

[原著論文]

野球投手の前腕筋における形態的特性

長谷川 伸*

Morphological characteristics in forearm muscles of baseball pitchers

Shin HASEGAWA*

Abstract

The purpose of this study was to investigate the differences between the throwing side and non-throwing side in forearm muscle thickness of baseball pitchers. Fifteen college baseball pitchers participated in this study. Thickness of six flexor pronator muscles (pronator teres, flexor carpi radialis, palmaris longus, flexor carpi ulnaris, flexor digitorum superficialis, flexor digitorum profundus) and four extensor supinator muscles (extensor carpi ulnaris, extensor digitorum, extensor carpi minimi, spinator) were measured by using ultrasonic equipment with a 8MHz transducer.

In flexor pronator muscle group, the thickness of flexor digitorum profundus muscle in the throwing side showed a significantly higher value than those in the non-throwing side ($p<0.01$). On the other hand, the thickness of palmaris longus muscle in the throwing side showed a significantly lower value than those in the non-throwing side ($p<0.05$). In extensor supinator muscle group, the difference in muscle thickness between the throwing side and the non-throwing side was not observed. These results indicate that selective muscle hypertrophy in flexor pronator muscle is observed in the throwing side of baseball pitchers.

KEY WORDS : forearm muscle, muscle thickness, flexor digitorum profundus, baseball pitcher

1. 緒言

野球の投球動作における主要な腕の関節運動は肩関節の水平内転と内旋、肘関節の伸展、橈尺関節の回内、手関節の掌屈である¹⁾。ボールリリース時の投球速度に対する上肢の関節運動の貢献度は、肩関節の内旋(34.1%)が最も大きく、次いで手関節の掌屈(17.7%)、肘関節の伸展(15.2%)、肩関節の水平屈曲(6.0%)、指節間関節の屈曲(5.9%)であり、手関節の掌屈と指節間関節の屈曲を合わせた貢献度は23%にもなり、投球速度に対する貢献度は高いことが報告されている²⁾。

投球動作における手関節や手指の関節運動とその役割について、高橋ら³⁾は投球速度の高い投手は手関節速度の最大時において手指の後傾や、指節間関節の屈曲が大きく、リリース直前まで手指の屈曲筋群では伸張性収縮により大きな力発揮がなされているとしている。また、宮西ら⁴⁾はボールに伝えられるエネルギーの大部分は手関節の関節力パワーに起因し、そのほとんどは体幹や肩関節の運動によって生み出されたエネルギーが関節や筋・腱を介して転移することによってもたらされることから、手関節や手指がボールリリースにおけるエネルギー伝達に重要な役割を果たしているとして述べている。

投球におけるスナップ動作は前腕の回外からの回内と手関節の背屈・橈屈からの掌屈・尺屈による一連の動作によって特徴づけられ⁵⁾、投球動作において重要な動作と考えられている。スナップ動作に関連する関節運動を担う前腕部の筋については、先行研究において視診や周径囲、筋厚、筋横断面積の測定が行われ、非投球側との比較において投球側が高い値を示す点では共通した結果が得られている⁶⁻⁹⁾。しかし、前腕部に存在する複数の筋の中でいずれの筋に差異があるのかは明らかにされていない。

前腕部の筋(前腕筋)は機能解剖学的には掌側にあり屈曲・回内運動に関与する屈曲回内筋群(flexor pronator muscle group)と背側にあり伸展・回外運動に関与する伸展回外筋群(extensor spinator muscle group)に分けられる¹⁰⁾。屈曲回内筋群は浅筋層、中間筋層、深筋層の3層からなり、浅筋層は円回内筋、橈側手根屈筋、長掌筋、尺側手根屈筋、中間筋層は浅指屈筋、深筋層は深指屈筋、長母指屈筋、方形回内筋で構成される。一方、伸展回外筋は浅筋層と深筋層の2層からなり、浅筋層は腕橈骨筋、長・短橈側手根伸筋、指伸筋、小指伸筋、尺側手根伸筋、深筋

層は回外筋、長母指外転筋、短母指伸筋、長母指伸筋、示指伸筋で構成される。本研究では、投球動作の主動作である前腕部の回内動作、手関節の掌屈、指節間関節の屈曲動作に関連する前腕の屈曲回内筋群、および拮抗筋として作用する伸展回外筋群に着目し、野球投手の投球側にみられる前腕筋の形態的特徴を明らかにすることを目的とした。

2. 方法

1) 対象

対象は大学生野球投手15名(年齢:18.8±1.0歳,身長:175.9±5.4cm,体重:72.1±7.0kg,競技歴8.1±1.4年)であった。15名の内訳は右投手13名,左投手2名であり,全員が右投右打,または左投左打であった。被験者には,あらかじめ研究の目的,方法,実験に伴う危険性などを説明したうえで,実験参加の同意を得た。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。

2) 筋厚測定

筋厚の測定には超音波診断装置(LOGIQe,GE Healthcare社製)を使用した。測定はBモードで行い,探触子は8MHzのリニア型プローブを用いた。撮像部位はAbe et al.¹¹⁾の前腕部の筋厚の測定方法に基づき,橈骨点から橈骨茎状突起遠位端までを前腕長とし,橈骨点から前腕長の遠位30%の位置とした。測定筋は屈曲回内筋群では円回内筋,橈側手根屈筋,長掌筋,尺側手根屈筋,浅指屈筋,深指屈筋の6筋,伸展回外筋群では尺側手根伸筋,小指伸筋,総指伸筋,回外筋の4筋とした。測定姿勢は仰臥位または腹臥位とし,前腕はいずれも回外位とした。仰臥位では前腕腹側の橈側より円回内筋,橈側手根屈筋・浅指屈筋・深指屈筋,長掌筋の順番に撮像を行い(Fig 1),腹臥位では前腕背側の尺側より尺側手根屈筋,尺側手根伸筋,小指伸筋,総指伸筋・回外筋の順番に撮像を行った(Fig 2)。

超音波画像は医療用レコーダー(MediCap USB2.0,MediCapture社製)に保存し,画像解析ソフトウェア(ImageJ, National Institutes of Health)を使用して0.1mm単位で筋厚を測定した。筋厚の測定位置は,尺側手根屈筋,長掌筋,橈側手根屈筋,総指伸筋,小指伸筋,尺側手根伸筋では表層部における筋の横幅を基準とし,その中央の位置,円回内筋では腕橈骨筋と橈側手根屈筋の接点の位置,浅指屈筋,深指屈筋,円回外筋は上記の橈側手根屈筋,総指伸筋の測

定位置の直下とした (Fig 1, 2).

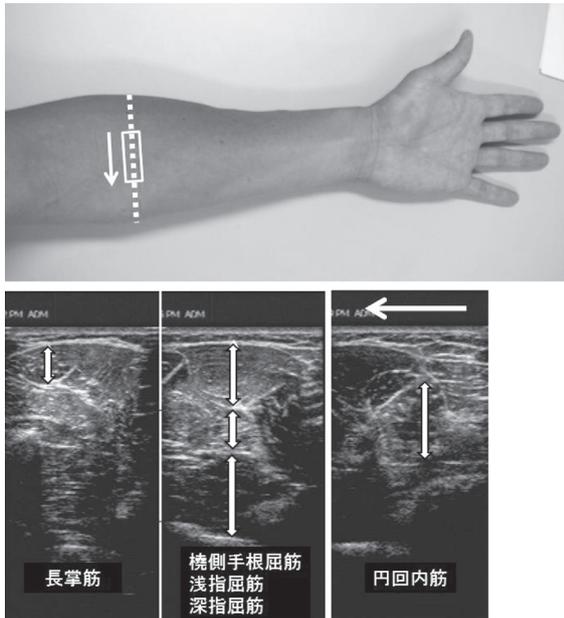


Fig 1 前腕腹側の超音波画像

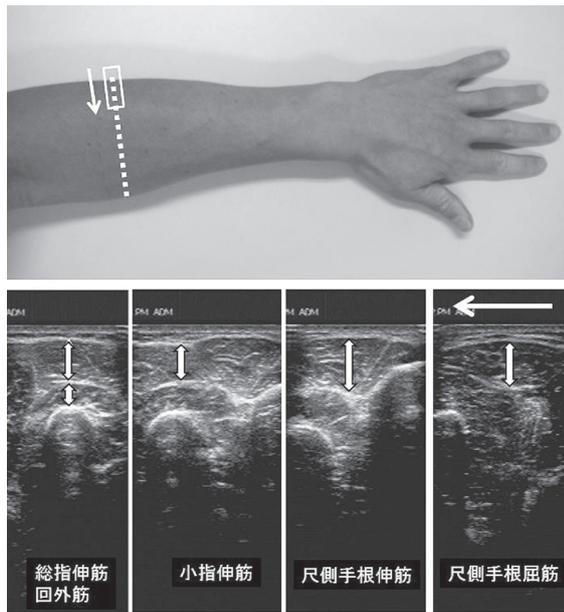


Fig 2 前腕背側の超音波画像

3. 結果

野球投手の投球側と非投球側における前腕の屈曲回内筋群の筋厚をTable 1 に示した. 深指屈筋では投球側が $18.9 \pm 3.2\text{mm}$ であり, 非投球側の $16.1 \pm 2.5\text{mm}$ に対して有意に高い値を示した ($p < 0.01$). 一方, 長掌筋では投球側が $6.4 \pm 1.1\text{mm}$ であり, 非投球側の $7.4 \pm 1.5\text{mm}$ に対して有意に低い値を示した ($p < 0.05$). 屈曲回内筋群におけるその他の筋では投球側と非投球速の間に筋厚の差はみられなかった. また, 野球投手の投球側と非投球側における前腕の伸展回外筋群の筋厚をTable 2 に示した. 伸展回外筋群ではいずれの筋においても投球側と非投球側の間に有意な差は見られなかった.

Table 1 屈曲回内筋群の筋厚

筋名	投球側	非投球側
浅筋層		
円回内筋 (mm)	16.9 ± 1.7	16.7 ± 2.4
橈側手根屈筋 (mm)	14.7 ± 1.3	14.4 ± 1.4
長掌筋 (mm)	6.4 ± 1.1	$7.4 \pm 1.5^*$
尺側手根屈筋 (mm)	11.1 ± 1.7	10.5 ± 2.1
中間筋層		
浅指屈筋 (mm)	8.7 ± 2.0	8.1 ± 1.6
深筋層		
深指屈筋 (mm)	18.9 ± 3.2	$16.1 \pm 2.5^{**}$

*: $p < 0.05$, **: $p < 0.01$

Table 2 伸展回外筋群の筋厚

筋名	投球側	非投球側
浅筋層		
尺側手根伸筋 (mm)	11.8 ± 1.2	11.3 ± 1.3
小指伸筋 (mm)	9.7 ± 1.4	9.9 ± 2.0
総指伸筋 (mm)	11.7 ± 1.8	12.6 ± 1.7
深筋層		
回外筋 (mm)	5.6 ± 0.7	5.7 ± 1.0

3) 統計処理

全てのデータは平均値±標準偏差で示した. 右投げと左投げの影響を取り除くため, 分析は, 投球側と非投球側に分けて行った. 投球側と非投球側の筋厚の比較には対応のある t 検定を用いた. 統計処理には統計用ソフトウェア (SPSS statics, Ver.21) を使用し, 有意水準は 5%未満とした.

4. 考察

1) 屈曲回内筋群

前腕部の浅筋層にある橈側手根屈筋, 長掌筋, 尺側手根屈筋, 円回内筋はいずれも上腕骨内側上顆に起始を持つ. このうち橈側手根屈筋, 長掌筋, 尺側手根屈筋の 3 筋はいずれも手関節の掌屈に働き, さらに橈側手根屈筋は手関節橈屈, 尺側手根屈筋は手関節尺屈, 橈側手根屈筋と長掌筋は前腕回内にも作用するなど,

主に手関節や前腕の動きに関連した筋群である¹⁰⁾。これらの3筋の中で生理学的筋横断面積からみた発揮筋力は尺側手根屈筋が最大であり、次いで橈側手根屈筋、長掌筋の順となるが、その割合は尺側手根屈筋を基準とすると橈側手根屈筋の筋力は約60%、長掌筋は約20%にすぎない¹²⁾。投球動作中の筋活動については、橈側手根屈筋、尺側手根屈筋、円回内筋に関する報告が見られるが、いずれも筋最大の筋活動が見られるタイミングは加速期であり、徒手筋力テスト (MMT) 時の筋活動に対して、橈側手根屈筋が $120 \pm 66\%$ MMT、円回内筋が $85 \pm 39\%$ MMT、尺側手根屈筋が $112 \pm 60\%$ MMTと高水準の筋活動を示す^{13,14)}。また、ボールリリース前後に見られる前腕回内時の尺側手根屈筋、円回内筋、橈側手根屈筋の筋活動の大きさと投球スピードの関係については、橈側手根屈筋の筋活動と投球スピードに強い相関がみられることや¹⁵⁾、試合を想定した投球では、投球イニングが増えるにつれて橈側手根屈筋の筋活動の低下する (=筋疲労) ことが報告されている¹⁶⁾。これらの知見からも橈側手根屈筋は投球パフォーマンスの遂行において重要な役割を果たす筋であると考えられる。しかし、本研究において橈側手根屈筋の筋厚には投球側の優位性は示されなかった。一方、前腕部の中間筋層、深筋層には手指の屈曲に関わる浅指屈筋、深指屈筋が存在する。浅指屈筋と深指屈筋はいずれも第2～5指を屈曲させる働きを持ち、浅指屈筋が主に近位指節間関節 (PIP関節 = 第2関節) と中手指節間関節 (MP関節) の屈曲に作用するのに対して、深指屈筋はこれらに加えて、遠位指節間関節 (DIP関節 = 第1関節) の屈曲にも作用する。本研究では深指屈筋の筋厚は投球側が非投球側よりも有意に高い値を示し、投球側に優位性が示された (Fig 3)。深指屈筋は前腕筋の中で最大の生理学的筋横断面積を持ち、最も高い筋力発揮が可能な筋であることが知られており¹⁰⁾、投球動作中の筋活動については報告が見られないものの、浅指屈筋が加速期に最大の活動 ($80 \pm 66\%$ MMT) を示すことから、類似した筋活動が予想される^{13,14)}。また、高橋ら³⁾ はボールリリース時に指がボールに作用した力の大きさとボール速度に有意な相関があることを報告し、ボールリリース前に指をより屈曲し、その屈曲位をより長く保つことがボールに大きな力を発揮して、ボール速度の増加や投射方向のコントロールを行うために重要であると述べている。このことから深指屈筋は大きな生理学的筋横断面積を持ち、発揮筋力が大きく、多関節筋として中手指節間関節、近位指節間関節、遠位指節間関節

と多くの関節を経て、中枢からの力を抹消の指先へ伝達する役割を担うことにより、投球に伴う物理的なストレスを受け続け、選択的な筋肥大が生じた可能性が考えられる。

また、本研究では長掌筋に投球側と非投球側の間に筋厚の差が示された。長掌筋の投球動作中の筋活動に関する報告は見られないため、投球に対する貢献度は明らかではない。しかし、長掌筋は生理学的筋横断面積から見た筋力は屈曲回内筋群で最も小さく、他の筋の20～30%に過ぎないことや、日本人の約4%程度に欠損がみられ、特に右側の欠如率が左側よりも高いことや破格が多くみられることなどが報告されている^{10,17)}。欠損例においても特に機能障害を呈することがなく、臨床的にも多関節屈曲の補助筋として扱われるなど¹⁸⁾、手関節の掌屈力発揮や投球パフォーマンスに対する影響は少ないと考えられる。投球側の筋厚が非投球側を下回った理由は明らかではないが、破格が多いなど形態的な変異が多くみられることも影響している可能性が考えられる。

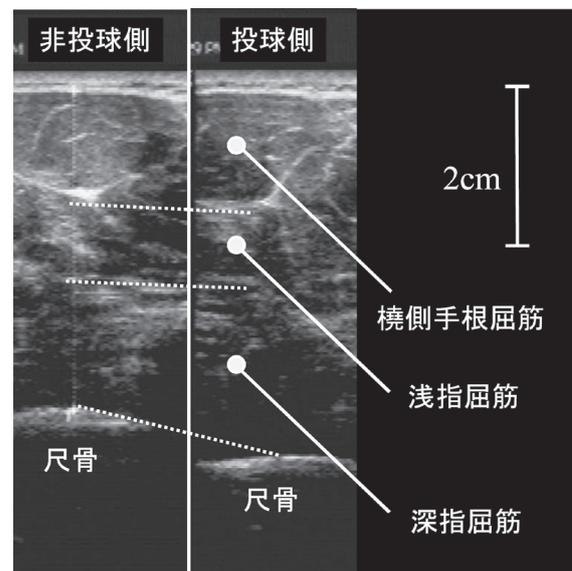


Fig 3 投球側と非投球側の屈曲回内筋群の一例

2) 伸展回外筋群

手関節の伸展回外筋群には、浅筋層の腕橈骨筋、長・短橈側手根屈筋、指伸筋、小指伸筋、尺側手根伸筋があり、いずれも上腕骨外側上顆に起始を持つ。この中で腕橈骨筋は手指の伸展に関与せず、回外運動にも中間的な働きを持つため、厳密な意味では伸展・回外筋群に属するものではない¹⁰⁾。その他の長・短橈側手根屈筋、尺側手根屈筋は手関節の背屈に働き、指伸筋は第2～5指、小指伸筋は第5指のMP関節を伸展させ、

MP関節が屈曲位にあるときには近位指節間関節（PIP関節）や遠位指節間関節（DIP関節）の伸展にも作用する¹⁰⁾。手関節の伸展回外筋群の投球動作中の筋活動については、長・短橈側手根伸筋、総指伸筋、回外筋に関する報告が行われている¹³⁾。いずれも筋活動のピークは長橈側手根伸筋（72±37% MMT）・短橈側手根伸筋（75±41% MMT）、指伸筋（59±27% MMT）ともに後期コッキング期に見られ、テイクバック時の手首や指を伸展させる動作と関連するものであると解釈されている¹³⁾。一方、回外筋は深筋層にある筋であり、前腕の回外運動に関与する。投球動作において回外筋は減速期に筋活動のピーク（59±31% MMT）が見られ、ボールリリース時の回内運動を制御する役割を持つと考えられているが、その発揮筋力は上腕二頭筋の1/2程度と小さい^{10,13)}。本研究において伸展回外筋群の筋厚に投球側と非投球側との差が見られなかったのは、これらの筋が投球動作において姿勢制御などの役割が大きく、筋活動水準が屈曲回内筋群に比べて極めて小さいことが要因であると考えられる。

5. 結論

本研究では前腕の屈曲回内筋群、伸展回外筋群を対象に野球投手の投球側に見られる形態的特徴を明らかにすることを目的とした。超音波法により屈曲回内筋群6筋（円回内筋、橈側手根屈筋、長掌筋、尺側手根屈筋、浅指屈筋、深指屈筋）、伸展回外筋群4筋（尺側手根伸筋、総指伸筋、小指伸筋、円回外筋）の筋厚を測定し、投球側と非投球側の比較を行い以下のような結論を得た。

- 1) 屈曲回内筋群では深指屈筋において、投球側が非投球側に対して有意に高い値を示した。一方、長掌筋では投球側が非投球側に対して有意に低い値を示した。
- 2) 伸展回外筋群ではいずれの筋においても投球側と非投球側間に筋厚の差は見られなかった。

これらの知見から、野球投手の投球側の前腕筋では手指の屈曲に関連する深指屈筋が選択的に肥大し、最も顕著な投球側の優位性を示すことが明らかとなった。

謝辞

本研究は科学研究費補助金（15K01581）の助成を受けたものである。

引用文献

- 1) 桜井伸二, 池上康男, 矢部京之助, 岡本敦, 島進太郎 (1990) : 野球の投手の投動作の3次元動作解析. 体育学研究, 35 (2), 143-156.
- 2) 宮西智久, 藤井範久, 阿江通良, 功力靖雄, 岡田守彦 (1996) : 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 (1), 23-37.
- 3) 高橋圭三, 阿江通良, 藤井範久, 島田一志, 尾崎哲郎 (2000) : 野球のピッチングにおける手および指の動きとボール速度増加の関係. バイオメカニクス研究, 4 (2), 116-124.
- 4) 宮西智久, 藤井範久, 阿江通良, 功力靖雄, 岡田守彦 (1997) : 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 (1), 55-68.
- 5) 宮西智久 (2000) : 野球のスナップのバイオメカニクス. バイオメカニクス研究, 4 (2), 136-144.
- 6) King, J. W., Brelsford, H. J. and Tullos, H. S. (1969) : Analysis of the pitching arm of the professional baseball pitcher. Clin Orthop Relat Res., 67, 116-123.
- 7) Hirano, Y. and Ikegawa, S. (1987) : 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.
- 8) 角田直也, 田中重陽, 石塚信之, 青山利春, 岡田雅次, 西山一行 (2003) : 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.
- 9) 長谷川伸, 小野高志 (2012) : 野球投手の筋厚の非対称性とボールスピードの関係. 体力科学, 61 (2), 227-235.
- 10) 上羽康夫 (2014) : 手 その機能と解剖. 第5版, 金芳堂. 141-196.
- 11) Abe, T., Kondo, M., Kawakami, Y., and Fukunaga, T. (1994) : Prediction equation for body composition of Japanese adults by B-mode ultrasound. Am. J. Human Biol., 6, 161-170.
- 12) Brand, P. W., Beach, R. B., and Thompson D. E. (1981) : Relative tension and potential excursion of muscles in the forearm and hand. J. Hand Surg., 6, 209-219.
- 13) DiGiovine, N. M., Jobe, F., Pink, M., Perry, J. (1992) : An electromyographic analysis of the

- upper extremity in pitching. *J Shoulder Elbow Surg.*, 1, 15-25.
- 14) Glousman, R. E., Barron, J., Jobe, F. W., Perry, J., Pink, M. (1992) : An electromyographic analysis of the elbow in normal and injured pitchers with medial collateral ligament insufficiency. *Am J Sports Med.*, 20 (3), 311-317.
- 15) 斎藤健治, 仰木裕嗣, 市川浩, 井上伸一, 松尾知之, 足立和隆, 宮地力, 高井省三. (2001) : 投球スピード漸増および球種の違いによる上肢筋活動の変化. *筑波大学体育科学系紀要*, 24, 79-88.
- 16) 高田義弘, 岡田修一 (2003) : 試合を想定した投球中の上肢筋電図変化. *教育医学*, 3, 283-291.
- 17) 高橋豊治, 東昇吾, 戸澤孝夫, 川島帝都夫, 竹内隆治, 佐藤泰司 (1981) : ヒトの長掌筋について. *杏林医会誌*, 16 (3), 341-353.
- 18) 青木隆明監修, 林典雄 (2005) : 運動療法のための機能解剖学的触診技術 上肢. *メディカルビュー*, 初版, 200-264.

Received date 2016年6月3日