

令和 4 年 5 月 19 日現在

機関番号：33111

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2021

課題番号：19K20054

研究課題名（和文）泳技能学習によるヒトの流体-神経適応過程の解明

研究課題名（英文）Clarifying the adaptive process of the flow-nerve system at swimming skill learning.

研究代表者

下門 洋文 (Shimojo, Hirofumi)

新潟医療福祉大学・健康科学部・講師

研究者番号：50757911

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、未熟練者の泳技能習熟過程を追跡し、ヒトが泳げるになる現象を流体-神経科学的観点から記述することを目的とした。本研究により、ステレオ粒子画像流速計測法（ステレオPIV法）を用いて、フィールド環境である屋内プールでの泳者周りの流れの可視化が行える測定システムを構築することができた。この環境で測定した結果、未熟練者は非効率的な筋活動を行っているだけでなく、推進するための流体の扱いができていなかった。このことから、習熟する過程で神経適応によって動員する筋の選択的な効率化が起こり、これが足部周りの流れに反映されることが示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究により、これまで困難であったフィールド環境での泳者周りの流れの可視化が可能となった。また、キック泳中の推力を流れの状態から推定することに初めて成功した。キック泳において、熟練者は筋を使い分けることで手足の進路と向きを巧みに変化させ、渦を利用して推進していた。ヒトが泳技能を習熟する過程で筋発揮と流体の状態が関係していることから、習熟過程におけるフィードバックとして、手足周りの流れの情報を利用すれば、効率的な泳法指導の提案が可能となる。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this study was to follow the process of learning to swimming skills in untrained swimmers and to describe the phenomenon of becoming swimming in human from a fluid-neuroscience perspective. This research enabled the construction of the measurement system that can visualize the flow around a swimmer in a in-door swimming pool environment using the stereo particle image velocimetry (stereo PIV) method. Measurements in this environment showed that the untrained swimmers were not only inefficiently recruiting their muscles, but were also unable to handle the fluid to propel themselves. This suggests that during the process of becoming swimming, neural adaptation causes selective efficiency of the muscles to be recruited, which is reflected in the flow around the foot in swimmers.

研究分野：バイオメカニクス

キーワード：水泳 運動学習 流体力 筋シナジー 圧力 PIV

1. 研究開始当初の背景

近年、流体可視化技術である粒子画像流速計測法(PIV法)を取り入れた水泳の推進メカニズム解明が進んでいる。例えば、これまでは水を押し続けていると感じていたストローク動作は、実は手部周りに発生する渦のふるまいによって負圧が発生し、手部前後の圧力差で推力を生み出していることが分かってきた (Takagi et al., 2015; Matsuuchi et al., 2009)。我々は、同手法を用いてトップスイマーのストロークとキック動作のみに着目したところ、進力が最大となる瞬間に、いずれの動作も急峻な手足の進路変更に伴い動作が加わることで手部・足部周りで渦が大きくなり、これが推進のカギになっていることを見出した (Ebihara et al., 2018; Shimojo et al., 2019)。これまで、ヒトが泳ぐ技術を解明するために熟練者を対象に研究が行われていたが、未熟練者が泳ぎ習得する過程については不明な点が多く、習熟過程を追跡する必要があった。

2. 研究の目的

本研究では、未熟練者を対象に水泳指導を行い、指導前後での泳パフォーマンスと四肢周りの流体の動きと流体力、表面筋電図から得られる神経状態を比較し、泳げるようになる現象を流体-神経科学的観点から記述することを目的とした。新型コロナウイルス感染拡大の影響を受け、当初計画していた泳法指導が行えず、ここでは熟練者と未熟練者のキック泳を比較した研究成果について紹介する。

3. 研究の方法

我々はステレオ PIV 法を用い、これまで回流水槽で泳者周りの流れ可視化を行ってきた実績がある (Shimojo et al., 2017; Ebihara et al., 2018; Shimojo et al., 2019)。しかしながら、実験環境である回流水槽内では、未熟練者からいつも通りの泳ぎ方を再現するのは難しいという意見が多く、屋内プールといったフィールド環境での計測を実現する必要があった。そこで、2019年度は水中窓を有する新潟医療福祉大学屋内プールにおいて、ステレオ PIV 法によるスイマー周りの流れを可視化する測定システムの構築を目指した(図 1)。泳者周りの流れの可視化を行うために Nd:YAG レーザ(Quantel Co., Ltd, EverGreen 200)を用い、プールサイドの水中窓を介して照射されたレーザシートを特殊ミラーで反射させ、泳者の矢状面を照射するように設置した。マイクロバブル(直径約 50 μ m)をトレーサ粒子として用い、推進する泳者の周りで発生させた。プール地下に 2 台の高解像度カメラ(La Vision Ltd., Imager sCMOS)を配置し、水中窓を介して計測領域を撮影して粒子画像を得た。得られた画像から流体可視化ソフトウェア(DaVis)を用いて流れを可視化した。また、動作分析を行うために、モーションキャプチャシステム用(Nobby Tech. Ltd.)のカメラを防水ハウジングケースで保護してプール底に配置した。泳者の各関節には自発光マーカーを貼り付け、可動域制限がないことを確認し、計測領域を通過してもらうようにキック泳を行った。加えて、防水型の圧力センサ(Kyowa Electronic Instruments Co. Ltd.)を手足表裏へ、防水型筋活動測定機器(SandME Inc.)を下肢 8 筋の筋腹へ貼り、泳中の流体力と表面筋電図を記録した。

2020年度は、同計測環境で熟練者 1 名のキック泳中の足部周りの流れを可視化し、格子状に配置された速度ベクトルから渦度 ω を算出し(Fish et al., 2014; Epps and Techet, 2007)、推力 F を算出した。2021年度は、筑波大学回流水槽を用いて、熟練者 1 名の異なるキック泳法の足部周りの流れを可視化した。

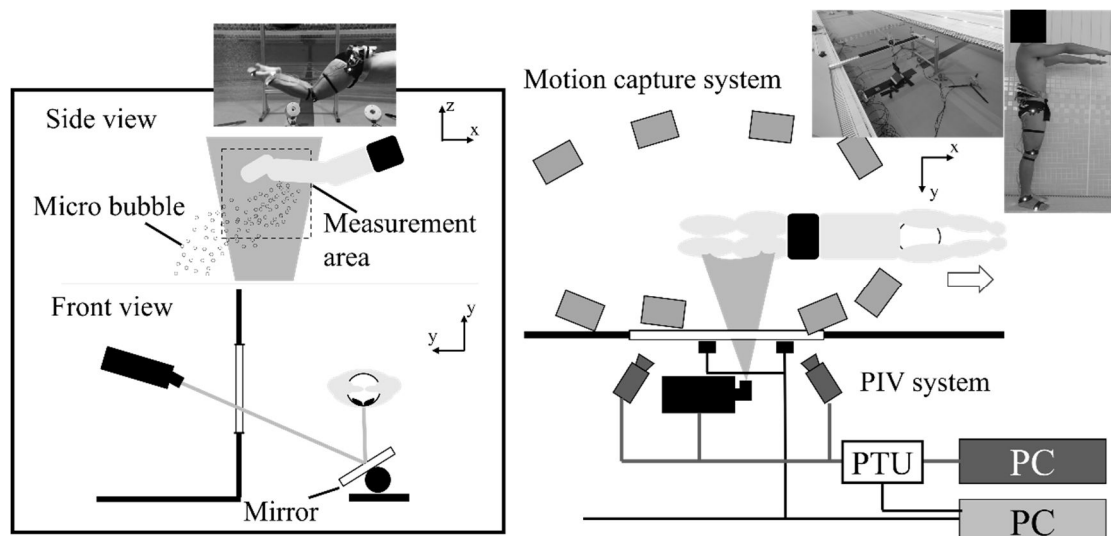


図 1 測定システムの概要

4. 研究成果

成果1 屋内プールでの泳者周りの流れの可視化

これまで泳者周りの流れの可視化は回流水槽で行えなかったが、フィールド環境である屋内プールでの測定システム構築が実現できた。蹴り下ろし中の足部周りの流れを可視化した例を図2に示す。泳者がキック泳で推進している足部周りを観察したところ、蹴り下ろした後に、後方へ向かって大きなジェットが発生している様子が見て取れた。その一方、未熟練者の場合、蹴り下ろし動作後には、熟練者同様に大きなジェットが発生していたが、熟練者に比べて下方へ向かってジェットが向かっていた。圧力センサで推定された流体力を見ると、蹴り下ろし中に出現する大きなピーク後に足部周りに大きなジェットが発生していたことから、足部で得た推力の結果がジェットへ反映されたものとみられる。また、未熟練者の筋活動は、熟練者に比べて不必要に多くの筋を動員する傾向があり、非効率的であった。これらの結果から、キック泳に関していえば、ヒトが泳技を熟練する過程での神経適応によって動員する筋の選択的な効率化が起こり、これが足部周りの流れへジェット方向として反映されることが示唆された。

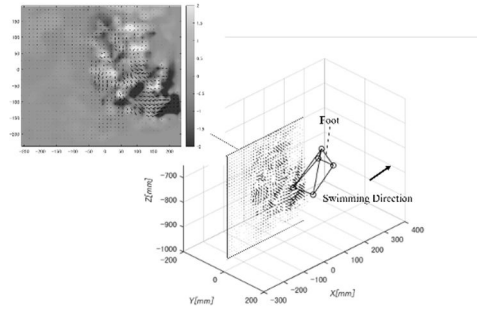


図2 キック泳中の足部周りの流れ

成果2 キック泳中の推力

速度ベクトル(m/s)を格子状に配置することで流れ場を得られる。最終的に、格子間の速度ベクトルの差から矢状面の渦度 $\omega(1/s)$ を計算でき、この渦度を用いることで推力を見積もることができる。そこで本研究では、キック泳で推進している熟練者の足部周りに発生した渦度から、2つの方法で推力を推定した。その結果、渦度から算出した推力の値は19.7~62.2Nであった。これまで、防水型圧力センサを用いて泳中のヒトの四肢が生成した推力は報告されていたが、本研究で初めて流れの状態から推力を見積もることができた。

成果3 キック泳法の違いによる流れを可視化

同様の研究手法で熟練者の3種類のキック泳法である平泳ぎキック、ドルフィンキック、フラッターキック(バタ足)の比較を行った(図3)。その結果、平泳ぎは推進方向とは逆向きへジェットが発生しているのに対して、ドルフィンキックはより下向き、フラッターキックは斜め下へと向かっている様子が観察され、これは泳者が抱く感覚とも一致する。このことから、熟練者は異なる推進メカニズムを巧みに使い分けて水中を推進していることが示唆された。

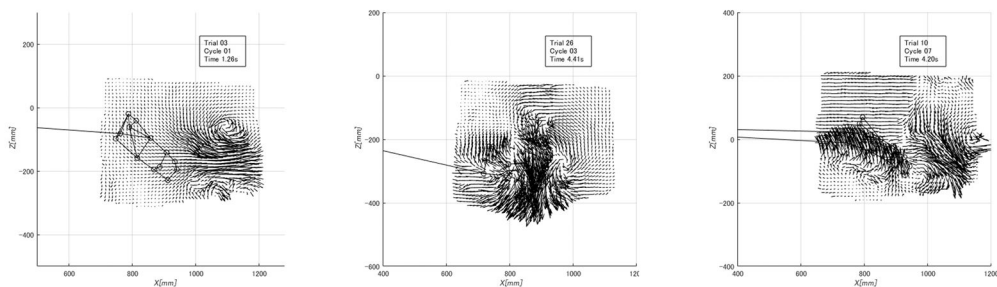


図3 平泳ぎ(左)、ドルフィンキック(中央)、フラッターキック(右)による足部周りのジェット流

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 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 Hirofumi Shimojo, Daiki Koga, Yusaku Nakazono, Yasuo Sengoku, Hideki Takagi
2. 発表標題 Estimate of thrust force from wake vortices in human kick swimming
3. 学会等名 ARIHHP 国際フォーラム（筑波大学）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Hirofumi Shimojo, Hiroshi Ichikawa, Miina Muranaka, Koichiro Okazaki, Yasuhiro Baba, Hideki Takagi
2. 発表標題 Establishment of temporary measurement space for flow visualization around swimmer at indoor swimming pool
3. 学会等名 ARIHHP 国際フォーラム（筑波大学）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 下門洋文, 山城昌一朗, 市川浩, 下山好充, 仙石泰雄, 高木英樹
2. 発表標題 スイマー足部周りの流れの可視化
3. 学会等名 可視化情報シンポジウム2021
4. 発表年 2021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
---------------------------	-----------------------	----

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
---------	---------