

令和 4 年 6 月 7 日現在

機関番号：32509

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2019～2021

課題番号：19K24290

研究課題名（和文）水球競技における立ち泳ぎ（巻き足）動作の推進力を高めるためには？

研究課題名（英文）How can the propulsive force of the eggbeater kick in water polo be improved?

研究代表者

川合 英介（Kawai, Eisuke）

国際武道大学・体育学部・助教

研究者番号：10847924

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,200,000円

研究成果の概要（和文）：本研究プロジェクトは、優れた巻き足（立ち泳ぎ）技術を有する水球選手の特徴から、巻き足における推進力向上のための指導観点を導き出すことを目的とした。研究の結果、巻き足の技術差は、足部の流体力、圧力および角度に関するデータによって識別されることが明らかとなった（特に、平均推進力と第1趾周辺の圧力）。巻き足のより良い推進（推進力向上）のためには、キック中の足部の傾きや移動方向を巧みにコントロールし、足底・足背間において大きな圧力差を生み出すことが重要である。

研究成果の学術的意義や社会的意義

水中で身体を支持するための泳ぎである巻き足は、力発揮の媒体が水（流体）であり、その非定常性を考慮して推進力の分析をすることが困難であった。本研究では、近年、競泳（水泳）研究の中で発展してきている圧力分布分析法を巻き足に応用し、初めて両足部で発揮した推進力およびその生成メカニズムに関する知見を得た。また、選手の巻き足技術を識別（グルーピング）する変数として、体重で規格化した平均推進力が最も重要であることが明らかとなった。本研究の結果は、今後、巻き足の技術的な良し悪しを評価するための基礎として役立つと考えられる。

研究成果の概要（英文）： The purpose of this study was to clarify the key points for improving the propulsive force of the eggbeater kick based on the characteristics of water polo players with excellent eggbeater kicking technique. The study revealed that technical differences in the eggbeater kick were identified by fluid force, pressure and foot angle data (in particular, the mean propulsive force and the pressures around the first toe). For improved propulsion, it is important to generate a large pressure difference between the plantar and dorsal side of the foot by controlling the foot angle.

研究分野：スポーツ科学

キーワード：水球 巻き足 圧力分布分析 動作分析 流体力 推進力

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

水中でのゴール型球技である水球において、選手は、「巻き足」と呼ばれる立ち泳ぎの技術を駆使して様々なプレーを行っている。巻き足による身体高の上昇および維持(すなわち、上方への推進力の発揮)は、特に上肢を伴うプレー(シュートやブロックなど)のパフォーマンスに寄与すると報告されており(McCluskey et al., 2010)、競技レベルを問わず極めて重要である。

これまで、巻き足に関する研究は、動作に焦点を当てた分析が行われており、足部の詳細なキネマティクス(軌跡や速度、迎角、流入角など)や競技レベルが高い選手と低い選手の動作パターンの違い等が報告されてきた(Homma & Homma, 2005; Sanders, 1999a, 1999b; 鳥海ほか, 2013)。一方で、巻き足中に発揮される推進力の評価を試みた研究は極めて少なく、さらにその中で、推進力向上の指針になると考えられる、優れた技術を有した選手の特徴(推進力発揮様態やメカニズム)を明らかにした研究は存在しなかった。

### 2. 研究の目的

そこで本研究プロジェクトでは、優れた巻き足技術を有する水球選手の特徴から、巻き足における推進力向上のための指導観点を導き出すことを目的とした。

### 3. 研究の方法

大学水泳部に所属する男子水球選手 12 名が本研究に参加した。対象者は、側面と底面に観察用窓を有する実験用水槽にて全力の巻き足動作(両腕を胸の前で組んだ状態)を実施した(図 1)。試技中の動作は、対象者を囲う様に設置された 12 台のモーションキャプチャカメラにて記録し、足部の速度や角度といったキネマティクスデータを算出した。また、両足部の足底と足背に取り付けられた計 16 個の圧力センサによって試技中の圧力分布を計測し、そこから足部に作用する流体力とその垂直成分(推進力)を推定した(Kawai et al., 2018; Tsunokawa et al., 2018)。

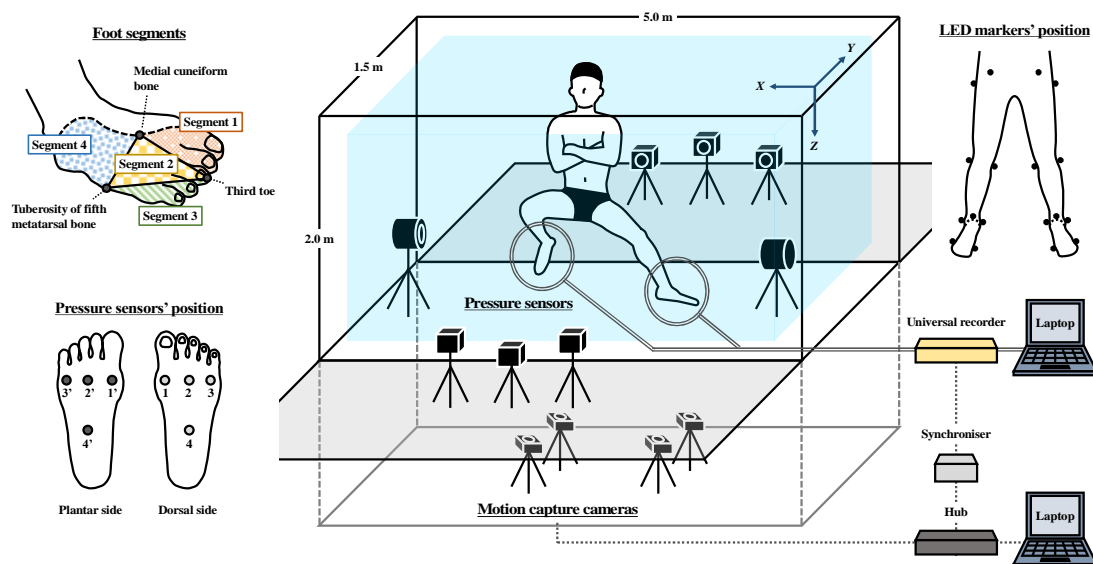


図 1. 実験設定の概要 (Kawai et al., 2021 より。「主な発表論文等」における [雑誌論文] の項を参照)。

### 4. 研究成果

分析の結果、選手の巻き足を技術的に識別(グルーピング)する変数として、体重で規格化した平均推進力が最も重要であることが明らかとなった。そして、平均推進力が優れた選手は、流体力の合力、足部周りの圧力、および角度(迎角、流入角)に関する変数においても良好な結果を示した。また、巻き足中の推進力増大の要因となる足底・足背間の圧力差は、足底側の圧力増加ではなく、足背側の圧力低下(すなわち、負圧)に起因して生じていることが明らかとなった(図 2)。この現象(背側の負圧に起因する身体部位表面間の圧力差の増大)は、クロール中の手部(Tsunokawa et al., 2018)や平泳ぎ中の足部(角川ほか, 2015)など、他の泳法においても観察されており、泳動作に伴って発生する非定常な水の流れの影響で生じているものと考えられる(Takagi et al., 2014)。特に巻き足では、第 1 趾周辺のエリアで生じる圧力差が他のエリア(第 3 趾, 第 5 趾, 踵周辺)よりも有意に大きく(図 2)、それはアウトキック局面(足部の蹴り下ろし動作中)における推進力の優劣に影響していた(図 3)。

以上のことから、優れた巻き足技術を有する水球選手は、推進動作局面（特にアウトキック局面）において、足部の傾きや移動方向を巧みにコントロールしながら、水を第1趾側面から流入させることで大きな圧力差を生み出し、それによって推進している可能性が示唆された。より良い推進（推進力向上）のための指導観点としては、アウトキック局面中の迎角および流入角の改善と、それに繋がる足関節、股関節の柔軟性向上が挙げられる。

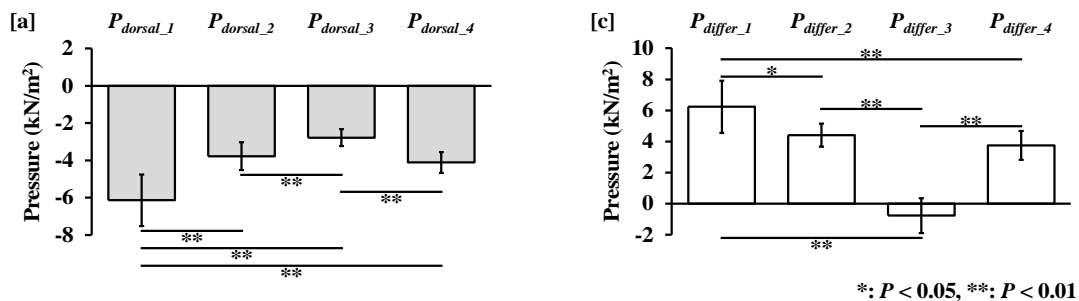


図2. 足部のエリア間（第1趾，第3趾，第5趾，踵周辺）における圧力データの違い（Kawai et al., 2021 より. 「主な発表論文等」における [雑誌論文] の項を参照). グラフ a, b, c は、それぞれ各エリアの足背側の圧力，足底側の圧力，足底・足背間の圧力差を示す。

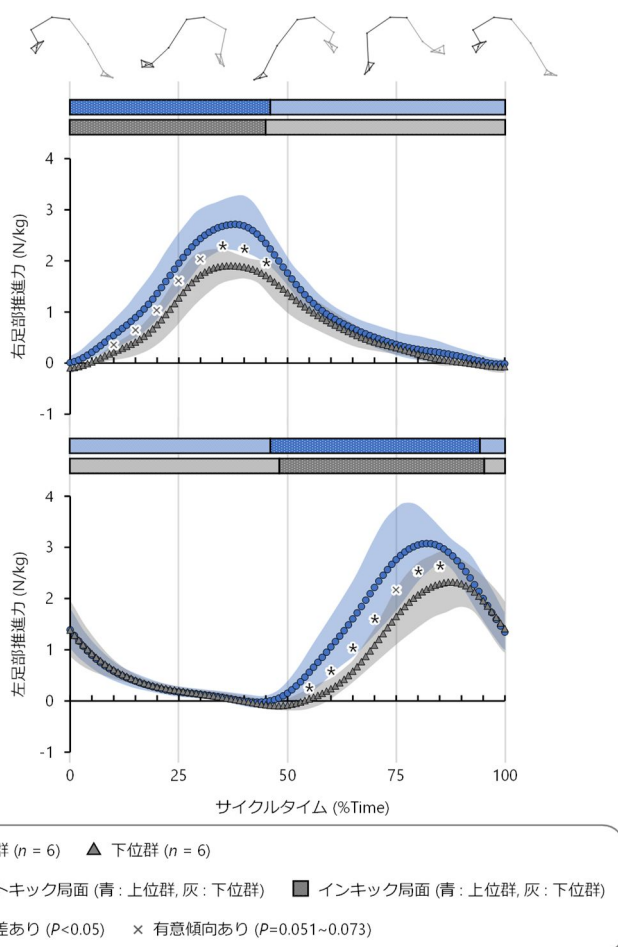


図3. 体重当たりの平均推進力によってグループ分けした上位群・下位群における巻き足1サイクル中の推進力の変動（川合・高木，2021 より. 「主な発表論文等」における [学会発表] および [その他] の項を参照).

<引用文献>

- McCluskey, L., Lynskey, S., Leung, C. K., Woodhouse, D., Briffa, K. & Hopper, D. (2010). Throwing velocity and jump height in female water polo players: performance predictors. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 13, 236–240.
- Homma, M. & Homma, M. (2005). Coaching points for the technique of the eggbeater kick in synchronized swimming based on three-dimensional motion analysis. *Sports Biomechanics*, 4, 73–87.
- Sanders, R. H. (1999a). Analysis of the eggbeater kick used to maintain height in water polo. *Journal of Applied Biomechanics*, 15, 284–291.
- Sanders, R. H. (1999b). A model of kinematic variables determining height achieved in water polo boosts. *Journal of Applied Biomechanics*, 15, 270–283.
- 鳥海崇, 森下愛子, 渡辺一仁 (2013). 巻き足動作の強さと巧みさとの関連について ~ 大学水球部員による3次元動作分析から ~. *体育研究所紀要*, 52(1), 33–37.
- Kawai, E., Tsunokawa, T. & Takagi, H. (2018). Estimating the hydrodynamic forces during eggbeater kicking by pressure distribution analysis. *Heliyon*, 4, e01095.
- Tsunokawa, T., Tsuno, T., Mankyu, H., Takagi, H. & Ogita, F. (2018). The effect of paddles on pressure and force generation at the hand during front crawl. *Human Movement Science*, 57, 409–416.
- 角川隆明, 仙石泰雄, 椿本昇三, 高木英樹 (2015). 平泳ぎキック動作中に働く非定常流体力と足部表面の圧力分布の関係. *体育学研究*, 60(1), 165–175.
- Takagi, H., Shimada, S., Miwa, T., Kudo, S., Sanders, R. & Matsuuchi, K. (2014). Unsteady hydrodynamic forces acting on a hand and its flow field during sculling motion. *Human Movement Science*, 38, 133–142.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 1件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Kawai Eisuke, Gonjo Tomohiro, Takagi Hideki	4. 巻 -
2. 論文標題 Kinematic and kinetic parameters to identify water polo players' eggbeater kick techniques	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Sports Biomechanics	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1080/14763141.2021.1995477	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 川合英介, 高木英樹
2. 発表標題 優れた巻き足技術を有する水球選手はどの様に推進力を生成しているのか？
3. 学会等名 日本水泳・水中運動学会2021年次大会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

公益財団法人日本水泳連盟の機関誌「月刊水泳」に研究の記事を掲載 （2022年1月号・第546号，30-31ページ）
--

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			
ノルウェー	Norwegian School of Sport Sciences			