

## 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

○内田 智也 (うちだともや) (PT)<sup>1)</sup>, 古川 裕之 (PT)<sup>1)</sup>, 松本 晋太郎 (PT)<sup>1)</sup>, 小松 稔 (PT)<sup>1)</sup>, 野田 優希 (PT)<sup>1)</sup>, 石田 美弥 (PT)<sup>1)</sup>, 佃 美智留 (PT)<sup>1)</sup>, 大久保 吏司 (PT)<sup>2)</sup>, 藤田 健司 (MD)<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> 藤田整形外科・スポーツクリニック

<sup>2)</sup> 神戸学院大学 総合リハビリテーション学部

### はじめに

投球動作における下肢動作不良の一つに, Foot Contact (以下, FC) 以降の非投球側下肢 (以下, ステップ足) への不安定な体重移動いわゆるステップ足の膝の縦割れと表現されるステップ動作が挙げられ<sup>1)</sup>, そのような下位セグメントの動作不良によるパフォーマンス低下はそれを代償する末梢セグメントのオーバーストレスに繋がると考えられている<sup>2)</sup>.

下肢機能と投球障害の関係として, 松本ら<sup>3)</sup> はステップ側の下肢筋力不足は投球障害発生の一因となると報告していることから, 良好な投球動作を獲得するためには, ステップ足の下肢筋力に着目することが重要であると考えられる.

しかし, これまで投球動作における下肢運動の役割は報告されているものの<sup>4), 5)</sup>, 下肢筋力不足が投球動作に及ぼす影響は不明な点が多く, それらの関係を定量的に検討した報告は我々が渉猟しえた限り見られない.

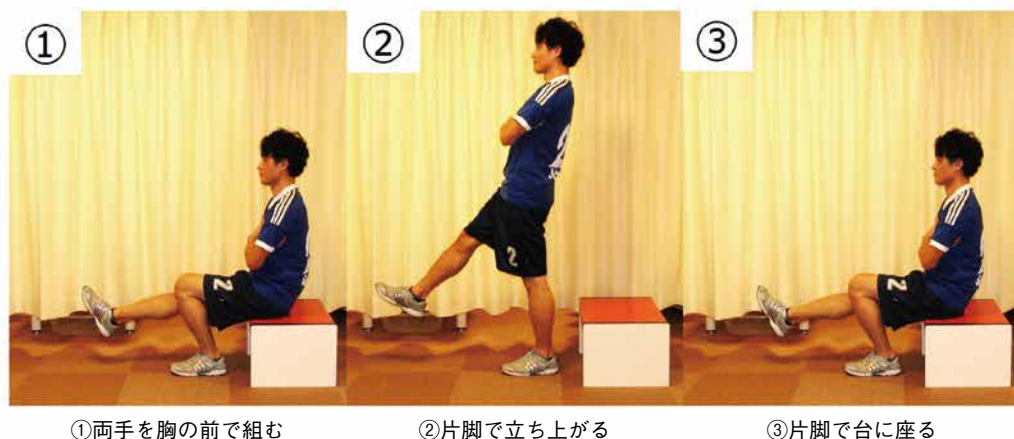
そこで本研究の目的はステップ足の下肢筋力不足が投球

中の重心速度及び肩関節トルクに与える影響を明らかにすることとした.

### 対象および方法

対象は中学野球選手の投手45名とし, 除外基準は疼痛により全力投球が困難なもの, サイドスロー・アンダースローのもの, 左投げのものとした.

ステップ足の下肢筋力測定は我々が考案した, 大腿四頭筋遠心性筋力のスクリーニングテストである Single Leg Up Downテスト (以下, SLUDテスト) を行った<sup>6)</sup>. SLUDテストは10cmから40cmまでの10cm刻みの台を用意し, 両手を胸の前で組んだ状態から, 片脚で台から立ち上がり, 台に座るまでを一つの試技とした (図1). なお, 各選手には踵部を台に接触させること, 下腿を床面と70度程度になるように座面位置を調整すること, 両手を腕の前で組むこと, 座る際には座面に対する衝撃を少なくするようにゆっくりと座ることを口頭で指示し, 試技は最大3回実施した. 評価基準として, 台からの立ち上がり不可能



①両手を胸の前で組む

②片脚で立ち上がる

③片脚で台に座る

図1. SLUDテストの手順

な場合、過度な体幹の側屈やKnee-inが生じた場合は不可にすることを統一してテストを実施した。テストは40cmの高さから順に低くしていき、遂行可能であった最も低い高さをSLUDテストの結果とした。

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（MAC 3D system：Motion Analysis社製）及び床反力計（Kistler社製）を用いて行い、測定周波数は250Hzとした。さらに、球速の測定には、マルチスピードテスターⅡ（SSK社製）を用いた。

対象者には10分間のウォーミングアップの後に、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、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、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た。

## データ解析

まず、筋骨格モデル動作解析ソフトnMotion（nac社製）を用いて、モーション・キャプチャー・システムによって得られたマーカーの三次元的な位置座標及び被験者の身体寸法に合わせてスケーリングされた筋骨格モデルを使用し、モデルの位置姿勢を推定する逆運動学的解析を行い、次に、それによって求められた筋骨格モデルの位置・姿勢変化及び床反力計から得られた外力データから、筋骨格モデルに与えられた関節トルクおよび重心速度を算出する逆運動学的解析を行った。

投球動作中の上肢関節へのストレスの指標として、最大肩関節内旋トルクを抽出し、身長・体重および球速で除した値を算出した（normalized Shoulder Internal Rotation Torque：以下、nSIRT）。

表1. 各群の基本特性

	G群(21名)	P群(13名)	p値
年齢(歳)	13.8 ± 0.5	13.8 ± 0.4	n.s
身長(cm)	163.6 ± 9.4	165.4 ± 6.8	n.s
体重(kg)	54.5 ± 8.2	54.9 ± 11.0	n.s
球速(km/h)	94.6 ± 9.9	95.1 ± 7.4	n.s

さらに、身体重心速度を時間微分することで身体重心加速度を算出し、FC以降の下方への身体重心加速度（重心加速度）の最大値を抽出して、身長で補正した値を算出した。

## 統計学的解析

内田ら<sup>6)</sup>はスポーツ活動に必要なWeight Bearing Index 1.0はSLUDテスト20cm遂行の可否で判断できると報告していることから、SLUDテスト10cm・20cmの対象者をGood群（以下、G群）、30cm・40cmの対象者をPoor群（以下、P群）の二群に分けた。

そして、各群のnSIRTおよび重心加速度の平均値を対応のないt検定を用いて群間比較した。

## 結果

G群は21名、P群は13名となり、各群の基本特性に有意な差は見られなかった（表1）。そして、G群、P群の各項目の平均値はそれぞれ、重心加速度が $2.27 \pm 1.1$ 、 $3.1 \pm 1.1$  (m/s<sup>2</sup>/m)、nSIRTが $0.008 \pm 0.002$ 、 $0.01 \pm 0.002$  (Nm/H-BW-V)であり、両項目ともP群が有意に高値を示した（表2）。

## 考察

投球動作中のステップ動作の特徴として、FC以降の膝関節屈曲動作が制御できない下肢動作は上肢優位の未熟な投球動作の一因となると考えられており、良好なステップ動作ではFC以降のステップ足の安定した膝関節動作によりスムーズな体重移動が行われているが、不良なステップ動作ではFC以降の膝関節屈曲動作を制御することが出来ず、膝の縦割れと表現される投球方向への不十分な体重移動によって、上肢優位の投球動作を呈すると考えられる。

そこで、本研究はステップ足の下肢筋力と重心加速度に着目したところ、P群の重心加速度が有意に高値を示した。

投球動作における下肢関節の筋活動として、ステップ足の膝関節屈曲動作を制御するために、FC以降に内側広筋の筋活動が高まることやFC以降の膝関節屈曲動作を制御

表2. G群とP群の比較

評価項目	平均値±標準偏差		t値	p値	効果量
	G群	P群			
重心加速度 (m/s <sup>2</sup> /m)	2.27±1.11	3.13±1.12	-2.18	0.037	0.77
nSIRT (Nm/H-BW-V)	0.008±0.002	0.01±0.002	-2.19	0.035	0.85

するため、大腿四頭筋の遠心性収縮が生じることが報告されていることから<sup>7),8)</sup>、P群の選手は大腿四頭筋の遠心性筋発揮が不十分であったことにより、膝関節動作を制御することが出来ず、FC以降に短時間で下方への重心速度が増大する体重移動を行っていたことが推察された。

つまり、この結果はこれまで不良な下肢動作の一つに挙げられてきた、「膝の縦割れ」を定量的に示していると考えられ、ステップ足の大腿四頭筋遠心性筋発揮不足はFC以降の膝の縦割れに繋がることが示唆された。

さらに、P群の選手はG群と比較して、nSIRTが有意に高値を示したことから、投球動作は下肢・体幹などの下位セグメントからの運動連鎖によりパフォーマンスを発揮するが、P群の選手はステップ足の下肢筋力不足に起因する膝の縦割れによって運動連鎖が破綻し、それを代償するべく上肢の振りによって球速を発揮する投球動作を呈したことが推察され、ステップ足の下肢筋力不足は投球障害発生リスクを高める一因になり得ることが示唆された。

## 参考文献

- 1) 伊藤博一, 河崎尚史, 井尻哲也・他: 年代別にみた投動作の特徴(第二部)―加速期における下肢・股関節運動―. 日本臨床スポーツ医学会誌2011; 19: 489-497.
- 2) 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.
- 3) 松本晋太郎, 小松稔, 内田智也・他: 片脚立ち上がりテストによる下肢筋力と投球障害の関係. 日本臨床スポーツ医学会誌2012; 20(4): 5235-5235.
- 4) 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力学的エネルギーの流れ. バイオメカニクス研究2004; 8: 12-26.
- 5) 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の研究. バイオメカニクス研究2000; 4: 47-60.
- 6) 内田智也, 古川裕之, 松本晋太郎・他: Single Leg Up Downテストと体重支持指数(Weight Bearing Index)の関連. 理学療法科学2016; 31(6): 791-794.
- 7) ギャレット/カーケンダル: スポーツ運動科学―バイオメカニクスと生理学―, 東京: 西村書店; 2010. p 482-494.
- 8) Brian MC, David FS, Megan KN: Lower extremity muscle activation during baseball pitching. J Strength Cond Res 2010; 24(4): 964-971.