

投球動作における軸脚の股関節周囲筋の筋電図学的分析

長谷川 伸*

An electromyographic analysis of hip muscles in pitching

Shin HASEGAWA*

Abstract

The purpose of this study was to investigate the muscle activation levels of the hip muscles during pitching motion as ball speed was increased. Six college baseball pitchers were participated in this study. Surface electromyography data were recorded in pivot leg from 6 muscles : adductor longus (AL), gracilis (GR), adductor magnus (AM), rectus femoris (RF) , biceps femoris (BF) and gluteus medius (GM). The pitching motion was divided into 5 distinct phases: wind-up, early cocking, late cocking, acceleration, follow-through. The results demonstrated that high level muscle activity (greater than 40% maximal voluntary contraction) was found in GM during early cocking phase, and in AL, GR, AM and BF during late cocking phase, and in AL, GR and BF during acceleration phase. Then, the activity level of the hip muscles in the slow ball pitching and fast ball pitching was compared. Significantly higher muscle activity was showed in fast ball pitching in AL, GM, and BF during early cocking phase, in BF and AL during late cocking phase, and in AL, GM, and RF during acceleration phase. The findings from this study indicate that high muscle activity have been shown in the abductor of the hip joint during early cocking phase that produce translational movement, and high muscle activity have been shown in the adductor and extensor of the hip joint during late cocking phase and acceleration phase that produce rotational movement.

KEY WORDS : baseball, pitching ,electromyogram, hip muscles, adductor

1. 緒言

野球の投球動作に関する筋電図学的研究は、障害予防という観点から上肢を対象とした報告が数多くなされている¹⁻³⁾。一方で、野球投手の下肢における障害発生は上肢と比較して少ないため関心の対象となりにくく、下肢を対象とした報告はわずかしみられない⁴⁻⁷⁾。

投球動作はワインドアップ期（投球動作の開始からステップ脚が最高点に達するまで）、早期コッキング

期（ステップ脚の膝が最高点に達してからステップ脚が接地するまで）、後期コッキング期（ステップ脚が接地してから肩関節が最大外旋するまで）、加速期（肩関節の最大外旋からボールリリースまで）、フォロースルー期（ボールリリースから腕を振り切るまで）に区分され、近年では筋電図学的研究もこの5局面に分けて行われることが多い。下肢の筋活動については、Chapmanら（2010）が軸脚では早期コッキング期から加速期の大殿筋、内側広筋、大腿二頭筋、腓腹筋、ステップ脚では早期コッキング期からフォロースルー

*九州共立大学スポーツ学部

*Kyushu Kyoritsu University, Faculty of Sports Science

期の大殿筋、大腿直筋、内側広筋、大腿二頭筋、腓腹筋に中～高水準の筋活動が見られることを報告している⁴⁾。また、Oliverら（2010）は軸脚の大殿筋には早期コッキング期と後期コッキング期において100% MVC以上の高い筋活動が見られることや、大殿筋の筋活動の大きさが肩関節最大外旋時の骨盤回旋角度との間に正の相関を示すことを報告している⁵⁾。このように、これまでの下肢の筋電図学的研究における対象筋は下肢3関節の伸筋や屈筋が中心となっている。

一方、島田ら（2000）は力学的な観点から、軸脚は後期コッキング期から加速期において股関節の内転トルクにより下胴を回旋させ、体幹の捻りを生み出す働きをしていることを報告し⁸⁾、並進速度後の骨盤の回転運動には股関節の内転筋が大きく関与していることを示唆している。しかし、これまでの投球動作における股関節内転筋の筋活動に関する研究では、Yamanouch（1998）によるステップ脚が接地する前後2秒間において内転筋（筋名は不明）の筋活動が高かったとする報告や、古旗ら（2011）による加速期に両脚の大内転筋に高い筋活動が示されたとする報告が見られるのみである^{6,7)}。

股関節内転筋は長内転筋、短内転筋、大内転筋、恥骨筋、薄筋、小内転筋の6筋で構成され、いずれも股関節の内転作用を持つとともに、大内転筋は伸展作用、恥骨筋、長内転筋、短内転筋、薄筋、小内転筋は屈曲作用も併せ持つ⁹⁻¹¹⁾。股関節内転筋の多くは深層部に位置するため、他の筋に覆われていない領域を持つのは、薄筋、長内転筋、大内転筋、恥骨筋に限定される⁹⁾。その他の筋では表面筋電図による筋活動の記録が難しいため、投球動作中の筋活動については大内転筋に関する報告がみられるのみである⁷⁾。そこで本研究では、投球動作の各局面において、表面筋電図による記録が可能な長内転筋、薄筋、大内転筋の3つの内転筋を含めた股関節周囲筋の筋活動を記録し、高速投球と低速投球時の筋活動を比較することにより高速での投球を行う際の股関節周囲筋の筋活動の特徴を明らかにすることを目的とした。

2. 方法

1) 対象

被験者は男子大学生野球投手6名（年齢 20.0 ± 0.6 歳、身長 176.3 ± 8.8 cm、体重 74.5 ± 6.8 kg、競技歴 11.8 ± 2.9 年）であった。いずれも疼痛がなく、全力での投球が可能な者（全員が右投げ、オーバースロー）とし

た。被験者には事前に本実験の内容と危険性についての説明を行い、研究参加の同意を得た。

2) 筋電図記録

筋電図の記録には、テレメトリー型筋電計（MQ-8, キッセイコムテック社製）を用い、サンプリング周波数は1000Hz、帯域周波数は20Hz～500Hzとし、双極導出法にて記録を行った。

筋電図記録の対象は投球時における軸脚（右投手の場合の右脚）の長内転筋、薄筋、大内転筋、中殿筋、大腿二頭筋、大腿直筋の6筋とした。電極の貼付部位はPerotto（2000）¹²⁾の方法に基づき、長内転筋では恥骨結節から起こる筋腱から4横指遠位部、薄筋では恥骨結節と大腿骨内側上顆を結んだ中点、大内転筋では恥骨結節と大腿骨内側上顆を結んだ中間部位、中殿筋では腸骨稜の midpoint より2.5cm遠位部、大腿二頭筋では腓骨頭と坐骨結節を結んだ線分の midpoint、大腿直筋では大腿前面で膝蓋骨上縁と上前腸骨棘を結んだ中間点とした。また、長内転筋、薄筋、大内転筋については触診に加えて、超音波診断装置（prosound6, Aloka社製）を使用して筋の位置および、電極貼付部位の確認を行った（図1）。電極はディスプレイ電極を使用し、アルコールおよび皮膚処理剤を用いて十分に皮膚を前処理した後、導出電極を電極間の距離を2cmとして貼付した。また、接地電極は上前腸骨棘上に貼付した。

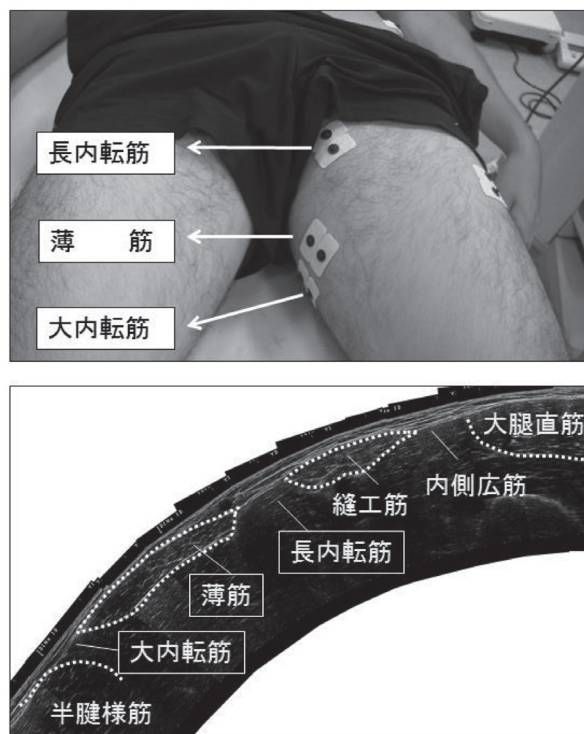


図1 股関節内転筋の電極貼付部位

3) プロトコール

被験者にはウォーミングアップ、ストレッチング、キャッチボールを十分に行わせた後、電極の貼付と電極リード線、筋電計の装着を行った。その後、各筋の最大随意収縮 (maximal voluntary contraction :MVC) 時の筋活動を以下の条件で5秒間記録した。長内転筋、薄筋、大内転筋では仰臥位にて、両膝間にメディシンボールを挟み、最大努力による等尺性に股関節内転筋力を発揮させた。中殿筋では横臥位にて最大努力での股関節外転を行わせた。大腿直筋では座位にて股関節、膝関節90度屈曲位で最大努力による膝関節伸展を行わせた。大腿二頭筋では腹臥位にて、股関節伸展、膝関節90度屈曲位における最大努力での膝関節屈曲を行わせた。

投球動作における筋活動の記録は実験室内で行い、被験者には8m先のネットに設けられた0.3m×0.3m四方のターゲットをめがけて投球を行わせ、ターゲット内に投球できたものを成功試行とした。被験者には初めに全力投球 (以下、高速投球) を5球行わせ、その後、高速投球時に示された最高速度の80～85%の範囲内の球速による投球 (以下、低速投球) を3球行わせ、その際の筋活動を記録した。試行時の投球は全てスピードガン (MST-1, ATRAS) を用いて速度を測定した。また、データ分析において投球動作の局面を同定するため、ピッチャーズプレートの1m前方の側面より毎秒300コマの撮影が可能なハイスピードカメラ (EX-F1, CASIO社製) により投球動作を撮影し、LED型シンクロナイザー (PH-1054, DKH社製) を用いて筋電図信号と同期させた。

4) データ解析

筋電図データの解析には、データ統計解析プログラム (Kineanalyzer, キッセイコムテック社製) を使用した。投球動作は映像に基づき、ワインドアップ期、早期コッキング期、後期コッキング期、加速期、フォロースルー期の5局面に分け、早期コッキング期、後期コッキング期、加速期の3つの局面をデータ解析の対象とした (図2)。なお、本研究ではステップ脚の接地はステップ脚の足部の一部が地面に接触した時点、肩関節最大外旋位は、投球動作を側面より撮影した映像において、ボールの投球方向へ移動が一旦止まる時点とした (図3)。

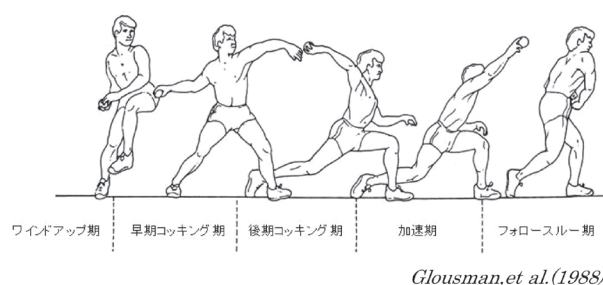


図2 投球動作の局面

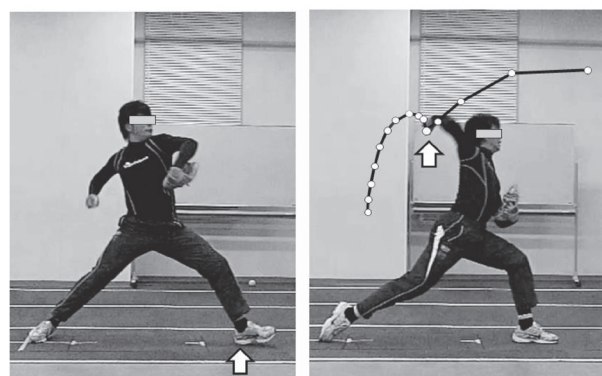


図3 ステップ脚接地と肩関節最大外旋位

筋電図データは筋別に各局面における筋電図RMS (root mean square) 値を算出し、最大随意収縮時のRMS値 (5秒間の筋収縮における中間3秒間のRMS値) で除すことにより正規化した。また、本研究における筋活動水準の評価は、DiGiovineら (1992) の方法に基づき10% MVC以上～20% MVC未満を「低い筋活動」、20% MVC以上～40% MVC未満を「中程度の筋活動」、40% MVC以上～60% MVC未満を「高い筋活動」、60% MVC以上を「非常に高い筋活動」とした³⁾。

5) 統計処理

全てのデータは平均値±標準偏差で表した。高速投球と低速投球における各筋の筋活動水準の比較には対応のあるt検定を用いた。統計的な有意水準はいずれも $p < 0.05$ とした。

3. 結果

1) 局面別にみた股関節周囲筋の筋活動

高速投球時の軸脚の長内転筋、薄筋、大内転筋、中殿筋、大腿二頭筋、大腿直筋の筋活動水準を図4に示した。40% MVC以上～60% MVC未満の「高い筋活動」、および60% MVC以上の「非常に高い筋活動」が示され

たのは、早期コッキング期では中殿筋（45.0% MVC）、後期コッキング期では長内転筋（59.2% MVC）、薄筋（65.4% MVC）、大内転筋（52.9% MVC）、大腿二頭筋（84.0% MVC）、加速期では長内転筋（46.2% MVC）、薄筋（50.1% MVC）、大腿二頭筋（43.8% MVC）であった。

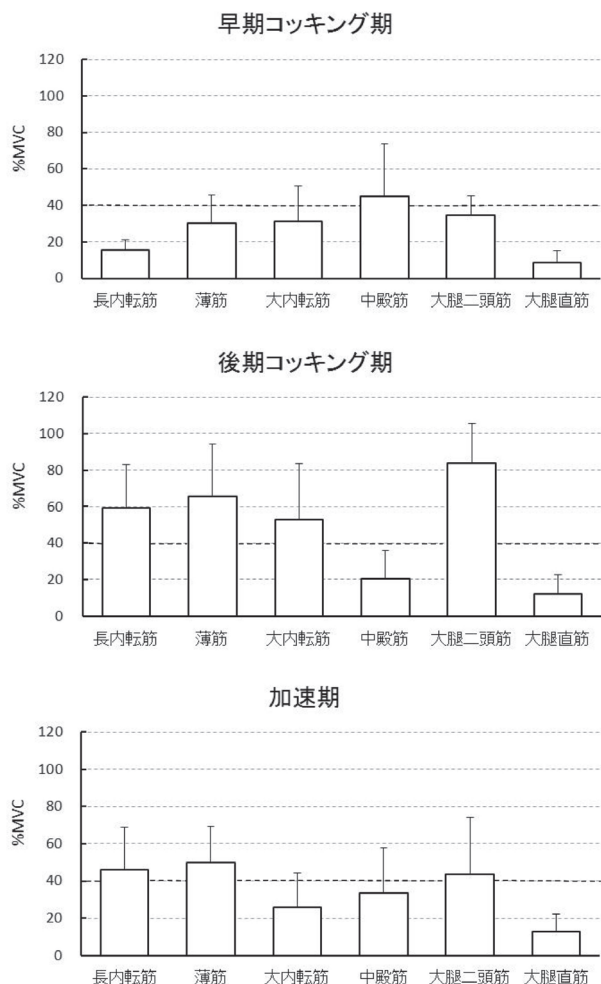


図4 投球動作の各局面における筋活動

2) 投球速度による股関節周囲筋の筋活動の変化

本研究における投球速度は高速投球が 35.7 ± 2.2 m/s、低速投球が 29.9 ± 1.7 m/sであり、高速投球に対する低速投球の投球速度の割合は $83.6 \pm 2.0\%$ であった。

高速投球および低速投球における軸脚の長内転筋、薄筋、大内転筋、中殿筋、大腿二頭筋、大腿直筋の筋活動水準を図5に示した。高速投球において低速投球に対して有意に高い筋活動を示したのは、早期コッキング期では長内転筋、中殿筋、大腿二頭筋、後期コッキング期では長内転筋と大腿二頭筋、加速期では長内転筋、薄筋、大腿直筋であった。

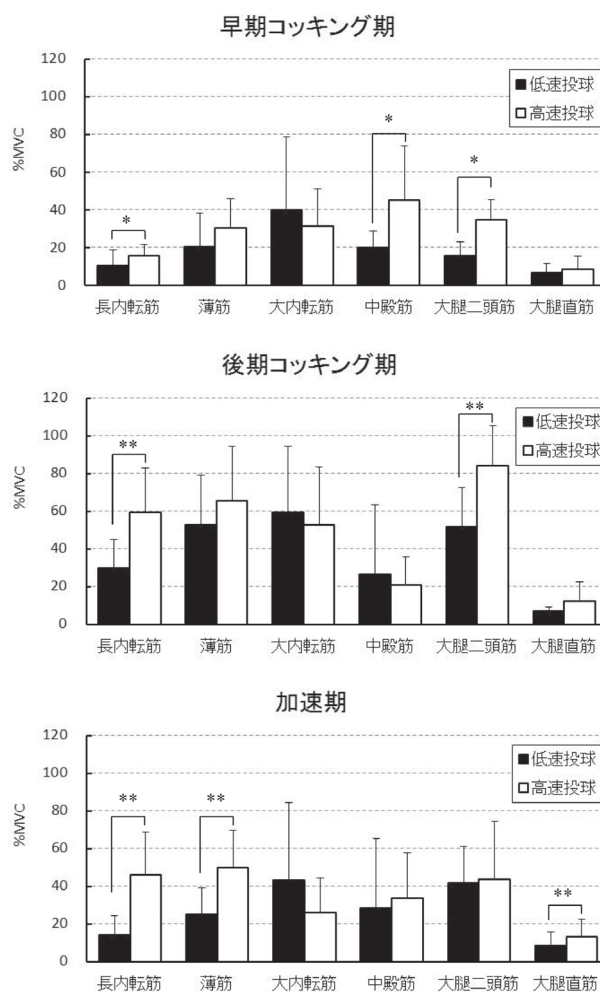


図5 投球速度のちがいによる筋活動の比較

4. 考察

1) 局面別にみた股関節周囲筋の筋活動

前期コッキング期における軸脚の役割について、島田ら（2000）は同局面をストライド局面と捻り局面に二分し、前期コッキング期の前半に相当するストライド局面では、大きな速度で伸展して身体を投球方向に押し出すというよりも、身体を支持し、スムーズに下降させるような働きをしており、前期コッキング期後半に相当する捻り局面では股関節の伸展トルクにより下胴を回転させ、体幹の捻りを生み出す働きをしていると述べている⁸⁾。同様に下肢関節のモーメントを解析した研究でも、前期コッキング期における軸脚の役割は股関節の外転や伸展により並進運動を開始し、股関節内転筋群の遠心性収縮により股関節の内旋を制御しながら、ステップ脚を接地させることであるとされている¹³⁻¹⁵⁾。本研究では早期コッキング期において

40% MVC以上の高い筋活動を示したのは中殿筋のみであった。中殿筋は股関節の外転筋であることから、並進運動の開始において股関節の外転に作用し、高い筋活動を示したものと考えられる。また、後期コッキング期および加速期における軸脚の役割は内転トルクの発揮により下胴を回転させ、体幹の捻りを生み出すことであり、軸脚の下肢3関節はいずれも伸展トルクを発揮し、股関節では内転トルクの発揮が見られることも報告されている⁸⁾。本研究において後期コッキング期から加速期では股関節の内転作用を持つ長内転筋、薄筋、大内転筋には「高い筋活動」が示され、拮抗筋となる外転作用を持つ中殿筋では「中程度の筋活動」が示された。同様に、股関節の伸展筋である大腿二頭筋には「高い筋活動」を示したのに対し、股関節の屈筋である大腿直筋では「低い筋活動」が示された。後期コッキング期や加速期において股関節内転筋に高い活動が示されることは先行研究においても確認されており^{6,7)}、両局面において体幹の回転運動を生み出す股関節の内転筋、伸筋の活動が高まり、拮抗筋である股関節の外転筋、屈筋は抑制的に働くことが示唆された。

2) 投球速度による股関節周囲筋の筋活動の変化

高速投球と低速投球における軸脚の筋活動を比較したところ、早期コッキング期では高速投球において長内転筋、中殿筋、大腿二頭筋により高い筋活動が示された。両投球試行間の筋活動に相違が見られた筋は、いずれも早期コッキング期の主要な関節運動である股関節の外転、伸展、内転の作用を担う筋であった。中殿筋については股関節の外転作用に加え、後部線維が伸展作用を持つことも知られており⁹⁾、早期コッキング期が投球動作において並進運動を担う局面であることから、高速投球時には中殿筋による股関節外転、大腿二頭筋および中殿筋後部線維による股関節伸展、さらに終盤の長内転筋による股関節内転作用が強調され、主に並進速度を増加させることに寄与する筋の筋活動が高まったものと考えられる。

後期コッキング期では長内転筋、大腿二頭筋、加速期では長内転筋と薄筋が高速投球においてより高い筋活動を示した。後期コッキング期から加速期は体幹の回転運動が起こる局面である。島田ら(2000)は後期コッキング期と加速期を併せて「投球局面」としたうえで、軸脚の股関節内転トルクが下胴を回旋させ、体幹の捻りを生み出す働きをしていると述べている⁸⁾。本研究においても高速投球では長内転筋や薄筋などの

内転筋群により高い筋活動が示された。本研究において対象とした3つの内転筋の中では大内転筋が最も大きく、筋体積では2番目の長内転筋の3倍以上、生理学的筋横断面積においても2倍以上を示すことから¹⁶⁾、股関節の内転作用への貢献度は最も高いものと考えられる。しかし、大内転筋はその起始と停止から、股関節の内転作用を持つ内転筋部と、股関節伸展作用を持つハムストリングス部に分けられ、内転筋部は深層に位置するため、表面筋電図により筋活動の記録ができるのは表層に露出したハムストリングス部に限定される¹¹⁾。このため、本研究で記録された大内転筋の筋活動はハムストリングス部の筋活動も強く反映していると考えられ、機能面から大内転筋が他の内転筋と異なる筋活動を示し、また単関節筋という構造面から二関節筋である大腿二頭筋とも異なる筋活動を示したのと考えられる。

加速期には長内転筋、薄筋、大腿直筋など股関節の内転や伸展作用に加え、いずれも屈曲作用を併せ持つ筋群が高速投球においてより高い筋活動を示した。後期コッキング期から加速期では、股関節の伸展トルクが屈曲トルクに変わり、股関節の関節運動も伸展から屈曲へと変化することが報告されている⁸⁾。大腿直筋は高速投球、低速投球のいずれにおいても20% MVC未満の「低い筋活動」を示すにすぎないが、加速期における動作の転換、特に股関節の伸展から屈曲への転換と関連した筋活動を反映しているものと考えられる。

5. 結論

本研究では野球投手の投球動作における股関節周囲筋の筋活動水準、および高速投球と低速投球の筋活動を比較することにより、投球時の股関節周囲筋の筋活動の特徴について以下のような結論を得た。

- 1) 投球動作において股関節筋群に40% MVC以上の「高い筋活動」、および「非常に高い筋活動」が示されたのは、早期コッキング期では中殿筋、後期コッキング期では長内転筋、薄筋、大内転筋、大腿二頭筋、加速期では長内転筋、薄筋、大腿二頭筋であった。
- 2) 低速投球と比較して高速投球において高い筋活動が示されたのは、早期コッキング期では長内転筋、中殿筋、大腿二頭筋、後期コッキング期では長内転筋と大腿二頭筋、加速期では長内転筋、薄筋、大腿直筋であった。

これらの結果より、投球動作において早期コッキング期には並進運動に関与する股関節の外転筋、後期コッキング期から加速期では回転運動に関与する股関節の伸筋と内転筋に高い筋活動が示され、これらの筋における活動水準の増加が投球速度の増加と関わりがあることが示唆された。

Received date 2014年7月22日

参考文献

- 1) Jobe, F., Tibone, J., Perry, J. and Moynes, D. (1983) :An EMG analysis of the shoulder in throwing and pitching. *Am J Sports Med.*, 11 (1) , 3-5.
- 2) Glousman, R., Jobe, F., Tibone, J., Moynes, D., Antonelli, D. and Perry, J. (1988) :Dynamic electromyographic anlysis of the throwing shoulder with glenohumeral instability. *J Bone and Joint Surg.*, 70-A (2) , 220-226.
- 3) DiGiovine, N.M., Jobe, F., Pink, M. and Perry, J. (1992) :An electromyographic analysis of the upper extremity in pitching. *J Shoulder Elbow Surg.*, 1,15-25.
- 4) Campbell, B.M., Stodden, D.F. and Nixon, M.K. (2010) :Lower extremity muscle activitation during baseball pitching. *J Strength Cond Res.*, 24 (4) , 964-971.
- 5) Oliver, G.D. and Keeley, D.W. (2010) :Gluteal muscle group activation and its relationship with pelvis and torso kinematics in high-school baseball pitchers. *J Strength Cond Res.*, 24 (11) , 3015-3022.
- 6) Yamanouchi, T. (1998) :EMG analysis of the lower extremities during pitching in high-school baseball. *The Kurume Medical Journal.*, 45 (1) , 21-25.
- 7) 古旗了伍,松本秀男,赤尾健,桐山善守,戸山芳昭,名倉武雄 (2011) :投球動作時における下肢筋の筋活動. *臨床バイオメカニクス*, 32,509-514.
- 8) 島田一志,阿江通良,藤井範久,結城匡啓. (2000) :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.
- 9) 河上敬介, 磯貝香 (2013) :骨格筋の形と触診法. 第2版,大峰閣, 東京, pp.275-410.
- 10) Kapandji, A.I. (塩田悦仁訳) (2010) :カパンジ一機能解剖学Ⅱ. 第6版, 医歯薬出版, pp.2-65.
- 11) 滝澤恵美, 鈴木大輔, 神谷智昭 (2011) :大内転筋はなぜ大きいのか? -筋の形態的特徴と神経支配からみた大内転筋の分類と機能-. *日本臨床スポーツ医学会誌*, 19 (3) , 609-616.
- 12) Perotto, A.O. (栢森良二訳) (2000) :筋電図のための解剖ガイド. 第3版, 西村書店. Pp.160-193.
- 13) 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 and 久保俊一 (2013) :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. *日本臨床スポーツ医学会誌*, 21 (3) , 618-622.
- 14) 森原徹, 松井知之, 高島誠. (2014) :パフォーマンスUP! 運動連鎖から考える投球障害. 全日本病院出版会, 東京, pp.30-53.
- 15) 土橋恵秀, 小山田良治, 小田伸午. (2009) :野球選手なら知っておきたい「からだ」のことー投球・送球編ー. 大修館書店,東京, pp.80-114.
- 16) Frederic, J.A. and Brand, R.A. (1990) :Muscle fiber architecture in the human lower limb., *J Biomech.* 23 (1) , 91-95.