

# 水球競技の投球動作におけるボール速度に対する体幹および上肢の貢献

Contributions of torso and upper extremity for generating ball velocity  
in water polo throwing motion

身体運動科学研究領域

5013A036-3 塩田 義裕

研究指導教員： 矢内 利政 教授

## 【緒言】

水球競技は、相手チームよりも多くの得点を獲得することによって勝敗が決まるゴール型の球技である。そのため、得点に直結する動作であるシュートは、水球競技において重要な動作の一つと言える。アメリカの大学に所属する水球選手の投球動作を対象とした研究では、Sprigings et al. (1994) の方法論を応用し、リリース時のボール速度に対して肘関節の伸展と体幹の回旋、肩関節の内旋が大きく貢献していることを明らかにしている (Feltner & Nelson, 1996)。しかしながら、体格や身体部分の慣性特性が外国人と異なる日本人において、先行研究の結果が当てはまるとは限らない。さらに、この先行研究では、水中で運動している下胴および下胴に対する上胴の運動（体幹関節の運動）による貢献度については示されていない。下胴を考慮せずに水球競技の投球動作を水面上から捉えることは、コーチや選手が水球競技の投球動作を理解する上で誤った解釈を生じさせる可能性がある。そのため、下胴や体幹関節の動きを考慮した方法論を用いる必要がある。下胴や体幹関節といった水中の動きを把握することは、水球競技の投球動作の基礎的知見になり、新たなトレーニングの着目点となる資料を得ることができる。そこで、本研究では日本の大学水球選手を対象に、ボール速度に対する下胴の運動および体幹、上肢の関節運動の貢献度を明らかにすることを目的とした。

## 【方法】

被験者は、大学生水球選手 12 名（身長  $171.2 \pm 5.1$ cm, 体重  $68.2 \pm 5.3$ kg, 競技歴  $10.1 \pm 3.2$ 年）であった。各被験者には、ゴールから 5m 離れた位置から、ゴール中央上部に全力投球を 5 回行わせ、被験者の自己評価の高かった試技を分析対象とした。被験者の投球動作を、4 台のビデオカメラ（撮影速度：60fps, シャッター速度：1/1000s）で撮影した。3次元動作分析ソフト (Frame-DIAS V, DKH 社製) を用いて、撮影した動画を手動デジタイズすることでボールと身体標認点の 3次元座標を算出した。本研究では、分析モデルを手部, 前腕, 上腕, 上胴, 下胴 (L) の 5つのセグメントが連結したモデルとして定義した。隣接するセグメントの間に自由度 2 の手関節 (H) と肘関節 (F), 自由度 3 の肩関節 (U) と体幹関節 (T) を定義した。Sprigings et al. (1994) の方法を応用し、関節角速度 ( $\omega$ ) と関節中心から手部に向かうベクトル ( $\mathbf{r}$ ) の外積の総和によってボール速度を算出した(式 (1))。

$$\begin{aligned} \mathbf{V}_b = & \mathbf{V}_{MT} \\ & + \boldsymbol{\omega}_L \times \mathbf{r}_{ME/MT} \\ & + \boldsymbol{\omega}_T \times \mathbf{r}_{ME/MR} \\ & + \boldsymbol{\omega}_U \times \mathbf{r}_{ME/RS} \\ & + \boldsymbol{\omega}_F \times \mathbf{r}_{ME/EL} \\ & + \boldsymbol{\omega}_H \times \mathbf{r}_{ME WR} \\ & + \mathbf{V}_{b/ME} \end{aligned} \quad (1)$$

ボール速度に対する下胴および各関節運動の貢献度は、各関節が生み出したボール速度をボールの合成速度方

向へ投影し、その投影ベクトルの大きさをボールの合成速度で除すことによって求めた (式 (2)).

$$\text{貢献度}(\%) = \frac{(\boldsymbol{\omega} \times \mathbf{r}) \cdot \mathbf{V}_b}{|\mathbf{V}_b|} \times 100 \quad (2)$$

### 【結果】

リリース直前のボール速度に対する貢献度が正の値を示したセグメントおよび関節を、その数値が大きい順に表すと、体幹関節 (34.3±11.8%), 手部に対するボール速度 (27.6±4.7%), 肩関節 (23.8±7.4%), 肘関節 (21.7±4.3%) であった。貢献度が負の値を示したのは下胴の並進運動 (-0.1±1.7%) と回転運動 (-6.0±8.3%), および手関節 (-1.2±5.5%) であった。5%以上の正の貢献度を示した解剖学的な関節運動は、肘関節の屈曲・伸展 (22.2±4.1%), 体幹関節の左右回旋 (18.3±8.5%), 前屈・後屈 (16.4±5.3%), 肩関節の挙上・下制 (9.0±4.4%), 水平内転・外転 (7.9±5.1%), 内旋・外旋 (6.9±3.3%) であった。また、負の貢献度を示していた下胴の運動は、前方・後方傾斜が-10.9±6.6%であり、左右回旋が 5.3±3.3%であった。

### 【考察】

本研究における投球腕の貢献度は、肩関節、肘関節、手関節の順に小さくなっており、末端ほど貢献度が小さいことが示された。野球の投球動作では手関節が肘関節よりも高い貢献度を示しており (宮西ら 1996)、本研究と違いがみられた。しかしながら、関節角速度の変化パターンは本研究と同様であった。

アメリカの大学に所属する水球選手を対象とした先行研究 (Feltner & Nelson, 1996) では、肩関節の内旋 (13.2±7.5%), 水平内転 (8.9±1.1%), 下制 (0.3±11.5%) の順で大きいものに対し、本研究では下制 (16.4±5.3%), 水平内転 (7.9±5.1%), 内旋 (6.9±3.3%) の順に大きかった。加えて、先行研究における肘関節伸展の貢献度は 26.6±6.3%であり、本研究の結果よりも 4.5%大きかった。この差異をもたらした原因のひとつ

として、日本人が欧米人と比べ体格で劣り、水球ボールを握ることができないことが挙げられる。ボールが握れないため、リリース直前に一挙に肘関節を伸展させることができず、肘関節の大きな伸展角速度を獲得できなかったと考えられる。

本研究のモデルによって、下胴が後方傾斜することで体幹関節の前屈の貢献度は過小評価されていたことが示された。これは、体幹関節の前屈の重要性を示唆するものであるため、指導の現場においても体幹関節を前屈させるトレーニングを重視する必要があると考えられる。

体幹関節の左右回旋における貢献度が、大きく異なる2名の被験者 (sub7, sub8) を比較すると、体幹関節の左右回旋の貢献度が大きい sub7 は、肩関節の水平内転の貢献度が大きく、体幹関節の左右回旋の貢献度が小さい sub8 は、体幹関節の前屈の貢献度が大きかった。これらは、sub7 が水平面上での、sub8 が矢状面上での回転運動によって投球を行なうといった運動面の違いにより生じていると考えられる。これらの結果から、選手によって体幹関節の運動は様々であることに加え、特に体幹関節の回旋の貢献度に個人差があることが示唆された。

### 【結論】

日本人大学生の投球動作におけるリリース直前のボール速度に対する貢献度は、体幹関節が最も大きく、手部に対するボール速度、肩関節、肘関節の順に大きいことが示された。最も大きな貢献度を示した体幹関節では、下胴を水中で後方傾斜・左回旋、上胴を前方傾斜・左回旋させることによってボール速度を生み出していることが明らかとなった。一方で、下胴の並進運動と下胴の回転運動および手関節は負の貢献度となることが示された。加えて、日本人選手は、外国人選手と比較して肩関節の貢献度が異なり、挙上・下制の貢献度が外国人選手より大きいことが示された。さらに、日本人選手は外国人選手と比較して肘関節の屈曲・伸展の貢献度が小さいことが示された。