

Title	キックスタートにおける台上動作の違いがスタートパフォーマンスに与える影響 : 競技レベル別の比較
Sub Title	Effects of different starting block movements on kick start performance in competitive swimming : a comparison by competitive level
Author	梅本, 雅之(Umemoto, Masayuki)
Publisher	慶應義塾大学体育研究所
Publication year	2025
Jtitle	体育研究所紀要 (Bulletin of the Institute of Physical Education, Keio University). Vol.64, No.1 (2025. 3) ,p.7- 16
JaLC DOI	
Abstract	This study investigated the effect of different backplate positions on the kinematics of the lower limb joints during the swim start and compared the starting techniques of national and non-national level swimmers. Seven male swimmers performed starts from three positions: Front, Preferred, and Back. Kinematic variables, including block time, entry time, 10m time, take-off velocity, and take-off angle, were analyzed. The Back position resulted in the shortest 10m time ($p < 0.05$) and a more horizontal take-off angle, whereas no significant differences were observed in the block and entry times. Elite swimmers adapted better to backplate variations by adjusting their hip angles and center of mass, whereas non-elite swimmers exhibited earlier front leg hip extension, potentially reducing force application. Rear leg hip angles also influenced propulsion and take-off direction. These findings suggest that optimization of backplate position based on individual characteristics can enhance the start performance. Future research should examine upper-body coordination and anthropometric factors for improved training strategies.
Notes	
Genre	Departmental Bulletin Paper
URL	https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=AN00135710-00640001-0007

慶應義塾大学学術情報リポジトリ(KOARA)に掲載されているコンテンツの著作権は、それぞれの著作者、学会または出版社/発行者に帰属し、その権利は著作権法によって保護されています。引用にあたっては、著作権法を遵守してご利用ください。

The copyrights of content available on the Keio Associated Repository of Academic resources (KOARA) belong to the respective authors, academic societies, or publishers/issuers, and these rights are protected by the Japanese Copyright Act. When quoting the content, please follow the Japanese copyright act.

キックスタートにおける台上動作の違いが スタートパフォーマンスに与える影響 ～競技レベル別の比較～

梅本 雅之 *

Effects of different starting block movements on kick start performance in competitive swimming : A comparison by competitive level

Masayuki Umemoto¹⁾

This study investigated the effect of different backplate positions on the kinematics of the lower limb joints during the swim start and compared the starting techniques of national and non-national level swimmers. Seven male swimmers performed starts from three positions: Front, Preferred, and Back. Kinematic variables, including block time, entry time, 10m time, take-off velocity, and take-off angle, were analyzed. The Back position resulted in the shortest 10m time ($p < 0.05$) and a more horizontal take-off angle, whereas no significant differences were observed in the block and entry times. Elite swimmers adapted better to backplate variations by adjusting their hip angles and center of mass, whereas non-elite swimmers exhibited earlier front leg hip extension, potentially reducing force application. Rear leg hip angles also influenced propulsion and take-off direction. These findings suggest that optimization of backplate position based on individual characteristics can enhance the start performance. Future research should examine upper-body coordination and anthropometric factors for improved training strategies.

キーワード：キックスタート，水平速度，跳び出し角度

Key words : Swimming Kick start, Horizontal speed, Take-off angle

I 緒 言

競泳競技は短水路や長水路を使用し，1/100秒を争う競技である。競技は主にスタート台から15mまでのスタート局面，決められた泳法で推進するストローク局面，壁際での折り返し動作を行うターン局面，レース終盤のフィニッシュ局面の4つで構成されている（若吉，1992）。レースタイムの大半を占めるストローク局面が競技全体において最も重要な局面とされる一方，50mや100mのような短距離種目では，スタート局面の15m通過タイムがレースタイムの11-12%を占め，レース結果

に大きな影響を与えることが指摘されている（明石ら，2022；De la Fuente et al, 2010）。このことから，ストローク局面における泳速度を高めることと同時に，スタート局面のパフォーマンス向上が重要であると考えられる。

2010年の国際水泳連盟（FINA：Federation International de Natation）の規則により，新たにバックプレート付きのスタート台が導入された。このスタート台の最大の特徴は，台に対して30度の角度があり，バックプレートを前後に5段階調整ができることである。このスタートで行う動作はキックスタートと呼ばれ，従来のスタート台よりもスターティングブロックから離れた瞬間の時間（以下ブ

* 慶應義塾大学体育研究所助教（有期）

1) Assistant Professor, Institute of Physical Education, Keio University

ロックタイム)を短くしながらも、5mや7.5mなどの通過時間が短いことが報告されており (Honda et al, 2010)、現在ではキックスタートが主流のスタイルとなっている。

スタート局面のパフォーマンスは、主に10mや15mの通過タイムで評価されてきており (Vantorre et al, 2010; 尾関ら, 2015)、各通過タイムは跳び出し水平速度 (スタート台から離台した瞬間の水平速度) と高い相関関係が報告されている (Alves, 1993; 本間ら, 1997; Ikeda et al, 2016)。このことから、跳び出し水平速度の向上が、スタートパフォーマンスの向上に大きく貢献され则认为られる。また、跳び出し角度が跳び出し速度や飛距離に影響を与えることが指摘されており、武田ら (2006) は、跳び出し角度が減少することで速度が増加するのに対し、跳び出し角度が増加することで飛距離が増加する傾向があると報告している (武田ら, 2006)。このことから、水中でのその後の通過時間を考慮すると、できるだけ水平に近い 0deg に跳び出し、跳び出し水平速度を上昇させることが重要であると指摘している。

キックスタートに関する先行研究では、バックプレート位置の違いがスタートパフォーマンスに与える影響や、フォースプレートを用いたキネティクス解析などが行われている (Honda et al, 2010; 酒井ら, 2017)。しかし、バックプレート位置の違いによる跳び出し水平速度や通過タイムの影響に関する結果は異なっており、さらに台上動作における下肢関節角度の変化がパフォーマンスにどのように寄与するかについての知見は限られている。

本研究では、キックスタートにおける台上動作を、スタート構え時から離台した瞬間までの後ろ足および前足の関節角度の変化として定義し、先行研究と同様にバックプレート位置の違いを比較検証するとともに、これら

の動作が10m通過タイムや跳び出し水平速度などのスタート局面のパフォーマンスに与える影響を検証する。そして、日本代表経験のあるトップ選手と非トップ選手の比較を通じて、両群の運動学的変数の違いを明確化することを目的とする。

これにより、バックプレート位置の適切な調整方法や台上動作の改善指針を提示し、競泳指導の現場に貢献しうる情報を得ることを目的とした。

Ⅱ 方 法

1. 対象者

本実験の対象者は、日本代表経験者を含む社会人および大学水泳部に所属し、キックスタートを習熟している男子競泳選手7名とした。すべての被験者は週6日間の水中トレーニングを実施しており、対象者の競技成績は、オリンピック出場経験者など派遣標準記録を突破している選手2名 (対象者F, G)、および大学水泳部非レギュラー選手5名であった (対象者A, B, C, D, E)。表1に、対象者の身体的特徴、FINAポイント、普段の練習や試合で使用しているバックプレート位置を示した。FINAポイントは、国際水泳連盟 (FINA) が制定している、競泳での結果を比較するための値であり、各種目の世界記録を1000ポイントとし、泳者の記録が世界記録から離れるほど点数が低くなる。計算式は、 $FINA\ Points = 1000 \times (\text{世界記録 (秒)} \div \text{その人が泳いだタイム (秒)})^3$ として求められる。本研究では、FINAポイントが900を超えかつ、日本水泳連盟が定めるオリンピック派遣標準記録を突破している対象者F, Gをトップ選手とし、それ以外を対象者を非トップ選手とした。バックプレート位置は、

表1. 参加者の身体的特徴と競技レベルおよびバックプレート位置

Subject n = 7	Height m	Mass kg	Years years	Fina Point —	Backplate position —
A	1.80	84.0	20	706	2
B	1.90	82.0	19	780	2
C	1.77	78.0	22	662	2
D	1.74	66.0	21	679	2
E	1.76	68.4	25	694	2
F	1.80	80.3	26	913	2
G	1.84	78.7	21	929	4
Mean	1.80	76.8	22.0		
SD	0.05	6.4	2.4		

スタート台の先端に最も近い位置を1とし、最も遠い位置を5とした。本研究は、国士舘大学の倫理審査委員会の承諾（承認番号第21024号）を受け、実験前にすべての対象者に本研究の目的、方法、安全性についての説明を行い、書面により参加の同意を得た。

2. 測定方法

本研究は日本水泳連盟公認である、屋内多目的プール（25m×8レーン、水深2m）、公認スタート台を含むスタートシステム（SEIKO社製）を用いて実験を行った。対象者のスタート動作中の身体座標値の変位を調査するため、Sakai et al.の方法を参考にした。マーカ位置は、肋骨下端、大転子、大腿骨外側上顆、外果、第五中足骨頭、踵骨の左右合計12点の12.7mmの球状反射マーカ（モーションキャプチャー用反射マーカ、ノビテック社製）を両面テープで貼付した（図1）。試技は、モーションキャプチャーカメラ（PrimeX 13 OptiTrack, Acuity Inc. 社, Japan）を10台用いて、スタート構え姿勢から入

水地点までの範囲を撮影できるように配置した。図2に本研究で使用したカメラ位置を示した。運動学データは、スタート合図から入水までサンプリング周波数180Hzにて撮影し、対象者のマーカから3次元座標データを取得した。また試技中およびキャリブレーション中は、水面での光の反射によるLEDマーカの誤認識を防ぐため、外部からの光を遮断し、室内照明を消灯させ室内を暗くした。身体の3次元座標値から以下のように3次元空間を構築した。対象者の左右方向をx軸（左側を正方向）、進行方向をy軸（推進方向を正方向）、鉛直方向をz軸（頭頂側を正方向）とした。ブロックタイム、入水時間および10m通過タイムを測定するために、0m～5mの範囲が映る地点と10m通過タイム計測用にデジタルビデオカメラ（GC-P100-B, JVC KENWOOD社製）を設置し、それぞれ撮影速度100fpsで、泳者の右側から撮影して取得した。陸上からの映像はスタートシグナルの光が映り込むように調整し時間同期を行った。

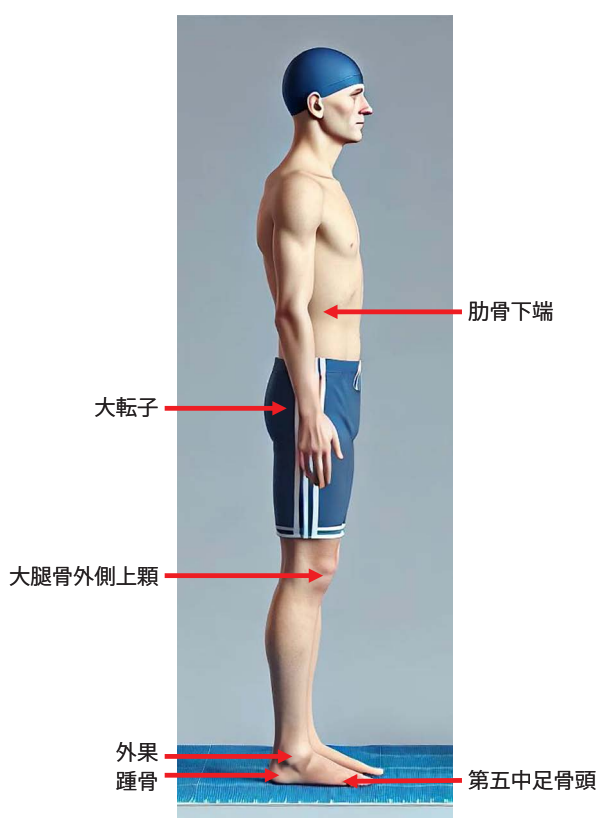


図1. ランドマーク貼付点

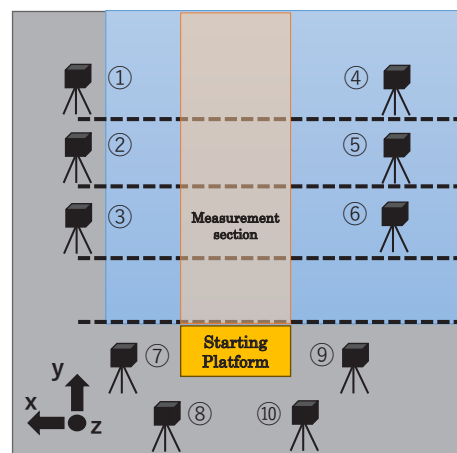


図2. 実験配置図

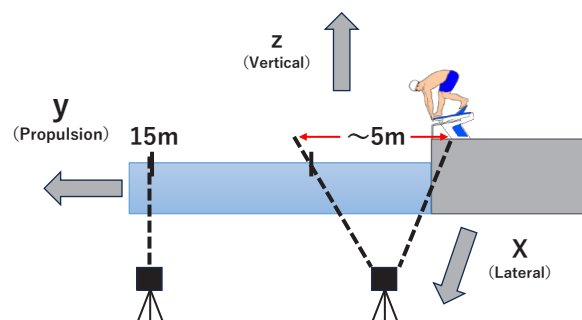


図3. タイム測定用のカメラ配置図

3. 実験試技

実験に先立ち、対象者は30分以上のウォーミングアップを行った。試技は実際の試合と同様に、日本水泳連盟が定めた規則に則り、スターターの「Take your mark」の合図で完全静止し、ピストルの電子音で試技を開始した。試技は先行研究と比較するため、バックプレート位置をスタート台の先端から最も近い位置である1番前のFront、スタート台の先端から最も遠い位置である5番のBack、普段練習や試合で使用している位置のPreferredの3段階に変化させ、それぞれ1回ずつの合計3試技を行った。試技の順番は、対象者自ら自由に決定させ、ランダムに行うよう指示をした。なおプレート位置が変化した場合でも、荷重位置や重心位置については任意とした。競技会で失格となるフライングや、対象者自身の内省が良くなかった失敗試技に関しては、全ての試技後に再試技を行った。試技間の時間については対象者の疲労を考慮するため、最低10分以上の休息を設けた。

4. データ分析および測定項目

スタート動作はモーションキャプチャーカメラにて撮影し、映像から画像解析ソフト（VENUS 3D株式会社ノビテック製）を用いて3次元位置座標データを取得した。本研究で測定した項目と定義は以下に示す。

ブロックタイム (Block Time)、入水時間 (Entry Time) および10m通過タイムは、ビデオカメラ映像のスタートシグナル合図から計測した。入水時間 (Entry Time) はスタートシグナルから指先が着水するまでの時間とし、10mタイムは、頭頂が通過したときのタイムとした。

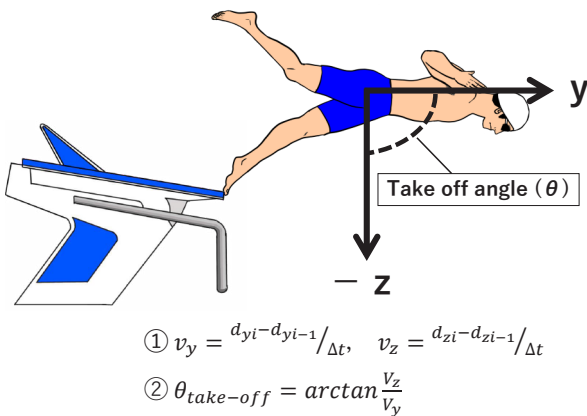


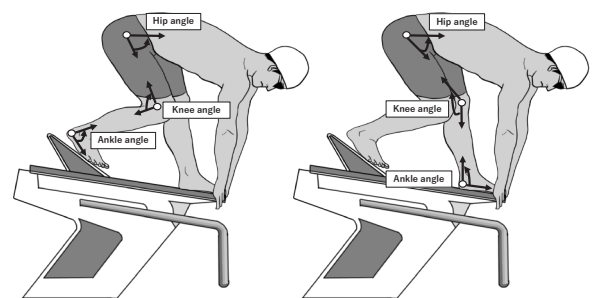
図4. 飛び出し角度の定義

飛び出し速度は、各マーカーの変位にフィルターをかけた後、映像から得た前足の太転子位置座標データを時間微分し、水平、鉛直および合成速度 (m/s) を算出した。

飛び出し角度は映像から得たマーカーの大転子位置座標を用い、離台時の水平速度と鉛直速度から arctangent の式によって角度を算出し、その値と水平線とがなす角度とし、反時計回りをプラスとした (図4)。各関節角度はスタートシグナル時における左右関節角度とし、足関節角度は踵骨から第五中足骨までの線分と踵骨から大腿骨外側上顆までの線分がなす内角の角度 (deg) とした。膝関節角度は大腿骨外側上顆から外果までの線分と大腿骨外側上顆から太転子までの線分がなす内角の角度 (deg) とした。股関節角度は大転子から大腿骨外側上顆までの線分と太転子から肋骨下端までの線分がなす内角の角度 (deg) とした (図5)。

5. 統計分析

全ての測定項目の値は、平均値±標準偏差で示した。各測定項目を従属変数、各バックプレート位置を独立変数とし、バックプレート位置の違いによる試技間の有意差を求めた。正規分布の検定には、Shapiro-Wilkの正規性検定を行った。各試技における測定項目の比較は、ノンパラメトリック検定のフリードマン検定を行い、有意差がみられた場合 Bonferroni法によって多重比較検定を行った。統計処理は、統計処理ソフト (SPSS Statistics Version27, IBM 社製) を用いて行い、有意水準は危険率 5 %未満とした。



Ankle angle = 踵骨、第五中足骨および大腿骨外側上顆の3点のなす角度
Knee angle = 外果、大腿骨外側上顆および太転子を結ぶ3点のなす角度
Hip angle = 大腿骨外側上顆、太転子および肋骨下端を結ぶ3点のなす角度
角度は伸展方向がプラス、屈曲方向をマイナスとした

図5. 各関節角度の定義

Ⅲ 結 果

Ⅲ-1 バックプレート位置の違いによる運動学的変数の比較

本研究に参加した対象者のバックプレート位置

(Front, Preferred, Back) によるブロックタイム, 入水時間, 10m タイム, 跳び出し速度 (水平, 鉛直, 合成速度), および跳び出し角度について, 全対象者の各運動学的変数の平均値及び標準偏差を表5に示し, トップ選手と非トップ選手の比較を表2, 3, 4に示した。

表2. バックプレート位置の違いによる各局面のタイム比較 (トップ vs 非トップ)

Variables	unit		非トップ (Mean ± SD)	トップ F (sec)	トップ G (sec)	非トップー トップ F (sec)	非トップー トップ G (sec)
Block Time	sec	Front	0.72 ± 0.03	0.73	0.65	-0.01	0.07
		preferred	0.71 ± 0.03	0.72	0.68	-0.01	0.03
		Back	0.70 ± 0.04	0.68	0.61	0.02	0.09
Entry Time	sec	Front	1.08 ± 0.08	1.05	1.12	0.03	-0.04
		preferred	1.11 ± 0.05	1.09	1.10	0.02	0.01
		Back	1.13 ± 0.07	1.12	1.11	0.01	0.02
10m Time	sec	Front	4.65 ± 0.11	4.07	4.09	0.58	0.56
		preferred	4.50 ± 0.15	4.14	4.13	0.36	0.37
		Back	4.40 ± 0.14	3.96	4.05	0.44	0.35

表3. バックプレート位置の違いによる跳び出し速度の比較 (トップ vs 非トップ)

Variables	unit		非トップ (Mean ± SD)	トップ F (sec)	トップ G (sec)	非トップー トップ F (sec)	非トップー トップ G (sec)
Horizontal take-off Velocity	m/s	Front	4.22 ± 0.19	4.72	3.91	-0.50	0.31
		preferred	4.20 ± 0.23	4.70	3.97	-0.50	0.23
		Back	4.22 ± 0.25	4.72	3.94	-0.50	0.28
Vertical take-off Velocity	m/s	Front	-0.35 ± 0.46	-0.16	-0.40	-0.19	0.05
		preferred	-0.30 ± 0.43	-0.21	-0.50	-0.09	0.20
		Back	-0.12 ± 0.46	-0.18	-0.42	0.06	0.30
Resultant take-off Velocity	m/s	Front	4.25 ± 0.21	4.72	3.93	-0.47	0.32
		preferred	4.24 ± 0.25	4.70	4.00	-0.46	0.24
		Back	4.25 ± 0.26	4.72	3.96	-0.47	0.29

表4. バックプレート位置の違いによる跳び出し角度の比較 (トップ vs 非トップ)

Variables	unit		非トップ (Mean ± SD)	トップ F (sec)	トップ G (sec)	非トップー トップ F (sec)	非トップー トップ G (sec)
Take-off angle	degree	Front	-4.7 ± 6.2	-1.9	-5.9	-2.8	1.2
		preferred	-3.7 ± 6.1	-2.5	-7.2	-1.2	3.5
		Back	-1.5 ± 6.2	-2.2	-4.8	0.72	3.3

表 5. バックプレート位置の違いによる運動学的変数の比較

Variables (n = 7)	unit	Front	Preferred	Back
		Mean $\pm$ SD	Mean $\pm$ SD	Mean $\pm$ SD
Block Time	sec	0.71 $\pm$ 0.04	0.71 $\pm$ 0.03	0.70 $\pm$ 0.06
Entry Time	sec	1.08 $\pm$ 0.07	1.11 $\pm$ 0.05	1.13 $\pm$ 0.06
10m Time	sec	4.48 $\pm$ 0.29 [¶]	4.39 $\pm$ 0.22 [*]	4.29 $\pm$ 0.23 ^{¶*}
Horizontal take-off Velocity	m/s	4.24 $\pm$ 0.29	4.24 $\pm$ 0.31	4.25 $\pm$ 0.33
Vertical take-off Velocity	m/s	-0.33 $\pm$ 0.43	-0.32 $\pm$ 0.41	-0.17 $\pm$ 0.43
Resultant take-off Velocity	m/s	4.27 $\pm$ 0.30	4.27 $\pm$ 0.31	4.27 $\pm$ 0.32
Take-off angle	degree	-4.5 $\pm$ 5.8 [¶]	-4.0 $\pm$ 5.7 [*]	-2.1 $\pm$ 5.8 ^{¶*}

Front vs. Back : $p < 0.05$ [¶], Preferred vs. Back : $p < 0.05$ ^{*}

表 5 の結果から、ブロックタイムおよび入水時間について、バックプレート位置による有意差は認められなかった ($p > 0.05$)。

10m タイムは Back (4.29 $\pm$ 0.23sec) が最も速い記録を示し、Front (4.48 $\pm$ 0.29sec) および Preferred (4.39 $\pm$ 0.22sec) と比較して統計的に有意に短い値を示した ($p < 0.05$)。

跳び出し速度は、水平速度および合成速度に有意な差は認められなかった。一方、鉛直速度については、Back (-0.17 $\pm$ 0.43 m/s) が Front (-0.33 $\pm$ 0.43 m/s) および Preferred (-0.32 $\pm$ 0.41 m/s) と比較して、より高い値を示したが、有意差は認められなかった。

跳び出し角度は、Back が最も水平に近い角度を示し、Front (-4.5 $\pm$ 5.8deg) および Back (-2.1 $\pm$ 5.8deg)、Preferred (-4.0 $\pm$ 5.7deg) および Back (-2.1 $\pm$ 5.8deg) に有意に小さい値が認められた。

次に、トップ選手 (F, G) および非トップ選手 (A, B, C, D) の比較について、表 2 の結果より、10m タイムはすべてのバックプレート位置において、トップ選手が非トップ選手よりも速い記録を示した。特にバックプレート位置による 10m タイムの最大値と最小値の差は、F 選手が 0.18 秒、G 選手が 0.08 秒に対し、非トップ選手は 0.25 秒と大きいことを示した。

跳び出し速度の比較では、表 3 の結果より、F 選手は非トップ選手と比べすべての速度で高い値を示したが、G 選手は非トップ選手と比べすべての速度で低い値を示した。

跳び出し角度の比較では、表 4 の結果より、非トップ選手はバックプレート位置が Front, Preferred, Back と

大きくなるにつれ角度が大きくなる傾向を示し、最大値と最小値の差はトップ F 選手で 0.6 度、トップ G 選手が 2.4 度に対し、非トップ選手は 3.2 度と大きい値を示した。

また、非トップでは全ての対象者について Front > Preferred > Back (10m タイム)、Front < Preferred < Back (跳び出し角度) の傾向を示したが、トップ選手では Preferred 時の 10m タイムは遅く、跳び出し角度も対象者に対して下向きのマイナス方向への値が大きいことを示し、異なる傾向であった。

Ⅲ-2 バックプレート位置の違いによる台上動作の比較

スタート構え時の下肢関節角度をスタート合図時 (0s) における値として測定し、結果を表 6 に示した。後ろ足の股関節角度では、非トップ選手は Front < Preferred < Back の順に大きくなる傾向を示し、Front と Back の差は 10.3deg であった。トップ選手は G 選手が同様の傾向を示し、Front と Back の差は 14.2deg であったが、F 選手は Front と Back で 4.0deg と差は少なく、他の対象者と異なる傾向を示した。

股関節角度について、スタート合図から離台時までの時系列変化を図 6 ab に示した。後ろ足の股関節角度の推移では、Back, Preferred, Front の順に股関節角度の急激な角度変化が見られる点 (離台に向けた動作開始のタイミング) が早く、動作開始から離台時まで角度が大きい傾向を示した。一方で、スタート構え時の角度差が少なかった F 選手は、グラフの変化も少ない傾向が見受けられた。前足の股関節角度の推移については、多くの選手があまり変わらない傾向を示したが、G 選手は

表 6. バックプレート位置の違いによるスタート構え時の各関節角度の比較 (トップ vs 非トップ)

Variables	unit		非トップ (Mean ± SD)	トップ F (sec)	トップ G (sec)	非トップートップ F (sec)	非トップートップ G (sec)
Rear leg ankle angle	degree	Front	60.6 ± 6.0	62.5	48.6	-1.9	12.0
		preferred	61.5 ± 7.3	64.5	51.7	-3.0	9.8
		Back	61.6 ± 11.5	65.7	53.1	-4.1	8.5
Rear leg knee angle	degree	Front	87.6 ± 8.9	83.7	74.5	3.9	13.1
		preferred	85.3 ± 9.5	83.4	77.7	1.9	7.6
		Back	86.1 ± 9.5	87.9	76.6	-1.8	9.5
Rear leg hip angle	degree	Front	54.6 ± 8.0	51.5	29.8	3.1	24.8
		preferred	60.6 ± 5.7	51.7	39.9	8.9	20.7
		Back	64.9 ± 9.9	55.5	44.0	9.4	20.9
Variables	unit		非トップ (Mean ± SD)	トップ F (sec)	トップ G (sec)	非トップートップ F (sec)	非トップートップ G (sec)
Front leg ankle angle	degree	Front	78.0 ± 15.5	93.2	82.0	-15.2	-4.0
		preferred	77.9 ± 15.8	95.3	79.9	-17.4	-2.0
		Back	82.8 ± 17.6	95.7	81.0	-12.9	1.8
Front leg knee angle	degree	Front	153.8 ± 4.8	149.7	138.9	4.1	14.9
		preferred	154.3 ± 5.8	151.4	138.4	2.9	15.9
		Back	150.5 ± 9.3	133.9	137.9	16.6	12.6
Front leg hip angle	degree	Front	44.4 ± 9.6	34.8	24.8	9.6	19.6
		preferred	47.0 ± 8.5	33.7	20.7	13.3	26.3
		Back	44.5 ± 9.7	39.5	21.2	5.0	23.3

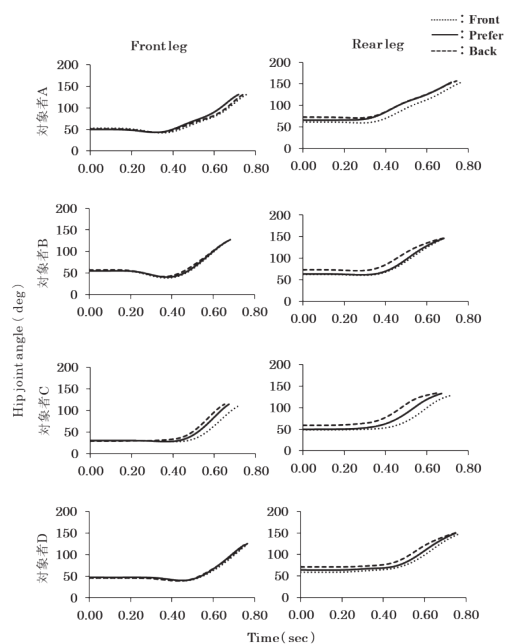


図 6 a. 股関節角度の時系列変化

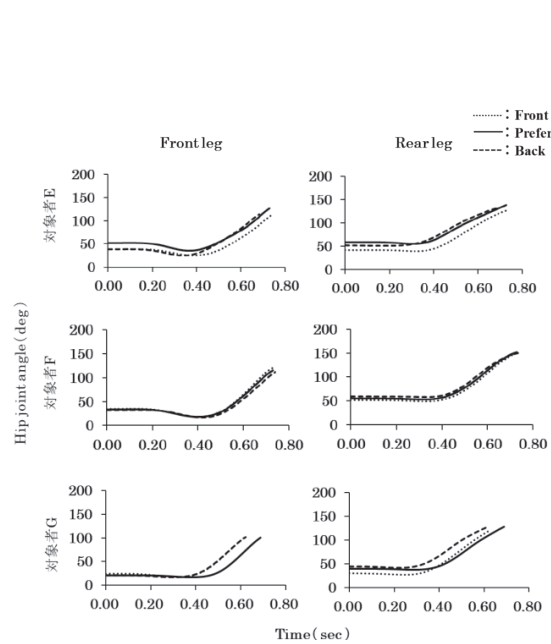


図 6 b. 股関節角度の時系列変化

表 7. 前足股関節角度変化が開始する時間の比較 (トップ vs 非トップ)

unit		非トップ (Mean ± SD)	トップ F (sec)	トップ G (sec)	非トップー トップ F (sec)	非トップー トップ G (sec)
sec	Front	0.37 ± 0.06	0.44	0.46	-0.07	-0.09
	preferred	0.38 ± 0.04	0.44	0.46	-0.06	-0.08
	Back	0.36 ± 0.05	0.45	0.38	-0.09	-0.02

Back 時において股関節角度の急激な角度変化が見られる点が高い傾向を示した。

また、表 7 について、トップ選手と非トップ選手の前足股関節角度の変化開始時間を比較した結果、非トップ選手は 0.4 秒よりも早い段階で股関節角度が伸展し始めるのに対し、トップ選手は 0.4 秒以降に動き出すことが示された。

IV 考 察

IV-1 トップ選手と非トップ選手の比較

本研究では、トップ選手が非トップ選手と比較して 10m タイムが短く、試技間におけるタイム差が少なかったことから、プレート位置の違いによる影響を受けにくいことが確認された。F 選手は構え時の下肢関節角度や台上動作が、バックプレート位置によらず変化が少ないことから、腰の高さや重心位置を前後に微調整することで、どの位置でも安定したスタート動作を発揮していた可能性が示唆された。G 選手については、構え時の股関節角度が Front < Preferred < Back の順に大きくなり、後ろ足の股関節角度を適切に調整することで、バックプレート位置の違いに対応していたと考えられる。両選手の特徴はそれぞれ異なる結果であったが、いずれもスタート構え時の姿勢変化によって、安定した跳び出し角度や 10m タイムに繋がった可能性が示唆された。

一方で、非トップ選手はスタート構え時の後ろ足股関節角度が Front < Preferred < Back と大きくなり、動作開始から離台時までその差を保ったまま離台している傾向を示した。後ろ足の股関節角度が大きいことで、トップ選手と同様に腰の位置などを調整している可能性が考えられ、離台時まで角度の大きさを保っていることから、重心位置をできるだけ高くすることが効果的であることが予想される。それらの結果が跳び出し角度、さらには 10m タイムに影響を与えている可能性が考えられた。ま

た非トップ選手は前足の股関節角度がトップ選手よりも早いタイミング (0.4 秒以前) で変化し始める傾向を示し、この違いがトップ選手とのスタートパフォーマンスの差に影響を及ぼしている可能性がある。Sakai et al. (2021) のフォースプレートを使用した研究では、キックスタート動作における下肢の役割について、後ろ足が体を前に押し出す推進力に寄与する一方、前足は主に体重を支える役割を果たすことを報告している。本研究でも、トップ選手は前足の動き出しを非トップ選手と比較して遅らせる傾向が確認され、台上動作の前半では体重を支える役割を担い、動作後半では体を前方に押し出す推進力を瞬時に発揮している可能性が示唆された。特に、非トップ選手は前足の動き出しが早期に起こることで、体重支持の役割が十分に果たせず、結果として跳び出し角度や 10m タイムに影響を与えたと考えられる。

この結果を踏まえ、前足の動作においては台上動作前半で体重を効率的に支える動作を意識させることが重要であり、離台時に向けて瞬時に力を発揮できるような動作指導が効果的である可能性がある。さらに前足および後ろ足の動作や力発揮に関する詳細な動作解析を進めることで、個々の競技者に適した指導法の具体化が期待される。

IV-2 バックプレート位置の違いによる運動学的変数について

バックプレート位置が 10m タイムおよび跳び出し角度に与える影響が確認された。特に Back は最も短い 10m タイム (4.29 ± 0.23 秒) を記録し、水平に近い跳び出し角度 (-2.1 ± 5.8 度) を示した。これに対し、Honda et al. (2012) および酒井ら (2017) の研究では、5m, 7.5m, 10m の各通過時間においてバックプレート位置による有意な差が認められなかったと報告されており、本研究と異なる結果が得られている。この相違が生じた要因として、本研究が競技レベルの異なる選手 (トップ

選手および非トップ選手)を対象としたことや、使用したスタート台の違いに起因すると考えられる。また、本研究の対象者では、最も身長が低い対象者 D (1.74m) と最も高い対象者 B (1.90m) のいずれも、前方から 2 番目の位置を Preferred としていた。このことから、特に身長の高い選手においては、適切なバックプレート位置の検討をすることで、Preferred 位置でのパフォーマンスの向上する可能性が示唆された。

飛び出し時の速度(主に水平速度)は、通過タイムと高い相関関係が報告され、(Alves, 1993; 本間ら, 1997; Ikeda et al, 2016) 飛び出し時の水平速度とその後の通過時間に負の相関があることを報告している(本間ら, 1997)。またバックプレート位置の違いによるスタートパフォーマンスの比較を行った先行研究では、飛び出し速度に有意差があったことを報告しているが(Honda et al, 2012, 酒井ら, 2017)、本研究の飛び出し時の水平速度は変わらず、先行研究とは異なる結果となり、飛び出し水平速度への影響はなかった。飛び出し鉛直速度はいずれも有意差は示さなかったが、Front ($-0.33 \pm 0.43 \text{ m/s}$), Preferred ($-0.32 \pm 0.41 \text{ m/s}$), Back ($-0.17 \pm 0.43 \text{ m/s}$) とすべてにおいてマイナス値を記録し、Back の値が最も大きかったことから、より水平方向へと飛び出していることが考えられる。飛び出し角度の値を見てみると、バックプレート位置が Front, Preferred, Back と広くなるにつれ、飛び出し角度は大きくなっている。このことから、前足によって全身が重力によって水面方向に落下してしまうのを支持できたことから、水平に飛び出すことができたと考えられる。武田ら(2006)は、飛び出し角度とフライト距離間に正の相関関係があることを報告しており、飛び出し角度が 0deg に近いほどフライト距離が長くなるため、0deg に近い飛び出し角度が望ましいと報告している。本研究でも、飛び出し角度が大きくなるにつれ、10m 通過タイムが短縮する傾向が確認され、先行研究と同様の結果が得られた。

IV-3 バックプレート位置の違いによる下肢関節角度について

後ろ足の股関節角度は Back で最も大きい角度を示したが、前足の下肢各関節角度や後ろ足の膝関節および足関節角度には違いが見受けられなかった。この結果から、バックプレート位置の違いが特に後ろ足の股関節角度に変化を与え、スタート動作の動き出しや推進方向への力発揮に影響を及ぼしている可能性が示唆された。また F

選手はスタート構え時の関節角度に違いがなかったことから、腰の位置(骨盤の高さ)や重心位置の変化に伴い調整される可能性があり、スタート動作を分析する上では重要な指標となる。さらに、スタート時の構えにおいて適切な下肢関節角度を検討するには、競技者の身体的特徴を考慮する必要がある。本研究ではこれらの特徴を十分に考慮していないため、今後の研究においては、対象者の身体的特徴に基づいた下肢関節角度や骨盤位置の影響を詳細に解析することが求められる。特に上肢および骨盤位置との相互作用を解析することで、スタート動作に関する新たな知見が得られると期待される。

V ま と め

本研究は、バックプレート位置の違いが台上動作の違いが、その後のパフォーマンスに与える影響について、トップ選手と非トップ選手を対象に比較検討することを目的とした。その結果以下の知見が得られた。

1) トップ選手と非トップ選手の違い

トップ選手は非トップ選手と比較して 10m タイムが短く、バックプレート位置の影響を受けにくいことが確認された。その要因として、トップ選手は腰の高さや重心位置の調整、股関節角度を変化させることで、台上動作における変化を少なくしていたことがわかった。また、非トップ選手は前足股関節角度の急激な変化が見られる時間がトップ選手よりも早い傾向を示し、これらの違いがトップ選手とのスタートパフォーマンスの差に影響を及ぼしている可能性が考えられた。

2) バックプレート位置の違いについて

本研究ではバックプレート位置の違いが 10m タイムおよび飛び出し角度に影響を与え、0deg に近い飛び出し角度になることで 10m タイムが短くなる傾向を示した。またバックプレート位置の違いが特に後ろ足の股関節角度に影響を与え、スタート動作の動き出しや推進方向への力発揮に影響を及ぼしている可能性が示唆された。

3) 今後の課題

本研究では、腰の位置や重心位置、さらには上肢の動作などの要素を直接測定しておらず、それらが台上動作に与える影響を明らかにするにはさらなる詳細な解析が必要である。また、競技者の身体的特徴(下肢の長さや体格)を考慮した解析を進めることで、より効果的な指導法の提案が可能となることが期待される。

引用文献

- 1) Alves, F. (1993) Analysis of swimming Races, In: Proceedings of the XIVth Congress of International Society of Biomechanics, International Society of Biomechanics, 88-89.
- 2) De la Fuente B. and Arellano, R (2010) Effect of Start Time Feedback on Swimming Starts Performance, XI International Symposium on Biomechanics and Medicine in Swimming Proceedings, 11 : 249-251.
- 3) Honda KE, Sinclair PJ, Mason BR, Pease DL (2010) A biomechanical comparison of elite swimmers start performance using the traditional track start and the new kick start., Paper presented at the XIth International Symposium for Biomechanics and Medicine in Swimming: 94-96.
- 4) Honda Koji, Sinclair Peter, Mason Bruce and Pease David (2012) The effect of starting position on elite swim start performance using an angled kick plate, 30th Annual Conference of Biomechanics in Sports : 72-75.
- 5) 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, 身体運動のバイオメカニクス, 第13回バイオメカニクス学会大会編集委員会, 8 : 379-384.
- 6) Ikeda Y, Ichikawa, H., Nara, R., Baba, Y., Shimoyama, Y., and Kubo, Y. (2016) Functional Role of the Front and Back Legs During A Track Start With Special Reference to an Inverted Pendulum Model in College Swimmers, Journal of Applied Biomechanics, 32 : 462-468.
- 7) 生田泰志, 野村照夫, 石川昌紀, 奥野景介, 松井健, 若吉浩二 (2002) 競泳100m種目では, どの局面が重要か?, スポーツ方法学研究, 15(1): 109-117.
- 8) Kimura K, Imanaka K, Kita I (2002) The effects of different instructions for preparatory muscle tension on simple reaction time, Human Movement Science, 21 : 947-960
- 9) 尾関一将, 桜井伸二, 田口正公 (2015) 競泳におけるキックススタートとトラックスタートの比較—競泳におけるキックススタートとトラックスタートの比較—, 水泳水中運動科学, 17(1): 4-11.
- 10) Sakai S, Koike S, Takeda T, Sengoku Yauo, Homma Miwako and Takagi Hideki (2021) Kinetics of four limb joints during kick-start motion in competitive swimming, Sports Biomechanics, 1-19.
- 11) 酒井紳, 武田剛, 佐藤智俊, 椿本昇三, 高木英樹 (2017) 競泳キックススタートにおけるバックプレート位置がスタート・パフォーマンスに与える影響, 体育学研究62, 133-144.
- 12) 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 : 515-524.
- 13) Takeda T, Sakai S, Takagi H, Okuno K, and Tsubakimoto S (2017) Contribution of hand and foot force to take-off velocity for the kick-start in competitive swimming, Journal of Sports Sciences, 35 : 565-571.
- 14) Nomura Teruo, Takeda Tsuyoshi, Takagi Hideki (2010) Influences of the back plate on competitive swimming starting motion in particular projection skill, Biomechanics and Medicine in Swimming, 11 : 135-137.
- 15) Vantorre, J., Seifert, L., Fernandes, R.J., Vilas-Boas, J.P., and Chollet, D. (2010) Kinematical Profiling of the Front Crawl Start, Int J Sports Med, 31(1): 16-21.
- 16) 若吉浩二 (1992) 競泳のレース分析～レース分析とその現場への応用～, バイオメカニクス学会誌, 16 : 93-100.

(受付: 2024年9月30日, 受理: 2025年3月18日)