

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

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

Change in Upper Limb Muscle Activity when Ball Speed Increases and Type of Pitch Differs

SAITOU Kenji, OHGI Yuji*, ICHIKAWA Hiroshi**, INOUE Shin-ichi***, MATSUO Tomoyuki****, ADACHI Kazutaka, MIYAJI Chikara***** and TAKAI Shozo

The purpose of this study was to investigate the upper limb muscle activity in baseball pitching as ball speed was increased and the type of pitch was changed. Five college baseball pitchers pitched ten times with intensities ranging from weak to full, and pitched five fast balls, sliders and curve balls. Surface EMGs were recorded bipolarly from eight muscles: the biceps brachii (BB), the triceps brachii (TB), the flexor carpi ulnaris (FCU), the pronator teres (PT), the flexor carpi radialis (FCR), the extensor carpi radialis (ECR), the extensor digitorum (ED), and the extensor carpi ulnaris (ECU). The relationships of EMG amplitude to ball speed, and to type of pitch were tested by correlation analysis, factor analysis, and one-way ANOVA.

The EMG amplitude of all muscles was correlated with ball speed. In the factor analysis, the EMG amplitude of the TB, FCR, and ECR were included in the first factor with ball speed. The EMG amplitude of the PT in the fast ball pitch was significantly larger than that in the curve ball pitch.

The contributions to the ball speed of the muscle activities of FCR and ECR were larger than were those of the ulnar muscles in the forearm, because FCR and ECR are terminated at the base of metacarpal bone of the second and third finger, which release the ball. Because the activities of the forearm flexors in the curve ball pitch were lower than those in the fast ball pitch, it was concluded that those muscles did not reduce torque deformation around the elbow joint in the curve ball pitch.

Key word: Baseball, Ball Speed, Type of Pitch, Upper Limb Muscle, Surface EMG

I. はじめに

野球の投動作に関する研究は、1980年代以降、画像分析法によるものが大勢を占め^{1, 3-8, 18, 19, 27, 29, 31, 32}、筋電図法を用いた研究は1990年代以降、あまりみられなくなった^{9, 11-16, 21, 28, 30, 34}。これは、定量的な記述が困難であるとか、運動を再現できないなどのデメリットによるといわれている²⁶。

筋電図法には、筋内電極法と表面電極法があり、ともに運動や姿勢分析の手段として多用されてきた。筋内電極法は侵襲的な手法であるが、直径50 mm程度のワイヤー電極であれば、表面電極と同様に動的な運動にも適用可能である²。ただし、分析方法は静的な運動時の筋電図を対象として発展してきており、動的な運動時に記録した筋

* 慶應義塾大学環境情報学部 Faculty of Environmental Information, Keio University

** 筑波大学大学院体育科学研究科 Doctoral Program in Health and Sport Sciences, University of Tsukuba

*** 佐賀大学文化教育学部 Faculty of Culture and Education, Saga University

**** 大阪大学健康体育部 School of Health and Sport Sciences, Osaka University

***** 国立スポーツ科学センター Japan National Sports Center

電図は、その振幅の大小やタイミングを見るにとどまっている。動的な運動時に記録した筋電図の振幅の大小は、筋の収縮レベルや電極と活動部位との距離だけでなく、収縮速度によって変化する運動単位の発火統計などの影響も受ける²⁴⁾。このため、動的収縮では静的収縮に比べ、筋電位振幅から筋の活動レベルを同定することが困難になる。

それにもかかわらず筋電図法は、運動時の筋の出力を容易に直接観察できるほぼ唯一の手法であることに代わりはない。さらに野球の投球動作などの動作分析手法として研究を積み重ね、データを蓄積していくことの意義は大きい。

筋電図法を用いた投球動作の研究は、ほとんどが上肢および上肢帯の筋を対象として行われてきた。豊島ら³⁰⁾はオーバーハンド、サイドハンドおよびアンダーハンドといった投げ方の違いや、ボールの大きさや重さの違いがどのように投球時の筋活動の差異となって現れるかを観察した。風井ら¹⁶⁾は、オーバーハンドスローを、投球腕の動きの違いから連続型と非連続型に区別し、それらの違いがどのように筋活動の差異となって現れるかを観察した。その後、アマチュア選手とプロフェッショナル選手の筋活動を比較した結果¹¹⁾、投球スピード漸増時の筋活動の変化を観察した結果^{13, 34)}が報告された。これらは、投球スピード増大のためにはどの部位の筋活動が鍵になるかという視点から行われた研究といえる。平野と青木¹³⁾は、投球スピード漸増時の筋活動の変化の観察から、スピード増大には前腕などの末梢の筋より上肢帯や体幹などの中枢の筋の役割が重要であると述べている。しかし、ボールリリース時の手指の動きと投球スピードの関係も示唆されており²⁹⁾、投球スピード漸増にともなった前腕筋活動の変化がみられてもよさそうである。

一方、カーブの投球では、ボールリリース時に前腕が速球より回外位にあり、より急激な回内動作や前腕屈筋群の過剰な筋収縮が肘関節内側部にストレスを加えるという見方がある^{3, 11, 17)}。Hang¹²⁾、Sisto et al.²⁸⁾は、この説を検証するために速球とカーブの投球時の前腕の筋活動を比較した。その結果、両者に差が見られないことから、カーブの投球が肘関節に及ぼす影響は少ないという結論を出した。斎藤ら²²⁾、Saitou et al.²⁵⁾は、速球とカーブ投球時の上肢の関節運動を計測し、カーブの投球時、肩と前腕の運動のタイミングのズレによる

肘関節へのねじれストレスを示唆しており、このストレスを軽減するために前腕屈筋群が活動する可能性もある。

そこで本研究では、スピード漸増と球種の違いにより、とくに肘関節障害と関係づけられるカーブおよびそれに近い球種のスライダーについて、上腕と前腕の筋活動がどのように変化するかを明らかにすることを目的とした。

II. 方法

1. 被験者および実験試技

被験者は筑波大学硬式野球部に所属する右投げ投手5名であった。被験者に、正規の距離18.44 mで捕手に向かって投球を行わせた。投球数は、弱投球強度から全力投球強度まで10球、それに続いて速球5球、カーブ5球およびスライダー5球の計25球であった。投球スピード測定にはスピードガン(PSK Professional, トーアスポーツマシーン社製)を用いた。また、被験者側方から高速度カメラ(HSV200, NAC社製)を用いて毎秒200コマ、シャッタースピード1000分の1秒で投球フォームの撮影を行った。

2. 表面筋電図計測

被験筋は投球腕の上腕二頭筋長頭(biceps brachii: BB)、上腕三頭筋長頭(triceps brachii: TB)、尺側手根屈筋(flexor carpi ulnaris: FCU)、円回内筋(pronator teres: PT)、橈側手根屈筋(flexor carpi radialis: FCR)、(長短)橈側手根伸筋(extensor carpi radialis: ECR)、指伸筋(extensor digitorum: ED)、尺側手根伸筋(extensor carpi ulnaris: ECU)の8筋であった。表面筋電図は検出面の直径が3 mmの小型生体電極(日本光電社製)を用いて電極間隔20 mmで双極に導出し、テレメータ(日本光電社製, WEB-5000)を用いて時定数0.03秒で増幅した。電極貼付前に貼付位置の表皮角質を針で一部剥離し、接触抵抗を低減した。各被験者ごとに、実験後、最大随意等尺性収縮(MVC)時の表面筋電図を記録した。増幅した信号は、サンプリング速度1 kHz、精度12 bitでA/D変換し、パーソナルコンピュータ(Macintosh PowerBook 2400, Apple社製)に取り込んだ。

3. 前腕回内運動の角速度計測およびボールリリース時刻の検出

斎藤ら²²⁾の方法を用いて、ボールリリース前後における回内運動の角速度計測とボールリリース

Table 1 Ball speed [km/h] measured with a radar gun when the intensity of pitches increased and the type of pitch was changed.

Subjects	Fastball	Fastball		Slider		Curveball	
	Range	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
A	102.8-128.4	126.0	2.0	101.2	1.8	87.2	4.0
B	79.3-116.6	114.1	2.9	94.9	3.0	89.5	1.1
C	74.4-119.1	117.8	0.8	107.4	2.5	90.7	4.8
D	82.0-115.0	112.0	2.5	93.6	3.0	78.6	3.8
E	98.2-110.1	103.6	5.3	95.7	3.2	82.4	3.5

Table 2 Period [ms] of forearm pronation before and after ball release.

Subjects	Mean	SD
A	51.1	2.8
B	89.6	6.1
C	52.9	3.5
D	54.8	5.4
E	58.1	4.5
Total	60.8	14.7

Table 3 Electromechanical delay [ms] measured with accelerometers and the surface EMG method.

Muscles	Subj. A	Subj. B	Subj. C	Subj. D	Subj. E
Biceps Brachii (BB)	42	57	60	49	67
Triceps Brachii (TB)	66	94	63	73	68
Flexor Carpi Ulnaris (FCU)	43	66	33	57	43
Pronator Teres (PT)	43	66	33	57	43
Flexor Carpi Radialis (FCR)	43	66	33	57	43
Extensor Carpi Radialis (ECR)	37	49	28	48	38
Extensor Digitorum (ED)	37	49	28	48	38
Extensor Carpi Ulnaris (ECU)	37	49	28	48	38

時刻の検出を行った。

4. Electromechanical delay (EMD)の計測

実験後、表面筋電図計測と加速度計測により、上腕二頭筋、上腕三頭筋、前腕屈筋群、前腕伸筋群のEMDを求めた。計測試技はそれぞれ、肘関節の屈曲運動、伸展運動、前腕の回内運動、前腕の回外運動であった。たとえば、肘関節の屈曲試技の場合は、伸展の静止状態から最大努力の屈曲動作を行わせた。また、前腕の回内試技の場合は、回外位から最大努力の回内動作を行わせた。これらの運動時の筋活動開始時刻から、運動の加速度が生じる時刻の差をEMDとした。

5. 信号処理および分析

計測した表面筋電図は、アーチファクトを除去するために4次のパワース型デジタルハイパスフィルタにより10Hz以下の成分をカットした。その後Root Mean Square (RMS)を求め、MVC時

のRMSを用いて基準化した。リリース前後の回内運動時の表面筋電図分析の際には、先に求めたEMDを用いて時間差を相殺し分析した。統計分析は統計解析ソフトウェアJMR (SAS Institute Inc.)を用いて、相関分析、因子分析および一元配置の分散分析を行った。

III. 結果

Table 1に、スピードガンで測定した5人の被験者の漸増試技における投球スピードの範囲、および速球、スライダー、カーブ投球における投球スピードの平均値を示す。被験者の投球スピードおよび投球動作には個人差があったものの、リリース前200 ms前後で踏み出し足の着地があり、リリース後200 msでほぼフォロースルーのフィニッシュを迎えていたことが画像から確認できた。異なる投球スピード間、異なる球種間でこれらの動きの差が、容易に視察で認められることはなかった。ここでは、表面筋電図振幅の分析区間として、上肢の強い運動局面(コッキング後半、加速、フォロースルー)を含むリリース前300 msからリリース後200 msまでの500 ms間と、リリース前後の局所的な運動局面である回内運動期間を対象に比較検討した。回内運動期間は斎藤ら²²⁾の方法により個人ごとに決定した (Table 2)。回内運動期間の表面筋電図振幅分析に用いた各筋のEMDデータをTable 3に示す。

1. 投球スピードと表面筋電図RMS値の関係

Fig. 1に投球スピード漸増時の筋活動の一例として、被験者Aが102.8 km/h、115.2 km/hおよび128.1 km/hで投球したときの表面筋電図を示す。時間軸上での0がボールリリース時刻を表している。投球スピードの増加にともない、筋放電量が増加した。また、投球スピードに関係なく、上腕二頭筋と上腕三頭筋、前腕屈筋群と前腕伸筋群の間に相反的な活動が見られたが、リリース付近では上腕二頭筋以外の筋が協働的に活動していた。上腕二頭筋はリリース前100 msまでのコッキング期(踏み出す左足が着地するまで)で強く活動していた。また、フォロースルー期でも活動がみられることがあった。

Table 4に、速球の投球スピード漸増時の筋放電のRMS値と投球スピードの相関係数を示す (p<0.01, n=47)。500 ms間 (500 ms) のすべての表面筋電図RMS値は、投球スピードと有意な相関

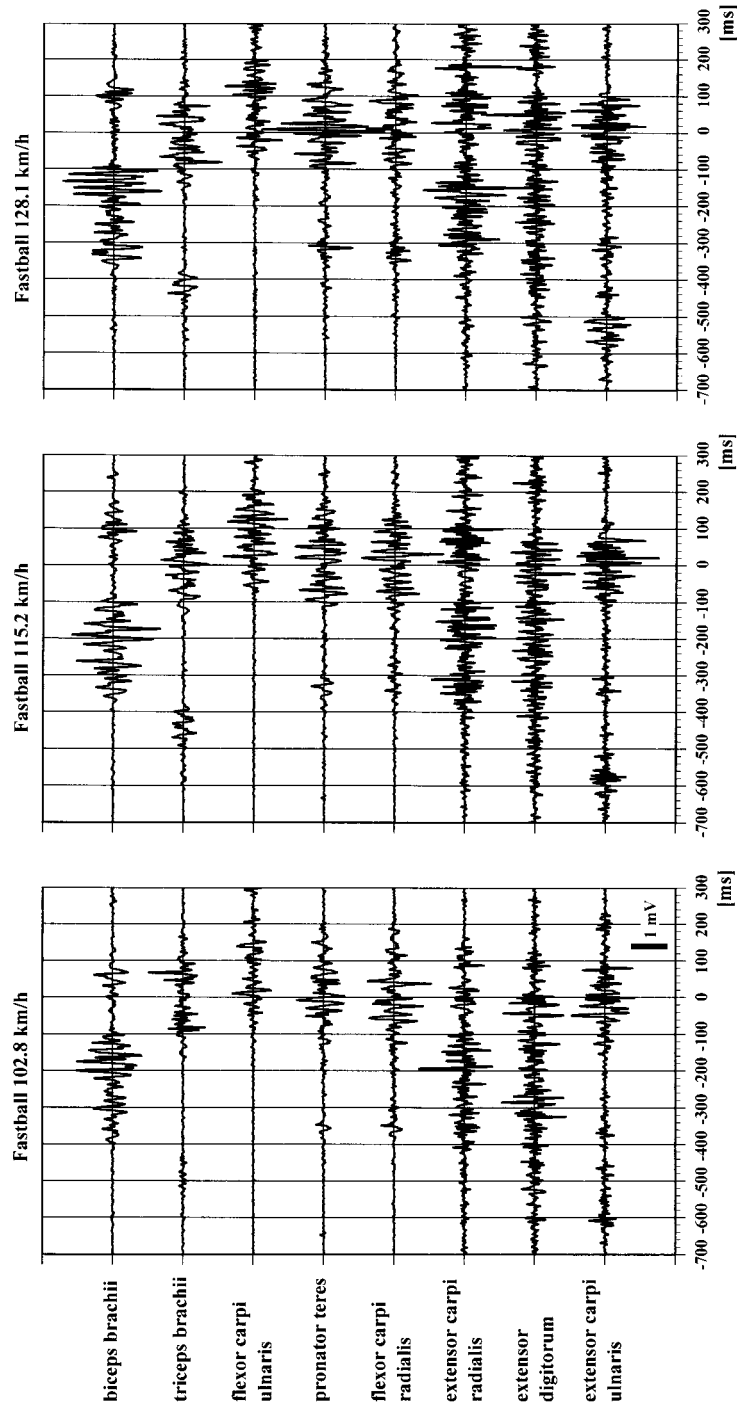


Fig.1 Examples of surface EMG recorded from eight muscles when a subject pitched fast balls ranging from weak to full levels of intensity.

Table 4 Correlation coefficients between fast ball speed and the RMS value of surface EMG.

	500 ms	RIs
Biceps Brachii (BB)	0.54	0.52
Triceps Brachii (TB)	0.59	0.39
Flexor Carpi Ulnaris (FCU)	0.52	-0.11
Pronator Teres (PT)	0.37	0.14
Flexor Carpi Radialis (FCR)	0.60	0.55
Extensor Carpi Radialis (ECR)	0.64	0.58
Extensor Digitorum (ED)	0.53	0.35
Extensor Carpi Ulnaris (ECU)	0.39	0.07

shaded values show significant correlation coefficients ($p < 0.01, n = 47$)
500 ms during the period from 300 ms before ball-release to 200 ms after ball-release
RIs: during the period of forearm pronation before and after ball-release

Table 5 Factor pattern calculated from the correlation of RMS during 500 ms of each muscle with ball speed.

	factor 1	factor 2	factor 3	communalities
Biceps Brachii (BB)	0.57	0.08	-0.36	0.60
Triceps Brachii (TB)	0.73	0.08	-0.23	0.59
Flexor Carpi Ulnaris (FCU)	0.42	0.19	-0.83	0.60
Pronator Teres (PT)	0.16	0.47	-0.83	0.65
Flexor Carpi Radialis (FCR)	0.88	0.04	-0.45	0.84
Extensor Carpi Radialis (ECR)	0.83	-0.02	-0.47	0.90
Extensor Digitorum (ED)	0.17	0.92	-0.05	0.88
Extensor Carpi Ulnaris (ECU)	0.03	0.88	-0.29	0.87
Ball speed	0.82	0.45	-0.04	0.87
Eigen value	5.15	1.67	0.86	
Contribution [%]	57.2	18.6	9.6	

Table 6 Factor pattern calculated from the correlation of RMS during pronation period of each muscle with ball speed.

	factor 1	factor 2	factor 3	communalities
Biceps Brachii (BB)	0.81	-0.38	0.23	0.75
Triceps Brachii (TB)	0.28	0.87	0.80	0.75
Flexor Carpi Ulnaris (FCU)	-0.27	0.82	0.34	0.86
Pronator Teres (PT)	0.01	0.90	0.23	0.85
Flexor Carpi Radialis (FCR)	0.71	-0.95	0.59	0.85
Extensor Carpi Radialis (ECR)	0.73	0.05	0.58	0.88
Extensor Digitorum (ED)	0.36	0.80	-0.36	0.89
Extensor Carpi Ulnaris (ECU)	-0.03	0.93	-0.36	0.89
Ball speed	0.85	0.14	0.05	0.75
Eigen value	5.59	3.01	1.85	
Contribution [%]	37.7	33.5	11.5	

があった。一方、リリース前後局面 (RIs) では尺側手根屈筋、円回内筋および尺側手根伸筋は投球スピードと相関がなかった。

Table 5に500 ms間、Table 6にリリース前後局面

における筋放電のRMS値と投球スピードの相関から求めた因子負荷行列を示す。抽出した3つの因子は全分散の約80%を説明していた。500 ms間とリリース前後局面の両方の第一因子には、投球スピードと橈側手根屈筋および橈側手根伸筋のRMS値が含まれた。第二因子には、指伸筋および尺側手根伸筋のRMS値が含まれた。上腕二頭筋はリリース前後局面では第一因子に含まれたが、500 ms間では第三因子に含まれた。上腕三頭筋はその逆を示した。

2. 投球種と表面筋電図RMS値の関係

Fig. 2に速球、カーブおよびスライダー投球時の表面筋電図の一例を示す。いずれの球種においても、ボールリリース前では上腕二頭筋と上腕三頭筋の間、前腕屈筋群と前腕伸筋群の間で拮抗的な活動を示した。ボールリリース近辺では上腕二頭筋以外の筋が協働的に活動した。

Fig. 3a にリリース前後500 ms間の表面筋電図RMS値について、球種を要因として一元配置の分散分析および多重比較を行った結果を示す。ほとんどの筋で速球投球時の筋活動が大きい傾向を示した。尺側手根伸筋、指伸筋および円回内筋でカーブより速球の表面筋電図RMS値が有意に大きかった。Fig. 3b にリリース前後局面の表面筋電図RMS値について、球種を要因として一元配置の分散分析および多重比較を行った結果を示す。速球における円回内筋においてカーブより速球の表面筋電図RMS値が有意に大きかった。

IV. 考察

1. 投球スピード増加と上肢筋活動について

平野と青木¹³⁾は、低、中、高の三段階強度で投球したときの筋電図を記録し、中強度で投球した時の前腕筋群の筋放電量が高強度のそれを上回ることがあったと報告している。このことから、前腕筋活動は投球スピードに比較的關係で、より近位の上肢帯や体幹の筋がスピード増加に貢献したと述べている。また、山本ら³⁴⁾は、弱、中、強と投球強度を増加させたときの四肢、上肢帯および体幹の筋の筋放電量の増加率から、上腕三頭筋、大胸筋鎖骨部および上腕二頭筋の投球スピードへの貢献度が大きかったと報告している。本研究では相関分析の結果、投球スピードとすべての筋の500 ms間の筋放電量の間に関連が認められた。しかし、リリース前後の筋放電量に焦点

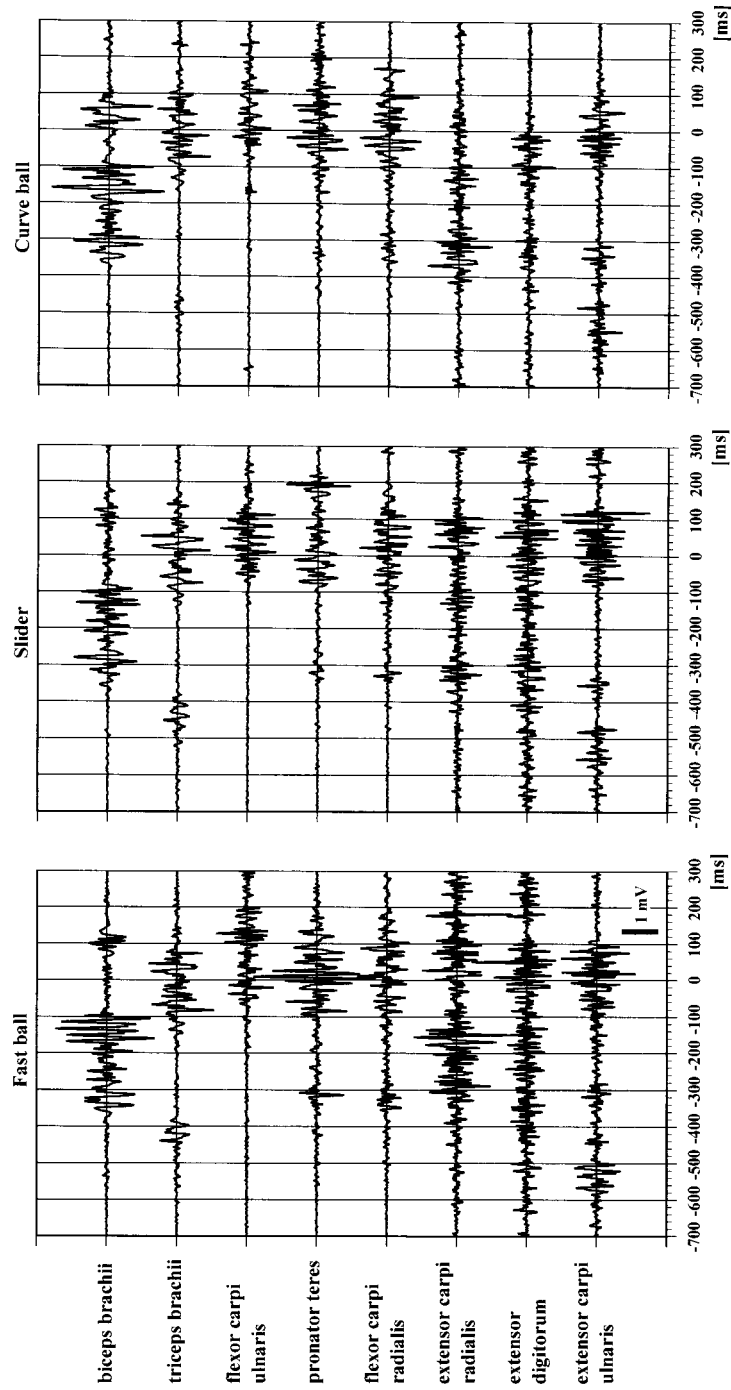


Fig. 2 Examples of surface EMG recorded from eight muscles when a subject pitched a fast ball , a slider and a curve ball.

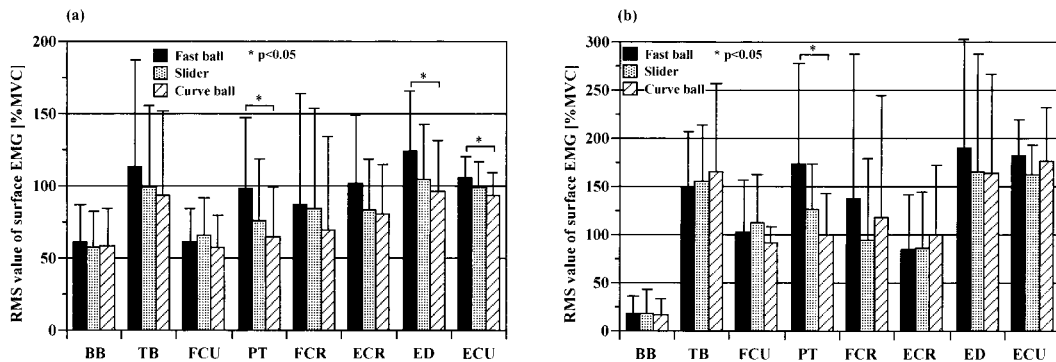


Fig. 3 Comparison of RMS values of surface EMG recorded during pitching in three pitch types. (a) Period from 300 ms before ball release to 200 ms after ball release. (b) Period of forearm pronation before and after ball release.

を絞ると、尺側手根屈筋、尺側手根伸筋および円回内筋に投球スピードとの相関が認められなかった。より中枢に位置する筋の投球スピードへの貢献度が大きいことは、バイオメカニクスのみならず明らかである。しかし、全体的な筋活動と投球スピードとの間に相関があるものの、投球スピードに直結するリリース前後の筋活動に、投球スピードと相関のない筋があることから、上腕あるいは前腕の筋の貢献度に差があることも予想される。

因子分析を行った結果、橈側手根屈筋および橈側手根伸筋が投球スピードと同じ因子に含まれた。ボールリリース時には体幹から上肢へと伝えられた力をできるだけ損失なくボールへ伝えることが重要であり、そのためには指節間関節を屈曲してボールが遠心方向へ抜けるのを防ぐ必要がある²⁹⁾。指節間関節の屈曲は、浅指屈筋と深指屈筋の筋収縮による。ところがこれらの筋は手首の屈曲にも同時に作用するため、必要以上の手首の屈曲を防ぐには手根屈筋と手根伸筋による手首の固定が必要になる³³⁾。中でも橈側手根屈筋と橈側手根伸筋はともにボールをリリースする第二指と第三指の中手骨底に停止する筋であり、他の前腕筋群に比べ投球時の貢献度が大きいと考えられる。これに対し、尺側手根屈筋と尺側手根伸筋は第五指（豆状骨から小指外転筋へ移行および第五中手骨底）に停止する筋である³³⁾。ボールを握っている間、ボールを支えるため、この指は第四指とともに軽く曲げられるだけであることから、橈側の筋に比べ投球への貢献度は小さいと考えられる。このため、リリース前後局面で尺側手根屈筋および尺側手根伸筋の筋放電量が投球スピードと相関

がなかったと考えられる。

上腕三頭筋は500 ms間の筋活動では、橈側手根屈筋および橈側手根伸筋と同様に投球スピードと同じ因子に含まれた。これは、斎藤ら²²⁾が述べているように、肘の伸展の良否が投球スピードを左右する一因であるためと考えられる。

Gowan et al.¹¹⁾は、プロ選手とアマチュア選手の投球時の筋活動を比較して、上腕二頭筋の活動は加速の投球技能に関係ないと述べている。本研究でも同様に、上腕二頭筋の筋放電量はリリース前100 msまでの加速期にはいる前のコッキング期後半において大きかった。しかし、投球スピードと500 ms間の表面筋電図RMS値の間に相関があり、リリース前後局面の表面筋電図RMS値が第一因子に含まれた。上腕二頭筋の役割については今後、詳細に検討する必要がある。

2. 球種の違いと上肢筋活動について

500 ms間およびリリース前後局面ともに、円回内筋の筋放電量がカーブより速球において有意に大きく、他の筋では差がなかった。リリース前後の前腕の回内運動について斎藤ら²²⁾は、リリース時の回内角速度はカーブより速球において有意に大きかったと報告している。さらに、リリース前後の回内運動のメカニズムについて、肘関節の伸展にともない肩関節内旋の角速度が大きくなり、前腕回内を引き起こすと述べている。これらの結果から速球投球では、肩と肘の関節運動だけでなく、リリース時にカーブより回内が必要な分、円回内筋の筋活動を積極的に利用していると考えられる。500 ms間の指伸筋および尺側手根伸筋の筋放電量が速球よりカーブにおいて有意に小さかつ

たのは、カーブの投球では速球に比べ、手首の関節が掌屈する傾向にあることが原因と考えられる²⁵⁾。

Hang¹²⁾、Sisto et al.²⁸⁾は速球とカーブの投球時に、前腕屈筋群の筋放電量に差がなかったと報告している。そして、「カーブ投球はリリース時に前腕が相対的に回外位にあり、リリース後の急激な回内や、手首、手指の屈曲をともなうことから、前腕屈筋群に過度の負荷がかかり肘関節内側部の障害につながる」という説^{3,10,17)}を否定した。本研究においては、むしろ速球の投球において筋放電量が多いことから、同様にこの説を否定することになる。逆に、速球では円回内筋を中心とした屈筋群の収縮により、投球時の肘関節外反ストレスから積極的に保護されていると考えられる。

Saitou et al.²⁵⁾はカーブの投球において、肩関節の内旋運動と前腕の回内運動のタイミングのズレが肘関節にストレスを加える可能性があるとして報告している。それにもかかわらず、カーブ投球時の円回内筋を中心とした前腕屈筋群の筋放電量は小さく、ストレスを軽減するために前腕屈筋群が特別に働いてたとはいえない。これは、カーブの投球では常にストレスにさらされているか、あるいは、本実験の被験者が、ねじれのストレスを軽減するために肩内旋の角速度と、肘の伸展度を抑える投げ方になっていたためと考えられる²⁵⁾。障害予防の観点からはこのような関節運動を抑えた投球方法も有効であるが、投球フォームから球種を読まれないようにするべきという実戦的観点からはあまり有効ではない。この意味で、球速、飛球軌跡ともに速球とカーブの中間的な球種、つまり速球と同じ腕の振りで投げやすく、ねじれのストレスをともないにくいスライダーの方がカーブの投球より望ましいといえる。

3. 投球動作の筋電図学的研究に関する今後の課題

表面筋電図の波形分析法の開発はほとんど静的な筋収縮を対象に進められており²⁾、動的な筋収縮の場合、振幅とタイミングを見る以外にほとんど方法はない。このため、投球動作の筋電図学的分析は古くから多数行われているにもかかわらず、振幅の大きさと発火のタイミングから動きを定性的に記述するだけで終わってしまう²⁶⁾。

振幅の大きさは皮下脂肪厚や活動運動単位からの距離の影響を多大に受けるため個人差が大きくなりやすい。そのため被験者間の振幅の比較のために、MVC時の振幅を元に基準化した%MVC法

を用いることは理にかなっている。しかし、今回の結果も同様、基準化したにもかかわらずRMS値のばらつきは非常に大きくなることが多い。これらは、動的収縮時に活動した運動単位的位置や発火頻度、発火タイミングなどの個人差も多大な影響を与えるためと考えられ²³⁾、今後の新たな基準化による分析が望まれる。

Electromechanical delayと呼ばれる電気生理学的活動開始から力学的活動開始までの時間差も、投球などの高速な運動を分析する際に考慮しなければならない。特に、リリース前後に分析対象を絞った場合、この局面の時間が数十msと短いため、EMDを考慮しなければ全く別の運動区間の筋電図を分析することになる。本研究で用いたEMD計測はかなり簡便な方法を採用しているため、今後より緻密な計測方法を用いて検討することも必要である。

本研究では、上肢とくに前腕の筋を分析対象にした。しかし、平野と青木¹³⁾が体幹や上肢帯の筋が投球スピード漸増時に主動的に働きそれらの筋の活動開始が早期化したと述べている。今後、投球スピードの運動学的力学的分析結果と照合し、スピード増大時の活動タイミングの変化や筋の貢献度を明らかにするためには、上肢帯や体幹などのより中枢の筋の活動を同時に記録することが必要である。

V. まとめ

速球の投球スピードを漸増したとき、およびカーブ、スライダーを投球したときの上肢8筋(上腕二頭筋、上腕三頭筋、尺側手根屈筋、円回内筋、橈側手根屈筋、橈側手根伸筋、指伸筋、尺側手根伸筋)の筋活動の変化を表面筋電図法により計測した。表面筋電図は、コッキング期後半からフォロースルー後半を含むボールリリース前300msからリリース後200msの500ms間と、リリース前後の前腕回内期間を分析した。

投球スピード漸増にともない、500ms間の表面筋電図振幅は増加し、投球スピードとすべての筋の筋活動の間に有意な相関があった。しかし、リリース前後の前腕回内期間では、尺側手根屈筋、円回内筋および尺側手根伸筋の筋活動は投球スピードと相関がなかった。一方、橈側手根屈筋と橈側手根伸筋の筋活動は投球スピードとの間に強い相関があった。これは、ボールをリリースする

第二指，第三指の中手骨底に橈側の両筋が停止するのに対し，尺側の筋は投球にあまり影響しない第五指側に停止することが原因のひとつであると考えられた。

速球，スライダーおよびカーブ投球時の筋活動を比較すると，速球投球時の円回内筋の筋活動がカーブ投球時より有意に大きかった。このことから，速球投球ではカーブ投球より積極的に回内運動を利用していることが推察された。これに対し，カーブ投球ではリリースで前腕を相対的に回外位を保つ必要があるため，速球に比べ円回内筋の活動が小さかったと考えられる。また，円回内筋およびその他の前腕屈筋群は，肘関節に生じるねじれのストレスを軽減するためには働いていないと推察された。

引用文献

- 1) Barrentine SW, Matsuo T, Escamilla RF, Fleisig GS, and Andrews JR (1998): Kinematic analysis of the wrist and forearm during baseball pitching. *J Appl Biomech* 14: 24-39.
- 2) Basmajian JV, and De Luca CJ (1985): *Muscles Alive. Their Functions Revealed by Electromyography*. 5th Ed. Williams & Wilkins, Baltimore, pp.19-100.
- 3) Cahill BR (1973): Chronic orthopedic problems in the young athlete. *J Sports Med* 1: 36-39.
- 4) Dillman CJ, Fleisig GS, and Andrews JR (1993): Biomechanics of pitching with emphasis upon shoulder kinematics. *J Orthop Sport Phys Therapy* 18: 402-408.
- 5) Elliott B, and Grove JR (1986): A three-dimensional cinematographic analysis of the fastball and curveball pitches in baseball. *Int J Sport Biomech* 2: 20-28.
- 6) Feltner M, and Dapena J (1986): Dynamics of the shoulder and elbow joints of the throwing arm during a baseball pitch. *Int J Sport Biomech* 2: 235-259.
- 7) Fleisig GS, Andrews JR, Dillman CJ, and Escamilla RF (1995): Kinetics of baseball pitching with implications about injury mechanisms. *Am J Sport Med* 23: 233-239.
- 8) Fleisig GS, Escamilla RF, Andrews JR, Matsuo T, Satterwhite Y, and Barrentine SW (1996): Kinematic and kinetic comparison between baseball pitching and football passing. *J Appl Biomech* 12: 207-224.
- 9) Glousman R, Jobe F, Tibone J, Moynes D, Antonelli D, and Perry J (1988): Dynamic electromyographic analysis of the throwing shoulder with glenohumeral instability. *J Bone Joint Surg* 70A: 220-226
- 10) Godshall RW, and Hansen CA (1971): Traumatic ulnar neuropathy in adolescent baseball pitchers. *J Bone Joint Surg* 53A: 359-361.
- 11) Gowan ID, Jobe FW, Tibone JE, Perry J, and Moynes DR (1987): A comparative electromyographic analysis of the shoulder during pitching. Professional versus amateur pitchers. *Am J Sport Med* 15: 586-590.
- 12) Hang Y (1983): Little league elbow: A clinical and biomechanical study. *Biomechanics VIII-A, Human Kinetic Pub. Inc., Illinois*, pp. 70-85.
- 13) 平野裕一, 青木秀憲 (1998): 投球速度漸増にともなう投球腕上肢および上肢帯筋の活動の変化. *体育科学* 26: 11-18.
- 14) Jobe FW, Tibone JE, Perry J, and Moynes D (1983): An EMG analysis of the shoulder in throwing and pitching. A preliminary report. *Am J Sport Med* 11: 3-5.
- 15) Jobe FW, Moynes DR, Tibone JE, and Perry J, (1984): An EMG analysis of the shoulder in pitching. A second report. *Am J Sport Med* 12: 218-220.
- 16) 風井諒恭, 熊本水頼, 岡本 勉, 山下謙智, 後藤幸弘, 丸山宣武 (1976): 野球の投動作(オーバーハントスロー)における上肢・上肢帯筋群の作用機序. *体育学研究* 21: 137-144.
- 17) Larson RL (1973): Epiphyseal injuries in the adolescent athlete. *Orthoped Clin North America* 4: 839-851.
- 18) 松尾知之, Fleisig G, Escamilla R, Barrentine S, Andrews J (1995): 投球動作のバイオメカニズム-因子構造解析アプローチ. 第16回バイオメカニズム学術講演会講演予稿集: 29-32.
- 19) 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: 23-37.
- 20) Norman RW, and Komi PV (1979): Electromechanical delay in skeletal muscle under normal movement conditions. *Acta Physiol Scand* 106: 241-248.
- 21) 斎藤健治 (1998): 投球のリリース前後における

- 上肢・上肢帯の筋活動．日本運動生理学会第6回大会．
- 22) 斎藤健治, 仰木裕嗣, 市川 浩, 足立和隆, 宮地 力, 高井省三 (2000): 速球とカーブの投球におけるボールリリース前後の前腕運動の比較．筑波大学体育科学系紀要 23: 63-71.
- 23) 斎藤健治, 仰木裕嗣, 市川 浩, 山岸正克, 宮地 力, 高井省三 (2000): 投球時に手首で測定した加速度波形のパターン分類．いばらき健康・スポーツ科学 19: 13-26.
- 24) 斎藤健治 (2000): MVCとBallistic収縮における表面筋電図と筋張力の数値シミュレーション．第8回日本運動生理学会 / 第16回日本バイオメカニクス学会合同大会．
- 25) Saitou K, Ohgi Y, Ichikawa H, Miyaji C, and Takai S (2000): Angular velocity of upper limb in fast and curve baseball pitches before and after ball-release. (Ed.) Avela j, Komi PV and Komulainen J (In) 5th Annual Congress of the European College of Sport Science Proceedings, p638.
- 26) 桜井伸二 (1992): 投げる科学．大修館書店, 東京, pp.139-157.
- 27) Sakurai S, Ikegami Y, Okamoto A, Yabe K, and Toyoshima S (1993): A three-dimensional cinematographic analysis of upper limb movement during fastball and curveball baseball pitches. J Appl Biomech 9: 47-65.
- 28) Sisto DJ, Jobe FW, Moynes DR, and Antonelli DJ (1987): An electromyographic analysis of the elbow in pitching. Am J Sport Med 15: 260-263.
- 29) 高橋佳三, 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: 116-124.
- 30) 豊島進太郎, 松井秀治, 宮下充正 (1971): 投球動作における上肢筋の筋電図学的研究．体育学研究 15: 103-109.
- 31) Wang YT, Ford III HT, Ford Jr HT, and Shin DM (1995): Three-dimensional kinematic analysis of baseball pitching in acceleration phase. Percept Motor Skill 80: 43-48.
- 32) Werner SL, Fleisig GS, Dillman CJ, and Andrews JR (1993): Biomechanics of the elbow during baseball pitching. J Orthop Sport Phys Therapy 17: 274-278.
- 33) 山田致知, 萬年 甫 (1985) 実習解剖学．南江堂, 東京, pp.405-410.
- 34) 山本誠二, 前田 明, 丸山嘉久, 西園秀嗣, 芝山秀太郎 (1990): 野球の投動作 (オーバーハンドスロー) におけるボールの初速度に関する要因の分析的研究．バイオメカニクス研究1990, メディカルプレス, 東京, pp.247-251 .