前半で生じていた投球側股関節外転モーメントは, EC 後半に内転モーメントへ切り替わり, FC 前に内転モーメントの最大値を呈したと報告している。投球側股関節外転モーメントは大腿筋膜張筋と中殿筋の筋活動と, 内転モーメントは長内転筋の筋活動と概ね一致していた。

増加した長内転筋と, 大腿直筋の筋活動は FC 直後にピークを示した。島田ほか (2000) は FC から BR において投球側股関節内転筋は求心性に収縮し, 投球側下肢と骨盤を非投球側へ回旋させる働きがあったと報告している。このことから, 長内転筋では, 投球側下肢と骨盤の回旋作用が最も重要であると考えられる。一方, 島田ほか (2000) は非投球側下肢では, 股関節伸展筋は遠心性に収縮し, 内転筋は求心性に収縮し, その働きは膝関節や足関節周囲筋より, 著しく大きいと報告している。よって, 今回, 非投球側下肢は検討していないが, FC から BR では両股関節内転筋による骨盤回旋作用が重要と思われる。

FO 以降では大腿筋膜張筋と中殿筋の筋活動が再度増加した。投球側下肢は地面から離れ, 股関節は外転するため, 股関節外転筋である大腿筋膜張筋と中殿筋

が作用したと考えられる。

本研究から, 投球側大腿筋膜張筋と中殿筋は片脚立位時の骨盤安定化に, 長内転筋は過剰な並進運動の制動と, 骨盤回旋に作用すると考えられる。しかし, 本研究では股関節周囲における 4 筋のみの評価であり, 特に股関節伸展の制動には大腿直筋以外の股関節屈筋の関与が考えられる。また, 競技レベル, 投球フォームによる筋活動の差異は不明であり, 今後, さらなる研究が必要と思われる。

V. まとめ

1. 投球側下肢の股関節周囲筋における経時的な筋活動パターンを明らかにするために, 投球動作を筋電図, 三次元動作解析装置を用いて測定した。
2. 大腿筋膜張筋と中殿筋の筋活動は Start から増加し, NKE 前にピークを示した。長内転筋と大腿直筋の筋活動は FC 前から増加し, FC 直後にピークを示した。
3. 大腿筋膜張筋と中殿筋は骨盤安定化に, 長内転筋は過剰な並進運動の制動と, 骨盤の回旋に作用すると考えられる。

参考文献

- Fleisig G.S., Barrentine S.W., Zheng N., Escamilla R.F., Andrews J.R.: Kinematic and kinetic comparison of baseball pitching among various levels of development, *Journal of biomechanics*, 32, 1371-1375, 1999.
- Hislop H.J., Montgomery J.: 新・徒手筋力検査法. 第7版, 協同医学出版社, 東京, 2003.
- 古旗了伍, 松本秀男, 赤尾 健, 桐山善守, 戸山芳昭, 名倉武雄: 投球動作時における下肢筋の筋活動 (筋電図解析), *臨床バイオメカニクス*, 32, 509-514, 2011.
- 池添冬芽, 市橋則明, 羽崎 完, 浅川康吉, 森永敏博, 濱弘道, 白井由美: 片脚立位時における股関節周囲筋の筋活動について, *運動療法と物理療法*, 9 (1), 24-28, 1998.
- Kapandji I. A.: カパンディ関節の生理学. 第5版, 医歯薬出版株式会社, 東京, 1986.
- 木田圭重, 森原 徹, 佐々木健太郎, 小椋明子, 久保俊一, 堀井基行, 黒川正夫: 腱板修復後の低負荷な肩関節外転作用における代償運動の定量化—表面筋電図を用いて—, *肩関節*, 33 (3), 631-635, 2009.
- 近 良明, 塩崎浩之, 山本智章, 西野勝敏, 田中正栄, 古賀良生, 飯田 晋, 五百川威, 相田将宏, 瀬川博之: 投球動作解析, *臨床スポーツ医学* 22, 1343-1351, 2005
- Jobe F.W., Bradley J.P.: Rotator cuff injuries in baseball. *Prevention and rehabilitation, Sports medicine*, 6, 378-387, 1988.
- MacWilliams B.A., Choi T., Mark K., Perezous M.K., Chao E.Y.S., McFarland E.G.: Characteristic ground-reaction

- forces in baseball pitching, American Orthopaedic Society for Sports Medicine, 26(1), 66-71, 1998.
- 松岡俊哉, 立花 孝, 西川仁史, 野島 晃, 久宗淳三, 西原克治, 増田桂太, 信原克哉: 投球動作における cooking phase から acceleration phase への移行期について, 臨床スポーツ医学, 11 (5), 601-606, 1994.
- 三原研一: バイオメカニクスと投球フォーム, 関節外科 27, 32-42, 2008
- 宮下浩二, 小林寛和, 横江清司: 投球動作における股関節の運動に関する一考察. Journal of Athletic Rehabilitation(1), 53-56, 1998.
- 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(2), 65-72, 1999.
- 宮崎茂明, 石田康行, 鳥取部光司, 河原勝博, 帖佐悦男: 投球動作における身体運動と肩甲帯周囲の筋活動特性—正常肩および投球障害肩での検討—, 臨床バイオメカニクス, 32, 167-172, 2011.
- 永井宏達, 建内宏重, 井上拓也, 太田 恵, 森 由隆, 市橋則明, 坪山直生: 腰椎の過度な前弯が下肢運動時の体幹筋の筋活動開始時期に及ぼす影響, 運動・物理療法, 21 (4), 355-363, 2010.
- 西守 隆, 大工谷新一, 廣瀬浩昭, 谷埜予士次, 高崎恭輔, 鈴木俊明: 片脚立位時における骨盤運動と下肢筋活動について—支持脚足部外側ウェッジの有無と非支持脚股関節屈曲角度変化による検討—, 総合リハビリテーション, 32 (10), 981-986, 2004.
- 佐久間香, 池添冬芽, 小栢進也, 塚越累, 福元喜啓, 森 由隆, 市橋則明: 片脚立位保持における立脚側股関節内外旋が下肢筋の筋活動に及ぼす影響, 理学療法京都, 38, 55-59, 2009.
- 瀬尾和弥, 森原 徹, 松井知之, 東 善一, 平本真知子, 木田圭重, 山田陽介, 中村康雄, 北條達也, 堀井基行, 久保俊一: 高校生野球投手における投球側下肢に着目した投球動作解析, 臨床スポーツ医学, 21 (3), 618-622, 2013.
- 島田一志, 阿江通良, 藤井範久, 結城匡啓, 川村 卓: 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の研究, バイオメカニクス研究 4(1), 47-60, 2000.
- 下野俊哉: 表面筋電図マニュアル, 酒井医療株式会社, 2004
- Yamanouchi T.: EMG analysis of the lower extremities during pitching in high-school baseball, Kurume Medical Journal, 45(1), 21-5, 1998.