

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 22 日現在

機関番号：12102

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2015～2016

課題番号：15K12641

研究課題名(和文)水泳研究のパラダイムシフトとなる新たな泳パワーの測定方法の開発

研究課題名(英文)A development of new methodology for measuring the mechanical power during swimming

研究代表者

高木 英樹 (TAKAGI, Hideki)

筑波大学・体育系・教授

研究者番号：80226753

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,800,000円

研究成果の概要(和文)：水泳中の泳者が発揮したパワー(泳パワー)を正確に評価することは、コーチング場面や運動処方プログラムを策定する際に大変重要となる。しかしながら、現状ではその泳パワーを測定する方法は確立されておらず、新たな方法論の開発が待たれていた。そこで本研究では、泳パワーを評価する新たな方法論の確立を目指し、開発に取り組んだ。

その結果泳パワーを定量する際の前提となる自己推進時抵抗を測定する新たな方法論の確立に成功し、高い信頼性が確認された。さらに、自己推進時抵抗は受動抵抗と同様に、泳速度の2乗に比例して増大すると従来は考えられていたが、本測定法によれば、泳速度の3乗に比例して増大することが明らかとなった。

研究成果の概要(英文)：We can get very useful information for coaching and exercise prescription, if it becomes capable to measure the mechanical power during swimming precisely. However, there is no established methodology to measure the mechanical power during swimming, so we tried to develop a new methodology during the front crawl.

As results, we have developed a new methodology to measure the active drag which was a fundamental value to calculate the the mechanical power. We confirmed high reliability of the new method. It revealed that the active drag was not proportional to the square of the velocity but the cube of the velocity.

We hope that this methodology will apply for other strokes, e.g. breaststroke, backstroke and butterfly.

研究分野：スポーツ科学, バイオメカニクス

キーワード：水泳 自己推進時抵抗 受動抵抗 流体力学 パワー

1. 研究開始当初の背景

水泳は、空気よりもはるかに大きな密度を有する水中で行われる身体運動であるため、水から受ける抵抗力は水泳のパフォーマンスに大きな影響を及ぼす。そのため、抵抗力の評価は水泳研究の最重要課題の一つとして位置づけられている。しかしながら、連続的に身体を動作させ、自己推進する泳者の抵抗力（自己推進時抵抗）を計測することは非常に困難である。もし、自己推進時抵抗を正確に計測するのであれば、泳者の身体表面の全圧力分布及び全摩擦分布を測定する必要があるが、泳動作を妨げずに測定することは不可能である。そのため、様々な制限を設けながら、間接的に自己推進時抵抗を評価する方法論がこれまでいくつか開発されてきた。その中で、Measuring Active Drag (MAD)-system (Hollander et al., 1986; H. Toussaint et al., 1988; H. M. Toussaint, Roos, & Kolmogorov, 2004; Van der Vaart et al., 1987) を用いた方法論があるが、Pad を押して進むという機構上の限界により、泳法は Front-crawl のプル泳（下肢動作を用いない上肢動作のみの泳法）に限定される。その他に Velocity Perturbation Method (VPM) (Kolmogorov & Duplishcheva, 1992; H. M. Toussaint et al., 2004) があるが、最大努力泳のみの評価に限定されるため、任意の速度における抵抗力は計測できない。例えば、水泳競技の自由形種目では、50m から 1500m の幅広い距離が正式種目として採用され、それらの距離に対応して泳速度も異なる。また、競技会では当然、下肢動作も用いた front-crawl (スイム泳) が用いられる。そのため、任意の速度において、下肢動作も含めた front-crawl の抵抗力を評価できる方法論の開発が待たれていた。

2. 研究の目的

任意の速度で、下肢動作も用いた front-crawl のスイム泳における自己推進時抵抗の評価を可能とする新たな方法論の開発に取り組んだ。

3. 研究の方法

泳速度は、泳者が前方へ推進するために発揮した力（推進力: Propulsion）と、その泳者の推進を妨げる方向に働く力（抵抗力: Drag）の差分から決定される。

泳者がストローク頻度などを一定に保ち、ある様な泳動作を維持しているのであれば、推進力は巨視的に見て一定と仮定すると、抵抗力及び推進力は流速に依存して変化することになる。例えば、泳者がある速度で泳ぐ泳動作を維持したまま流速を低下させた場合、抵抗力 (Drag) が低下する一方で推進力 (Propulsion) は増加する。その時、泳者は回流水槽内で一定の位置を維持せずに、回流水槽内前方へと移動する。このように、ある泳動作を維持した泳者に対して、流速を変化

させることによって生じた推進力と抵抗力の差分を余剰推進力 (Residual thrust) と呼び、3つの力の関係性は図1のように表される。

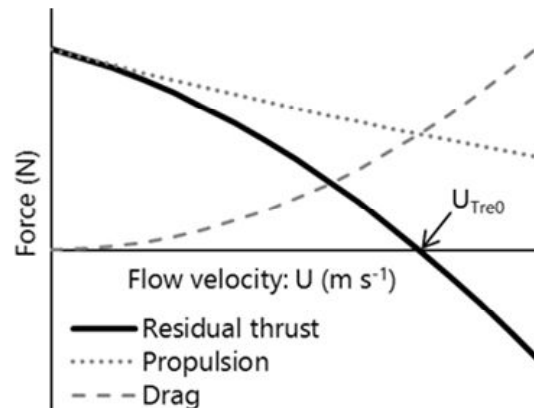


図1 泳者に作用する推進力、抵抗、余剰推進力の関係

本方法論では、流速の変化に伴う余剰推進力の値を実測し、その実測値に自己推進時抵抗をモデル化した関数が最も近似する回帰式を得ることで自己推進時抵抗を算出する（図2参照）。

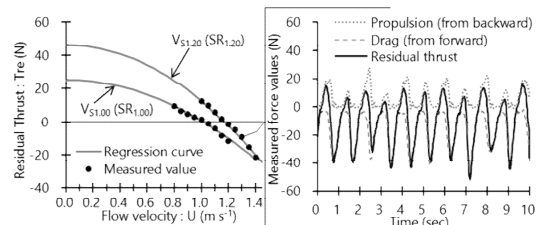


図2 余剰推進力のサンプルデータと回帰分析手順

対象者として大学競泳チームに所属する男子競泳選手6名が本実験に参加した。実験では各流速における余剰推進力を計測するために、ロードセル (LUX-B-2KN-ID, Kyowa Electronic Instruments Co. Ltd., Japan) と泳者を非伸縮性のワイヤーで接続し、前後方向から泳者を牽引した (図3参照)。

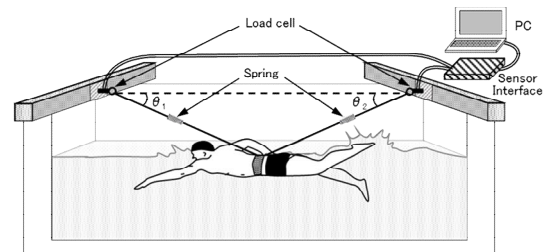


図3 実験装置の概要

泳者はストローク周期内で加減速を繰り返すため、前後方向へ変動する。それによるワイヤーの弛みを防ぎ、また急な張力の発生による泳動作への影響を考慮し、バネを用いて若干の前後運動を許容する設計を採用した。両方向で計測された力は、センサーインターフェース (PCD-330B-F, Kyowa Electronic

Instruments Co. Ltd., Japan) を介し, PC にインストールされた専用のソフトウェア (DCS-100A, Kyowa Electronic Instruments Co. Ltd., Japan) を用いて数値化された. このように実測された余剰推進力 (図2の黒丸) に最も近似するよう, 回帰曲線 (図2のグレーの線) を導出した (Matlab 2014a, Math works Inc.). この回帰式より, 自己推進時の泳者の抵抗をを導出した.

4. 研究成果

図4に典型例として, 本方法論によって算出された2名分の自己推進時抵抗と比較対象のために測定した受動抵抗値を示す.

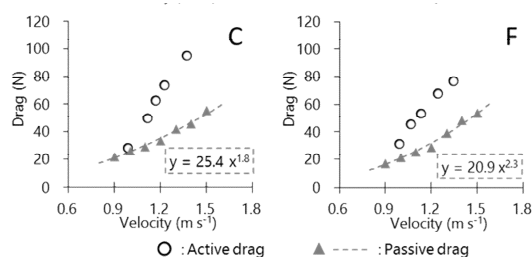


図4 泳速度と自己推進時抵抗と受動抵抗の関係

本研究での全対象者の drag-velocity 間の関係性を回帰式で表すと, 自己推進時抵抗は $Da = 32.3 v^{3.3}$ であり, 受動抵抗は $Dp = 23.5 v^{2.0}$ であった. 受動抵抗に関して, Zamparo, Gatta, Pendergast, and Capelli (2009) が報告した係数と非常に類似しており, また他の先行研究 (Chatard, Lavoie, Bourgoin, & Lacour, 1990) で報告された値ともほぼ同等の値を示したことから, 本研究で用いた測定機器や環境の妥当性が確認された. 自己推進時抵抗に関しては, Zamparo et al. (2009) や Hollander et al. (1986) が報告しているが, Active drag を評価するために用いた方法論は本研究と先行研究では大きく異なり, さらに泳者 (競技レベルや身体組成) も異なるため, 本研究で評価された自己推進時抵抗と直接的に比較することはできない. その中で, MRT を用いて評価された自己推進時抵抗を, 同一対象者の受動抵抗と比較したところ, 本研究における受動抵抗は, 先行研究結果と同様に速度の2乗に比例して増加することが確認されたが, 自己推進時抵抗については, 速度の3乗に比例することが初めて明らかにされた.

今後は, 本測定法を用いて, 世界トップスイマーの自己推進時抵抗を測定し, 泳技術の優劣を客観的数値で評価し, 泳技術を改善するヒントを得たいと考える. また, これまでは主にクロール泳でしか自己推進時抵抗の測定は行われてこなかったが, 背泳ぎ, 平泳ぎ, バタフライなど, 他の種目についても自己推進時抵抗の測定を行い, 抵抗をいかに低減させることができるのか具体的な方策を検討したい.

<引用文献>

- Di Prampero, P., Pendergast, D., Wilson, D., & Rennie, D. (1974). Energetics of swimming in man. *Journal of applied Physiology*, 37(1), 1-5.
- Gatta, G., Cortesi, M., Fantozzi, S., & Zamparo, P. (2015). Planimetric frontal area in the four swimming strokes: Implications for drag, energetics and speed. *Human movement science*, 39, 41-54.
- Hollander, A., De Groot, G., van Ingen Schenau, G., Toussaint, H., De Best, H., Peeters, W., Schreurs, A. (1986). Measurement of active drag during crawl arm stroke swimming. *Journal of Sports Sciences*, 4(1), 21-30.
- Kolmogorov, S., & Duplishcheva, O. (1992). Active drag, useful mechanical power output and hydrodynamic force coefficient in different swimming strokes at maximal velocity. *Journal of Biomechanics*, 25(3), 311-318.
- Toussaint, H., De Groot, G., Savelberg, H., Vervoorn, K., Hollander, A., & van Ingen Schenau, G. (1988). Active drag related to velocity in male and female swimmers. *Journal of Biomechanics*, 21(5), 435-438.
- Toussaint, H. M., Roos, P. E., & Kolmogorov, S. (2004). The determination of drag in front crawl swimming. *Journal of Biomechanics*, 37(11), 1655-1663.
- Zamparo, P., Gatta, G., Pendergast, D., & Capelli, C. (2009). Active and passive drag: the role of trunk incline. *European Journal of Applied Physiology*, 106(2), 195-205.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計3件)

Kenzo Narita, Motomu Nakashima and Hideki Takagi, Developing a methodology for estimating the drag in front-crawl swimming at various velocities, *Journal of Biomechanics*, 査読有, 54, 2017, 123-128, DOI: 10.1016/j.jbiomech.2017.01.037

仙石泰雄, 角川隆明, 小林啓介, 成田健造, 高強度トレーニングを柱とした競泳競技トレーニングシステム. *コーチング学研究*, 査読なし, 30, 2017, 61-66, 成田健造, 自己推進時抵抗を評価する新たな方法論の妥当性に関する一考察 *MAD-system* との比較を通して, *いばらき健康・スポーツ科学*, 査読有, 32, 2016, 51-54

〔学会発表〕(計7件)

成田健造, 高木英樹, クロール泳における下肢動作の利用が抵抗力に及ぼす影響とは? - 様々な速度でのスイム泳とプル

泳の比較 -、ARIHHP ヒューマン・ハイ・パフォーマンスフォーラム 2017, 筑波大学 (茨城県つくば市), 2017 年 3 月 7 日
Kenzo Narita, Keisuke Kobayashi, Yasuo Sengoku, Hideki Takagi, The influence of a difference of swimming velocity for active drag and stroke parameter in front-crawl swimming, HHP International Forum 2017, University of Tsukuba (Tsukuba, Ibaraki), 2017-3-7

成田健造, 仙石泰雄, 椿本昇三, 高木英樹. クロール泳における泳速度の違いが自己推進時抵抗とストローク変数に及ぼす影響について、2016 年日本水泳・水中運動学会年次大会, 国立スポーツ科学センター (東京都北区), 2016 年 10 月 15 日

成田健造, 高木英樹. クロール泳中の自己推進時抵抗と受動抵抗の比較 - 新たに開発された自己推進時抵抗の評価方法を用いて -, 日本体育学会台 67 回大会, 大阪体育大学 (大阪府泉南郡熊取町), 2016 年 8 月 26 日

Yasuo Sengoku, Sayaka Goto, Kenzo Narita, Effect of the exercise intensity order on training load during interval swimming training, HHP International Forum 2016, University of Tsukuba (Tsukuba, Ibaraki), 2016-3-7

Kenzo Narita, Hideki Takagi, Developing the new methodology of measuring active drag - It enable the evaluation of swimming technique and various swimming style -, HHP international research week 2015, University of Tsukuba (Tsukuba, Ibaraki), 2015-3-6

Kenzo Narita, Hideki Takagi, Validation of a methodology for measuring active drag in swimming - In comparison to MAD-system -, HHP international research week 2015, University of Tsukuba (Tsukuba, Ibaraki), 2015-3-6

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.tsukuba.ac.jp/attention-research/p201702171400.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

高木 英樹 (TAKAGI, Hideki)

筑波大学・体育系・教授

研究者番号：80226753

(2) 研究分担者

仙石 泰雄 (SENGOKU, Yasuo)

筑波大学・体育系・助教

研究者番号：30375365

研究分担者

荻田 太 (OGITA, Futoshi)

鹿屋体育大学・スポーツ生命科学系・教授

研究者番号：50224134

(3) 研究協力者

成田 健造 (NARITA, Kenzo)

筑波大学人間総合科学研究博士後期課程
科体育科学専攻