

背泳ぎスタートの指先入水技術に関わる要因

武田 剛・高木英樹・小山宏之・椿本昇三

Factors related to the water entry technique from fingertips in backstroke start

TAKEDA Tsuyoshi, TAKAGI Hideki,
KOYAMA Hiroyuki and TSUBAKIMOTO Shozo

Key words: kinematics, angular momentum, swimming

緒 言

競泳競技の背泳ぎスタート動作は、プール壁面に向かい合って足を壁面に設置し、両手でスタート台に設置されたハンドグリップを持って構え、足が持ち上がる方向の回転を伴って背中から水平に飛び出すことである。これまでに行われた背泳ぎスタート動作に関する先行研究において脚で発揮する力の計測を試みたものは存在するが³⁾、手でハンドグリップに発揮する力を計測した研究はなく、背泳ぎスタートの力学的な動作の分析は行われていない。したがって、多くの水泳の指導書においては背泳ぎスタートの手の使い方に関する技術は、「押す」、「突っ張る」といった記述^{2,4,5)}が多いが、この指導法に対する力学的根拠の検証は行われていない。

競泳競技ではスタート局面で達成される最高速度からの減速を最小限にとどめることが競技力向上という視点で重要な点である。したがって、背泳ぎスタートのスタート局面のパフォーマンスにおいては入水が背泳ぎスタート技術の良し悪しを決定する重要な点である。本研究の目的は、背泳ぎスタートの指先入水技術に関わる運動力学的要因を、成人競泳選手の熟練者と未熟練者の比較から導き出すこととした。

方 法

成人競泳選手 16 名が研究に参加してもらっ

た。背泳ぎスタート入水技術に対して高い技能レベルを有していると評価する 8 名（男子 6 名、女子 2 名）を熟練者、背泳ぎスタートの入水技術が不十分と判断される 8 名（男子 4 名、女子 4 名）を未熟練者とした。平均身長は熟練者が 1.75 ± 0.06 m、未熟練者が 1.72 ± 0.08 m、平均体重は 67.3 ± 8.91 kg、未熟練者が 66.2 ± 10.35 kg、平均年齢が 22.6 ± 5.55 歳、未熟練者が 20.9 ± 2.17 歳であった。

参加者に背泳ぎスタートからの 15 m 全力泳を実施するように求め、動作を 2 台のデジタルビデオカメラ（カメラスピード：60 fps、露光時間：水上 1/1000 秒、水中 1/250 秒）で撮影した。参加者には、阿江ほか¹⁾の身体部分慣性係数を用いて身体重心を算出するために必要な 14 点にビニルテープ及び発砲スチロールマーカーを用いてマーキングを行った。撮影した映像から 2 次元 DLT 法を用いて泳者のマーキングポイントの実座標を算出した。スタート台座に設置した防水型フォースプレート（9253B11 Kistler 社製）の上に背泳ぎスタート用ハンドグリップを設置し（図 1）、このグリップを介して選手が背泳ぎスタート動作中にグリップに発揮する力をサンプリング周波数 1000 Hz にて計測した。実座標と反力データは Butterworth 型の Low-pass デジタルフィルタを用いて遮断周波数をそれぞれ 6 Hz と 40 Hz で平滑化を行っ

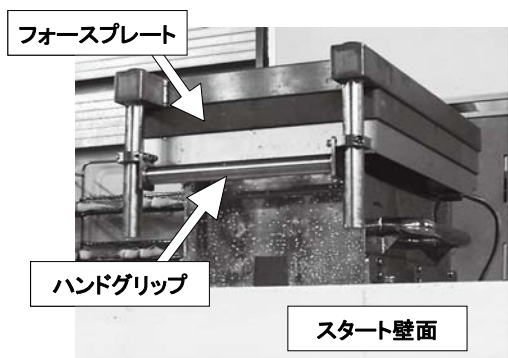


図1 本研究で用いた防水型フォースプレート上に設置した背泳ぎスタート用ハンドグリッップ

た。

手離れ時間と足離れ時間はスタートシグナル後、参加者の手がハンドグリッップから離れるまで、参加者のつま先がプール壁面から離れるまでの時間を撮影した映像からそれぞれ算出した。泳者のつま先がプール壁面から離れる時の身体重心速度を跳び出し速度と定義した。跳び出し角度は跳び出し速度ベクトル（合成速度）が水平面となす角を跳び出し角度とし、進行方向と平行を 0 deg とし、上向きを正、下向きを負と定義した。矢状面上の部分 j の身体重心回りの角運動量 (H_j) の算出は以下の式 (1) を用いた。

$$H_j = r_{jG} \times m_j V_{jG} + I_j \omega_j \quad (1)$$

r_{jG} は身体重心から部分重心への位置ベクトル、 m_j は部分 j の質量、 V_{jG} は身体重心に対する部分 j の重心の速度ベクトル、 I_j は部分 j の慣性モーメント、 ω_j は部分 j の前額軸回りの角速度ベクトルである。各部分の身体重心回りの角運動量の総和を全身の角運動量 (H_G) とした。また、反時計回りの回転を正、時計回りを負と定義した。

平均値の差の検定には統計解析ソフト SPSS Statistics 17.0 (SPSS Inc.) を用いて、時点要因（シグナル時・手離れ時あるいは足離れ時）の存在する変数に関しては二元配置の分散分析を行い、時間要因に関連のない変数に対しては対応のない t 検定を行った。なお、有意水準は危険率 5% 未満とし、危険率 10% を有意傾向とした。

結 果

各分析項目の熟練者と未熟練者の平均値と標準偏差を表 1 に示した。二元配置分散分析における群間の主効果は、重心水平位置、重心垂直位置、大転子垂直位置、所要時間において見られ ($P < 0.05$)、股関節相対角度は有意傾向であった ($P < 0.10$)。いずれの変数も熟練者が大きな値を示した。対応のない t 検定においては、水平手反力が熟練者が有意に大きな負の値を示し、つま先位置は熟練者が有意に高く、5 m 通過タイムは熟練者が有意に短くなった ($P < 0.05$)。図 2 には手反力の平均値の変化を相対時間の変化と共に示した。熟練者の水平手反力には顕著な負のピークが見られた。

考 察

熟練者と未熟練者の比較において、跳び出し時に姿勢に関する変数において顕著な差が見られた。熟練者は高い位置で体を反って臀部を水面から持ち上げた姿勢を作って跳び出していることになる。背泳ぎスタートにおいて、水による抵抗の少ない入水を行うためには、指先から足先まで順に入水し、且つその範囲が狭くなることが望ましいと考えられる。背泳ぎスタート動作は、他の泳法のスタート台上からのスタートと比べ初期位置が低く、指先からの入水を行うために、股関節を十分に伸展し体全体を反った姿勢を作ることによって臀部を持ち上げていると考えられる。股関節の伸展が充分でなく、臀部が水面から十分な高さを確保できなければ、指先の入水の前に背中もしくは臀部が入水してしまい、大きな抵抗を生み出してしまう。跳び出し時の身体重心回りの全身の角運動量も重要なパラメーターであると考えられたが、本研究では熟練者、未熟練者において有意差は認められなかった。本研究の結果からは、熟練度に関係なく跳び出し時までには身体重心回りの全身の角運動量・角速度の獲得は比較的容易であったと考えられた。

また、熟練者のシグナル時の水平手反力が大きな負の値を示したことは、熟練者のつま先位置が高く、ハンドグリッップとつま先位置との距離が短くなったことによって、手と足の水平反力を大きくして力とモーメントの釣り合いを保ち、静止しているためと考えられた。さらに、

表1 熟練者と未熟練者の平均値±標準偏差

	単位	熟練者 (n=8)		未熟練者 (n=8)		主効果 (群)	交互作用 (群×時点)	有意差
		Mean	± SD	Mean	± SD			
二元配置分散分析								
重心水平位置						F=11.12**		
シグナル時	[m/BH]	0.24	± 0.03	0.22	± 0.02			
足離れ時	[m/BH]	0.69	± 0.02	0.66	± 0.03			
重心垂直位置						F=5.34*		
シグナル時	[m/BH]	0.14	± 0.02	0.12	± 0.06			
足離れ時	[m/BH]	0.16	± 0.03	0.11	± 0.05			
大転子垂直位置						F=6.85*	F=5.77*	
シグナル時	[m/BH]	-0.01	± 0.02	-0.02	± 0.06			
足離れ時	[m/BH]	0.14	± 0.04	0.05	± 0.05			
足関節相対角度								
シグナル時	[°]	62.93	± 7.54	65.15	± 8.41			
足離れ時	[°]	156.29	± 10.77	148.76	± 10.69			
膝関節相対角度								
シグナル時	[°]	51.77	± 16.10	48.74	± 13.80			
足離れ時	[°]	177.59	± 3.23	177.50	± 10.25			
股関節相対角度						F=4.62 †	F=4.52 †	
シグナル時	[°]	41.05	± 9.78	41.89	± 11.22			
足離れ時	[°]	180.55	± 10.29	165.44	± 8.52			
所要時間						F=8.48 *		
手離れ	[s]	0.48	± 0.06	0.57	± 0.06			
足離れ	[s]	0.73	± 0.06	0.80	± 0.06			
対応なしの t 検定								
水平手反力 シグナル時	[N/BW]	-0.73	± 0.09	-0.48	± 0.11			**
垂直手反力 シグナル時	[N/BW]	0.48	± 0.07	0.41	± 0.07			
つま先垂直位置 シグナル時	[m]	0.06	± 0.04	-0.07	± 0.11			*
跳び出し水平速度	[m/s]	3.76	± 0.17	3.67	± 0.33			
跳び出し垂直速度	[m/s]	-0.77	± 0.28	-0.60	± 0.49			
跳び出し角度	[°]	-11.70	± 4.50	-9.40	± 7.81			
全身の角運動量 足離れ時	[kgm/s ²]	-26.79	± 5.76	-24.75	± 4.98			
全身の慣性モーメント 足離れ時	[kgm ²]	13.95	± 2.53	12.66	± 2.58			
5m通過タイム	[s]	1.89	± 0.17	2.22	± 0.25			*

BW は体重 [kg] × 重力加速度, BHは身長を表す。

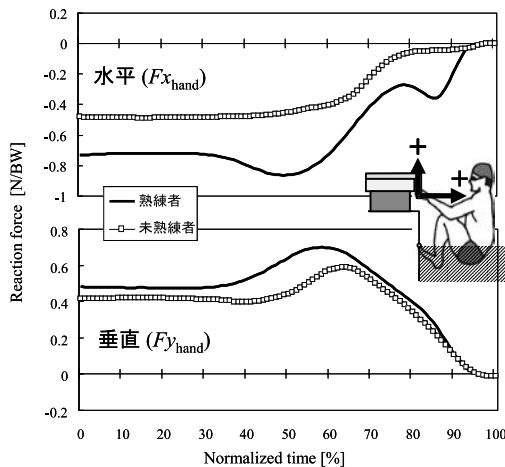
†: $P < 0.10$ *: $P < 0.05$ **: $P < 0.01$ 

図2 熟練者と未熟練者の手反力の平均値の変化。手離れ時間を100%とした規格化時間(normalized time)で示している。

熟練者の水平手反力の時間変化において顕著な負のピークが出現したが、撮影カメラの時間分解能が不十分であり、現象の力学的な説明までには至ることが出来なかった。今後は時間分解能に優れた機器において詳細な調査を行う必要が挙げられた。

文 献

- 1) 阿江通良・湯 海鵬・横井孝志 (1992) : 日本人アスリートの身体部分慣性特性の推定. バイオメカニズム 11 : 22-33. 東京大学出版会, 東京.
- 2) 波多野勲 (1989) : 水泳 : ビギナーからインストラクターまで基礎から学ぶ科学的トレーニング. pp.180. 池田書店.
- 3) Krüer T, Hohmann A, Kirsten R & Wick D (2006): Kinematics and dynamics of the

- backstart technique. Portuguese Journal of Sport Sciences 6 Supl.2. pp.58–60.
- 4) Maglischo E.W. (2003): Swimming Fastest. Start, Turns, and Finishes. Human Kinetics. pp.283–285.
- 5) 財団法人日本水泳連盟 (2005) : 水泳指導教本. [第 2 版] 第 4 章水泳指導法. pp.79