

令和 5 年 6 月 19 日現在

機関番号：32620

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2022

課題番号：19K11473

研究課題名（和文）クロール泳の短距離パフォーマンスを改善させる高速度状態持続トレーニングの開発

研究課題名（英文）Development of high-velocity persisting training to improve sprint performance in front crawl swimming

研究代表者

武田 剛（Takeda, Tsuyoshi）

順天堂大学・スポーツ健康科学部・准教授

研究者番号：20508840

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、一定水準以上の泳力を持つ競泳選手を対象に、高速度牽引状態からのクロールの速度変化を実験1で調査した。実験2では回流水槽を使用して、自由泳で到達できる最高速度を超える流速時におけるドルフィンキックとクロールの正味の抵抗（全身抵抗から推進力を差し引いた抵抗）の変化を測定した。

実験結果から、高速度状態はクロールで約5m持続することが示唆されました。また、持続距離は泳ぎ出しの速度に依存する可能性も示唆されました。さらに、高速度状態における速度と正味の抵抗の関係から、クロールの抵抗値が最小となる速度帯が確認された。これにより、高速度状態を維持することが可能であることが実証されました。

研究成果の学術的意義や社会的意義

従来の研究では、スタート局面における重要性は認識されていたが、水面での泳ぎ出しのタイミングによってスタートパフォーマンスが改善できることは研究されていない。この研究によって、泳ぎ出しのタイミングが最終的なタイムに対して重要であることが明確化され、競泳の技術的な側面における新たな知見が得られた。社会的な意義としては、競泳選手やコーチングスタッフにとって、タイム短縮のための具体的なトレーニングアプローチが提供されたことが挙げられる。スタート局面での泳ぎ出しのタイミングを最適化することにより、選手は自己ベストの更新や競技成績の向上が期待できる。

研究成果の概要（英文）：We investigated the velocity changes during free swimming with front crawl from high-velocity towing conditions in Experiment 1. In Experiment 2, changes in net force during dolphin kick and front crawl in high-velocity conditions using an experimental water flume were measured.

The results of the experiments suggested that high-velocity conditions can be persisted for approximately 5 meters with the front crawl. The distance of the high-velocity persisting depends on the velocity at the initiation of stroking of the front crawl. Furthermore, there was a velocity range where the net force during the front crawl swimming was the minimum due to the relationship between these two parameters under the high-velocity condition. It was demonstrated that the persisting high-velocity conditions during the front crawl.

研究分野：競泳のバイオメカイクス

キーワード：クロール 高速度 スタート ドルフィンキック 泳ぎ出し パフォーマンス

## 1. 研究開始当初の背景

競泳とは抵抗との戦いである。国際的に技術が高いと評価され、体格が小さい日本人選手は短距離種目についても有利なはずである。しかしながら、国際大会の短距離種目の上位選手は体格に優れた選手が多く、「なぜ抵抗軽減技術に優れた日本人選手は競泳短距離種目で活躍できないのか」という学術的な「問い」が存在する。発揮する速度は抵抗と推進力の差し引きで決定されるため、体格が小さい日本人選手であっても優れた抵抗軽減技術を発揮することで、競泳の短距離種目でその活躍が期待できる。

競泳は水中での泳動作開始前にスタート台やプールの壁を蹴り出すことで、水面における泳動作中による最大速度よりも2倍以上の高い初速度を獲得することができる(Takeda et al., 2006)。水面動作開始前のスタートやターンの水中局面では、得られた初速度によって生じる抵抗が泳者が発揮できる推進力を上回るため、減速を続けながら水中局面を経て水面動作に移行することになる。本研究は、競泳のスタート局面がスタート台からの入水以降は減速し続けるという特徴に着目し、泳速度が収束しやすいとされる水面動作を行うストローク局面においても減速を継続する「高速度状態」を持続することが可能かという課題の解決に挑んだ。

## 2. 研究の目的

本研究ではスタートやターン後に泳ぎ始める速度に着目し、「高い速度で泳ぎ出すことで高速状態が持続できるのか」、「高速状態を持続させるにはどんな泳フォームが適しているのか」、そして「この高速状態はトレーニングによって持続時間が延長できるか」を明らかにする。

## 3. 研究の方法

本研究は目的の達成のために2つの実験を設定した。実験1では日常的に競泳トレーニングを積む大学女子競泳選手9名を対象に、対象者の前方から推進力を補助するように水泳用の牽引装置(Torrent E-Rack Swim Power Trainer)を使用して牽引し、高速度状態を作り出した。この高速度状態は、対象者のクロール全力泳時の収束した速度(自由泳最大速度)を計測し、この速度を基準に定義した。高速度状態の試技は、牽引装置を用いてストリームライン状態の選手を自由泳最大速度の1.2倍、1.4倍となるような牽引力で牽引した。泳者は牽引装置のワイヤーを手で掴み、水面上でストリームラインを保持し、指定速度に到達するようにした。牽引開始から8mの地点で泳者はワイヤーを離し、水面上でクロールの全力泳を実施してもらった。この8m地点以降の牽引解除後のクロール泳中の速度変化とストローク頻度(泳動作のピッチ)を4台のデジタルビデオカメラで撮影し、取得した映像から分析した。泳者の後頭隆起に貼付した防水型LEDマーカーを代表分析点として画像分析ソフトを用いて画面上の座標を手動追尾により取得した。この画面上の座標値は2次元DLT法にて実長換算し、実空間上の座標値を求め、この座標値のストローク動作1周期の進行方向の移動速度の平均値を泳速度とした。この泳速度を牽引しない状態と、牽引した状態からの速度で比較するために、牽引を解除した状態から1mごとに対応のあるt検定を実施した。

実験2では、回流水槽を用いて大学女子競泳選手7名を対象にクロール泳あるいは水中ドルフィンキックの自由泳最大速度以上の流速設定(約1.8m/秒以上)で、水中ドルフィンキックとクロール泳中の正味の抵抗(総抵抗-推進力)を計測した。正味の抵抗は、回流水槽上流に設置した抵抗測定機で、泳者と抵抗機をワイヤーで接続して計測した。回流水槽中の泳者は自由泳最大速度以上の流速に対して泳ぐため、ワイヤーには終始後方(下流方向)の力が働くことになる。この力を正味の抵抗として本研究では分析対象とした。水中ドルフィンキックは回流水槽の水深0.5m、クロール泳は水面上(水深0m)で、抵抗測定機と泳者が水平になるように接続した。実験に使用した回流水槽の限界流速は2.2m/sであったため、対象者ごとの自由泳最大速度からこの上限速度の範囲の5段階の流速に設定した。この5段階の流速に対する正味の抵抗の変化率をドルフィンキックとクロール泳で比較した。正味の抵抗はストローク動作1周期で平均値を算出し、統計的な分析に使用した。なお自由泳時と同じ泳動作が回流水槽での実験環境でも再現できるように、自由泳時のストローク頻度を防水型小型メトロノーム(テンポトレーナー、日本フィニス)を水泳帽子に装着し、ストローク頻度を統一させた。実験1と実験2は順天堂大学スポーツ健康科学研究科倫理委員会の承認(順大院ス倫理第2020-79号、第31-88号)を得た上で実施した。

## 4. 研究成果

実験1において、対象者の9名の平均値において自由泳最大速度の1.2倍の高速度牽引解除から5mまでは、牽引しない状態の自由泳最大速度(一定の速度)よりも有意に高い速度を示した。この結果から高速度状態の持続を現象として確認することができた。一方、自由泳最大速度の1.4倍速度からの高速牽引解除では、この自由泳最大速度よりも有意に高い泳速度は2mしか持続しない結果となった。したがって高速度状態の持続距離を最大にするためには、牽引解除の泳速度(泳ぎ出し)が重要であることも明らかになった。また牽引解除直後のストローク頻度が有

意に高いことも確認された。これは高速での牽引によって泳者自身の前方移動速度が増加すると、手の後方移動速度が減少ことに起因すると考えられた。手の後方移動速度は、泳者の身体全体の移動速度（進行方向）と泳者の身体重心に対する手の相対速度（進行方向とは逆方向）の和で構成される。したがって本研究の実験試技のように牽引によって泳者の泳速度が一時的に高められると、手の相対速度が同一の場合には後方移動速度が低下することになる。こうなると泳者の手の抵抗、すなわち推進力が低下することとなる。この推進力の大きさは泳者のストローク頻度の上限值にも関与していると考えられる。実際の実験1の試技においては、前方からの牽引によって推進力が低下し、ストローク頻度の増加が可能になったため、泳者は牽引解除直後にストローク頻度を高め、高速度状態を維持しようとしていたと考えられた。したがって、高速度状態の持続にはストローク頻度の増加が有効であると示唆された。

実験2の、対象者7名の回流水槽の限界流速2.2m/sまでの速度における正味の抵抗の変化率をドルフィンキックとクロール泳で図1に示した。

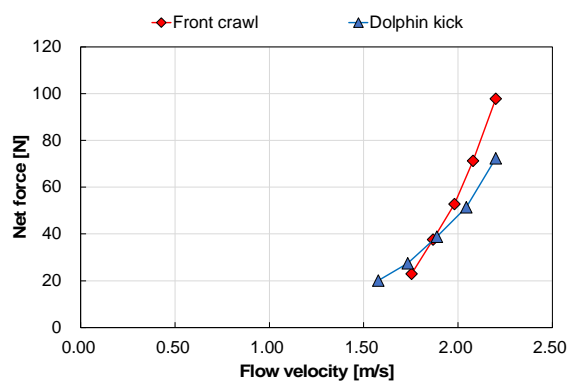


図1 対象者7名の流速(Flow velocity)に対する正味の力(Net force)の平均値の推移  
正味の力は正の値が泳者の進行を妨げる抵抗力として作用し、負の値は泳者の進行を補助する推進力として作用する。

ドルフィンキックの抵抗変化率は  $81.17 \pm 15.13$  N/m/s、クロールの変化率は  $164.89 \pm 24.02$  N/m/s であり、クロールの変化率が有意に高い値を示した。しかしながらドルフィンキックとクロールの自由泳最大速度が異なるため、クロールの自由泳最大速度以上の速度帯においてもクロールの正味の抵抗が最小となる範囲が存在することになる。この結果、クロールの自由泳最大速度が水中ドルフィンキックよりも高い泳者に限っては、スタート局面やターン局面の減速期においても自由泳最大速度よりも高い速度で泳ぎだしても高速度状態を維持できることが明らかになった。なお、本研究の対象者7名すべてが水面上のクロールの自由泳最大速度が水中ドルフィンキックよりも高かったため、一般的に競泳選手においては、クロールの高速度状態の持続は可能であると言える。

これらの結果から、競泳競技のスタートやターン時の減速局面において、水面での泳動作を開始するタイミング（速度）を選手の水の中ドルフィンキックやクロールで達成できる最大速度に依じて変えることで、減速を小さく止めることが可能になることを明らかにできた。スタートやターン局面における泳動作開始のタイミングによってパフォーマンスの最適化に繋がれることが明らかになった。

この競泳のスタートやターン局面のように初速度からの減速を伴う局面の水面泳法動作の開始時タイミングについては、先行研究がない。したがって本研究の知見は、トレーナビリティが小さくなるエリート選手の競技力向上戦略に有益な情報である。さらに、これらの知見は競泳のスプリントトレーニングの方式を一新することに役に立つ。これまでは、水面上で泳動作を行うストローク局面においては減速を止めるという概念が適応されてこなかった。本研究の成果によって競泳競技のフィニッシュ局面を除くほとんど全ての局面において、減速を小さく止めるという概念が適応できることが明らかとなった。これにより今後の短距離のスプリントトレーニングでは、スタートやターン局面の水の中局面だけでなく、泳動作を練習におても積極的に高速度状態を作り出し、「止まらないように泳ぐ」という新しいコンセプトに基づいたトレーニング法への転換が起こることが期待できる。

本研究は新型コロナウイルスの感染拡大を影響を受けて、予定していた実験計画をすべて完了することができなかった。高速度状態の持続をトレーニングによって延長できるのかという課題は達成できなかった。このことが今後の課題として残ったが、概ね研究の目的を達成し、「留まらずに泳ぐ」という競泳の速く泳ぐための新しい概念を示すことができた。

#### < 引用文献 >

Takeda, T. & Nomura, T. (2006) What are the differences between grab and track start? Portuguese Journal of Sport Sciences, 6, 102-105.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 武田剛、酒井紳、角川隆明、仙石泰雄、高木英樹
2. 発表標題 クロール泳の初期速度からの減速期における泳法動作と抵抗の関係
3. 学会等名 2021年国立大学法人筑波大学体育系ヒューマン・ハイ・パフォーマンス先端研究センターサイエンスフォーラム（招待講演）
4. 発表年 2021年～2022年

1. 発表者名 嵯峨基、武田剛、酒井紳
2. 発表標題 クロール泳における高速牽引解放後の高速持続状態の検証
3. 学会等名 第32回日本コーチング学会大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 武田剛、酒井紳、高木英樹
2. 発表標題 Does persistent of high speed during front crawl swimming improve sprint performance?
3. 学会等名 筑波大学体育系ヒューマン・ハイ・パフォーマンス先端研究センター・サイエンスウィーク（国際学会）
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	酒井 紳  (Sakai Shin)  (90813840)	東京女子体育大学・体育学部・講師    (32654)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------