

競泳のキックスタート動作における熟練度による相違

明石啓太¹⁾ 黒川隆志¹⁾ 出口達也¹⁾ 大塚道太¹⁾ 西山健太¹⁾ 森木吾郎¹⁾

Difference in kick start movement of competitive swimming in swimmers with different skill levels

Keita Akashi¹⁾, Takashi Kurokawa¹⁾, Tatsuya Deguchi¹⁾, Dota Otsuka¹⁾,
Kenta Nishiyama¹⁾ and Goro Moriki¹⁾

Abstract

The purpose of this study was to examine the characteristics of the kick start lateral. Subjects were 13 male college swimmers and 14 male physical education students, and they were divided into the upper skilled group ($n=6$), the lower skilled group ($n=7$) and unskilled group ($n=14$) by the 5m time.

The higher the group's skill was, the higher the 5m time and the 5m velocity ($p<.05-0.1$). The higher the group's skill was, the shorter the block time were ($p<.05-0.1$), due to the shortening of the start of knee angle extension in the rear leg ($p<.01$). There was no significant difference between each groups in the entry velocity. The higher the group's skill was, the higher the velocity maintenance rate (the entry velocity / the 5m velocity) was ($p<.05-0.1$), however. The angle of projection on take-off significantly correlated with the difference in height of the center of gravity between the time of start position and take-off ($p<.01$), and the latter significantly correlated with the difference in upper body angle between the time of start position and take-off and with the minimum knee angle in the front leg ($p<.01$).

It was thought that the difference of the velocity maintenance rate was caused by the high entry technique of skilled groups, because the differences between the skilled groups and the unskilled group were most noticeable ($p<.01$) in the angle of projection on entry, the attitude angle on entry and the angle of attack on entry.

Key words: competitive swimming, kick start, skill level, angle of projection on take-off, velocity maintenance rate
競泳, キックスタート, 熟練度, 跳び出し角度, 速度維持率

I. 緒言

近年、競泳の国際大会においてバックプレート付きスタート台が導入されるようになった。このスタート台は、陸上競技のスターティングブロックのようなプレートを天板の後方に装着したものを指す。このスタート台において、後脚でバックプレートを蹴るスタート方法をキックスタートと呼ぶ（以下、Kスタートと略す）。Kスタートは、従来のスタート台において脚を前後に開いて跳ぶトラックスタート（以下、Tスタートと略す）やスタート台の前縁で両脚をそろえて構えるクラブスタート（以下、Gスタートと略す）に比べ、7.5mや15mの通過時間が短く、スタートパフォーマンスが高いと報告されている（Biel et al., 2010; Honda et al., 2010; Petryaev, 2010）。

このようなKスタートの高パフォーマンスの要因として、入水以前の動作では跳び出し水平速度が高いことやブロックタイム（以下、BTと略す）が短いことが指摘されている（Biel et al., 2010; Honda et al., 2010; 野村ほか, 2011）。さらに、Kスタートのこのような動作特性を可能にする理由については、後脚による水平方向への推力の増加（野村ほか, 2011）、上体の倒れ込みの容易さ（尾関ほか, 2010）が指摘されている。Kスタートにおけるこれらの動作特性はエリート選手を対象にしていることから、被検者はKスタートの熟練度も高いものと考えられる。

一方、Kスタートの熟練度が低い選手を対象にした研究はこれまでに認められず、エリート選手とそれ以外の技能水準の選手の動作特性における差異については明らかでない。合屋ほか（2010）はけのび動作、浅

1) 広島大学大学院教育学研究科
Hiroshima University, Graduate School of Education

井・大神 (2001) はバレーボールのレシーブ動作, 山口・藤原 (2011) は和太鼓の打動作について, 熟練者と未熟練者の動作特性を比較し, その巧拙の原因を検討している. このような横断的手法を用いた検討は, 運動技能の習熟過程を明らかにすることにつながるとともに, 指導への示唆も得ることができる.

そこで本研究では, Kスタートにおける熟練度の異なる被検者の動作特性を横断的に検討することにより, Kスタートのパフォーマンスの高低に關与する動作特性を明らかにすることを目的とした.

II. 方法

1. 被検者

被検者の身体特性とベスト記録の平均値 (\bar{x}) 及び標準偏差 (σ) を Table 1 に示した. 大学水泳部に所属する男子競泳選手13名のうち, 5m通過タイムの上位6名を熟練上位群 (Up) とし, 7位から13位の7名を熟練下位群 (Lo) とした. 水泳部以外の運動部に所属し, 5m通過タイムの14位から27位までの男子大学体育専攻学生14名を未熟練群 (Un) とした. なお, 未熟練群は水泳の授業においてイルカ跳びや座った状態からの飛び込みなどの段階を踏んだ指導を90分受けた学生のうち, Tスタートにおいて指先, 肩, 腰, 足先の順に入水できた者とした.

2. データ収集

測定はH大学屋外プール (50m×8レーン, 水深1.7~1.9m) で行った. 被検者は, 十分なウォーミングアップを行った後, バックプレート付きスタート台 (Seiko社製) を用いてKスタートから5m以上のけのび動作を行った. 試技は基本的には1回のみであったが, 水泳指導歴10年の指導者と被検者の両方が試技

に失敗したと判断した時のみ, 十分な休息時間を設けた後, 2回目の試技を行なわせた. 試技の際, 水着とスイミングキャップを着用した被検者に, 頭頂, 左右耳珠点, 左右肩峰, 左右肘, 左右手首, 左右中手指節関節, 第7頸椎, 第10胸椎, 左右上後腸骨棘の midpoint, 左右大転子, 左右膝, 左右外果, 左右つま先, 左右踵の計24箇所に球体の発泡スチロールでマーキングを行った.

試技はブロック期 (スタート合図~両脚離台), フライト期 (両脚離台~指先入水), エントリー期 (指先入水~全身入水), グライド期 (全身入水~5m通過) の4期に分割した. ブロック期からエントリー期までは陸上に設置した4台のデジタルビデオカメラ (Olympus社製, 300fps) を用い (Fig. 1), グライド期は水中に設置した1台のデジタルビデオカメラ (Canon社製, 60fps) を用いて (Fig. 2), それぞれ撮影した. すべてのカメラはスタートシグナル用の雷管ピストルの白煙を用いて同期を行った.

3. データ処理

デジタルビデオカメラで撮影した映像はパーソナルコンピュータに取り込み, 三次元画像解析ソフトを用

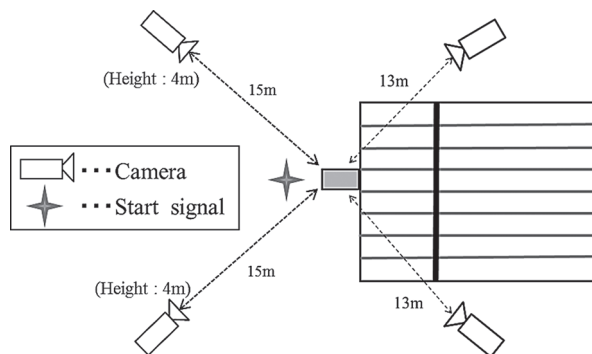


Fig. 1 Start signal and camera placement in the 50m pool.

Table 1 Physical characteristics of the subjects

Group	Age [yrs]		Height [cm]		Weight [kg]		Best record [m : s . ms]					
	\bar{x}	σ	\bar{x}	σ	\bar{x}	σ	FC		BR		BF	
							\bar{x}	σ	\bar{x}	σ	\bar{x}	σ
Up (n = 6)	21.2 ± 1.8		172.3 ± 7.3		64.3 ± 6.8		100m	54.68 ± 3.17 (n = 3)		1:07.06 ± 1.88 (n = 3)		
Lo (n = 7)	19.7 ± 0.5		171.4 ± 4.0		61.6 ± 5.0		100m	56.33 ± 0.91 (n = 2)		1:11.78 ± 4.19 (n = 3)	59.34 ± 0.45 (n = 2)	
Un (n = 12)	21.8 ± 0.8		174.1 ± 6.6		65.8 ± 6.2		100m	1:32.90 ± 15.93 (n = 12)				

\bar{x} = average ; σ = standard deviation ; FC = front crawl ; BR = breast stroke ; BF = butterfly.

Up = upper skilled group ; Lo = lower skilled group ; Un = unskilled group.

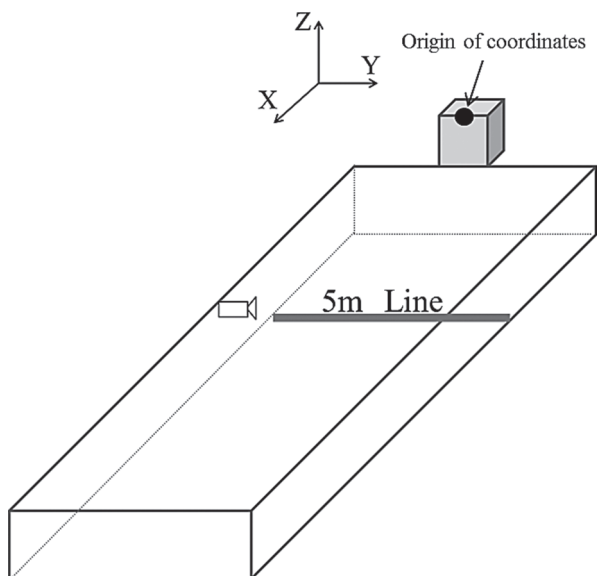


Fig. 2 Camera placement in underwater and coordinate axes.

いて手動デジタイズを行い、三次元DLT法によって泳者のマーキングポイントの実座標を算出した。画像分析によって得られた実座標はButterworth digital filterによる平滑化を行った(遮断周波数3.0~6.0Hz)。遮断周波数は残差分析法(Winter, 1990)により特定した。本研究ではスタート台前縁の中心を原点とする絶対座標系を設定し、座標軸は被検者の進行方向である水平ベクトルをX、鉛直軸をZ、XとZに直行するベクトルをYと設定した。すべてのデータにおいてDLT法による計測誤差はX軸方向が8mm以下、Y軸方向が12mm以下、Z軸方向が18mm以下であった。

4. 測定項目

本研究では阿江(1992)の身体部分慣性係数を用いて部分および全身の重心座標を算出した。その際、胸

骨上縁の代わりに第7頸椎を胴体の上端とした。本研究で測定した変数は以下のように定義し、その概略図をFig. 3に示した。

- ① 5m通過タイム：スタートシグナルから被検者の頭部が5mラインを通過するまでの時間とした。
- ② 5m通過速度：被検者が5mラインを通過した時の身体重心速度の絶対値とした。
- ③ ブロックタイム：スタート合図から両足離台までの時間とした。
- ④ 跳び出し水平速度：離台時(被検者の両足がスタート台から離れた瞬間)における身体重心の水平速度とした。
- ⑤ 入水速度：入水時(被検者の左右どちらかの指先が水面に到達した瞬間)における身体重心速度の絶対値とした。
- ⑥ 速度維持率：5m通過速度/入水速度×100とした。
- ⑦ 構え時重心高：構え時(スタート合図直前)における原点から身体重心点までのZ座標の差とした。
- ⑧ 離台時重心高：離台時における原点から身体重心点までのZ座標の差とした。
- ⑨ 重心高差：構え時重心高と離台時重心高の差とした。
- ⑩ 跳び出し角度：離台時における身体重心速度ベクトルと水平面がなす角度とした。
- ⑪ 跳び出し姿勢角度：離台時における身体重心と原点を結んだ線分と水平面がなす角度とした。
- ⑫ 入水角度：入水時の身体重心速度ベクトルと水平面がなす角度とした。
- ⑬ 入水姿勢角度：入水時に中手指節関節中点と大転子中点を結んだベクトルと水平面がなす角度とした。
- ⑭ 入水迎え角度：入水角度と入水姿勢角度の差の絶対値とした。

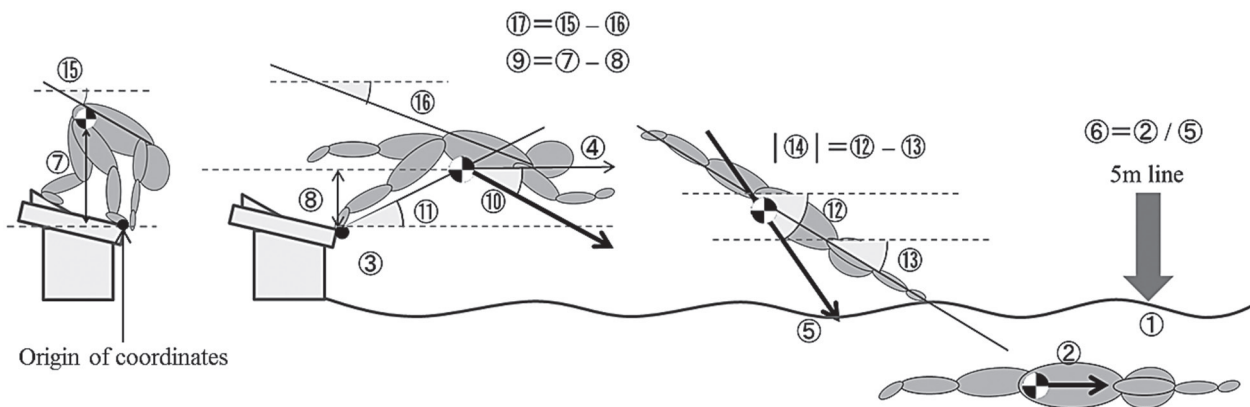


Fig. 3 Definitions of kinematical variables.

⑮構え時上体角度：構え時において，第7頸椎と上後腸骨棘中点を結んだ線分と水平面がなす角度とした。

⑯離台時上体角度：離台時において，第7頸椎と上後腸骨棘中点を結んだ線分と水平面がなす角度とした。

⑰上体角度差：構え時上体角度と離台時上体角度の差とした。

大転子と膝を結んだ線分と外果と膝を結んだ線分のなす角度を膝関節角度 (Knee Angle, 以下, KAと略す) とし, KAに関する変数の定義を以下に示した。

⑱後脚KAの伸展開始時間：膝と大転子を結んだベクトルと, 膝と外果を結んだベクトルの内積から後脚KAを求め, ブロック期において減少から増加に転じた時点とした。

⑲前脚KAの伸展開始時間：⑱と同様に前脚KAを求め, ブロック期において減少から増加に転じた時点とした。

⑳規格化時間における後脚KAの伸展開始時間：BT

を100%とした規格化時間における⑱の値を百分率で示した。

㉑規格化時間における前脚KAの伸展開始時間：BTを100%とした規格化時間における⑲の値を百分率で示した。

㉒前脚KAの最小角度：ブロック期での最大屈曲角度となる⑲の時点における前脚KAの角度とした。

5. 統計処理

群間における各変数の平均値は, 一元配置分散分析及びTukey-Kramer法による多重比較検定を用いて有意差を検定した。2つの変数の相関検定にはピアソンの相関分析を用いた。各統計処理の有意水準は危険率5%未満とした。

III. 結果

本研究で得られた変数の平均値 (\bar{x}), 標準偏差 (σ), 群間の有意差についてTable 2に示した。

Table 2 Kinematic variables of the upper skilled group, the lower skilled group and the unskilled group

		Upper skilled group (Up)		Lower skilled group (Lo)		Unskilled group (Un)		significant difference		
		\bar{x}	σ	\bar{x}	σ	\bar{x}	σ	Up-Lo	Up-Un	Lo-Un
① 5m time	[s]	1.57 ± 0.07		1.79 ± 0.11		2.02 ± 0.41				*
② 5m velocity	[m/s]	4.48 ± 0.67		3.24 ± 0.88		2.28 ± 0.65	**	**	**	
③ Block time	[s]	0.71 ± 0.04		0.75 ± 0.05		0.87 ± 0.18		**		
④ Take-off horizontal velocity	[m/s]	4.42 ± 0.17		4.28 ± 0.21		4.18 ± 0.81				
⑤ Entry velocity	[m/s]	5.87 ± 0.05		5.47 ± 0.28		5.79 ± 0.89				
⑥ Velocity maintenance rate	[%]	76.4 ± 11.5		59.4 ± 8.2		39.3 ± 10.9	*	**	**	
⑦ Height of center of gravity on start position	[m]	0.65 ± 0.04		0.66 ± 0.08		0.72 ± 0.07				
⑧ Height of center of gravity on take off	[m]	0.57 ± 0.11		0.49 ± 0.07		0.49 ± 0.10				
⑨ Difference in height of center of gravity between start position and take-off	[m]	-0.08 ± 0.1		-0.17 ± 0.7		-0.28 ± 0.11			*	
⑩ Angle of projection on take-off	[deg]	-4.5 ± 6.5		-10.1 ± 5.1		-10.1 ± 4.9				
⑪ Attitude angle on take-off	[deg]	30.9 ± 6.2		27.5 ± 6.2		27.0 ± 7.1				
⑫ Angle of projection on entry	[deg]	-40.8 ± 1.1		-40.8 ± 1.5		-45.2 ± 8.2		**	**	
⑬ Attitude angle on entry	[deg]	-39.5 ± 1.3		-44.0 ± 5.7		-28.0 ± 7.3		**	**	
⑭ Angle of attack on entry	[deg]	1.3 ± 1.3		4.7 ± 4.8		17.2 ± 9.5		**	**	
⑮ Upper body angle on start position	[deg]	-23.0 ± 18.2		-29.0 ± 7.2		-12.7 ± 6.2				**
⑯ Upper body angle on take-off	[deg]	-4.4 ± 6.1		-21.9 ± 8.9		-11.5 ± 9.8	**			
⑰ Difference in upper body angle between start position and take-off	[deg]	18.6 ± 15.2		7.1 ± 18.8		1.3 ± 10.9		*		
⑱ Start of KA extention in the rear leg	[s]	0.20 ± 0.05		0.37 ± 0.13		0.49 ± 0.21		**		
⑲ Start of KA extention in the front leg	[s]	0.53 ± 0.07		0.57 ± 0.04		0.66 ± 0.13		*		
⑳ Start of KA extention in the rear leg	[%]	28.9 ± 7.7		48.5 ± 16.9		55.6 ± 19.4		**		
㉑ Start of KA extention in the front leg	[%]	75.1 ± 5.6		75.1 ± 8.8		75.7 ± 5.1				
㉒ Minimum KA in the front leg	[deg]	103.8 ± 7.3		96.1 ± 9.2		88.6 ± 10.6		*		

\bar{x} : average, σ : standard deviation, * : significant difference at $p < .05$, ** : significant difference at $p < .01$

1. スタートパフォーマンスに関する項目

5m通過タイムは熟練度が高いほど短い傾向にあり、熟練上位群は未熟練群より有意に短かった ($p < .05$)。5m通過速度も熟練度が高いほど高く、すべての群間に有意差が認められた (いずれも $p < .01$)。BTも熟練度が高いほど短い傾向にあり、熟練上位群は未熟練群より有意に短かった ($p < .01$)。跳び出し水平速度と入水速度はすべての群間に有意差が認められなかったものの、跳び出し水平速度は熟練度が高いほど高い傾向を示した。速度維持率は熟練度が高いほど高く、すべての群間に有意差が認められた ($p < .05-.01$)。

2. 重心に関する項目

構え時重心高と離台時重心高の両方においてすべての群間に有意差が認められなかった。しかし、重心高差については熟練度が高いほど小さい傾向にあり、熟練上位群は未熟練群より有意に小さかった ($p < .05$)。跳び出し角度及び跳び出し姿勢角度は群間に有意差が認められなかった。入水迎え角度については熟練度が

高いほど小さい傾向にあり、入水角度、入水姿勢角度、入水迎え角度のすべてにおいて熟練上位群及び熟練下位群と未熟練群との間に有意差が認められた (いずれも $p < .01$)。つまり、熟練上位群と熟練下位群は未熟練群より、入水角度において水平に近く、入水姿勢角度において水平から離れたことにより、結果として両角度の差である入水迎え角度は熟練度が高いほど0degに近かった。また、跳び出し角度と跳び出し姿勢角度との間 (Fig. 4)、跳び出し角度と重心高差との間 (Fig. 5)、速度維持率と入水角度との間 (Fig. 6) に有意な正の相関が、速度維持率と入水姿勢角度との間 (Fig. 7)、速度維持率と入水迎え角度との間 (Fig. 8) に有意な負の相関が認められた (いずれも $p < .01$)。

3. 体幹動作に関する項目

構え時上体角度は未熟練群が熟練下位群より有意に大きく ($p < .01$)、離台時上体角度は熟練下位群が熟練上位群及び未熟練群より有意に小さかった ($p < .05-.01$)。その結果として両角度の差である上体角度差は

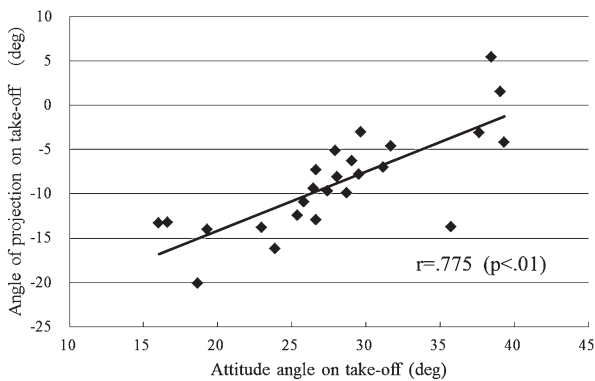


Fig. 4 Relationships between angle of projection on take-off and attitude angle on take-off.

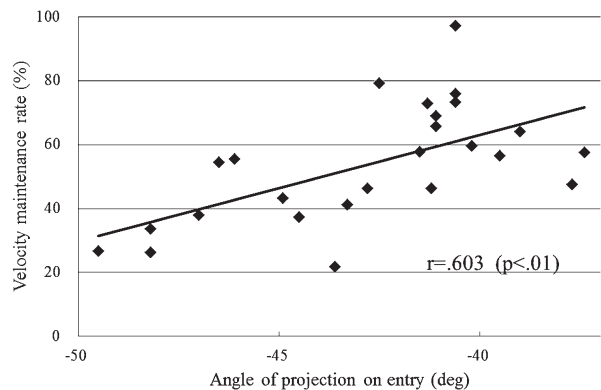


Fig. 6 Relationships between velocity maintenance rate and angle of projection on entry.

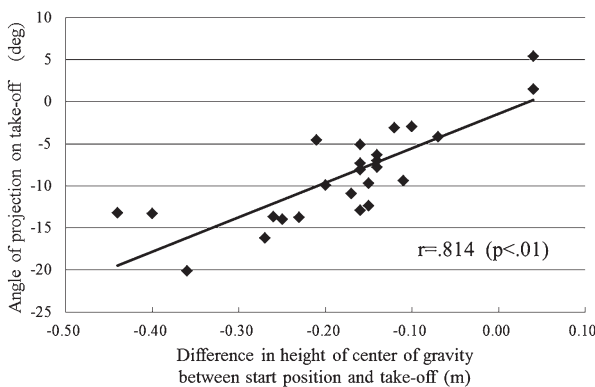


Fig. 5 Relationships between angle of projection on take-off and difference in height of center of gravity between start position and take-off.

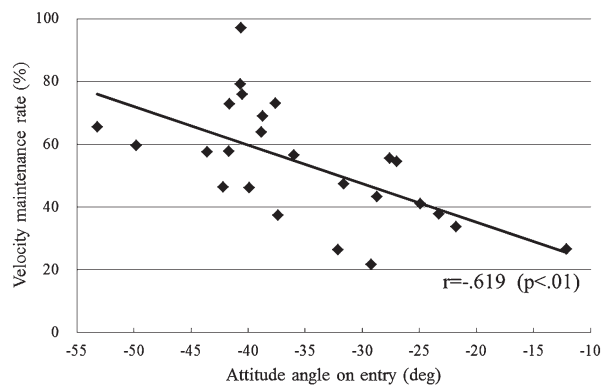


Fig. 7 Relationships between velocity maintenance rate and attitude angle on entry.

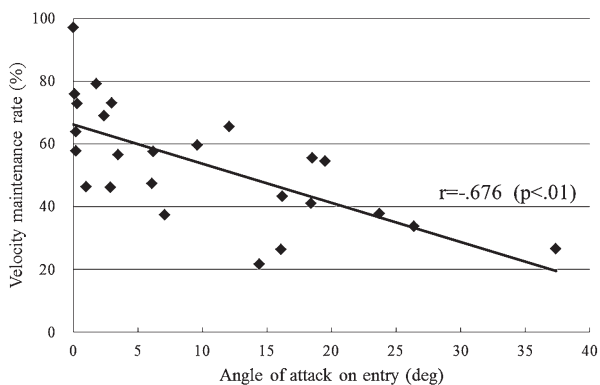


Fig. 8 Relationships between velocity maintenance rate and angle of attack on entry.

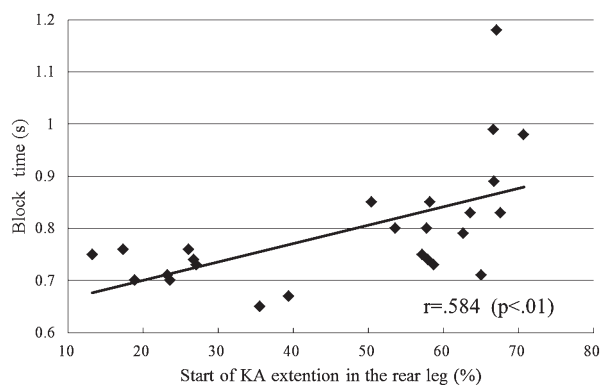


Fig. 10 Relationships between block time and start of KA extension in the rear leg.

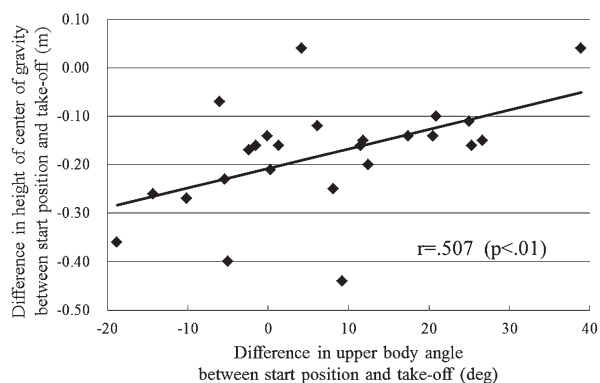


Fig. 9 Relationships between difference in upper body angle between start position and take-off and difference in height of center of gravity between start position and take-off.

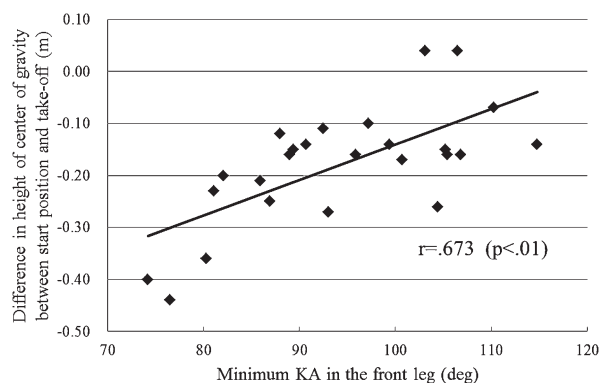


Fig. 11 Relationships between difference in height of center of gravity between start position and take-off and minimum KA in the front leg.

熟練度が高いほど大きい傾向にあり、熟練上位群は未熟練群より有意に大きかった ($p < .05$)。つまり、熟練上位群は上体を深く折り曲げて構え、離台までに上体を水平近くまで起こしたために上体角度の差が大きかった。一方で、熟練下位群は熟練上位群と同等かそれ以上に上体を深く折り曲げて構えていたものの、離台までの間の上体の起こし方が小さいために、上体角度差は熟練上位群より小さく、未熟練群は上体を浅く折り曲げて構え、離台までの間の上体の起こし方も小さいために、上体角度差は熟練下位群より小さかった。重心高差と上体角度差との間に有意な正の相関が認められた ($p < .01$) (Fig. 9)。

4. 下肢動作に関する項目

後脚及び前脚のKAの伸展開始時間は熟練度が高いほど短い傾向にあり、熟練上位群は未熟練群より有意に短かった (後脚： $p < .01$, 前脚： $p < .05$)。BTを100%とした規格化時間において、後脚KAの伸展開始時間

は熟練度が高いほど短い傾向にあり、熟練上位群は未熟練群より有意に短かった ($p < .01$)、前脚KAの伸展開始時間にはすべての群間に有意差が認められなかった。前脚KAの最小角度については熟練度が高いほど大きい傾向にあり、熟練上位群は未熟練群より有意に大きかった ($p < .05$)。すなわち、熟練度が高いほど、ブロック期における前脚KAの最大屈曲角度は浅かった。また、BTを100%とした規格化時間における後脚KAの伸展開始時間とBTとの間 (Fig. 10)、重心高差と前脚KAの最小角度との間に有意な正の相関が認められた ($p < .01$) (Fig. 11)。

IV. 考察

熟練度が高いほど5m通過タイムが短く、5m通過速度が高い傾向がみられたことから、本研究の被検者は、熟練度が高いほど5m通過時に、タイムでも速度でも優位であることが示された。

5m通過タイムはブロック期、フライト期、エントリー期、グライド期に区分することができる。まず、本研究のブロック期については熟練度が高いほどBTが短い傾向が見られた。GスタートやTスタートを対象としたTanner (2001) や Arellano et al. (2000) では、BTが短距離レースやスタート局面全体に与える影響は小さいとされている。しかし、本研究における熟練上位群と未熟練群との差は0.16sであり、この時間は5m通過タイムにおける両群間の差0.45sの36%を占めていた。また、BTを100%とした規格化時間における後脚KAの伸展開始時間は熟練度が高いほど短いこと、さらにこの時間とBTとの間に有意な正の相関($r = .584$)が見られたことから、ブロック期の序盤で後脚の膝関節を伸展し始めることがBTの短縮につながると考えられる。尾関ほか(2012)によると、国内一流選手のKスタートではブロック期の早い段階で後脚によって地面反力を発揮している。

次にフライト期に着目する。競泳の全レース局面の大部分を占めるストローク期に進行方向への速度を高く保持して移行するためには、フライト期への移行時の身体水平移動速度である跳び出し水平速度を高めることが重要であると考えられる。本研究において跳び出し水平速度は熟練度が高いほど高い傾向にあった。吉田ほか(1981)や本間ほか(1997)も、5m通過時間や10m通過時間と跳び出し水平速度との間に有意な負の相関を認めている。ただし、本研究の跳び出し水平速度において、各群間の差が有意でなかった原因として、本研究の未熟練群は陸上競技や球技種目等の水泳以外のスポーツの熟練者であり、高い脚力を有していたことが考えられる。

跳び出し水平速度を高めるためには、離台時の重心移動ベクトルの方向を示す跳び出し角度を考慮する必要がある。跳び出し角度は、競技力の高い被検者のGスタートにおいて $-3.26 \pm 8.55\text{deg}$ (Arellano et al., 2000)であり、男子エリート大学競泳選手のGスタートにおいて $-6.14 \pm 7.76\text{deg}$ 、Tスタートにおいて $-5.33 \pm 5.93\text{deg}$ (武田ほか, 2009)である。このように、競技力の高い選手は飛距離が最大になる跳び出し角度ではなく、跳び出し水平速度が最大になる0deg付近のやや下向き方向に跳び出している。本研究の熟練上位群の跳び出し角度は $-4.5 \pm 6.5\text{deg}$ であり、競技力の高いこれらの研究の被検者とほぼ同様の跳び出し角度で離台していた。

跳び出し角度は離台以前の動作によって決定されるため、ブロック期における動作と跳び出し角度の関係

について検討する。Gスタートにおいては、跳び出し角度と跳び出し姿勢角度との間に $r = .93$ 以上の非常に強い正の相関があり、泳者が身体を前方に倒しこんだ角度によって跳び出し角度が決まるとされている(武田ほか, 2006)。本研究でもこの2つの変数間に有意な正の相関($r = .775$)が認められたことから、Kスタートにおいても跳び出し姿勢角度が小さいほど跳び出し角度も小さくなると考えられる。ただし、Kスタートでは相関係数がGスタートより小さかったことから、跳び出し姿勢角度以外にも跳び出し角度に影響する要因があると考えられる。その1つとして、構え時と離台時における重心高差が考えられる。跳び出し角度は離台時の重心移動ベクトルの方向を示すため、その決定にはブロック期における身体重心の軌道が関与すると推測される。そこで重心高差と跳び出し角度との関係について検討したところ、重心高差は熟練度が高いほど小さく、さらに重心高差と跳び出し角度との間に有意な正の相関($r = .814$)が認められ、熟練度が高いほど跳び出し角度も大きい(0degに近づく)ことが示唆された。

このように、重心高差を小さくすることが適切な跳び出し角度の獲得に有効であると考えられるため、重心高差に影響する要因について検討する。本研究においては、重心高差と前脚KAの最小角度との間に有意な正の相関($r = .673$)が認められた。走り幅跳びにおいては、踏切脚のKAの最小角度を大きく保つことが跳び出し角度を増加させ(深代, 1993)、膝関節伸展筋力が高ければKAの最小角度を大きく保てるとされている(志賀ほか, 2004)。Tスタートにおいて前脚にかかる地面反力(Benjanuvatra et al., 2004)は走り幅跳びの地面反力(Luhutanen and Komi, 1979)ほど大きくないため、Kスタートでも同様であると考えられる。そのため、膝関節伸展筋力の高さへの依存度はKスタートでは走り幅跳びほど大きくないと考えられるが、前脚KAの最小角度を大きく保ち、膝の「つぶれた」跳躍を避けることは、適切な跳び出し角度の獲得に有効な手段であると推測される。

また、本研究においては、重心高差と上体角度差との間に有意な正の相関($r = .507$)が認められた。上体角度差は熟練度が高いほど大きく、大きな上体角度差は上体を深く折り曲げて構え、離台時には上体を水平近くまで起こすことにより得られる。ブロック期においては膝の屈曲等により重心高が徐々に低下していくが、離台までに上体を大きく起こすことで重心高の低下を抑えることができると考えられる。更に、スク

ワットジャンプにおいて、上体起立状態から跳ぶ場合と上体前屈姿勢から体を起こしながら跳ぶ場合とでは、後者の方で高い跳躍高が得られている(蛭田ほか, 1986)。従って、Kスタートにおいて構えから離台までの間に上体を大きく起こすことは、重心高の維持だけでなく、跳び出し速度や飛距離の増加につながる可能性が考えられる。

フライト期の後、エントリー期を経てグライド期へ移行するが、跳び出し水平速度や入水速度に群間の有意差が見られなかったにも関わらず、5m通過速度や速度維持率は熟練度が高いほど高かった。このことから、熟練度の高い被検者は水中での減速を抑える技術に優れていることが示唆された。

そこで、エントリー期やグライド期における減速を抑え、高い速度を維持するために必要な要因について検討する。本研究においては、入水後の減速を減らす技術を示す速度維持率と入水角度 ($r = .603$) との間に有意な正の、入水姿勢角度 ($r = -.619$)、入水迎え角度 ($r = -.676$) との間に有意な負の相関が認められた。尾関ほか (2010) もグライド期開始時の身体重心速度であるグライドスピードと入水角度 ($r = .536$) との間に有意な正の、入水姿勢角度 ($r = -.748$)、入水迎え角度 ($r = -.792$) との間に有意な負の相関を認めている。これらのことから入水方法は入水後の身体移動速度に強い影響を与えられとされる。各群間の比較については、入水角度において熟練上位群及び熟練下位群が未熟練群より有意に水平に近い値を示した。

一方、入水姿勢角度においては未熟練群が熟練上位群及び熟練下位群より有意に水平に近い値を示した。この結果、両者の差の絶対値である入水迎え角度は熟練度が高いほど小さい傾向を示した。入水迎え角度が小さいことは、入水時の身体重心移動ベクトルと身体の長軸の角度がより一致することを意味する。このため、入水方向を示す身体重心ベクトルに直交する身体の断面積も小さくなり、入水時に水から受ける抵抗を最小限にできると考えられる(尾関ほか, 2010)。このことから、本研究の熟練度の高い被検者は、入水時に水から受ける抵抗を小さくする技術に優れていることが示唆された。

V. Kスタートの技術指導への示唆

本研究では、ブロック期において後脚KAの伸展開始時間が短いほど、BTが短縮されていた。このことから、BTが長い泳者に対しては、後脚KAの伸展を

スタート合図に瞬時に同期させる動作を指導することにより、BTの短縮が可能になると考えられる。

また、重心高差を小さくすることが適切な跳び出し角度の獲得につながり、重心高差を小さくするには上体角度差を大きくすること及び前脚KAの最小角度を大きく保つことの重要性が示唆された。指導現場では抵抗の少ない入水を狙った跳び方をするあまり、跳び出し角度が過度に小さくなり、跳び出し水平速度や飛距離が低くなる泳者が多く見受けられる。このような泳者が適切な跳び出し角度を獲得するためには、ブロック期に胸を張りながら目指す入水地点を見るように離台すると上体が十分に起きることや、腰を高く保って深くしゃがみ込まずに跳ぶと前脚KAの曲がりすぎを抑えることが可能であると助言することが有効であろう。

さらに、熟練上位群と熟練下位群は未熟練群より入水角度が大きく、入水姿勢角度と入水迎え角度が小さかった。未熟練者に頻繁に見られる全身がほぼ同時に入水する「腹打ち」は入水角度より入水姿勢角度が水平に近いために、入水迎え角度が大きくなった状態を示す。このことから、「腹打ち」の見られる泳者に対しては、離台後の早い時点で腕と頭を下げた入水姿勢を取ることを指導することにより、入水迎え角度を小さくできると考えられる。

VI. まとめ

本研究の目的は、競泳のキックスタートの動作特性を横断的に検討することであった。被検者は男子大学競泳選手13名と男子大学体育専攻学生14名であり、5m通過タイムに基づき熟練上位群、熟練下位群、未熟練群の3群に分られた。

スタートパフォーマンスの指標である5m通過速度と5m通過時間は熟練度が高いほど高かった ($p < .05-01$)。ブロックタイムは熟練度が高いほど短く ($p < .05-01$)、これには後脚膝関節の伸展開始時間の短縮が関与していた ($p < .01$)。跳び出し角度は構え時と離台時の重心高差と有意な正の相関を示し ($p < .01$)、重心高差は構え時と離台時の上体角度差及び前脚膝関節の最小角度と有意な正の相関を示した ($p < .01$)。

入水速度には各群間の有意差が見られなかったが、入水後の速度維持率(入水速度/5m通過速度)は熟練度が高いほど高かった ($p < .05$)。入水角度、入水姿勢角度、入水迎え角度において、熟練群と未熟練群の差が最も顕著に生じた ($p < .01$) ことから、熟練群の高

い入水技術が速度維持率に差を生じさせたと考えられた。

文 献

- 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. 東京大学出版会: 東京, pp.23-33.
- Arellano, R., Pardillo, S., Fuente, B.D.L., and Garcia, F. (2000). A system to improve the swimming start technique using force recording, timing and kinematic analyses. *Proceedings of XVIIIth International symposium on biomechanics and medicine in sports*: 609-613.
- 浅井慶一・大神訓章 (2001) バレーボールの左右移動のレシープにおける熟練の要因に関する運動学的考察: 大学女子学生における非熟練者と熟練者の運動の比較から. *山形大学紀要, 教育科学*. 12 (4): 415-426.
- Benjanuvatra, N., Lytue, A., Blanksby, B., and Larkin, D. (2004) Force development profile of the lower limbs in the grab and track start in swimming. *Proceedings of XXIIth International symposium on biomechanics in sports*: 399-402.
- Biel, K., Fischer, S., and Kibele, A. (2010) Kinematic analysis of take-off performance in elite swimmers: New OSB11 versus traditional starting block. *Proceedings of XIth International symposium on biomechanics and medicine in swimming*: 91.
- 深代千之 (1993) 跳躍運動からみた筋・腱連合組織のダイナミクス. 東京大学博士論文: 29.
- 合屋十四秋・松井敦典・杉浦加枝子・高木英樹 (2010) 初心者, 熟練者及びエリート選手のけのび動作と力発揮の横断的検討. *愛知教育大学研究報告*, 59: 19-27.
- 蛭田秀一・島岡みどり・矢部京之助 (1986) 跳躍高と下肢筋力からみた垂直跳における上体の屈伸動作の役割. 第37回日本体育学会大会予稿集: 565.
- Honda, K. E., Sinclair, P. J., Mason, B. R., and Pease, D. L. (2010) A biomechanical comparison of elite swimmers start performance using the traditional track start and the new kick start. *Proceedings of XIth International symposium on biomechanics and medicine in swimming*: 75.
- 本間正信・生田泰志・宮地 力 (1997) 競泳スタートの水中動作の分析. 第13回日本バイオメカニクス学会大会編集委員会編 身体運動のバイオメカニクス. 第13回日本バイオメカニクス学会大会編集委員会: 379-384.
- Luhtanen, P., and Komi, P. V. (1979) Mechanical power and segmental contribution to force impulses in long jump take-off. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, 41 (4): 267-274.
- 野村照夫・来田宣幸・和田一宏・長谷川弘実・小島理永・谷川哲 (2011) 競泳スタート台のバックプレートがスタート動作に及ぼす影響: スタート台上の左右分離型床反力計による検討. 第62回日本体育学会大会予稿集: 220.
- 尾関一将・桜井伸二・高橋繁浩・田口正公 (2010) バックプレートを用いたスタート方法はスタート局面時間を短縮するか—キックスタートとトラックスタートの比較—. *日本水泳・水中運動学会2010年次大会講演論文集*: 34-35.
- 尾関一将・桜井伸二・高橋繁浩 (2010) 入水方法の違いが競泳スタートのパフォーマンスに与える影響. *バイオメカニクス研究*, 14 (1): 12-19.
- 尾関一将・桜井伸二・高橋繁浩 (2012) 一流競泳短距離選手のスタート動作の特徴. *日本水泳・水中運動学会2012年次大会講演論文集*: 90-92.
- Petryaev, A.V. (2010) Efficiency analysis of swimmers starts using starting block with adjustable raised foot in competitions. *Proceedings of the XIth International symposium on biomechanics and medicine in swimming*: 100.
- 志賀 充・尾縣 貢 (2004) 走幅跳競技者の下肢筋力と踏切中のキネマティクス及びキネティクスの関係: 膝関節と股関節に着目して. *体力科学*, 53 (1): 157-166.
- 武田 剛・市川 浩・杉本誠二・野村武男 (2006) 競泳スタートにおける跳び出し角度の変化が跳び出し速度, 飛距離とブロックタイムに与える影響. *体育学研究*, 51 (4): 515-524.
- 武田 剛・高木英樹・椿本昇三 (2009) 競泳スタート台の傾斜角度の違いがスタートパフォーマンスに与える影響. *水泳水中運動科学*, 12(1): 18-27.
- Tanner, D. A. (2001) Sprint performance times related to block time in Olympic swimmers. *Journal of swimming research*, 15: 12-19.
- Winter, D. A. (1990) *Biomechanics and motor control of human movement*. John Wiley and Sons Inc.: New York, pp.41-43.
- 山口真紀・藤原素子 (2011) 和太鼓の打動作における上肢の動作分析: 上級者と初級者の比較. *奈良女子大学スポーツ科学研究*, 13: 1-11.
- 吉田 章・斉藤慎一 (1981) 競泳におけるスタート動作の分析. *筑波大学体育科学系紀要*, 4: 49-54.

平成26年11月21日受付
平成27年3月21日受理

