

成人女性におけるオーバーハンスロー動作の検討

—投距離に影響を与える体力要因を考慮して—

尾 県 貢 (大阪女子大学) 中 田 順 造 (大阪女子大学)
山 本 章 雄 (大阪女子大学) 熊 安 貴 美 江 (大阪女子大学)

(昭和63年 7 月18日 受付)

Motion analysis of overhand throwing in adult women
—Considering the physical fitness factors affecting thrown distance—

Mitsugi Ogata¹, Junzo Nakata¹, Akio Yamamoto¹ and Kimie Kumayasu¹

Abstract

This study was to examine overhand throwing motions of adult women. Eleven physical fitness test items and measurement of throwing distance (using softball) were administered to 96 adult female students. The multiple regression equation to estimate throwing distance was calculated by the stepwise method. The differences between estimated distance and measured distance were calculated. Ten subjects with higher residual were selected as Excellent group, and ten with lower residual were selected as Poor group. Overhand throwing motions of selected subjects were filmed simultaneously from side and overhead view by two cameras. Dynamic variables such as displacement, time, velocity, angle and angular velocity were obtained from film analysis.

Excellent group showed longer throwing distance ($p<0.01$), while there was no significant difference in fitness test items between two groups. Excellent group showed higher initial velocity of ball at release ($p<0.001$). Judging from these results, it seems that longer throwing distance was caused by higher initial velocity of ball, and higher initial velocity of ball was produced by rational throwing motions.

Characteristics of rational overhand throwing motions of adult women which were verified in this study were as follows: 1) greater backward rotation of shoulder of throwing-hand side in the horizontal plane during preparatory phase (step motion), 2) greater back-swing of throwing-hand during preparatory phase, 3) faster forward rotation of shoulder of throwing-hand side in the horizontal plane during throwing phase (from front foot contact to ball release), 4) skillful whip-like action, 5) well-timed wrist (snap) action.

The results of this study suggest that five these points should be emphasized in motor learning of throwing for adult women.

(Mitsugi Ogata, Junzo Nakata, Akio Yamamoto and Kimie Kumayasu, "Motion analysis of overhand throwing in adult women —Considering the physical fitness factors affecting thrown distance—", *Japan J. Phys. Educ.*, 34—1 : 63—72, June, 1989)

¹ Osaka Women's University, Department of Physical Education, Daisen-cho Sakai-si Osaka (590)

目 的

ボールの遠投距離を決定する物理的要因のうち、人為的に変えることのできるのは、ボールの初速度、投射角、リリースの高さの3変数であり、そのうち最も大きな影響を持つのは、ボールの初速度である¹⁴⁾。そして、初速度を決定する要因として、ボールにより大きな運動量を持たせるための筋力と筋収縮速度という体力資源、および投動作の合理性があげられる³³⁾。

これまで投動作のメカニズムに関する報告が数多くなされ、『合理的な投動作』についての検討がなされてきた。これらの報告において『合理的な投動作』として扱われているのは、①初速度の大きい者^{3),23),42)}・投距離の優れている者^{2),22),27),42),53)}、②投運動の経験が豊富な者^{6),7),16),29),30),44)}の示した投動作である。しかし、前者は、初速度や投距離に影響を与える筋力・パワーなどの体力も優れている傾向にあり^{20),21),38),45),46)}、必ずしも合理的投動作によってのみ、優れた投の performance を獲得したとは断定できない。また、後者は、単に『投運動経験豊富な者の動作=合理性の高い動作』という一般概念に基づき、経験年数や競技実績などが選抜基準になっていることが多く、そこに示された投動作が合理性の高いものであるかは疑問である。

猪飼¹²⁾は、運動の成果 (Performance) を (1) 式で表しているが、この式と宮下の示唆³¹⁾

$$\text{Performance} =$$

$$\text{Cybernetics} \int \text{Energy (Motivation)}$$

$$\dots\dots(1)$$

から合理的な投動作に関して次のような考え方ができる。Energy (physical resources) の優れた者は、投の performance (投距離、初速度) も高いという相関関係があると報告されているが^{20),26),35),38),45),46)}、両者の間には Cybernetics 要素も関与する。しかし、Cybernetics 要素を直接、測定することが困難なため、Performance と Energy の比率、すなわち、Physical resources を Performance に変える運動の効率で表現すると、この効率が高い者ほど Cybernetics 要素の優れて

いることが示唆される。

本研究では、オーバーハンドスローによるソフトボール遠投距離の測定と筋力測定など11項目からなる体力測定を実施し、体力測定値を独立変数、遠投距離を従属変数とする重回帰式を変数増減法により算出した。そして、実際の遠投距離と回帰式から算出される予測値の差から Cybernetics 要素の優れたグループと劣ったを設定し、両グループの示した投動作を三次元的にフィルム分析し、比較することにより『合理的な投動作』について検討した。

方 法

実験は、フィルム撮影対象者の選抜基準を得るための遠投距離・体力測定と、投動作のフィルム撮影とから構成した。本研究では、投げる側の手を投げ手、反対側の手を自由手と定義した。

1. 遠投距離・体力測定とグループ分け

1) 被検者：体育実技を受講している一般女子大学生96名。年齢は、 20.4 ± 1.6 yrs, 身長は、 158.8 ± 4.7 cm, 体重は、 50.4 ± 4.8 kg であった。

2) 遠投距離の測定：日本ソフトボール協会検定の3号ボール（ゴム製）を使用し、日本体育協会スポーツ科学委員会の定める方法³⁶⁾により測定した。ただし、測定は1cm単位とした。

3) 体力測定：測定項目は、文部省スポーツテストの体力診断テストから、遠投距離との間に高い相関関係が指摘されている4項目^{26),35)}と、これまでの投の Performance と筋力の関係についての報告^{20),38),46)}や、筋電図から投動作を分析した報告^{18),19),47),48),49)}を参考に、投運動に関連が深いと考えられる筋力測定の7項目の合計11項目を選んだ。投げ手の握力、上腕屈筋力、手掌屈筋力、肩関節伸展筋力、および投げ手と同じ側の脚伸展筋力について測定を行った。測定は、各項目について2回ずつ行い、小数点以下を切り捨て、良い方の記録を採用した。

① 反復横跳、垂直跳、握力、背筋力：文部省スポーツテスト実施要項²⁵⁾に基づいて実施した。

② 上腕屈筋力：握力計を利用し、水平式³⁶⁾により測定した。

③ 脚伸展筋力: 背筋力計を利用し, 水平式(片脚力)³⁶⁾により測定した。

④ 腹筋力: 背筋力計を使用して, 背筋力測定とは反対に上体を30度後傾した姿勢で, 把手を握り, これを牽き上げる方法で測定した²⁴⁾。

⑤ 肩腕伸展筋力と屈曲筋力: 肩腕力計を胸の前で保持し, 両手で肩腕力を引っ張る力を肩腕伸展筋力, 押す力を肩腕屈曲筋力とした。

⑥ 手掌屈筋力: 手掌を上に向け, 橈骨手根関節から先の部分がテーブルの外に出るように前腕をテーブル上に位置させる。測定側の前腕が浮かないように, 反対側の手で固定し, 把手を中手指筋関節部分で握り, 手首を掌屈させる。握力計を利用し, 把手にはハンマー投げ用の把手を用いた。

⑦ 肩関節伸展筋力: Clark の方法⁵⁾によった。まず, テーブル上で仰臥姿勢をとらせ, 側頭部に接するように測定腕を挙上させる。そこから上腕を45度, 伸展させた姿勢で上腕の中央部にストラップを装着(上腕とストラップは直角)し, 腕を伸展させる。測定腕の肘は直角に曲げ, 反対の腕の胸の上に置き, 頭と肩は浮かさないようにする。

4) フィルム撮影対象者の選出: 体力測定値を独立変数, 遠投距離を従属変数とし, 変数増減法により重回帰式を求めた。そして, 各被検者の遠投距離の実測値と回帰式から求まる遠投距離予測値との差(残差)を算出し, 残差の大きい10名の被検者を Excellent 群, 小さい10名の被検者を Poor 群として選出した。すなわち, Excellent 群は, 体力水準からの予測値を実測値が大きく上回った集団, Poor 群は, 大きく下回った集団である。なお, 演算処理には, Personal Computer (NEC 9801UV) を使用した。

2. 投動作の分析

1) フィルム撮影: Excellent 群と Poor 群の遠投における投動作を2台の Video Camera で側方と上方から同時に撮影した。側方からの撮影は, High Speed Video (NAC, 200fps) を使用し, 半径1mの投てきサークルの中心点から投射方向(サークル内に矢印で示した)に向かって, 右側方25mの地点から行った。投動作の時間経過が判別

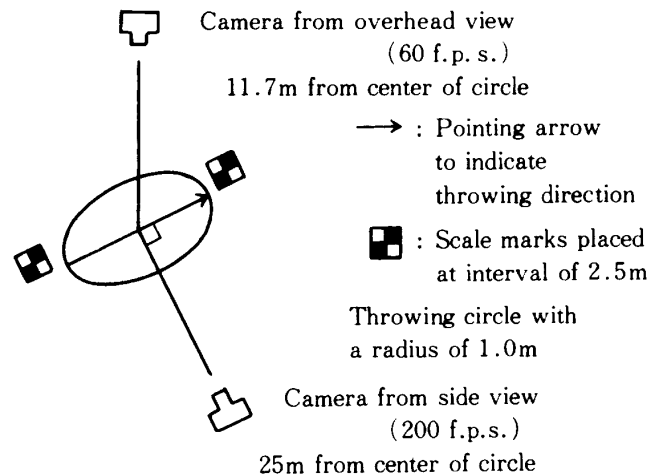


Fig. 1 Schematic illustration for placement of equipments for filming.

できるようにフィルムには1/200sec タイムを写しこんだ。また, フィルム画像の大きさを知るスケールとして, サークル付近に2.5m 間隔で2個のマークを設置した。上方からの撮影は, サークルの中心点の真上11.7mの位置から, Video (National NV-M3, 60fps) で行った。肩部と腰部の動きを正確にとらえるため, 両肩峰と両腸骨稜に一辺5cmの正方形のマークを貼付した(図1参照)。

2) フィルム分析: ボール・リリース(以後, リリースとする)時に前に位置する足(右投げの場合は左足)の足底が完全に接地した時点から, 完全にリリースされた時点までを主動作とし, 主動作の前に行われた動作(ステップ)を準備動作とした。分析は, 主動作に相当するフレームと, その前後1フレームずつについて行った。撮影した画像は, Video Player (National AG-2255) から Personal Computer (Sharp CZ-856C) に送り, 位置を示す座標に変換した。側方からのデータについては, デジタルフィルター法⁴⁰⁾(cut off 周波数16Hz)により平滑化した。これらのデータから, これまでの投動作の報告^{7),8),11),13),15),16),34),37),41),43),50),51),52)}を参考にして, 以下の変数を算出した(⑥⑦⑧については図2参照)。

(1) 側方からの分析: ①投射初速度, ②投射角, ③投射高(身長比), ④主動作所要時間, ⑤ボール, 手首, 肘, 肩の最高速度と主動作開始時のボール

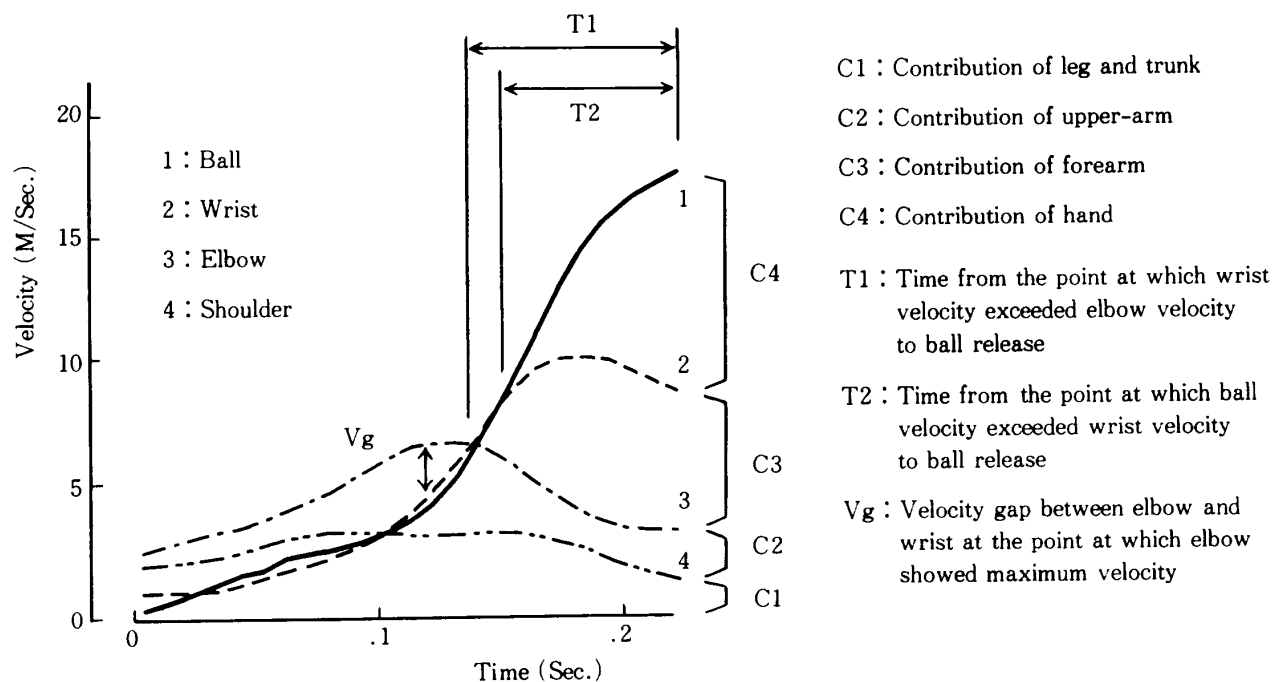


Fig. 2 Explanation of variables related to velocity of ball and body parts.

速度, ⑥ボールの初速度に対する身体各部位(下肢と体幹部, 上腕部, 前腕部, 手首)の速度の貢献度(斎藤ら⁴¹⁾の方法により算出), ⑦肘が最高速度を示した時点での肘と手首の速度差(肘の速度-手首の速度), ⑧リリース前に手首の速度が肘の速度を上回った時点からリリースまでの時間と, ボールの速度が手首の速度を上回った時点からリリースまでの時間, ⑨投げ手側の肩の水平移動距離, ⑩ステップの長さ(主動作開始時点での前足つま先から後足つま先までの距離, 身長比で示す), ⑪主動作開始時とリリース時の肩を中心とした手首の水平距離と垂直距離(腕長比で示す), ⑫肩を通る鉛直線を手首が通過した時点での肩と手首の垂直距離(腕長比で示す)。

(2) 上方からの分析: ①主動作開始時とリリース時の肩角度(自由手側の肩峰を通り, 投射方向と平行な線分が, 両肩峰を結んだ線分となす角度), ②主動作開始時とリリース時の腰角度(自由手側の腸骨稜を通り, 投射方向に平行な線分が, 両腸骨稜を結んだ線分となす角度), ③主動作開始時とリリース時の肩-腰の捻転角度(肩角度から腰角度を減じたもの), ④肩角速度・腰角速度(主動作中の平均角速度)。

なお, 上方からは, 足底部の接地が正確に判断

できないため, リリースを同期点とし, 側方からのフィルムより算出した主動作所要時間から足底部接地がなされたフレームを推測した。

3. 統計処理

両群の有意差検定には, T-test を用い, 5%水準以上を有意とした。

結 果

表1は, 体力測定の結果と, 体力測定項目と遠投距離との相関係数を示している。0.1%水準で遠投距離と有意な相関関係が認められたのは, 垂直跳, 反復横跳, 肩腕屈曲筋力, 手掌屈筋力。1%水準では, 背筋力, 肩腕伸展筋力。5%水準では, 脚伸展筋力であった。

これらの体力測定11項目を独立変数, 遠投距離を従属変数とする重回帰式を変数増減法により求めたところ, 次式が得られた。

$$Y = -24.33 + 0.244X_1 + 0.531X_2 + 0.321X_3 + 0.456X_4 \dots\dots\dots(2)$$

$$R = 0.593 \text{ (} p < 0.001 \text{), } R_2 = 0.352$$

X_1 : 垂直跳, X_2 : 反復横跳, X_3 : 肩腕屈曲筋力, X_4 : 手掌屈筋力

垂直跳, 反復横跳, 肩腕屈曲筋力, 手掌屈筋力の4変数と遠投距離との重相関係数は, 0.593, 寄

Table 1 Results of physical fitness tests and measurement of throwing distance in all students, Excellent group and Poor group. Means, standard deviations, coefficient correlations between physical fitness tests and throwing distance in all students, and mean differences between two groups. R: Coefficient correlation

Variables	All students N=96	R with throwing distance	Excellent group N=10	Poor group N=10	Mean difference
Stature(cm)	158.8(4.7)	0.198	160.8(4.9)	159.1(5.1)	1.7
Body weight(kg)	50.4(4.8)	0.139	51.4(6.3)	51.9(4.0)	-0.5
Vertical jump(cm)	48.2(6.5)	0.412***	51.5(5.8)	50.4(7.1)	1.1
Side step(times)	41.5(3.4)	0.395***	43.1(2.6)	42.0(1.4)	1.1
Strength(kg)					
Grip	27.6(4.9)	0.199	28.6(5.3)	28.5(3.5)	0.1
Back	81.2(17.8)	0.337**	89.7(19.8)	86.9(21.7)	2.8
Elbow flexion	22.6(3.1)	0.139	22.9(2.5)	23.8(2.3)	-0.9
Knee extension	22.7(11.2)	0.228*	25.4(13.1)	27.1(14.8)	-1.7
Abdominal	72.2(19.9)	0.197	76.8(15.1)	79.0(21.7)	-2.2
Arm-shoulder extension	19.8(4.4)	0.272**	21.1(5.5)	21.8(2.7)	-0.7
Arm-shoulder flexion	24.4(5.9)	0.424***	24.8(6.9)	27.2(5.5)	-2.4
Wrist palmar flexion	13.5(2.8)	0.402***	15.1(2.0)	14.8(3.1)	0.3
Shoulder extension	12.8(3.8)	0.266**	15.1(2.5)	14.8(4.1)	0.3
Throwing distance(m)	21.88(7.00)	—	34.76(6.06)	16.17(3.96)	18.59***

***p<0.001 **p<0.01 *p<0.05

Table 2 Means, standard deviations and mean differences of variables obtained from analyzing side view film such as displacement, time, velocity and angle in Excellent and Poor group.

Variables	Excellent group N=10	Poor group N=10	Mean difference
Velocity of ball at release(m/sec)	18.68(1.89)	12.60(2.00)	6.08***
Height of ball release point(m)	1.788(0.093)	1.800(0.120)	-0.12
Angle of release(deg)	37.7(3.3)	36.0(7.4)	1.7
Stride length [divided by stature]	0.647(0.083)	0.607(0.077)	0.040
Horizontal displacement of shoulder of throwing-hand side(m)	0.540(0.066)	0.431(0.097)	0.109*
Time from front-foot contact to ball release(sec)	0.205(0.033)	0.227(0.049)	-0.022
Maximum velocity(m/sec)			
Ball	18.68(1.89)	12.60(2.00)	6.08***
Wrist	11.73(1.30)	8.68(1.34)	3.05***
Elbow	8.16(0.74)	6.36(0.81)	1.80***
Shoulder	4.03(0.74)	3.22(0.41)	0.81**
Velocity of ball at front-foot contact(m/sec)	2.93(1.20)	2.32(0.59)	0.61
Velocity contribution of body segments to obtain ball velocity(%)			
Lower limb and trunk	21.6(3.7)	25.8(2.9)	-4.2*
Upper-arm	22.4(6.1)	25.2(5.2)	-2.8
Forearm	19.1(6.0)	18.3(6.1)	0.8
Hand	36.9(6.4)	30.7(6.0)	6.2*
Velocity gap between elbow and wrist at the point of which elbow showed maximum velocity(m/sec)	2.44(1.40)	0.65(0.73)	1.79**
Time from the point of which wrist velocity exceeded elbow velocity to ball release(sec)	0.074(0.008)	0.091(0.017)	-0.017*
Time from the point of which ball velocity exceeded wrist velocity to ball release(sec)	0.071(0.008)	0.093(0.016)	-0.022**

***p<0.001 **p<0.01 *p<0.05

与率は0.352であり、遠投能力の約35%が、これらの体力測定項目により説明されたと言える。

(2) 式をもとに選出した Excellent 群と Poor 群の遠投距離と体力測定の結果は、表1の通りである。遠投距離は、Excellent 群が34.76m, Poor 群が16.17m であり、両群間の平均値の差は、0.1%水準で有意であったが、体力測定項目では有意差が認められなかった。

表2は、側方から撮影したフィルムの分析結果のうち、リリース瞬間のボールの状態に関する項目、ボールと身体各部の速度変化に関する項目、身体の移動距離に関する項目などについて示している。リリース瞬間のボールの状態では、初速度で Excellent 群が高い値 ($p<0.001$) を示した。ボール及び身体各部位最高速度では、ボール、手首、肘 ($p<0.001$)、肩 ($p<0.01$) において Excellent 群が有意に高い速度を示した。なお、ボールの最高速度は、全ての被検者がリリース時に記録したもので初速度に等しい。ボールの初速度に対する身体各部位の速度の貢献度で、Excellent 群が有意に高かったのは手部 ($p<0.05$) であり、Poor 群が高かったのは下肢と体幹部 ($p<0.05$) であった。

肘が最高速度を示した時点での肘の速度と手首の速度の差は、Excellent 群が大きく、1%水準で

有意なものであった。

手首の速度が肘の速度を上回った時点からリリースまでの時間、ボールの速度が手首の速度を上回った時点からリリースまでの時間は、ともに Excellent 群が短く、それぞれ5%、1%の水準で有意であった。

投げ手側の肩の移動距離は、Excellent 群の方が長く、その差は5%水準で有意であった。図3

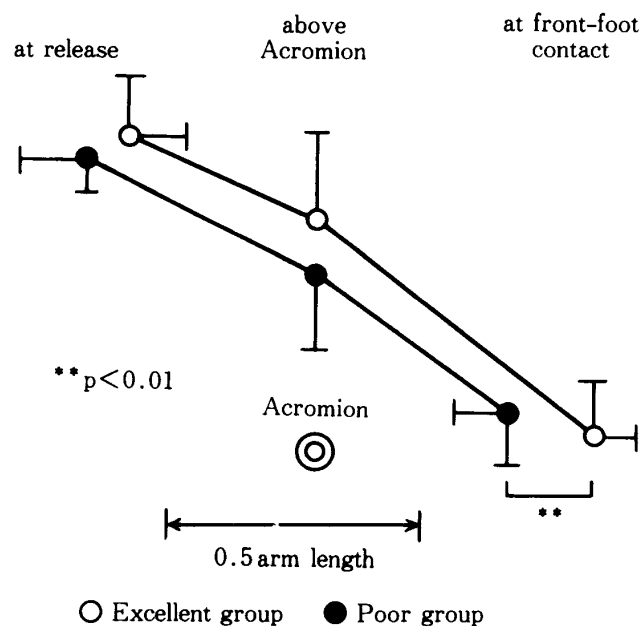


Fig. 3 Means (○●) and standard deviations (—) of horizontal and vertical lengths which were obtained from locus of wrist around acromion.

Table 3 Means, standard deviations and mean differences of variables obtained from analyzing overhead view film such as angle and angular velocity in Excellent group and Poor group.

Variables	Excellent group N=10	Poor group N=10	Mean difference
Angle(deg)			
at front-foot contact			
Shoulder	94.9(23.3)	63.2(16.6)	31.7**
Hip	63.6(14.6)	55.8(17.1)	7.8
Twist [Shoulder-Hip]	31.4(16.0)	8.4(10.3)	23.0**
at release			
Shoulder	36.0(17.6)	37.1(8.1)	-1.1
Hip	8.8(8.6)	4.1(7.2)	4.7
Twist [Shoulder-Hip]	-26.4(13.8)	-26.7(9.0)	0.3
Angular velocity(deg/sec)			
Shoulder	629.6(84.1)	449.0(73.2)	180.6***
Hip	359.4(76.7)	267.0(77.1)	92.4*

*** $p<0.001$ ** $p<0.01$ * $p<0.05$

は、肩を中心とする手首の軌跡から得られた変数の結果を示している。主動作開始時における肩と手首の水平距離は、Excellent 群では 0.657 ± 0.111 , Poor 群では 0.454 ± 0.120 であり、両群の差は 1% 水準で有意であった。肩を通る鉛直線を手首が通過する時点での肩と手首の垂直距離は、Excellent 群が 0.546 ± 0.201 , Poor 群が 0.419 ± 0.186 で、Excellent 群の方がより高い位置を手首が通過する傾向にあったが、その差は有意ではなかった。また、リリース時の肩と手首との水平距離は、Excellent 群が 0.465 ± 0.120 , Poor 群が 0.569 ± 0.147 で両群間に有意差は認められなかった。

表 3 は、上方から撮影したフィルムより算出した肩・腰角度、捻転角度、肩・腰角速度を示している。主動作開始時では、Excellent 群の肩角度が有意 ($p < 0.01$) に大きく、腰角度では両群間に有意差が認められなかったため、捻転角度でも Excellent 群が有意に ($p < 0.01$) 大きな値を示した。しかし、リリース時では肩角度、腰角度、捻転角度ともに有意差は認められず、その結果、肩の回転角度でも Excellent 群が有意 ($p < 0.01$) に大きかった。また、肩と腰の角速度は、それぞれ 0.1%, 5% 水準で Excellent 群が有意に高い値を示した。

考 察

青木¹⁾は、踏み台昇降運動を除く体力診断テスト 6 項目と 12 分間走の体力測定項目、投経験、投関心度、部活動参加経験により、遠投距離の分散の 30.7% が説明されたと報告している。本研究では重回帰分析の結果、遠投距離の約 35% が体力測定 4 項目により説明された。そして、フィルム撮影実験の被験者として選出された Excellent 群と Poor 群の間には、体力測定項目に有意差が認められなかったため、両群間の遠投距離の差は、主として投動作の違いによるものと考えられる。

リリース瞬間のボールの状態では、初速度のみに有意差が認められており、両群間の遠投距離の違いは、初速度の違いによるものである。このことから、Excellent 群の示した投動作は、ボールに

より大きな速度を加えることのできる動作であったと考えられる。

投の主動作に入る前に予備動作を行うと、投の performance を高めるのに有効であると言われている^{8),14),53),54)}。本研究では両群の全被検者が、予備動作としてステップを行った。そのステップ長は、全被検者が身長 50% を超え、投運動中の足の動作の習熟度は、Robertson の分類³⁹⁾によると、レベル 4 (最も未熟なレベルを 1 とし、レベル 4 までに分類) に属しており、ステップの型は出来ていたと判断できる。ステップの役割の一つは、主動作に移行する前に、ボールに一定の速度を与えることであるが¹⁴⁾、主動作開始時のボール速度には両群間に有意差が認められず、ステップによるボールへの加速の大きさの違いからは、投動作の合理性が判断できなかった。ステップの果たすもう一つの役割として、身体を投方向に対して横向きにしながら、さらに肩を後方に引き、肩と腰のねじれをつくることがあげられる^{50),51)}。すなわち、ステップにより生じたねじれを主動作中に元に戻すことにより腰と肩の回転が起き、この回転が投能力に大きな影響を与えるとされている^{49),51),52)}。本研究においては、Excellent 群が主動作開始時に有意に大きな肩角度を示し、投げ手側の肩を大きく後方に引いたことがわかる。しかも、この時の腰の角度に有意差が認められなかったため、肩・腰の捻転角度も有意に大きな値となり、Excellent 群は体幹を強くねじった状態で主動作を開始していた。これが、Excellent 群の高い肩の角速度に結び付いたと推測できる。また、側方からのフィルムの分析からも肩の最高速度に有意な差が認められたが、この速度も肩の回転の影響を強く受けたためと考えられる。これらのことから、合理的な投の準備動作とは、投げ手側の肩を後方に引き体幹のひねりをつくることにより、主動作でより大きくボールを加速するための準備をするものであると言える。

星川⁹⁾は、投運動動作の巧拙の評価基準は体のひねりと whiplike action (ムチ動作) にあると指摘している。堀田ら¹⁰⁾は、ムチ動作を定量化し、バレーボール・スパイク動作中のスウィング速度(指

先の速度)とムチ動作の間に高い相関が認められたと報告している。また、伊藤・金子¹⁷⁾は、槍投げ運動の効果を高める上でムチ効果が重要な役割を果たしていると指摘している。本研究においても、堀田らの方法^{10),11)}により、肘の最高速度が得られた時点の肘と手首の速度の差を算出することによりムチ運動を定量化した。この差が大きいほど巧みなムチ運動が示されたことを意味しており¹⁰⁾、分析の結果、Excellent群は、この値が有意に大きかったため、ムチ動作を効果的に利用したものと推測した。そのうえ、手首の速度が肘の速度を上回った時点からリリースまでの時間、ボールの速度が手首の速度を上回った時点からリリースまでの時間は、Excellent群が短く、手首を背屈させ肘を過伸展させた状態をより長く維持させ、リリース前に爆発的に前腕部と手部を前方に振り出しリリースしたと考えられる。また、ムチ運動は、体幹の回転により生じる肩、肘、手首の最高速度出現の時間的ずれが原因で起こるとされており¹⁵⁾、それからするとExcellent群で見られた大きな、速い肩の回転が巧みなムチ動作に結び付いたと推測できる。

次にボールの初速度に対する身体各部位の速度の貢献度を見ると、Excellent群における手部の貢献度が有意に高い。このことからExcellent群は、スナップ(リスト)動作を効果的に使い、リリース前にボールに大きく加速していることがわかる。すなわち、スナップ動作の利用が投運動の合理性を決める要因の一つであると考えられる。スナップ動作とは、あらかじめ手首を背屈しておき、リリース前にそれを急激に掌屈することにより加速する動作であり¹³⁾、本研究ではボールの速度が手首の速度を上回った時点のスナップ動作開始時点としている。スナップ動作のタイミングに関して、吉福⁵⁴⁾は、肩関節や肘関節の動きによる速度が十分に大きくなってから始めるべきであると指摘している。この指摘からすると、Excellent群のスナップ動作開始は、Poor群と比較しリリースに近く、ボールの速度が、高まってからであり、巧みなタイミングであったと言える。また、効率の良いスナップ動作は、巧みなムチ動作により導

かれると考えられる。なぜなら、Broer⁴⁾が指摘するように、ムチ動作が巧みに行えた場合、手はムチの端にあるので身体分節の中で一番最後に前に出るからである。すなわち、手首は背屈した状態を長く維持し、リリース前に一気に掌屈しスナップ動作に移れる。

桜井と宮下⁴³⁾は、3歳—9歳までの男女の幼児・児童を対象に、スナップ比(ボールの初速度/リリース時の手首の速度)でスナップ動作の効率を表わした。それによると、スナップ比は、女子では全年齢を通じて1.5前後、男子も6歳までは女子と差がなかったが、7歳から値が大きくなり、9歳では約2.0、男女間に統計的に有意差が認められたのは7歳からということである。そして、男女間にボールの初速度の有意な差が見られ始めたのも7歳からとしている。

力学的には、ボールに大きな力が長い距離にわたり加えられると、高い初速度に結び付く。このためには大きな投動作が有利と考えられる⁵⁴⁾。本研究においても肩の移動距離と、肩を中心とした手首の軌跡の大きさを調べることにより、両群間の投動作の大きさを比較した。まず、肩の移動距離では、Excellent群が水平距離において有意に大きい値を示したが、手首の水平・垂直変位の大きさには有意差が認められなかった。そこで、全体の軌跡を手首が肩の上を通過するまでの前半部とリリースまでの後半部に分けたところ、両群間に違いが見られた。すなわち、前半部では、主動作開始時の肩と手首の水平距離でExcellent群が有意に大きい値を示したことから、バックスウィングでPoor群より大きく肘関節を伸展したものと推測した。これに関連し、宮下³²⁾、平野と浅見⁸⁾は、投球に必要な肩や肘の筋が引き伸ばされることにより、それらの筋に弾性エネルギーが蓄えられると指摘している。また、森下³⁴⁾は、投球の練習により、後方への腕のスウィングが大きくなったと報告している。

以上の考察から、女性の投動作における合理性の基準となるポイントは、①ステップによる体幹のひねりと投げ手の後方への引き、②主動作中の肩の回転、③上肢に見られるムチ運動、④リリー

ス直前のスナップ動作と考えられた。

ま と め

女子大学生96名を対象とした遠投距離の測定と11項目の体力測定の結果より、体力測定項目を独立変数、遠投距離を従属変数とする重回帰式を変数増減法を用い算出し、この式から合理的投動作を示したと推測される Excellent 群と、非合理的な投動作を示したと推測される Poor 群を各10名選出した。そして、両群被検者の投動作を三次元的にフィルム分析し、群間で比較することにより、女性における『合理的な投動作』について検討した。

主な結果は次の通りである。

1. 重回帰分析より、次の式が得られた。

$$Y = -24.33 + 0.244X_1 + 0.531X_2 + 0.321X_3 + 0.456X_4 \quad (R^2 = 0.352)$$

ただし、 X_1 : 垂直跳、 X_2 : 反復横跳、 X_3 : 肩腕屈曲筋力、 X_4 : 手掌屈筋力である。

2. 遠投距離では、Excellent 群が大きな値を示したが、それはボールの初速度の違いによるものと考えられた。

3. Excellent 群は、主動作中の肩の回転が速かったが、それは投げ手側の肩を大きく後方に回転させ、肩一腰を強く捻転させた状態で主動作を開始したためと考えられた。

4. Excellent 群は、投げ手を肩からより遠くへ離れた状態で、主動作を開始していた。

5. ボール、手首、肘、肩の最高速度は、Excellent 群の方が高く、また、ボール速度を高めるための効果的なスナップ動作が見られた。

引用・参考文献

- 1) 青木邦男「女子大生の投能力におよぼすスポーツ参加の影響: パス解析を用いて」*体育の科学*, 36-3: 201-04, 1986.
- 2) 有賀誠司「槍投げ競技における助走速度の変化が投げの局面の動作に与える影響について」石井喜八(編), 第8回日本バイオメカニクス学会大会論文集, 113-17, 1987.
- 3) Bowne, M.E., "Relationship of selected measures of acting body levers to ball-throwing velocities," *Res. Quart.*, 31-3: 392-402, 1959.

- 4) ブロアー(宮畑虎彦 訳), 身体運動の力学, ベースボールマガジン社, 1964. pp. 186-86. (Broer, M.R., *Efficiency of human movement*, Saunders Company: Philadelphia, 1960.)
- 5) Clark, H.H., "Objective strenght tests of affected muscle groups involved in orthopedic disabilities," *Res. Quart.*, 19-2: 118-47, 1948.
- 6) 藤墳規明・竹内信也・竹村和子「Overhand pitching における Wrist action の研究」名古屋女子大学紀要, 21-3: 242-47, 1975.
- 7) Hirano, Y., "Comparative study of pitching motions between skilled and little league baseball pitchers," In Jonsson, B. (Ed.), *Biomechanics X-B, Human Kinetics: Champaign*, 1987. pp. 649-53.
- 8) 平野裕一・浅見俊雄「野球の投動作とその指導」*体育の科学*, 38-2: 93-100, 1988.
- 9) 星川 保「大きさと重さの異なるボールの投げ」*J.J. Sports Sci.*, 1-2: 104-09, 1982.
- 10) 堀田朋基・宮本浩哉・山地啓司・北村潔和「バレーボールのスパイクにおける上肢の動作の定量解析」*J.J. Sports Sci.*, 7-4: 256-62, 1988.
- 11) 堀田朋基・鶴 賢行・河野信弘・北村潔和「硬式野球ボール、ハンドボール及びバスケットボール投げにおける動作の特徴」石井喜八(編), 第8回日本バイオメカニクス学会大会論文集, 118-22, 1987.
- 12) 猪飼道夫「体力と気力」初等教育資料, 269: 1-5, 1971.
- 13) 石井喜八・山崎 武「投球動作の分析—ハンドボール投げの場合—」大阪体育大学紀要, 1: 23-29, 1968.
- 14) 石井喜八「投げる」浅見俊雄他(編), 身体運動学概論, 大修館書店, 第5版, 1980. pp. 226-38.
- 15) 石井喜八・斎藤好史・三浦孝仁・小松敏彦「投動作にみられる速度増大の要因」星川 保・豊島進太郎(編), 第7回バイオメカニクス学会大会論文集, 109-13, 1984.
- 16) 石井喜八・西畑賢次「投動作の3次元分析と熟練度の比較—女子ハンドボール選手のオーバーハンドスロー—」石井喜八(編), 第8回日本バイオメカニクス学会大会論文集, 192-95, 1987.
- 17) 伊藤 章・金子公有「槍投げ動作の運動力学的分析」大阪体育大学紀要, 10: 1-7, 1978.
- 18) Jobe, F.W., Tibone, J.E., Perry, J. and Moynes, D., "An EMG analysis of the shoulder in throwing and pitching," *Am. J. Sports Med.*, 11-1: 3-5, 1983.
- 19) 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*, 21-3: 137-44, 1976.
- 20) 北川勇喜・川 清美・藤原 侑・広田公一・浅見俊雄・青山昌二・戸刈晴彦・渡辺慶寿「ハンドボールの投力に関する研究」*体育学研究*, 15-5: 211, 1970.
- 21) 功木靖雄「野球選手の体力、運動能力に関する研究(筑波大学硬式野球部員の場合)」日本体育学会32回大会号, 532, 1981.

- 22) Kunz, H., "Effects of ball mass and movement pattern on release velocity in throwing," In Nelson, R. C. and Morehouse, C.A. (Eds.), *Biomechanics IV*, University Park Press: Baltimore, 1974. pp. 163-68.
- 23) Leme, S.A. and Shambes, G.A., "Immature throwing patterns in normal adult women," *J. Human Movement Studies*, 4: 85-93, 1978.
- 24) 松井三雄・水野忠文・江橋慎四郎, 体力測定法, 第21版, 杏林書院, 1984. pp. 114-15.
- 25) 松島茂善・石河利寛・松田岩男, スポーツテスト, 第一法規出版, 1963. pp. 153-65.
- 26) 松浦義行「運動能力の階級的構造について—運動能力の系統樹—」*体育学研究*, 17-5: 297-308, 1973.
- 27) 三浦望慶・池上康男・橋本 勲・天野義裕・陳 全寿「ヤリ投げにおける投げの局面での速度変化と動作について」昭和52年度日本体育協会スポーツ科学研究報告, 4: 16-23, 1977.
- 28) 三浦望慶・池上康男・松井秀治・橋本 勲「投げの方向とボールの重さが初速度に及ぼす影響について」日本バイオメカニクス学会(編), *スポーツ・バイオメカニクスへの挑戦, 身体運動の科学*, 第5巻, 杏林書院, 1983. pp. 189-95.
- 29) 宮口和義・前田正登・宮口尚義「ヤリ投げの投動作に関する動作分析」日本体育学会第38回大会号 A, 381, 1987.
- 30) 宮下充正・西園秀嗣・水野忠和・角田俊幸・平野裕一「野球の投・テニスの打動作の比較検討」昭和52年度日本体育協会スポーツ科学研究報告, 4: 23-31, 1977.
- 31) 宮下充正「バイオエナジェティックスからみたスキル」宮下充正(編), *スポーツとスキル, 現代のスポーツ科学*, 第9巻, 大修館書店, 1978. pp. 50-53.
- 32) 宮下充正「バイオメカニクスからみたスキル」宮下充正(編), *スポーツとスキル, 現代のスポーツ科学*, 第9巻, 大修館書店, 1978. pp. 180-84.
- 33) 宮下充正・平野裕一「リトルリーグ選手の投能力」*体育の科学*, 30-7: 483-86, 1980.
- 34) 森下はるみ「投球動作の学習過程の筋電図および映画分析による研究」*体育の科学*, 15-8: 440-42, 1973.
- 35) 中村栄太郎・松浦義行「基礎運動能力テストの作成と基礎運動能力指数—高校男子のための試案」*体育学研究*, 14-4: 215-22, 1970.
- 36) 日本体育協会スポーツ科学委員会(編), *体力テストガイドブック*, ぎょうせい, 1982. pp. 88-108.
- 37) Pappas, A.M., Zawacki, R.M. and Sullivan, T.J., "Biomechanics of baseball pitching," *Am. J. Sports Med.*, 13-4: 216-22, 1985.
- 38) Pedegana, L.R., Elsner, R.C., Roberts, D., Lang, J. and Farrell, V., "The relationship of upper extremity strength to throwing speed," *Am. J. Sports Med.*, 10-6: 352-54, 1982.
- 39) Robertson, M.A., "Changing motor patterns during childhood," In Tomas, J. R. (Ed.), *Motor development during childhood and adolescence*, Burgess Publishing Company, 1984. pp. 70-75.
- 40) 斎藤慎一・横井孝志「スプラインとデジタルフィルターによるデータスムージングのための Basic プログラム」筑波大学体育科学系紀要, 5: 201-05, 1983.
- 41) 斎藤好史・平野勝弘・鈴木正保・石井喜八「投動作における身体各部の貢献度」星川 保・豊島進太郎(編), 第7回バイオメカニクス学会大会論文集, 114-17, 1984.
- 42) 桜井伸二・宮下充正・松本 勝「投動作の発達—身体各部の速度変化と performance—」日本体育学会第32回大会号, 443, 1981.
- 43) 桜井伸二・宮下充正「子どもにみられるオーバーハンド投げの発達」*J.J. Sports Sci.*, 1-2: 152-56, 1982.
- 44) 清水宣雄・小林一敏・柳原 潔「ハンドボールにおける投動作の力学的考察(第2報)」日本体育学会第35回大会号, 386, 1984.
- 45) 高木公三郎・熊本水頼・大島 要「捻転力について(第2報)」*体育学研究*, 4-1: 39, 1959.
- 46) 高嶋 洌・宮崎顕一郎・近藤金博・三浦睦夫・石井喜八「ハンドボールの投球動作について」*体育学研究*, 5-1: 158, 1960.
- 47) 豊島進太郎「動作「投げ」の筋電図学的分析」愛知県立大学文学部論文集, 19: 196-207, 1968.
- 48) 豊島進太郎・松井秀治・宮下充正「投球動作における上肢筋の筋電図的研究」*体育学研究*, 15-2: 103-09, 1970.
- 49) Toyosima, S., Hoshikawa, T., Miyasita, M. and Oguri, T., "Contribution of the body parts to throwing performance," In Nelson, R.C. and Morehouse, C.A. (Eds.), *Biomechanics IV*, University Park Press: Baltimore, 1974. pp. 169-74.
- 50) 豊島進太郎・三浦望慶・池上康男「種々の投てき物を投げたときの投動作の分析」昭和51年度日本体育協会スポーツ科学研究報告, 1: 34-47, 1976.
- 51) 豊島進太郎「ボール投げと体幹のひねり」*体育の科学*, 30-7: 478-82, 1980.
- 52) 豊島進太郎・星川 保・松井秀治「女子の投運動から“よい投動作”の基準を探る」星川 保・豊島進太郎(編), 第7回日本バイオメカニクス学会大会論文集, 102-08, 1984.
- 53) 吉田雅美・池嶋聖也・西藤宏司・斎藤慎一・横井孝志「80m 台のヤリ投げにおける「投げ」の局面の技術について—60, 70, 80m 台の試技の比較—」日本体育学会第35回大会号, 603, 1984.
- 54) 吉福康郎「投げる—物体にパワーを注入する」*J.J. Sports Sci.*, 1-2: 85-90, 1982.