

水球における投動作の力学的研究

加賀 勝・小林 一敏・松井 敦典

A Comparison of Throwing Motion between Skilled and Unskilled Player in Water Polo

Masaru KAGA, Kazutoshi KOBAYASHI and Atsunori MATSUI

The purpose of this study was to compare throwing motion between skilled and unskilled player in water polo, using two VTR cameras: one below the surface and the other above. The results obtained were summarized as follows:

- 1) The skilled player, when he threw the ball, moved his body upward by flexing and expanding his legs, and then lean his body, with twisting of trunk.
- 2) The horizontal velocity of each body segment was calculated. In skilled player, the horizontal velocity of hand increased followed by elbow and shoulder, in order to have the preparative action for twisting trunk.
- 3) Using equation of motion, the force generated by legs action during throwing movement was estimated. The skilled player showed larger force than unskilled player, which seemed to be useful for lift up body, twisting body and swinging the arm movement.

1. 緒 言

水球競技において、ゴールシュートの成功・不成功を決定する大きな要因としてボールスピードが考えられる。水球の熟練者が、水中で全力投球した時のボールスピードは、陸上で投球した場合とほとんど同じであることが報告されている^{10),11)}。

しかし、水球の熟練者と未熟練者のボールスピードの差がどのような動作の差異によるものかは、現在までのところあまり研究されてはいない。その原因の一つとして、水上と水面下の両方においてその動作をとらえねばならないことがあげられる。また、投球時に発揮される力についても、陸上でのようにたやすく実測することは困難である。

本研究では、水上と水面下の動作を一つの座標系においてとらえ、大きなボールスピードを得るために身体各部がどのような動作をおこなっているのかを、熟練者と未熟練者の投球動作を比較分

析することにより調べた。

2. 方 法

1) 被験者

被験者には、水球経験者1名(身長186cm, 体重75kg, 水球歴13年)と未経験者1名(身長176cm, 体重70kg, 競泳歴12年)を用いた。

2) 実験試技

実験の概略を図1に示す。

被験者には、水球のゴールに全力で投球するように指示した。その際、水上および水面下の2ヶ所で、被験者の右側方からビデオ撮影をおこなった。試技空間の水上からは、ハイスピードビデオカメラ(Nac社製)により100コマ/秒で、水面下の動作は、水上の動作に比較するとゆるやかであ

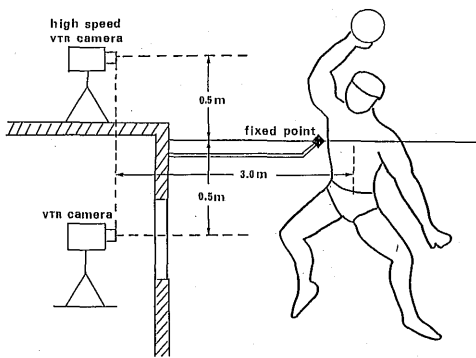


Fig.1 Arrangement of two video cameras.

ると考えられるので、30コマ/秒のビデオカメラ (Victor社製) により撮影をおこなった。

各々のカメラからは、被験者の水上および水面下の動作とともに水面の固定点を撮影した。各ビデオ画像の較正は、水上および水面下で別々に較正板を写し込むことによりおこない、また、両ビデオカメラの同期はストロボフラッシュを映し込むことによりおこなった。

3) 画像データの処理および解析法

得られたビデオ画像からは、スーパーインポーズ機能を有するマイクロコンピューター (シャープ社製CZ-800C) により、座標読み取りを、投球動作のバックスイング終了直前から、ボールが手を離れた直後までの区間についておこなった。

水上のカメラ画像からは、被験者の頭頂・左右肩峰・右肘関節・右手関節・右中指先端部・固定点の7点、水面下のカメラ画像からは、左肘関節・左手関節・左中指先端部・左右大転子・左右膝関節・左右外果・左右足底・固定点の12点の位置座標を読み取った。

水面下の座標データは、ラグランジェの補間法により補間して水上のハイスピードビデオのコマ数と同期させた。水上・水面下から得られた両位置座標データは、固定点を原点とする座標に合成・変換した。得られたデータには、①読み取りの誤差、②レンズのゆがみ、③カメラの振動、④CRT画面のゆがみなどによる誤差の混入が考えられるので、ここでは小林⁴⁾が設計した往復反復型指数フィルタを用いて、データを平滑化した。

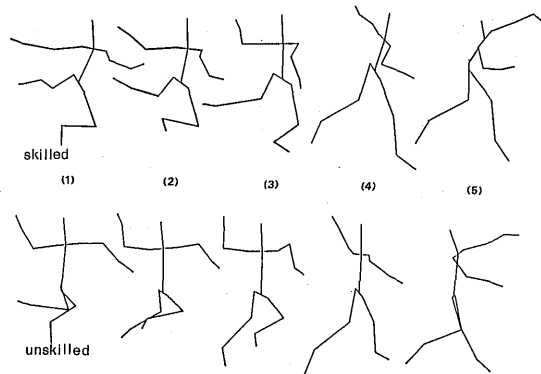


Fig.2 Stick figure of throwing motion in each 0.1sec (skilled and unskilled).

このようにして得られた身体各部位の座標データを直線で結ぶことによりスティックピクチャーを作成した。また、各身体部位の座標データを、松井の身体重心推定値⁷⁾を用いて各コマごとの身体合成重心位置を算出した。さらに、この座標データを用いて身体各部位の水平速度・脚による水を下方に押す力の推定も行った (付録参照)。

3. 結果と考察

図2は、熟練者および未熟練者のバックスイング終了直前 (図中(1)) からボール・リリース直後 (同(5)) までの0.1秒ごとのスティック・ピクチャーを示したものである。熟練者では右脚の体幹への引きつけや蹴りおろし、投球時の腰部のひねり動作、身体の上方向への移動や倒れ込み動作などがみられる。一方、未熟練者では、熟練者に比べ脚の引きつけが小さく、腰部のひねり動作や身体の上方向への移動もみられない。ボール・リリース直後 (図中(5)) のスティック・ピクチャーに注目すると、熟練者ではボールを投げる上肢の振りにともない、身体も倒れ込むように前傾しているのに対し、未熟練者では身体の後傾がみられ、これは上肢の振りの反動動作と考えられた。

図3は、熟練者のバック・スイング終了前からボール・リリース直後までの右肩・右肘関節・右手関節および右中指先端部の水平速度を示したものである。各部位のピーク値は、肩峰部2.5m/s、肘関節8.8m/s、手関節14m/s、中指先端部18.3m/sと、身体末端部になるほど速度が大きくなっている。また、各部位の水平速度は手部と中指先端部がほとんど同時に正の値となり、その後、肘

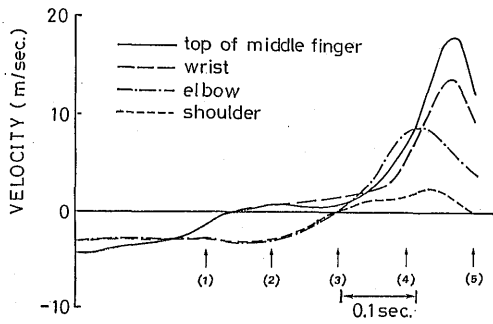


Fig. 3 Change of horizontal velocity of top of finger wrist, elbow and shoulder joint in throwing arm (skilled and unskilled). (1)–(5) shows each of motions in Fig. 2.

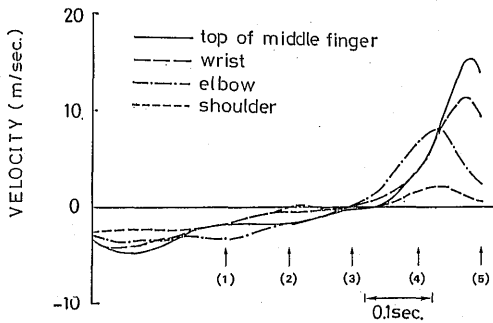


Fig. 4 Change of horizontal velocity of top of finger and wrist, elbow and shoulder joint in throwing arm (unskilled). (1)–(5) shows each of motions in Fig. 2.

関節部、肩峰がややおくれで正の値となっている。これは、身体を頭上から見て、肘関節部、肩を時計方向にひねる「ため」の動作と考えられる。肩峰の速度波形については、ボール・リリース直前に二峰性の波形となっている。これは、スティック・ピクチャーからもわかるように、身体の内ねりと前方への倒れ込み動作をおこなっているため、それらの動作が重畳されているからであると考えられる。

図4は、未熟練者の肩峰・肘関節・手関節・中指先端部の水平速度を示したものである。各部位のピーク値は、肩峰部2m/s、肘関節8m/s、手関節11.1m/s、中指先端部15m/sと、熟練者同様に、各部位の水平速度は身体末端になるにつれて大きくなっている。しかし、速度が正となるのは各部位ともにほとんど時間差がない。これは、未熟練

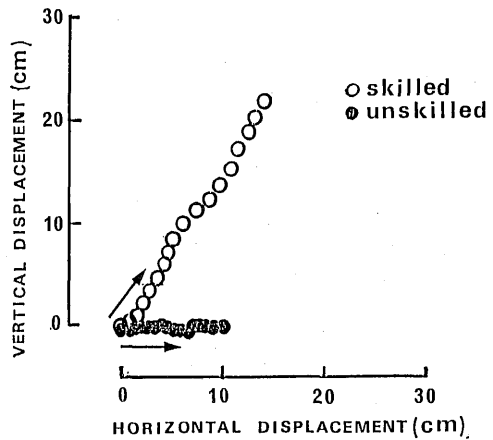


Fig. 5 Change of C.G. location (skilled and unskilled).

者では熟練者に比べて肩峰や肘関節部の「ため」がないからであると考えられる。また、身体の内れ込み動作もないため、肩峰の速度波形も熟練者のような二峰性はみることができなかった。

図5は、熟練者と未熟練者の合成重心の変位を示している。熟練者については、バック・スイング終了前からボール・リリース時まで、水平方向で15cm、鉛直方向で24cmの移動がみられた。一方、未熟練者では、水平方向で10cm、鉛直方向で1cmの移動がみられた。

これは、熟練者においては積極的に身体を上方向へ移動させ、身体の内ねり動作の抵抗となる上半身の水没部位を減らし、さらに、投球のために必要な上肢の自由な動作も可能にしていると考えられる。また、スティックピクチャーでもみられたように、倒れ込み動作によって、水平方向速度を大きくしようとしていると考えられた。

図6は、本実験で得られた熟練者および未熟練者の主に脚の動きにより生ずると考えられる、水から身体が受ける力を示している(付録参照)。この図から熟練者の脚による力は、腕の振りに応じて増加し、ボール・リリース0.4秒前には30kgを超え、リリース直前には最大値の50kgを示している。図5で見られた24cmの重心の鉛直方向への移動は、これらの力により可能となると考えられる。これに比べ、未熟練者では熟練者に比べて投球動作と脚による力との間の対応がみられず、最大値も30kgと、熟練者よりも小さい値となっている。また、最大値が出現する時期も早く、リリース時の脚の

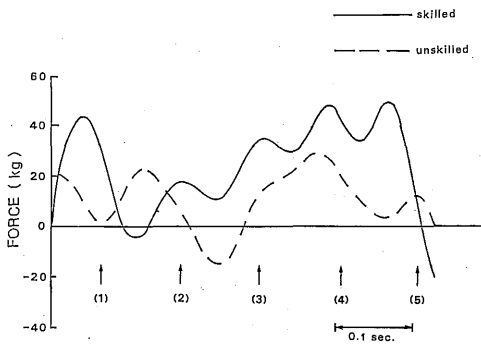


Fig. 6 Estimated force by legs action (skilled and unskilled).
(1)–(5) shows each of motions in Fig. 2.

蹴りによる踏んばりも効いていないと考えられる。これらのことから、熟練者では脚による強い力を持続的に発揮することにより、身体のひねりや腕の振り、倒れ込み動作など、大きなボールスピードを得るための自由な動作を可能にしていると考えられた。

4. まとめ

水球のゴール・シュートの投球動作を、熟練者と未熟練者それぞれ1名について、水上および水面下の2ヶ所からビデオ撮影することにより比較検討した。

その結果を以下に示す。

1. 両ビデオ画像から得られた座標データを合成・変換することにより、投球動作のスティックピクチャーを得た。その結果、熟練者では投球の際、脚の引きつけや蹴りおろしにより身体を上昇させながら倒れ込み動作をおこなうとともに、腰部のひねりを加えていた。

2. 身体各部の水平速度を算出した。熟練者では、手部の速度がまず大きくなり、それに遅れて、肘・肩の速度が大きくなっていた。これは、身体のひねり動作を用いるための「ため」と考えられた。

3. 運動方程式から、脚の動きによって身体が水から受ける力を算出したところ、熟練者では未熟練者に比べて大きく、かつ持続時間も長い。この力は、投球時に身体を上昇させ、それによって身体のひねりや腕の振りを水の抵抗なくおこなうことを可能にすると考えられた。

付 録

脚により生ずる力の推定について

水中で鉛直方向に投球姿勢を保持する際に身体に働く力 ($m\ddot{y}$) は、浮力 (F_b)、重力 (mg) と、主に脚の動きにより生ずる水から身体が受ける力 (F_l) が考えられる。浮力は身体が排除した水の重量に等しいので水の比重を1として、その時に加わる浮力 (F_b) は、

$$F_b = W \times \frac{1}{S} \times (1 - K') \dots\dots\dots(1)$$

として求められる。ただし、ここでWは体重、Sは身体の比重、K'は頭・頸・右上肢の体積比の和をあらわしている。しかし浮力 (F_b) は身体が排除している水の重量であるので、身体の上下動に伴って時々刻々変化する。本研究では、バックスイング終了時には、頭・頸・右上肢が水上にあり、他の身体部位は水中に没しているものとし、フォームの変化に伴う身体の上下動により胴と左上腕が排除している水の重量 (F_b') が変化すると考えると、

$$F_b'(t) = W \times \frac{1}{S} \times K'(t) \dots\dots\dots(2)$$

より、

$$F_b(t) = F_b - F_b'(t) \dots\dots\dots(3)$$

となる。ただし、K'は胴と左上腕の体積比の和である。この浮力の変化と重心の鉛直方向の加速度 (y) から、身体に働く力は、

$$m\ddot{y} = F_b(t) + F_l(t) - mg \dots\dots\dots(4)$$

また、脚による力は、

$$F_l(t) = m\ddot{y} + mg - F_b(t) \dots\dots\dots(5)$$

の関係をを用いて数値計算により求めた。なお垂直方向の加速度は、画像から求めた重心位置鉛直方向座標データ (y) から、5点移動2次式近似微分法により微分演算を行い、ボールが手を離れる直後までの加速度を算出した。

一例として、体重70kgの者(本研究の未熟練者)が身体の鉛直方向の移動がなく、頭・頸・右上腕

だけを水上に出して身体を保持するとした場合には、式(3)と式(4)より

$$0 = W \times \frac{1}{S} \times (1 - K') + Fl - mg$$

となり、 $S=0.985$ 、 $K'=0.14$ および $W=mg$ であるので、

$$Fl = 8.88$$

となり、約8.9kgの力であると算出できる。これは、本実験におけるバック・スイング終了時の姿勢と同じであり、脚による力の大きさもほぼ実験で得られた値と同じである。

本研究では、水平方向の力は求めなかった。

参 考 文 献

- 1) B. Benedek, M. H. Villars: 松原武生訳, 医系の物理—医学および生物学より例をとった物理学—, 吉岡書店, 1973
- 2) Hamming, R. H., 宮川洋, 今井秀樹訳: デジタルフィルタ, 科学技術出版社, pp109—111, 1980
- 3) 木村竜治: 流れの科学, 東海大学出版会, 1984
- 4) 小林一敏, 中田了: 往復反復型指数フィルターによる平滑化, 日本体育学会大会号, 34, 362, 1983
- 5) 松井敦典, 他2名: 水球のボールハンドリングにおける力学的研究, 筑波大学59年度修士論文
- 6) 松井敦典, 他2名: 立ち泳ぎにおける下肢の動作と推力発生メカニズムに関する研究, 東京体育学研究第11号, pp59-62, 1984
- 7) 松井秀治: 運動と身体の重心, 体育の科学社, 1958
- 8) 宮地力, 小林一敏: 画像分析による速さの測定, Jap. J. Sports, Sci, Vol. 3, No. 9, pp666-674, 1984
- 9) 大道等: 写真解析の読みとり誤差と微分演算: Jap. J. Sports, Sci, Vol. 2, No. 3, pp182—199, 1983
- 10) 斉藤好史, 他3名: 末端速度増大の要因分析—投げの場合—, 日本体育学会号, 34: 386, 1983
- 11) 斉藤好史, 他3名: 投動作の身体部位貢献度—水球の場合—, 日本体育学会大会号, 33: 444, 1982
- 12) 高橋伍郎: 水球における身体動作, Jap. J. Sports, Sci, Vol. 2, No. 9, pp518—526, 1984
- 13) W. Bravhe, O. Fischer: On the Center of Gravity of the Human Body, Springer-verlag Berlin Heidelberg, 1985