ウインドミル投法の筋電図的分析

一競技レベルによる相違とボール速度の変化を中心にして一

奥野 暢通¹⁾ 後藤 幸弘²⁾ 島田 三千男³⁾

Electromyographical analysis of the windmill pitch: Influence of the skill level and ball velocity

Masamichi Okuno¹, Yukihiro Goto² and Michio Shimada³

Abstract

Two groups consisting of five and three adult males, who are skilled and unskilled in the windmill pitch, respectively, were selected as the subjects, and the electromyographic difference in the pitching originated in the skill level and ball velocity was studied using of EMG's and VTR's.

1) Between the initial velocity of ball (Y) and maximum angular velocity (X) of the angle between horizontal and the line connecting shoulder and wrist, the relationships found for the skilled subjects were $y=0.020x - 1.28$ ($r=.913$, $p<.001$) and the unskilled $y= 0.015x + 0.73$ ($r=.867$, $p<.01$), respectively.

2) The unskilled had no significant correlation between the horizontal maximum velocity of the wrist and maximum angular velocity of the angle between the forearm and brachium, and this finding suggests that they can not use their elbow joint for pitching.

3) Between the initial velocity of the ball and horizontal maximum velocity of the wrist just before releasing the ball, a significant correlation was found for both the skilled ($r=.634$, $p<.05$) and the unskilled ($r=.754$, $p<.05$).

4) Between the initial velocity of the ball and snap ratio, a significant correlation was seen for both these groups, skilled ($r=.852$, $p<.001$) and unskilled ($r=.759$, $p<.05$), and had comparable regression coefficients.

5) The skilled subjects' pitching consisted of some motion characteristics; a great step length, trunk twisting in the throwing direction, adduction of the shoulder joint, extension and pronation of the elbow joint, and flexion of the wrist joint, while the unskilled showed a small step length, flexion of shoulder joint with a touch of abduction, and the flexion of the wrist joint.

6) The pitching, especially the velocity of ball, was dependent on the skill level even among the skilled subjects. This fact appeared to result from the magnitude of the rotation speed of the upperlimb, the transfer of kinetic energy to the ball via applying the upper portion of forearm on the trunk at the end of forward swing phase, efficiency of the snap motion, and the translational velocity of the center of body's gravity.

7) It was thought that among the skilled, the ball velocity was controlled by the rotation speed of the upperlimb and the strength of the trunk twist. In comparison, the unskilled controlled the velocity by delaying the timing for increasing the rotation speed of the upperlimb and the change in the strength of the backward kick.

- 1) 四天王寺国際仏教大学
〒583 大阪府羽曳野市学園前
- 2) 兵庫教育大学
〒673-14 兵庫県加東郡社町
- 3) 関西大学
〒565 大阪府吹田市千里山東

1. Shitennouji International Buddhist University, Gakuenmae, Habikino-city, Osaka, Japan (583)
2. Hyogo University of Teacher Education, Yashiro-cho, Kato-gun, Hyogo, Japan (673-14)
3. Kwansai University, Senriyama-higashi, Suita-city, Osaka, Japan (565)

8) The unskilled subjects had poor ability for exhibiting stable performance, which was caused by the rotation speed of the shoulder joint and uncertain snap motion fluctuated ball-releasing point.

Key words: windmill pitch, electromyogram, skill level, ball velocity

(Japan J. Phys. Educ., 36: 141—155, September, 1991.)

キーワード：ウインドミル投法，筋電図，競技レベル，ボール速度

I. 目 的

野球やソフトボールにおいては，投手の能力の高いことが相手の得点を少なくするための最も重要な要因と考えられる。

ピッチング能力が高いことには，速いボールが投げられること，多くの球種のボールが投げられること，制球力のあること等があげられる。中でも，速いボールが投げられることは，ボールに対する打者の反応時間を短くし⁷⁾，振り遅れを生じさせたり，ボール速度に大きな変化をつけることでタイミングを狂わせたりすることができ，打者の能力発揮を抑える重要な能力であると考えられる。

これまでも投動作については，平野⁴⁾や桜井ほか¹⁰⁾のレビューにみられるように種々の立場から検討されている。しかし，ソフトボールにおけるピッチング動作について筋電図を用いた研究はみられる^{1,12,13)}が筋の作用機序については十分に明らかにされていないように思われる。

ところで，ソフトボールのピッチングにはウインドミル，スリング，フィギュアエイト等の様式があり，中でもウインドミル投法はボールに力を加える作用距離が長く，高いボール速度を得るために有利な投法であると考えられる。

そこで，本研究ではウインドミル投法をとりあげ，競技レベルの異なる被験者を対象に筋電図を記録し，ボール速度を指標に技術段階による差異やボール速度を変化させる要因を明らかにしようとした。すなわち，関西学生1部リーグに所属し技術段階の高いと考えられる投手からウインドミル投法を本格的に練習したことの

ない学生を対象に，種々の速度のボールを投げさせ，その際の動作をビデオカメラと筋電図を用いて記録し，ボール速度と競技レベルによる差異を検討した。

これらの知見は，今後ウインドミル投法の指導法を考える上で基礎的知見を提供するものと考えられる。

II. 方 法

1. 被験者

熟練者として関西学生リーグに所属しウインドミル投法を専門とする男子投手5名（1部リーグ：1名，2部リーグ：4名），ならびに未熟練者としてウインドミル投法を本格的に練習したことのない男子学生3名を対象にウインドミル投法で15—30球の投球を行わせた。なお，分析は被験者毎にストライクであった試技の中からボール速度の異なる3試技（最もボール速度の高かった試技を含む）について行った。

Table 1に被験者の身体特性や本実験において発揮した最高ボール速度をまとめて示した。

2. 動作の記録

(1) 映像の記録と分析

ビデオカメラ(National社製，AG-300：60 f/

Table 1. Physical characteristics of the subjects and their maximum ball velocity

	subjects	height (cm)	weight (kg)	career (years)	maximum ball velocity(m/s)
skilled	K. O.	173	72	7	28.0
	A. T.	181	78	6	24.8
	A. K.	175	70	7	24.5
	A. N.	175	60	6	23.4
	U. S.	170	62	5	22.0
unskilled	O. H.	160	46	0	16.9
	A. H.	154	40	0	15.8
	S. U.	164	60	0	14.4

A : Acromion
 B : Epicondylus medialis humerus
 C : Processus styloideus ulna
 θ_1 : Angle of upperarm ($\angle XAB$)
 θ_2 : Angle of upperlimb ($\angle XAC$)
 θ_3 : Angle of upperarm-forearm ($\angle ABC$)

Fig. 1. Schematic illustration for body angle

s)を用い右側方から投球動作を撮影し、投げ腕側の肩峰突起、上腕骨尺側上顆、尺骨茎状突起、ならびにボールの座標位置をグラフペンシステム (Nac 社製, Sportias Model-200) を用いて計測・分析した。すなわち, Fig. 1 に示すように, 投球方向垂直面で, 肩峰突起と上腕骨尺側上顆を結ぶ線が水平線となす角度 (θ_1), 肩峰突起と尺骨茎状突起を結ぶ線が水平線となす角度 (θ_2), ならびに上腕と前腕のなす角度 (θ_3) を反時計方向で 1/60 s 毎に求め, それぞれについて角速度 ($\dot{\theta}_1, \dot{\theta}_2, \dot{\theta}_3$) を算出した。さらに, リリース直後のボールの水平速度とリリース直前の手首の水平最大速度からスナップ比¹¹⁾を算出した。なお, 投球中の上肢は三次元の動きをするが, 投球方向垂直面内の動作がボールに力を加えるのに主として関与すると考えられるので, 若干の問題はあるが側方のみから撮影し, 二次元の動きについて分析した。

(2) 筋電図の記録

筋電図は, 直径 10 mm の円盤電極を使用し双極皮膚表面誘導法により, 18 極多用途脳波計 (三栄測機社製, 1 A-59 型, 感度: 6 mm/0.5 mv, 時定数: 0.003 s, 紙送り速度: 6 cm/s) を用いて記録した。被験筋は, これまでに行われた野球^{3,6)}やソフトボール^{1,12,13)}の投球の筋電図を用いた研究や上肢の基本動作の筋電図的研究^{8,9)}を参考に, 下記の投げ腕側の上肢・上肢帯

Phot. 1. Contact switch

筋, ならびに下肢筋を選択した。

- 1) 橈側手根伸筋
- 2) 橈側手根屈筋
- 3) 上腕三頭筋 長頭
- 4) 上腕三頭筋 外側頭
- 5) 上腕二頭筋 長頭
- 6) 三角筋 前部
- 7) 三角筋 後部
- 8) 大胸筋 鎖骨部
- 9) 大胸筋 腹部
- 10) 大円筋
- 11) 腓腹筋

さらに, 熟練者については下記の筋についても記録した。

- 12) 棘下筋
- 13) 大腿直筋
- 14) 大腿二頭筋 長頭
- 15) 外腹斜筋 (右側)
- 16) 外腹斜筋 (左側)

なお, 筋電図とフォームを対応させるために, 同期パルス発生装置 (FOR. A 社製) を用い, ビデオカメラのコマシグナルを筋電図と同時記録した。

(3) ボールの接指状態の記録

Phot. 1 に示すように, 事務用指サックに銅線を貼布したコンタクトスイッチを作成した。こ

れを第2, 3指に嵌めさせ, アルミ箔を貼布したボールを保持している間は電流が流れボールが指から離れると切れるようにし, ボールリリース時を筋電図と同時記録できるようにした。

III. 結果ならびに考察

1. ボール速度と身体各部の動きの関係について

ボール速度の最高値は, 競技レベルが高いと考えられる1部リーグの投手(K.O.)が28.0 m/sを示し, 2部リーグの投手(24.8—22.0 m/s)や未熟練者(16.9—14.4 m/s)よりも高かった(Table 1). すなわち, ボール速度は競技レベルと対応することが認められた. 山本ほか¹²⁾は大学選手権優勝チームの投手2名が全力投球した際の平均ボール速度は26.4 m/sであったことを報告している. 本研究のK.O. が全力で投球した際の平均ボール速度は27.0 m/sを示したことから, 本被験者は大学のトップクラスに位置する投手であるといえる。

Fig. 2 は, ボールの初速度(y)と肩を中心と

Fig. 2. The relationship between the initial velocity of ball (y) and maximum angular velocity of upperlimb about the shoulder joint (x).

した上肢の角速度($\dot{\theta}_2$)の最大値(x)の関係を示したものである. なお, Fig. 2—6 中のデータに付記したアルファベットは, Fig. 7—10 の筋電図記録に対応する試技の分析結果である。

両者の間には, 全被験者でみると $r = .952$ ($p < .001$) の高い相関と $y = 0.024x - 6.56$ の回帰式が得られ, ボール速度の増大に上肢を速く回すことの重要であることが認められた. Zollinger¹⁴⁾も肩関節で発揮されるトルクがボール速度を決定する要因であることを報告している. 熟練者, 未熟練者に分けてみると, 前者では $y = 0.020x - 1.28$ ($r = .913$, $p < .001$), 後者では $y = 0.015x + 0.73$ ($r = .867$, $p < .01$) の回帰直線が得られ, 回帰係数, 相関係数ともに熟練者群が高値を示した. すなわち, 熟練者の方が上肢の回転によって得られた運動エネルギーをより確実に, かつ効率よくボール速度に結び付けていることが認められた。

Fig. 3 は, ボールの初速度(y)と肩を中心とした上腕の角速度($\dot{\theta}_1$)の最大値(x) (Fig. 7 参照) の関係を, Fig. 4 は, 手首の水平最大速度

Fig. 3. The relationship between the initial velocity of ball (y) and maximum angular velocity of upperarm about the shoulder joint (x).

Fig. 4. The relationship between the horizontal maximum velocity of wrist (y) and maximum angular velocity of elbow (x) (between the upperarm and forearm.).

(y) と上腕に対する前腕の角速度 ($\dot{\theta}_2$) の最大値 (x) (Fig. 7 参照) の関係を示している。

全被験者でみると、ボールの初速度と肩を中心とした上腕の角速度の最大値の間には $r = .959$ ($p < .001$) の相関が、手首の水平最大速度と上腕に対する前腕の角速度の最大値の間には $r = .622$ ($p < .01$) の相関が得られた。すなわち、広い技能レベルを対象としてみた場合、肩関節の回転の速さはボール速度の増大に強く関係し、また、肘関節の運動も手首の速度の増大に関与することが示唆された。しかし、未熟練者では、手首の水平最大速度と上腕に対する前腕の角速度の最大値の間には、有意な相関関係は認められなかった。これらのことから、前述の肩を中心とした上肢の角速度 ($\dot{\theta}_2$) の最大値とボール速度の対応関係が未熟練者で熟練者よりも低かったことには、未熟練者では肘関節の運動が手首の速度の増大に利用されていないことが1つの要因と考えられる。

Fig. 5 は、ボールの初速度 (y) と手首の水平最大速度 (x) の関係を、Fig. 6 は、ボールの初速度 (y) とスナップ比 (x) の関係を示してい

Fig. 5. The relationship between the initial velocity of ball (y) and horizontal maximum velocity of wrist (x).

Fig. 6. The relationship between the initial velocity of ball (y) and snap ratio (x).

る。

熟練者、未熟練者を合わせてみると、ボールの初速度と手首の水平最大速度の間には $r = .684$ ($p < .001$)、ボールの初速度とスナップ比の間には $r = .951$ ($p < .001$) の相関が得られた。すなわち、手首の速度を大きくすること、

Fig. 7. EMG, form, and angular velocity of the shoulder joint ($\dot{\theta}_1$) and of the elbow joint ($\dot{\theta}_2$), during windmill pitch in various skilled level subjects.

The numbers ① to ⑤ in EMG are the same as in form. Each number shows the point, ①: set up, ②: on set of the upperlimb move forward, ③: upperlimb through horizontal line in front of the body, ④: upperlimb through vertical line above the shoulder, ⑤: position of releasing the softball.

The numbers under form are corresponding with VTR Signal.

ならびにスナップ動作はボール速度を得るために重要な要因であることが認められた。

ボールの初速度と手首の水平最大速度の関係を技術段階で比較すると、相関係数は熟練者の方が低値を示したが、回帰直線の傾きは熟練者は2.59で、未熟練者の1.80より高値を示した。しかし、ボールの初速度とスナップ比の関係においては、熟練者と未熟練者の回帰直線は殆ど一致することから、ボールの初速度と手首の水平最大速度の間の回帰係数が熟練者で大きかった要因には、スナップ動作の習熟度が関係していると考えられた。

2. 動作パターンについて

(1) 競技レベルによりボール速度に差がみられた要因

(a) 熟練者について

Fig. 7は、1部リーグの投手K.O., 2部リーグの投手の中で最も高いボール速度を示したA.T., 最も低いボール速度を示したU.S., ならびに未熟練者O.H.のウインドミル投法の筋電図とフォーム、ならびに肩を中心とした上腕の角速度、上腕に対する前腕の角速度の経時的変化を示したものである。なお、それぞれのデータはFig. 2-6中のA-Dの試技におけるものである。

図中の縦線①はセットアップを、①は肩とボールを結ぶ線が前方への運動を開始した時点、②は上肢が水平前方を、③は鉛直上方を、④は水平後方をそれぞれ通過した時点、さらに⑤はリリース時を示している。本研究では、①-①をテイクバック期、①-②をアップワード期、②-③をバックワード前期、③-④をバックワード後期、④-⑤をフォワード期、⑤以降をフォロースルー期と呼ぶことにした。

最も高いボール速度を示したK.O.についてみると、テイクバック期(①-①)三角筋後部に持続放電がみられ、棘下筋、大円筋にも少し遅れて放電が認められた。また、上腕三頭筋長頭、同外側頭にも弱い持続放電がみられた。これらのことから、打者にボールの握りを隠すように上腕を内旋しながら肘関節を伸展し、肩関

節を内転ぎみに伸展することによってテイクバックしていると考えられた。

アップワード期(①-②)では、上腕三頭筋長頭、同外側頭に弱い持続放電がみられ、①の直後には上腕二頭筋にバーストがみられた。さらに、この期の前半には三角筋後部、大胸筋腹部、後半には三角筋前部、大胸筋鎖骨部、上腕二頭筋に放電が認められた。この間、肘関節は伸展されていることから、上腕二頭筋の放電は肩関節の屈曲に働いていると考えられる。また、アップワード期前半には三角筋前部に放電のみられないことから、肘関節伸展位で肩関節を内転ぎみに屈曲しているが、肩関節の屈曲は主として重力の利用によって行われていると考えられる。

下肢筋では、腓腹筋に強い持続放電がみられ、前半は大腿二頭筋、後半は股関節外転の分力を持つ大腿直筋²⁾に放電が認められた。すなわち、アップワード期(①-②)前半は股関節の伸展と足底屈によって、後半は股関節の外転、膝関節の伸展、ならびに足底屈によって後方にキックしていると考えられた。本被験者のステップ幅は、身長³⁾の105%で、野球投手のオーバーハンドスロー(約70%)⁵⁾よりも高値であった。

バックワード前期(②-③)には、肩関節筋では三角筋後部にのみ放電がみられ、肩関節は外転ぎみに屈曲されていることが分かる。

したがって、③直後に最大値を示す肩を中心とした上腕の角速度は、肩関節の外転ぎみの屈曲とステップによる身体の前方への並進運動によりもたらされているものと考えられる。

バックワード後期(③-④)には、三角筋後部、大円筋に放電がみられ、肩関節は身体後方に力を加えながら⁶⁾前額面での内転と上腕の外旋を行っていると考えられた。

また、バックワード後期(③-④)にみられる上腕二頭筋の放電は、肘関節の屈曲・回外に働き手掌を上方に向けていた。

フォワード期(④-⑤)においては、大円筋、三角筋後部に放電はみられるが三角筋前部には放電のみられないことから、肩関節は前額面

身体後方に力を加えながら内転⁹⁾を行っていると考えられた。このように、肩関節の内転でフォワードスイングを行うことは、肩関節の屈曲よりも大きな力を発揮でき、高いボール速度を獲得するための合目的的な動作であると考えられる。

また、リリース直前には上腕二頭筋の放電が消失し、これに呼応して上腕三頭筋長頭に放電がみられ、屈曲・回外位にあった肘関節を伸展・回内しながらボールを投射していることが分かる。

肩を中心とした上腕の角速度は、バックワード後期(③—④)からフォワード期(④—⑤)に急激に低減し、逆に、上腕に対する前腕の角速度の急増が認められた。このことは、質量が大きく回転の中心に近い部位の速度を急激に低下させることによって末端の速度を増大させていることを意味している。すなわち、上腕から前腕へのエネルギーの転移が示唆され、前述した熟練者で肘関節が有効に利用されていること(Fig. 4)を裏付けている。淵本ほか¹⁾は、本研究のフォワード期に相当する局面の映像分析から上腕から前腕へのエネルギー転移の可能性は少ないとしているが、投手と野手のボール速度の差は肘関節の動きとスナップ動作にあることを報告している。これらのことを考え合わせると、上腕から前腕へのエネルギーの転移はバックワード後期からフォワードスイングの前半に行われており肘関節の伸展を有効に利用することが高いボール速度を得るための1つの要因であると考えられる。

橈側手根屈筋はフォワード期(④—⑤)に顕著な放電を示すのに対し、拮抗筋の橈側手根伸筋の放電が消失し、スナップ動作の合理的に行われていることが認められた。事実、本試技のスナップ比は2.57で他の被験者よりも高値を示した。

さらに、右の外腹斜筋に放電がみられ躯幹を投方向へ捻り戻していることが認められた。

次に、2部リーグの投手A.T.についてみると、アップワード期(①—②)の前半、三角筋

後部に放電はみられず、三角筋前部の放電が早期に出現する傾向がみられた。さらに、アップワード期後半、三角筋前部の放電の弱くなる傾向がみられた。一方、肩を中心とした上腕の角速度は、K.O.に比して早期に増大するが、アップワード期後半に一時低下がみられ、バックワード前期に再び上昇するパターンを示し、2段モーションで上肢を回転させていることが認められた。すなわち、上肢の回転の途切れが、肩を中心とした上腕の角速度の最大値をK.O.に比して小さくした要因と考えられる。

また、フォワード期(④—⑤)においても、三角筋後部、大円筋の放電が弱く、逆に大胸筋腹部、棘下筋の放電が顕著にみられた。このことは、A.T.では身体前方に力を加えながら内転⁹⁾していることを示し、K.O.と異なり、前腕上部を躯幹に積極的に当てていないものと考えられる。前腕上部を躯幹に強く当てることは、K.O.の手首の水平最大速度は10.7 m/sでボール速度の低いA.T.の11.1 m/sよりも低いことから、手首の速度増大よりも前腕の運動エネルギーの手・ボールへの転移に関係しているものと推察される。

さらに、橈側手根伸筋の放電がフォワード期にも残存する傾向がみられた。

これらのことがA.T.のスナップ比(2.23)をK.O.(2.57)に比して小さくした要因と考えられる。淵本ほか¹⁾、山本ほか¹²⁾は、本研究の結果と同様に、熟練者においてはリリース直前に手関節伸筋から屈筋への放電の切り換わりがみられるのに対し、未熟練者では手関節伸筋の放電が残存することを認めている。また、Zollinger¹⁴⁾は肩関節と手関節の回転要素によってボール速度が決定されるとしている。これらのことから、スナップ技術はボール速度を決定する重要な要因と考えられる。

A.T.の身体重心の水平最大速度は2.9 m/s、ステップ幅の身長比は100%で、いずれもK.O.(それぞれ3.0 m/s, 105%)よりも低値を示した。これには、腓腹筋や大腿直筋の放電量から推定されるように後方へのキックの弱いことが

Fig. 8. EMG, form, and angular velocity of the shoulder joint ($\dot{\theta}_1$) and of the elbow joint ($\dot{\theta}_2$) in subject K.O. (skilled) at different ball velocity.

The numbers under form are corresponding with VTR Signal. (The numbers ① to ⑤ in this figure are the same as in Fig. 7.)

Fig. 9. EMG, form, and angular velocity of the shoulder joint ($\dot{\theta}_1$) and of the elbow joint ($\dot{\theta}_2$) in subject O.H. (unskilled) at different ball velocity.

The numbers under form are corresponding with VTR Signal. (The numbers ① to ⑤ in this figure are the same as in Fig. 7.)

関係し、キック力もボール速度に關与する要因と考えられる。

熟練者の中で最もボール速度の低かった U. S. では、アップワード期 (①—②) 前半の三角

筋前部の放電が A.T. よりもさらに早期に出現する傾向が認められた。

また、フォワード期 (④—⑤) の橈側手根伸筋の放電が、A.T. と同様に、わずかに残存し、

スナップ比も 2.05 であることから分かるように、スナップ動作が合理的に行われていなかった。

以上 3 名の熟練者にみられたボール速度に差をもたらした要因は、他の熟練者においてもほぼ同様に認められた。

すなわち、アップワード期における肩を中心とした上腕の角速度の増大のタイミングを遅らせ上腕の回転に途切れを生じさせずに大きな角速度を得ること、リリース直前に前腕上部を躯幹に強く当て前腕の運動エネルギーを手・ボールに転移すること、リリース直前に手関節伸筋の放電を抑制し手関節の屈曲を合理的に行うこと、後方へのキックを強力に行うこと等がボール速度の増大に関与する要因と考えられた。

(b) 未熟練者について

未熟練者 O.H. では、熟練者にみられたテイクバック動作はみられず、セットアップから直接アップワード動作を行っていた。

アップワード期 (①—②) 前半には、大胸筋鎖骨部、三角筋前部、上腕二頭筋に放電がみられ、肩関節を内転ぎみに屈曲していることが認められた。しかし、熟練者と異なりアップワード期後半にはこれらの筋の放電は減少・消失し、三角筋後部に放電がみられた。この間、大胸筋腹部には殆ど放電の認められないことから、未熟練者は肩関節を外転ぎみに屈曲しているものと考えられる。

バックワード前期 (②—③) には、三角筋前部、同後部に放電がみられ、肩関節を外転ぎみに屈曲していた。さらに、バックワード後期 (③—④) では、三角筋後部の放電消失後、大胸筋鎖骨部、同腹部、大円筋に放電が認められ、肩関節は外転ぎみの屈曲から内転しているものと考えられた。

また、上腕三頭筋長頭、同外側頭に放電がみられ、上腕二頭筋に放電のみられないことから、手掌を下方に向け肘関節をバックスイングの間伸展位に保持していることが認められた。すなわち、未熟練者ではフォワードスイングで肘関節の伸展を利用できなかったことが、前述の上

腕に対する前腕の角速度の最大値と手首の水平最大速度の間 (Fig. 4) に有意な相関を示さなかった要因と考えられる。

フォワード期 (④—⑤) には、大胸筋腹部の放電に休止が認められ、その間、三角筋前部、同後部の順に放電がみられた。また、上腕二頭筋にも放電がみられたが、肘関節に屈曲のみられないことから、肩関節の屈曲に働いているものと考えられる。

すなわち、未熟練者では、熟練者と異なり、肩関節の外転ぎみの屈曲によってボールを投射していることが認められた。

さらに、本被験者のステップ幅は身長 の 85 %, 身体重心の水平最大速度は 2.4 m/s で、熟練者よりも低値を示した。

以上の未熟練者と熟練者の動作パターンの相違から、肩関節の内転・内旋と肘関節の伸展・回内により投射すること、ステップによって躯幹の並進運動量を大きくすること等がボール速度の増大に関与する要因と考えられた。

(2) ボール速度を変えて投げた場合の筋放電様相の変化

Fig. 8 は、K.O. が異なる速度 [左側 (A): 27.5 m/s, 右側 (E): 25.2 m/s] でボールを投げた際の筋電図を示したものである。

バックワード前期 (②—③) の三角筋後部の放電は、ボール速度の高い (A) の場合に顕著に認められた。③直後にみられる肩を中心とした上腕の角速度の最大値は、(A) の方が (E) よりも高値 (A: 1,651 deg/s, E: 1,435 deg/s) を示し、三角筋後部の放電は上腕の回転速度に関係していると推定された。

また、フォワード期 (④—⑤) では、(A) の場合棘下筋の放電が弱く大円筋の放電がリリース直前に顕著になる傾向が認められ、(E) に比べ身体後方への力の加え方が強く、前腕上部の躯幹への当て方が積極的であることを示した。このことは、(A) の場合上腕に対する前腕の角速度の最大値 (1,144 deg/s) や手首の水平最大速度 (10.7 m/s) が、(E) (1,362 deg/s, 11.1 m/s) よりも低いにもかかわらず、スナップ比を

Fig. 10. EMG, form, and angular velocity of the shoulder joint ($\dot{\theta}_1$) and of the elbow joint ($\dot{\theta}_2$) in subject O.H. (unskilled) which shows different ball velocity though he pitches in maximum effort.

The numbers under form are corresponding with VTR Signal. (The numbers ① to ⑤ in this figure are the same as in Fig. 7.)

(E) よりも高くした (A : 2.57, E : 2.27) 要因の 1 つと考えられる。

さらに、フォワード期 (④—⑤) における外腹斜筋右側の放電も (A) の方が顕著である傾向

がみられ、躯幹の捻りの強さもボール速度の増大に貢献していると考えられた。

以上のことから、上肢の回転速度、躯幹に前腕上部を当てる強さ、ならびに躯幹の捻りの程

度によって、熟練者はボール速度を調節していると考えられた。

Fig. 9 は、未熟練者 O.H. が異なる速度〔左側 (D) : 16.9 m/s, 右側 (F) : 12.6 m/s〕でボールを投げた際の筋電図を示したものである。

ボール速度の低い (F) の試技においては、バックワード後期 (③—④) からフォワード期 (④—⑤) 前半にかけての大胸筋腹部, 同鎖骨部, 大円筋の放電の出現が (D) の場合よりも遅れ, 上肢に力を加えるタイミングに相違がみられた。このことは、肩を中心とした上腕の角速度の経時的変化からも認められる。すなわち、上腕の回転速度を高めるタイミングを変化させ、ボールに力を加える作用距離を変えることによって、上肢の角速度を調整しボール速度を調節していると考えられた。

また、バックワード後期の腓腹筋の放電は (F) の試技において弱く、後方へのキックの弱いことが認められた。事実、(F) の場合、身体重心の水平最大速度は 2.1 m/s, ステップ幅は身長 の 75 % で、(D) のそれ (2.4 m/s, 85 %) よりも小さかった。これらのことから、本被験者ではキック力によってもボール速度を調節していると考えられた。

以上の結果、未熟練者ではステップの大きさや上肢の回転速度を高めるタイミングといった打者から比較的分かりやすい方法でボール速度の調節を行っているのに対し、熟練者は動作全体を通しての上腕の回転速度、躯幹に前腕上部を当てる強さ、躯幹の捻りの強さといった打者から察知しにくい方法で行っていることが認められた。

(3) 全力で投げたにもかかわらずボール速度に差のみられた要因

熟練者では、全力で投げた場合のボール速度の差は最大 0.9 m/s (最大ボール速度の 3.8 %) で、比較的安定してパフォーマンスを発揮していた。しかし、未熟練者では全力で同じように投げたにもかかわらずボール速度に著しい相違のみられる試技が認められたのでその要因を検討した。

Fig. 10 は、前述の未熟練者 O.H. が全力で投球したにもかかわらずボール速度にかなりの差がみられた試技〔左側 (D) : 16.9 m/s, 右側 (G) : 14.9 m/s〕の筋電図を示したものである。

バックワード後期 (③—④), 肩関節の内転に働く大胸筋鎖骨部, 同腹部の放電がボール速度の低い (G) の場合の方が (D) よりも弱く、主放電の出現がフォワード期 (④—⑤) にみられる傾向が認められた。すなわち、上肢に力を加えるタイミングが遅れ、これが (G) での肩を中心とした上腕の角速度の最大値を小さくした要因と考えられる。

また、リリース時の肩峰突起と尺骨茎状突起を結ぶ線が鉛直線の前方でなす角度は、(D) では 5.3 度、(G) では 17.8 度を示し、リリース位置の一定しない傾向がみられた。(G) のようにリリース位置が前になった場合、リリース直後に大胸筋鎖骨部が積極的に働けば、肩関節を内転ぎみに屈曲しボールを上方に投げ上げてしまうことになるので放電がみられなかったものと考えられる。

さらに、フォワード期の橈側手根屈筋の放電は (G) の場合に弱く、逆に橈側手根伸筋の放電が残存する傾向を示した。

すなわち、(D) のようにバックワード後期から上腕の角速度を高めるとともに、リリースを鉛直線に近い位置で行い指にボールがかかったスナップ動作が行えれば、比較的高いボール速度の得られることが認められた。また、当然ではあるがリリース位置を一定にすることは正確性の向上にもつながるものと考えられる。

以上の技術段階やボール速度の異なる投球の比較検討から、ボール速度の増大に関与する要因として以下の 7 点が考えられた。

すなわち、(i) 軸脚の後方へのキックを強く行い、大きなステップ動作により身体重心の並進速度を高めること。(ii) 上肢の回転速度を高めること。(iii) 躯幹を投方向に対して横に向け、フォワードスイングを肩関節の屈曲ではなく内転で行い大きな力を発揮できるようにすること。(iv) フォワードスイングに協応して躯幹

を投方向に向け、躯幹の捻りを利用すること。(v) フォワードスイングに肘関節の伸展・回内を利用すること。(vi) 前腕上部を躯幹に強く当て、前腕の運動エネルギーを手・ボールに転移すること。(vii) リリース位置を安定させ、リリース直前に手関節伸筋の放電を抑制することにより合理的にスナップ動作を行うこと、である。

これらの技術要因の重要度や指導法（順序・方法）については、今後さらに検討する必要がある。

IV. 要 約

技術段階の異なる被験者 8 名を対象にウィンドミル投法により種々の速度のボールを投げさせ、その際の動作をビデオカメラと筋電図を用いて記録し、技術段階とボール速度による相違を検討した。

1. ボールの初速度 (y) と肩と手首を結んだ線の肩関節を中心とした角速度の最大値 (x) の間には、熟練者では $y = 0.020x - 1.28$ ($r = .913, p < .001$), 未熟練者では $y = 0.015x + 0.73$ ($r = .867, p < .01$) の関係が得られた。

2. 未熟練者では、手首の水平最大速度と上腕に対する前腕の角速度の最大値の間には有意な相関は得られず、肘関節の伸展が投球に利用されていないと考えられた。

3. ボールの初速度 (y) とリリース直前の手首の水平最大速度 (x) の間には、熟練者 ($r = .634, p < .05$), 未熟練者 ($r = .754, p < .05$) のいずれにおいても有意な相関関係が認められたが、回帰係数は熟練者の方が高値を示した。

4. ボールの初速度とスナップ比の間には、熟練者 ($r = .852, p < .001$), 未熟練者 ($r = .759, p < .05$) のいずれにおいても有意な相関関係が得られた。また、回帰係数は、熟練者と未熟練者で殆ど差はみられなかった。

5. 筋電図の解析結果から、熟練者は、キックを積極的に行い、躯幹を投方向に対して横に向けながら上腕の回転速度を高め、躯幹の捻りを利用し、フォワードスイングを肩関節の内転・

内旋で行い、肘関節を伸展・回内することにより、ボールを投射していると考えられた。一方、未熟練者では、キックが積極的に行われず、フォワードスイングを肩関節の外転ぎみの屈曲で行い、肘関節の伸展の利用されていないことが認められた。

6. 熟練者においても競技レベルによってボール速度に差異がみられ、上腕の回転速度の大きさ、フォワード期に前腕上部を躯幹に当てることによる前腕の運動エネルギーの手・ボールへの転移、スナップ動作における拮抗筋の放電の抑制、ならびに身体重心の並進速度の大きさ等の相違がその要因として考えられた。

7. ボール速度の調節は、熟練者では上肢の回転速度、躯幹に前腕上部を当てる強さ、躯幹の捻りの強さといった打者が察知しにくい方法によってなされているのに対し、未熟練者では後方へのキックの強さ、上腕の回転速度を高めるタイミングを変化することによって行っていると考えられた。

8. 未熟練者ではパフォーマンスを安定して発揮できない傾向がみられ、上腕に力を加えるタイミング、ボールのリリース位置に基因するスナップ動作の不安定さがその要因と考えられた。

以上の結果、ボール速度を高めるための技術ポイントとして、(i) 身体重心の並進速度を高めること、(ii) 上肢の回転速度を高めること、(iii) 躯幹の捻りを利用すること、(iv) フォワードスイングを肩関節の内転で行うこと、(v) フォワードスイングで肘関節の伸展を利用すること、(vi) 前腕上部を躯幹に強く当てること、(vii) スナップ動作時、拮抗筋の放電を抑制すること、(viii) リリース位置を安定させること等が考えられた。

文献 (References)

- 1) 淵本隆文・伊藤 章・金子公有 (1984) ソフトボールウィンドミル投法における速度の決定要因。星川保・豊島進太郎 編 走・跳・投・打・泳運動における“よい動き”とは、第7回日本バイオメカニクス学会大会組織委員会：名古屋，pp. 119-122.

- 2) 後藤幸弘・熊本水頼・山下謙智・岡本 勉 (1974) 下肢の基本動作における下肢筋群の働き方について—各種垂直面内における拳上—. 体育学研究 18: 269—276.
- 3) 後藤幸弘・風井詔恭・岡本 勉 (1979) ピッチャーの投げの筋電図的分析. 体育の科学 29: 533—538.
- 4) 平野裕一 (1982) 投げに関する文献紹介. J. J. Sports Sci. 1: 110—113.
- 5) 平野裕一・浅見俊雄 (1988) 野球の投球動作とその指導. 体育の科学 38: 93—100.
- 6) 風井詔恭・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.
- 7) Miller, R.G. and Shay, C.T. (1964) Relationship of reaction time the speed of a softball. Res. Quart. 35: 433—437.
- 8) 岡本 勉・高木公三郎・熊本水頼 (1966) 上肢の伸展動作の筋電図学的研究. 体力科学 15: 37—42.
- 9) Okamoto, T. (1968) A study of the variation of discharge pattern during flexion of the upper extremity. 関西医科大学教養部紀要 2: 111—122.
- 10) 桜井伸二・角田俊幸・北嶋久雄 (1976) 投に関する研究成果. 昭和 51 年度日本体育協会スポーツ科学研究報告, No. I 投能力の向上に関する研究: 12—23.
- 11) 桜井伸二・宮下充正 (1982) 子どもにみられるオーバーハンド投げの発達. J. J. Sports Sci. 1: 152—156.
- 12) 山本英弘・北川 薫・松岡弘記・藤松 博 (1981) ウインドミル投法の動作分析的研究. 中京体育学研究 21: 114—121.
- 13) 吉野みね子 (1970) ソフトボールにおけるピッチングの動作分析および筋電図学的研究—ウインドミル投法とスリングショット投法について—. 東京女子体育大学紀要 5: 115—118.
- 14) Zollinger, R.L. (1973) Mechanical analysis of windmill fast pitch in women's softball. Res. Quart. 44: 290—300.

(平成 2 年 6 月 13 日受付)