野球投手の筋厚の非対称性とボールスピードの関係

長谷川 伸, 小野 高志

The relationship between asymmetric characteristics of muscle thickness and ball speed in baseball pitchers

Shin Hasegawa and Takashi Ono

九州共立大学スポーツ学部, 〒807-8585 福岡県北九州市八幡西区自由ヶ丘1-8 (*Faculty of Sports Science, Kyushu Kyoritsu University, 1-8 Jiyugaoka, Yahatanisi-ku, Kitakyushu-shi, Fukuoka 807-8585, Japan*)

Received: December 7, 2011 / Accepted: February 13, 2012

Abstract The primary purpose of this study was to investigate whether the baseball pitchers have asymmetric characteristics of muscle thickness (MT) in upper extremities, trunk, and lower extremities because of repetitive pitching. The secondary purpose of this study was to investigate the relationship between MT and ball speed. Twenty-six college baseball pitchers participated in this study. Twenty-six sites were selected to quantify the asymmetric characteristics of MT. The MT was measured by a B-mode ultrasound. The ball speed, measured by a radar gun, was used to quantify the pitching performance. The MT of forearm, subscapula, and chest in dominant side (pitching side) were significantly greater than those in nondominant side, and the MT of abdomen, lateral abdomen, and anterior thigh in nondominant side were significantly greater than those in dominant side. On the other hand, the MT of forearm in both sides and the MT of lateral abdomen in dominant side were significantly and positively correlated with ball speed. These results suggest that asymmetric muscle thickness in upper extremity, trunk, and lower extremity in baseball pitchers resulted from repetitive pitching, and the MT of forearm and lateral abdomen are related to the ball speed.

Jpn J Phys Fitness Sports Med, 61(2): 227-235 (2012)

Keywords : muscle thickness, ultrasound, baseball pitcher, ball speed

緒 言

野球投手の四肢や体幹の形態や機能には、投球側と非投球側の間に非対称性（以下、非対称性）が存在することが知られている。上肢の形態面では、投球側は広背筋や三角筋を含む肩甲帯全体、前腕部の手関節、手指の屈筋群において筋肥大が顕著であること¹⁻³⁾、機能面でも非投球側と比べると肩関節の内旋筋力、内転筋力は同等以上の値を示し⁴⁻⁷⁾、外旋可動域は大きく、内旋可動域は小さいことなどが報告されている^{1,4,8)}。体幹部の形態面では、第3-4腰椎間の水平断面において腹部を前腹筋（腹直筋）、側腹筋（外腹斜筋、内腹斜筋、腹横筋）、後腹筋（腰方形筋）に分類⁹⁾したときの側腹筋と後腹筋の筋横断面積は非投球側の方が大きく^{2,10)}、機能面でも非投球側方向への回旋筋力が投球側方向への回旋筋力よりも大きいことが報告されている¹⁰⁾。さらに下肢の形態面では大腿部や下腿部の総筋横断面積には差がみられないが、外側広筋や中間広筋など個別の筋の筋横断面積が非投球側（踏込脚）において大きく²⁾、機能面では投球側（軸

脚）の股関節可動域が内旋、外旋、内転、外転においていずれも大きいことが報告されている¹¹⁾。これらの先行研究に見られるように、野球投手の身体の形態的、機能的な非対称性は上肢では概ね投球側が優位性を示すが、体幹、下肢では非投球側が優位性を示すものも多く、上肢とは必ずしも同様の結果は得られていない。

一方、競技力向上の観点から野球投手のボールスピードを決定する要因を明らかにしようとする研究が見られる。形態面では全身の除脂肪体重や筋量、さらに部位別にみると上腕部、腹部・背部、大腿部の筋量がボールスピードと有意な相関を示すことが報告されている^{12,13)}。また、機能面においても、肩関節内旋、外旋筋力や肘関節伸展筋力、手関節掌屈筋力とボールスピードの間に有意な相関があることが報告されている¹⁴⁻¹⁶⁾。これらの研究はボールスピードを決定する上で特に重要な役割を果たす身体部位があることを示唆するものであるが、分析にはいずれも投球側における測定値が用いられている。しかし、ピッチング動作では踏出脚の大腿部から下脛に流入する力学的エネルギーがボール初速度と有意な相関

を示すとした島田ら¹⁷⁾の報告に見られるように, 力学的なエネルギーが非投球側の下肢から投球側の上肢へ向かって流れることが示唆されており, ボールスピードとの関係においても非投球側の方がより重要性を持つ身体部位が存在する可能性が考えられる。

スポーツ選手の身体における非対称性に関して対照群を設定した研究では, 非競技者には上肢^{2,3,8)}, 体幹^{2,18)}, 下肢²⁾の形態的な非対称性が示されないことが報告されている。服部¹⁹⁾は筋や骨などの非対称性は一側に偏った負荷が筋などの軟部組織を不均衡に発達させることや, 軟部組織が付着している骨の発達にも影響を与えたことにより生じたものとしており, 身体における筋量の非対称性の示される部位やその大きさは, 投球動作における力学的なエネルギーの伝達経路や筋への刺激やストレスが大きい身体部位を反映するものと考えられる。また, 身体全体の筋厚やその非対称性の大きさとボールスピードの関係は, ボールスピードの高い選手において顕著に発達している筋を推察する手掛かりになると考えられる。そこで本研究では野球投手を対象に投球側と非投球側の間における身体各部の筋厚の非対称性を明らかにするとともに, 筋厚やその非対称性の大きさとボールスピードとの関係について検討することを目的とした。

方 法

被験者 被験者は大学生野球投手26名(年齢 19.2 ± 1.0 歳, 身長 178.0 ± 5.0 cm, 体重 74.7 ± 6.2 kg)であった。いずれも高校, 大学を通して投手を専門としているものであり, 投手としての経験年数は 11.2 ± 1.8 年であった。投動作, 打動作において同方向への捻転運動を行う右投げ右打ち, 左投げ左打ちの者のみを選出した。また, 全ての被験者は研究参加時において上肢, 体幹, 下肢に障害や外傷がなく, 全力での投球が可能な状態であった。被験者には, あらかじめ研究の目的, 方法, 実験に伴う安全性を説明し, 書面にて実験参加についての同意を得た。なお, 本研究は九州共立大学倫理委員会の承認を得て実施した。

形態計測 形態計測の項目は身長, 体重, 除脂肪体重, 骨格筋量, 上肢長, 上腕長, 前腕長, 手長, 下肢長, 大腿長, 下腿長, 上腕囲, 前腕囲, 大腿囲, 下腿囲の15項目である。身長は身長計を用いて0.1cm単位まで計測した。体重, 除脂肪体重, 骨格筋量は体成分分析装置(InBody720, Biospace社製)を用いて測定した。体肢長の測定にはマルチン式計測器を用い, 測定点間の距離を0.1cm単位で計測した。上腕長は肩峰から上腕骨外側上顆まで, 前腕長は橈骨頭から尺骨茎状突起まで, 手長は尺骨茎状突起から中指先端まで, 上肢長は肩峰点から指先点までとした。また, 大腿長は大転子点から脛骨外側

果まで, 下腿長は脛骨外側果から脛骨外果まで, 下肢長は床面から大転子点までとした。四肢, 体幹の周径囲の測定には布製のメジャーを用い, 測定点間の距離を0.1cm単位で計測した。いずれも測定は立位で行い, 上腕囲は上腕長の近位から60%, 前腕囲は前腕長の近位から30%, 大腿囲は大腿長の近位から50%, 下腿囲は下腿長の近位から30%の部位で計測した。各測定は投球側(D: Dominant)と非投球側(ND: Nondominant)の両側について実施した。また, 下肢における投球側は軸脚(右投手の場合の右脚), 非投球側は踏込脚(右投手の場合の左脚)とした。

筋厚測定 Bモード超音波診断装置(SSD-900, アロカ社製)および7.5MHzのリニア式プローブを用いて, 投球側と非投球側の前腕部, 上腕前部, 上腕後部, 大腿前部, 大腿後部(外側), 下腿前部, 下腿後部, 胸部, 前腹部, 側腹部, 肩甲下部, 肩甲棘上部, 肩甲棘下部の13部位(計26カ所)の筋厚を測定した(Fig 1)。

上肢, 下肢および肩甲下部の測定はAbe et al.²⁰⁾の方法に基づいて実施した。前腕部は前腕長の近位から30%, 上腕前部, 後部は上腕長の近位から60%, 大腿前部, 後部は大腿長の近位から50%, 下腿前部, 後部では下腿長の近位から30%, 肩甲下部は肩甲骨下角の5cm下方を測定部位とした。また, 肩甲棘上部, 下部は長谷川ら³⁾の方法に基づき, 肩峰後角から肩甲棘内側縁の midpoint の位置における肩甲棘の上方2cm, 下方2cmを測定部位とした。胸部では島野ら²¹⁾の方法に基づき, 仰臥位にて肩峰点と胸骨上点の中間位および胸骨上点と胸骨中点の中間位の交点位置を測定部位とした。前腹部, 側腹部は久保田ら¹⁸⁾の方法に基づき, 前腹部は臍画により左右それぞれ4つに分けられる腹直筋の筋腹の上から3番目(第3筋腹)において白線と外側縁の中間位, 側腹部

Fig 1. The measurement sites of muscle thickness

は肋骨と上前腸骨棘との中間位を測定部位とし、筋厚に対する呼吸の影響を小さくするため仰臥位にて呼気終末時に全ての撮影を行った。測定姿勢は先行研究と同様に前腕部、上腕前部、上腕後部、大腿前部、大腿後部、下腿前部、下腿後部、肩甲下部の測定は立位、肩甲棘上部、肩甲棘下部の測定は椅座位、胸部、前腹部、側腹部の測定は仰臥位にて実施した。

撮影した超音波画像は医療用レコーダー（メディキャプチャー USB-200, NET-JAPAN社製）を介して画像ファイルとして取得した後、画像解析ソフト（Scion Image, Scion Corporation）を用いて筋厚を測定した。筋厚は前腕部、上腕前部・後部、大腿前部・後部、下腿前部・後部、肩甲下部については安部ら²²⁾の方法に基づいて計測を行った。また、胸部²¹⁾、前腹部・側腹部¹⁸⁾、肩甲棘上部・下部³⁾についてはそれぞれの先行研究の方法に基づいて測定を行った。

筋厚測定の対象とした筋は前腕部では手関節屈筋群、上腕後部では上腕三頭筋、大腿後部では膝関節屈筋群、下腿前部では前脛骨筋、肩甲下部では広背筋、肩甲棘上部では棘上筋、肩甲棘下部では棘下筋、胸部では大胸筋、前腹部では腹直筋とした。また、筋厚が複数の筋により構成され、超音波画像上明確に区別できる上腕前部、側腹部、大腿前部、下腿後部については全体の筋厚とともに個別の筋に対する計測も行った。上腕前部は上腕二頭筋と上腕筋、側腹部は外腹斜筋、内腹斜筋、腹横筋、大腿前部は大腿直筋と中間広筋、下腿後部では腓腹筋とヒラメ筋に分類して測定を実施した。

ボールスピードの測定 ボールスピードの測定は投手の競技におけるパフォーマンスを反映させるため、形態計測や筋厚測定の後1週間以内における実戦形式での投球を対象とした。ボールスピードはバックネット後方の同一位置に設置したドップラー式スピードガン（SSK社製）を用いて測定し、ストライクと判定されたストレートの投球15球の上位5球の平均値を分析に使用した。

統計処理 各測定項目は全て平均値±標準偏差で示した。投球側と非投球側の非対称性の大きさを表す指標にはVerschuierの平均百分率偏差（ $= \frac{D-ND}{D+ND} \times 100$ ）を用いた。投球側と非投球側の比較には対応のあるt検定を用いた。また、各測定値とボールスピードとの関係、非対称性の大きさとボールスピードとの関係は相関分析を行い、ピアソンの相関係数を求めた。いずれも統計的な有意水準は $p < 0.05$ とした。

結 果

形態計測における上肢と下肢の長径と周径をFig 2に示した。投球側と非投球側の比較において、長径ではい

ずれの測定値にも差は示されなかったが、周径では上腕囲、前腕囲、下腿囲において投球側が有意に高い値を示した。

筋厚測定における上肢、体幹、下肢の筋厚をFig 3に示した。前腕部、肩甲下部、胸部では投球側が有意に高い値を示し、前腹部、側腹部、大腿前部では非投球側が有意に高い値を示した（Fig 3-A）。また、側腹部を構成する筋では内腹斜筋と腹横筋、大腿前部を構成する筋では中間広筋が非投球側において有意に高い値を示した（Fig 3-B）。

上肢、下肢の長径、周径、筋量、ならびに全身の筋厚の非対称性の大きさと方向性をFig 4に示した。図の正方向は投球側優位、負方向は非投球側優位であることを示している。周径や筋量では前腕囲や上腕囲、上肢筋量において投球側優位の傾向が示された（Fig 4-A）。筋厚では上肢（前腕部、上腕前部・後部）、肩部（肩甲棘上部・下部）、体幹上部（肩甲下部、胸部）、さらに下腿部（下腿前部・後部）において投球側優位、体幹下部（前腹部、側腹部）、大腿部（大腿前部・後部）においては非投球側優位の傾向が示された（Fig 4-B）。

本研究における被験者全体のボールスピードの平均値は 36.4 ± 1.9 m/s（最高値40.7 m/s, 最低値31.4 m/s）であった。ボールスピードと形態計測値との関係において、身長や育量では身長（ $r = 0.265$ ）、体重（ $r = 0.425$, $p < 0.05$ ）、除脂肪量（ $r = 0.432$, $p < 0.05$ ）、骨格筋量（ $r = 0.447$, $p < 0.05$ ）であり、育量に関する指標においてボールスピー

Fig 2. Comparison of length and girth in upper and lower limbs between dominant and nondominant.

D : dominant, ND : nondominant.

*: $p < 0.05$, **: $p < 0.01$, ***: $p < 0.001$; Significantly different from nondominant.

Fig 3. Comparison of the muscle thickness between dominant and nondominant.
D : dominant, ND : nondominant.
* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$; Significantly different from nondominant.

Fig 4. Relationship of the dominant and nondominant side in anthropometric index (A) and muscle thickness (B).

ドと有意な正の相関が示された。また、四肢の長径や周径に関する指標では投球側の前腕長 ($r=0.460$, $p<0.05$), 前腕囲 ($r=0.399$, $p<0.05$), 下腿囲 ($r=0.426$, $p<0.05$) がボールスピードと有意な正の相関を示したが, 四肢の長径や周径の非対称性の大きさとボールスピードの間には有意な相関は示されなかった (Table 1)。

ボールスピードと上肢, 体幹, 下肢の筋厚の関係を部位別に見ると, 投球側の前腕部 ($r=0.492$, $p<0.001$),

側腹部 ($r=0.409$, $p<0.05$) および非投球側の前腕部 ($r=0.432$, $p<0.01$) においてボールスピードとの間に有意な正の相関が示された。また, 筋別に見ると投球側の上腕筋 ($r=0.435$, $p<0.05$), 内腹斜筋 ($r=0.441$, $p<0.05$), 非投球側の内腹斜筋 ($r=0.443$, $p<0.05$) においてボールスピードと有意な正の相関が示された。しかし, 筋厚における非対称性の大きさとボールスピードの間にはいずれの部位および筋においても有意な相関は示され

なかった (Table 2)。

考 察

投球側と非投球側の非対称性 投球動作は投球腕の肩関節の水平内転と内旋, 肘関節の伸展, 橈尺関節の回内, 手関節の掌屈を伴う運動である²³⁾。筋電図学的研究からも投球動作をバックスイングとフォワードスイングの2局面に分けたとき, フォワードスイングでは投球側の大円筋や上腕三頭筋, 橈側手根屈筋や円回内筋に高い活動が見られることが報告されている²⁴⁾。また, 投球動作をワインドアップ期, 前期コッキング期, 後期コッキング期, 加速期, フォロースルー期の5つの局面に分けた研究においても, 加速期には大胸筋, 前鋸筋, 肩甲下筋, 広背筋など肩関節の内旋, 水平内転に貢献する筋に高い筋活動が見られることが報告されている²⁵⁾。このような特性を持つ一側に偏った運動を反復することにより, 上肢には形態的な非対称性が見られるとする報告は, これまでも数多く行われている。King et al.¹⁾は1960年代に視診に基づき, 投球側では広背筋や三角筋を含む肩甲帯全体, さらに前腕部の手関節屈筋群に筋肥大が見られることを報告しており, その後のMRIを用いて筋量を定量化した研究からも, 前腕屈筋群, 上腕三頭筋, 三角筋などにおいて投球側の筋量が多いことが報告されてきた^{2,3)}。

本研究における上肢の筋厚の測定結果は先行研究とよく一致するものであり, 肩関節の水平内転や内旋を担う大胸筋や広背筋, 橈尺関節の回内や手関節の掌屈を担う前腕屈筋群において投球側では非投球側に対する顕著な筋の肥大傾向が示された。一方, 肘の伸展動作を担う上腕後部 (上腕三頭筋) の筋厚では両側間の差が見られなかった。上腕三頭筋については先行研究においても投球

側の筋量が上回るとする研究と差はみられないとする研究の両方が存在し, 見解は分かれている^{2,26)}。Hirano and Ikegami²⁶⁾はプロ野球投手を対象とした研究において上腕三頭筋の筋量には両側間の差が見られないことを報告し, その理由を投球時の肘の伸展動作が高速であり, 肘伸筋の最大等尺性筋力に対して低い力発揮しかなされていないためであると考察している。また, Feltner and Dapena²⁷⁾も加速局面中に発生する肘伸展トルクは小さく, 肘の伸展は上腕三頭筋に起因するものではなく, 肩最大外旋位において肘で発生する求心的な関節力により伸展モーメントが発生することにより, 肘が伸展させられることにより起こるものとしている。これらのことから, 投球動作における肘伸展の力発揮が大きいものではないため, 対側に対して筋肥大が示されなかったものと考えられる。

また, 本研究では周径囲において前腕部や上腕部では投球側が高い値を示した。前腕囲については先行研究ならびに本研究において投球側の前腕部の筋厚が厚いこと

Table 2. Correlation coefficients between muscle thickness and ball speed.

Site	D	ND	$\frac{D-ND}{D+ND}$
<i>Muscle</i>			
Forearm	0.492 ***	0.432 **	0.203
Anterior upper arm	0.219	0.289	-0.093
<i>Biceps brachii</i>	-0.059	0.040	-0.120
<i>Brachialis</i>	0.435 *	0.360	0.021
Posterior upper arm			
<i>Triceps brachii</i>	0.057	-0.009	0.093
Supraspinatus			
<i>Supraspinatus</i>	0.378	0.180	0.262
Infraspinatus			
<i>Infraspinatus</i>	0.298	0.280	-0.011
Subscapula			
<i>Latissimus dorsi</i>	0.060	0.063	0.007
Chest			
<i>Pectoralis major</i>	0.101	0.031	0.156
Abdomen			
<i>Rectus abdominis</i>	0.019	0.035	-0.064
Lateral abdomen	0.409 *	0.339	0.149
<i>External oblique</i>	0.278	0.149	0.113
<i>Internal oblique</i>	0.441 *	0.443 *	0.067
<i>Transverse abdominis</i>	0.126	0.162	-0.034
Anterior thigh	0.060	0.213	-0.270
<i>Rectus femoris</i>	0.140	0.115	0.047
<i>Vastus intermedius</i>	0.046	0.247	-0.322
Posterior thigh	0.193	0.115	0.083
Anterior lower leg			
<i>Tibialis anterior</i>	0.244	0.142	0.182
Posterior lower leg	0.382	0.315	0.117
<i>Gastrocnemius</i>	0.236	0.286	-0.129
<i>Soleus</i>	0.283	0.117	0.297

Table 1. Correlation coefficients between anthropometric index and ball speed.

		D	ND	$\frac{D-ND}{D+ND}$
Length	Upper arm	0.236	0.313	-0.137
	Forearm	0.460 *	0.192	0.341
	Hand	0.131	0.336	-0.208
	Upper limb	0.0338	0.344	0.001
	Thigh	0.190	0.221	-0.089
	Calf	0.383	0.282	0.268
	Lower limb	0.388	0.334	0.151
Girth	Upper arm	0.248	0.198	0.097
	Forearm	0.399 *	0.370	-0.014
	Thigh	0.294	0.339	-0.145
	Calf	0.426 *	0.379	0.105
Mass	Skeletal muscle-Arm	0.366	0.381	-0.064
	Skeletal muscle-Leg	0.375	0.377	-0.092

Values are mean $\pm$ SD. D : dominant, ND : nondominant.
*: p < 0.05.

Values are mean $\pm$ SD. D : dominant, ND : nondominant
*: p < 0.05, **: p < 0.01, ***: p < 0.001.

が示されており, 筋肥大が大きな要因と考えられる。一方, 上腕囲については上腕後部の上腕三頭筋, 上腕前部の上腕二頭筋や上腕筋においても両側間に差が見られなかったことから, 筋量の違いだけでは説明することが難しい。角田ら²⁾はMRIを用いた画像分析から, 野球投手の利き腕の尺骨や上腕骨では, 非利き腕に対して大きな横断面積を示すことを報告し, 投球動作の繰り返しが筋だけではなく骨の特異的な発達を生じさせた可能性を指摘している。本研究では骨に対する計測は行っていないが, 骨性の変化をも含んだ結果である可能性も考えられる。

投球動作における体幹部の働きについては, 踏込脚の接地前から非投球側の体幹の回旋筋群には伸張性筋収縮が起こり, その後, 短縮性筋収縮へと変わることによって加速相の中盤にかけて典型的なStretch-shortening cycle運動が生じるとされている²⁸⁾。筋電図学的研究においても, 踏込脚の接地後には非投球側の腹直筋, 腹斜筋により高い筋放電が見られ, 踏込脚接地時に伸張された非投球側の腹筋群がその後の体幹回旋運動に強く関与していることが示唆されている^{29,30)}。広義の腹筋は前腹筋, 側腹筋, 後腹筋の3つに区分され, 前腹筋には腹直筋や錐体筋, 側腹筋には外腹斜筋, 内腹斜筋, 腹横筋, 後腹筋には腰方形筋が含まれる⁹⁾。本研究において非対称性が示された側腹筋は異なる機能を持つ3つの筋で構成され, 外腹斜筋は対側への回旋, 側屈, 屈曲, 内腹斜筋は同側への回旋, 側屈, 屈曲, 腹横筋は同側への回旋と腹腔内圧を高める作用を持ち, 投球動作にみられるような体幹の捻転においては外腹斜筋と内腹斜筋が特に大きなトルクを発揮するとされている³¹⁾。体幹部の筋の非対称性については野球選手^{2,10)}, テニス選手¹⁸⁾においても見られ, テニス選手では側腹筋を構成する外腹斜筋と内腹斜筋の筋厚が非利き腕側において大きいことが報告されている¹⁸⁾。本研究では外腹斜筋には非対称性が示されなかったが, 内腹斜筋と腹横筋において非投球側優位の非対称性が示された。非投球側の外腹斜筋は投球方向とは逆の回旋運動を行う筋であるのに対して, 内腹斜筋や腹横筋はいずれも同側への回旋作用を持つ筋であり, 非投球側におけるこれらの筋の作用は投球方向への回旋であることから, 側腹筋に見られる非対称性はいずれも投球方向への回旋動作を繰り返すことにより生じた筋の適応であると考えられる。

投球動作における下肢の役割については, 軸脚(投球側)はプレートを蹴ることにより体幹などを捕手方向へ移動させること, 踏込脚(非投球側)はそれを「しっかりと支えること」であるとされ³²⁾, 投球動作中に示される床反力は軸脚では体重の1.0倍, 踏込脚では体重の1.75倍であり, 踏込脚においてより大きな筋力発揮が要求される³³⁾。また, 身体を「しっかりと支える」ために踏込

脚の接地後には股関節, 膝関節の伸展筋群にエキセントリックな筋収縮による伸展トルクが発生していることや, 投球数の増加に伴い股関節の伸展トルクが減少し, これを補うために膝関節の伸展トルク発揮による仕事量が増加することなどが報告されている^{34,35)}。本研究では股関節の伸展トルク発揮に貢献すると考えられる大腿後部の筋厚には両側間の差が見られなかった。股関節の伸筋群は下肢の大腿骨の近位に付着する大殿筋や中殿筋, 小殿筋の一部の線維からなるグループと大腿二頭筋, 半腱様筋, 半膜様筋などいわゆるハムストリングスと総称されるグループからなり, 後者は膝関節伸展位における股関節伸展作用に有効とされている³⁶⁾。しかし, 投球動作における踏込脚は最も大きな股関節伸展トルクが発揮されるボールリリース直前には膝関節が100~110度程度の屈曲位にあるとされることから³⁴⁾, ハムストリングスの貢献度は低く, 大殿筋など大腿骨近位に付着する筋群の貢献度が高いものと考えられる。本研究では大殿筋など近位に付着する筋群の筋厚の測定を行っていないが, ハムストリングスの貢献度が相対的に低い姿勢での運動であることが, 大腿後部において筋厚の非対称性が示されなかったものと考えられる。一方, 膝関節の伸筋である大腿前部, さらにその構成筋である中間広筋では踏込脚が軸脚に対して大きな筋厚を示したが, 大腿直筋には差が見られなかった。同様の結果は筋横断面積において外側広筋や中間広筋は踏込脚のほうが大きく, 大腿直筋には差がないとした角田ら²⁾の報告にも見られる。大腿直筋は膝関節伸展において大腿四頭筋の筋力全体の1/5しかなく, 効力は肢位に依存するため股関節屈曲位では他の3筋のほうが有効であるとされている³⁶⁾。このため, 股関節伸展における大腿後部の場合と同様に, 踏込脚の筋力発揮における関節角度の特異性が踏込脚の大腿直筋に優位性が見られなかった原因と考えられる。

本研究において筋厚の非対称性が示された部位は, 上肢と体幹上部においては前腕部, 胸部, 肩甲下部であり, いずれも投球側に優位性が見られた。一方, 体幹下部と下肢では側腹部, 前腹部, 大腿前部であり, いずれも非投球側に優位性が見られた(Fig 5)。このことから非対称性は上肢, 体幹, 下肢のいずれの部位にも示されるが, その優位性は胸郭の下端あたりを境として入れ替わる傾向にあると考えられる。Myers³⁷⁾は一連の筋群が1つのユニットとして機能するという筋膜の連結という考え方に基づき, 投球動作のような身体の捻転動作において重視される2つの「連結線」を示している。1つは非投球側の脛骨より大腿筋膜張筋や腸脛靭帯から腸骨, 内腹斜筋を経て, 投球側の外腹斜筋, 肋骨, 前鋸筋, 肩甲骨, 菱形筋, 頸椎や胸椎に至る身体を螺旋状にとりまく「ラセン線」と呼ばれる連結線であり, もう1つは「機能線」と呼ばれる連結線であり, 非投球側の大腿骨から長内転

Fig 5. The muscles that have shown to be thicker than the other side.

筋，恥骨を経て，投球側の腹直筋，肋骨，大胸筋，上腕骨に至るものは「前機能線」，非投球側の脛骨粗面から膝蓋靭帯，膝蓋骨，外側広筋，大腿骨，大殿筋，仙骨を経て投球側の仙骨筋膜，胸背筋膜，広背筋，上腕骨に至るものは「後機能線」と呼ばれている。本研究において対側に対して優位性を示した部位を見てみると，Myersの示した「機能線」と多くの共通点を見出すことができ，野球投手の上肢，下肢に見られる筋厚の非対称性は，非投球側の下肢から投球側の上肢にかけて一連の筋群が協働し，身体の捻転動作を下肢から上肢へ伝達するための経路における筋の発達を示したものと考えられる。

身体各部の筋厚とボールスピードの関係 ボールスピードを規定する要因を筋量^{2,12,13)}や筋力^{12,14-16)}という観点から検討した研究はこれまでにいくつか見られる。筋量については体重，除脂肪量，全身の筋量，部位別でみた上腕部，大腿部の筋量，さらに大腿部を二分した大腿前部，大腿後部の筋量，腹部・背部の筋量などがボールスピードと有意な相関を示すことが報告されている^{12,13)}。また，筋力については肩関節の内旋，外旋，内転トルク，肘関節の伸展，屈曲トルク，手関節の掌屈トルク，膝関節の伸展トルクなどがボールスピードと有意な相関を示すことが報告されている^{12,14-16)}。本研究においても体重，除脂肪量，骨格筋量など筋量を反映する指標においてボールスピードと有意な正の相関が示された。また，身体各部の筋厚では両側の前腕部，投球側の側腹部の筋厚において，さらに筋別にみると両側の内腹斜筋や投球側の上腕筋においてボールスピードとの有意な相関が示された。本研究における前腕部の筋厚は複数の筋から構成されており超音波画像上での明確な区別は難しいが，表層より橈側手根屈筋，円回内筋，浅指屈筋，深指

屈筋など前腕の回内，手関節の掌屈，手指の屈曲に関わる筋群の筋厚を示すものである。宮西ら³⁸⁾は大学生野球投手のボールスピードに対する貢献度は手関節の掌屈，指節間関節の屈伸が約23%にも及ぶことを示している。また島田ら¹⁷⁾は肘および手関節に伝達される力学的エネルギーはいずれもボール初速度と高い相関を示すことを報告し，踏込脚の接地からボールリリースまでの手関節の仕事は負であり，筋は伸張性収縮をしていることから，手やボールに伝えられるエネルギーの大部分は関節力パワーに起因し，肘や肩関節などのより近位部で発生したパワーが関節や筋，腱を介して転移したものであると述べている^{17,39)}。このことから，投球動作における手関節や指節間関節の役割はパワーを発生させることよりも，パワーを伝達することが重要であり，投球側に見られた前腕部の特異的な発達は投球動作においてパワーを効率よく伝達することに貢献するものであると考えられる。一方，投球動作において体幹筋は2つの役割を持ち，1つは体幹を捻転させる役割であり，もう1つは体幹を固定する役割である^{29,30)}。投球動作時の体幹の捻転に貢献する側腹筋は解剖学的には非投球側の内腹斜筋や腹横筋，投球側の外腹斜筋であり，体幹の固定には腹直筋を含め側腹部の3筋全てが関与する³¹⁾。Hirashima et al.²⁹⁾は腹直筋がボールリリース時に最大の筋活動を示すのは，上肢の角運動のために必要な求心力を生み出す役割であると考察している。本研究において側腹部（特に内腹斜筋）には非対称性が見られるにも関わらず，両側の内腹斜筋の筋厚とボールスピードとの間に有意な正の相関が示されたのは，体幹の回旋だけではなく固定という役割の重要性を示すものであるかもしれない。

本研究において投球速度と有意な相関が示された前腕部の手関節掌屈・手指間関節屈曲筋群，上腕筋，内腹斜筋は大腿部や胸・肩部など筋量が大きく，大きな関節トルクを生み出すことができる部位に隣接し，伸張性筋収縮を伴ったより大きな筋力発揮を行うことにより関節の固定や力の伝達に貢献する筋群であると考えられる。また，いずれも両側間に非対称性が示された筋であるが，非対称性の程度が大きいほど投球速度が高いという結果は得られなかった。このことから，前腕部や側腹部（内腹斜筋）の筋厚はボールスピードとの関連があると考えられるが，一側だけに過度な筋肥大が見られることが投球速度向上につながるものではなく，両側のバランスのよい発達が重要であることが示唆された。

結 論

本研究では大学生野球投手26名に対して投球側と非投球側それぞれ13部位の筋厚測定を行い，①筋厚の非対称性の存在部位，②筋厚やその非対称性の大きさとボールスピードの関係について以下のような結論を得た。

1. 身体13部位の中で6部位において筋厚の非対称性が示され, 前腕部, 肩甲下部, 胸部では投球側が非投球側に対して有意に高い値を示し, 前腹部, 側腹部, 大腿前部では非投球側が投球側に対して有意に高い値を示した.
2. 筋厚とボールスピードの関係では両側の前腕部, 投球側の側腹部においてボールスピードとの間に有意な正の相関が示された. また, 筋別では両側の内腹斜筋, 投球側の上腕筋の筋厚がボールスピードと有意な正の相関を示した.

これらのことから, 野球投手の身体各部には非投球側の踏込脚から体幹部(下胴), 投球側の体幹部(上胴)から上肢にかけて対側に対する筋の肥大傾向が見られること, さらに投球動作時において体幹や上肢を安定化させる筋群の発達がボールスピード向上にとって重要であることが示唆された.

参 考 文 献

- 1) King, J. W., Brelsford, H. J., and Tullos, H. S. Analysis of the pitching arm of the professional baseball pitcher. *Clin Orthop Relat Res*, 67: 116-123, 1968.
- 2) 角田直也, 田中重陽, 石塚信之, 青山利春, 岡田雅次, 西山一行. 投動作パフォーマンスに及ぼす筋形態及び機能的特性, 国士舘大学体育研究所報, 21: 135-140, 2002.
- 3) 長谷川伸, 館俊樹, 斎藤恵一, 王力群, 加藤清忠. 野球投手の回旋腱板筋(rotator cuff muscles)と三角筋のMRI法による筋量分析とその筋力特性, 体力科学, 53: 483-492, 2004.
- 4) Brown, L. P., S. L. Niehues, Harrah, A., Yavorsky, P., and Hirshman, H. P. Upper extremity range of motion and isokinetic strength of the internal and external shoulder rotators in major league baseball players. *Am J Sports Med*, 16: 577-585, 1988.
- 5) Wilk, K. E., J. R. Andrews, Arrigo, C. A., Keirns, M. A., and Erber, D. J. The strength characteristics of internal and external rotator muscles in professional baseball pitchers. *Am J Sports Med*, 21: 61-66, 1993.
- 6) Sirota, S. C., Malanga, G. A., Eischen, J. J., and Laszkowski, E. R. An eccentric- and concentric-strength profile of shoulder external and internal rotator muscles in professional baseball pitchers. *Am J Sports Med*, 25: 59-64, 1997.
- 7) Ellenbecker, T. S. and Mattalino, A. J. Concentric isokinetic shoulder internal and external rotation strength in professional baseball pitchers. *J Orthop Sports Phys Ther*, 25: 323-328, 1997.
- 8) Crockett, H. C., L. B. Gross, Wilk, K. E., Schwartz, M. L., Reed, J., O'Mara, J., Reilly, M. T., Dugas, J. R., Meister, K., Lyman, S., and Andrews, J. R. Osseous adaptation and range of motion at the glenohumeral joint in professional baseball pitchers. *Am J Sports Med*, 30: 20-26, 2002.
- 9) 森於菟, 小川鼎三, 大内弘, 森富. 腹部の筋, 分担解剖学1. 第11版, 金原出版, 東京, 321-332, 2002.
- 10) 後藤篤志, 大川昌宏. 大学軟式野球選手の体幹筋の特徴に関する研究, *NITTAI Sports Training Journal*, 1: 19-23, 2005.
- 11) Robb, A. J., Fleisig, G., Wilk, K., Macrina, L., Bolt, B., and Pajaczowski, J. Passive range of motion of the hip and their relationship with pitching biomechanics and ball velocity in professional baseball pitchers. *Am J Sports Med*, 38: 2487-2493, 2010.
- 12) 勝亦陽一, 長谷川伸, 川上泰雄, 福永哲夫. 投球速度と筋力および筋量の関係, *スポーツ科学研究*, 3: 1-7, 2006.
- 13) 勝亦陽一, 高井洋平, 太田めぐみ, 佐久間潤, 川上泰雄, 福永哲夫. 大学野球選手にみられる筋量および筋量分布の特徴が投球スピードに与える影響, *スポーツ科学研究*, 4: 75-84, 2007.
- 14) Pedegana, L. R., R. C. Elsner, Roberts, D., Lang, J., and Farewell, V. The relationship of upper extremity strength to throwing speed. *Am J Sports Med*, 10: 352-354, 1982.
- 15) Bartlett, L. R., Storey, M. D. and Simons, B. D. Measurement of upper extremity torque production and its relationship to throwing speed in the competitive athlete. *Am J Sports Med*, 17: 89-91, 1989.
- 16) Pawlowski, D. and Perrin, D. Relationship between shoulder and elbow isokinetic peak torque, torque acceleration energy, average power, and total work and throwing velocity in intercollegiate pitchers. *Athletic Training*, 24: 129-132, 1989.
- 17) 島田一志, 阿江通良, 藤井範久, 川村卓, 高橋圭三. 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*, 8: 12-26, 2004.
- 18) 久保田潤, 奥村幸治, 鳥居俊, 福林徹. 大学テニス選手における腹筋群の形態的特徴, *日本臨床スポーツ医学会誌*, 17: 30-34, 2009.
- 19) 服部恒明, ヒトのかたちと運動, 大修館書店, 東京, 79-80, 1996.
- 20) Abe, T., Kondo, M., Kawakami, Y., and Fukunaga, T. Prediction equation for body composition of Japanese adults by B-mode ultrasound. *Am. J. Human Biol*, 6: 161-170, 1994.
- 21) 島野敬四郎, 内田智子, 安藤佳代子, 高山伸也, 須田憲司, 湯浅景司. 女性投てき選手の筋厚と筋力, *中京大学体育学論叢*, 39: 107-112, 1997.
- 22) 安部孝, 福永哲夫. 超音波が描いた皮下脂肪組織と筋組織, 日本人の体脂肪と筋肉分布, 初版, 杏林書院, 東京, 91-108, 1994.
- 23) 桜井伸二, 池上康男, 矢部京之助, 岡本敦, 豊島進太郎. 野球の投手の投動作の3次元動作解析, *体育学研究*, 35: 143-156, 1990.
- 24) 風井詔恭, 熊本水頼, 岡本勉, 山下謙智, 後藤幸弘, 丸山宣武. 野球の投動作(オーバーハンドスロー)における上肢・上肢帯筋群の作用機序, *体育学研究*, 21: 137-144, 1976.
- 25) Gowan, I. D., F. W. Jobe, Tibone, J. E., Perry, J., Moynes, D. R. A comparative electromyographic analysis of the shoulder during pitching. Professional versus amateur pitchers. *Am J Sports Med*, 15: 586-590, 1987.

- 26) Hirano, Y. and S. Ikegawa. Laterality in upper limb composition and maximal isometric strength of elbow joint of baseball players. 東京大学教養学部体育学紀要, 21: 20-24, 1987.
- 27) Feltner, M. and J. Dapena. Dynamics of the shoulder and elbow joints of the throwing arm during a baseball pitch. Int. J. Sports Biomech, 2: 235-259, 1986.
- 28) 宮西智久. 野球の投・打動作の体幹捻転研究 - SSC理論に着目して - バイオメカニクス研究, 13: 149, 2009.
- 29) Hirashima M., Kadota H., Sakurai S., Kudo K., Ohtsuki T. Sequential muscle activity and its functional role in the upper extremity and trunk during overarm throwing. J Sports Sci, 20: 301-10, 2002.
- 30) Watkins, R. G., Dennis, S., Dillin, W. H., Schnebel, B., Schneiderman, G., Jobe, F., Farfan, H., Perry, J., Pink, M. Dynamic EMG analysis of torque transfer in professional baseball pitchers. Spine, 14: 404-8, 1989.
- 31) 大久保雄, 金岡恒治. 体幹の捻転動作の医学的基礎. バイオメカニクス研究, 13: 125-129, 2009.
- 32) 高橋圭三. 投動作を助ける脚のはたらき. 体育の科学, 56: 174-80, 2006.
- 33) MacWilliams, B. A., Choi, T., Chao, E. Y. S., McFarland, E. G. Characteristics ground-reaction forces in baseball pitching. Am J Sports Med, 26: 66-71, 1998.
- 34) 島田一志, 阿江通良, 藤井範久, 結城匡啓. 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: 47-60, 2000.
- 35) 平山大作, 藤井範久, 小池関也, 阿江通良. 野球投手の投球数の増加による下肢関節の力学的仕事量の変化. 体力科学, 59: 225-32, 2010.
- 36) Kapandji, A. I. (塩田悦二訳), カパンジー機能解剖学Ⅱ, 医歯薬出版, 東京, 44, 2010.
- 37) Myers, T. W. (松下松雄訳), アナトミー・トレイン, 医学書院, 東京, 25-176, 2009.
- 38) 宮西智久, 藤井範久, 阿江通良, 功力靖雄, 岡田守彦. 野球の投球動作におけるボール速度に対する体幹および投球腕の貢献度に関する3次元的研究. 体育学研究, 41: 23-37, 1996.
- 39) 宮西智久, 藤井範久, 阿江通良, 功力靖雄, 岡田守彦. 野球の投球動作における体幹および投球腕の力学的エネルギーフローに関する3次元解析. 体力科学, 46: 55-68, 1997.