

水球選手の巻き足中に発揮される流体力の推定

角川隆明*

Estimation of the fluid forces around a foot during eggbeater kicking

TSUNOKAWA Takaaki *

1. 背景

巻き足は、下腿を左右交互に動かして推進力を得る技術のことであり、足の動きに休息局面がなく連続的に上方への支持力を得ることができる。この技術は、水球やシンクロナイズドスイミングのみならず、日本泳法や救助法においても頻繁に用いられる基本技術の一つとされている。

これまでに、巻き足に関するキネマティクスの研究はいくつか報告されており^{1,2)}、熟練者の特徴や指導上のポイントについて明らかにされてきた。また、松井ほか⁴⁾は泳者の足部に圧力センサを装着して巻き足中の圧力変動を計測し、熟練者は未熟練者と比較して連続的に推力を発揮していることを明らかにした。しかしながら、この方法では足部に1対の圧力センサを装着したに留まり、足部に働く流体力の定量化には至っていない。そのため、泳者が上方に発揮する正味の推進力と、泳者の足部に働く流体力の関連を明らかにすることはできず、動作の効率等についての議論をすることはできない。

そのような中で、近年では泳者の身体表面の圧力分布を計測し、泳動作を分析する研究が進められている^{3,5)}。角川ほか⁶⁾は、泳者の足部に4対の圧力センサを装着して平泳ぎキック動作中の圧力変動を計測し、推定した流体力と泳パフォーマンスとの関連を明らかにした。平泳ぎのキック動作は巻き足と同様に足底で水を蹴り出して推進力を得る動作であることから、同様の方法を用いることで巻き足中の足部に働く流体力を推定することは可能であると考えられる。

そこで本研究では、圧力分布計測を用いた流体力推定法の巻き足への有用性を確認し、巻き足中に働く流体力の特徴を明らかにすることを目的とした。

2. 方法

2.1 対象者

本研究には、大学水球チームに所属する男子水球選手5名(身長 175.5 ± 3.9 cm、体重 79.6 ± 6.8 kg、年齢 20.0 ± 1.6 歳)が参加した。対象者には、実験実施前に実験の趣旨と危険性について口頭にて説明し、書面にて参加の同意を得た。

2.2 実験設定

実験は水深3.8 m、水温29.5℃の屋内プールにて実施した。対象者は右足部に4対の小型圧力センサ(PS05-KC、共和電業)を装着し、両上肢を身体の前で組んだ状態で10秒間の巻き足を行い、胸骨上縁が水面の高さとなる位置に身体を支持した。なお、試技中は最大吸気を保持した。対象者の腰部にはマリンダイビング用のウェイトベルトを装着し、質量と体積が既知のマリン用ウェイトを付加した。使用したマリン用ウェイトは質量2.0 kg、体積200 cm³であり、浮力を考慮すると対象者に付加される負荷は1個につき17.6 Nであった。対象者は、指定した身体高を維持できる範囲でマリン用ウェイトを増加し試技を反復した。なお、初回の試技はマリン用ウェイトを付加しない状態で試技を実施した。

対象者の右足部に装着した小型圧力センサにより、身体高が安定した5秒間における足部表面の圧力分布をサンプリング周波数200 Hzにて計測した。得られた圧力値から、角川ほか⁶⁾が報告した平泳ぎキック動作中の流体力推定法と同様の方法を用いて流体力を推定した。図1に実験の概略図を示す。

対象者が支持した正味の荷重を明らかにするため、デジタルフォースゲージ(FGPX、日本電産シンポ)を用い、胸骨上縁が水面の高さとなる身体高で静止した状態にてサンプリング周波数100 Hzで

* 筑波大学体育系
Faculty of Health and Sport Sciences, University of Tsukuba

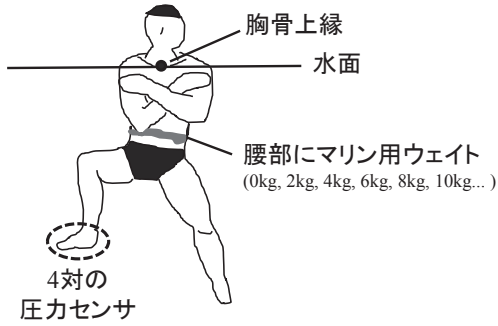


図1 実験の概略図

水上荷重を5秒間計測した。なお、計測中は最大吸気を保持した。対象者の水上荷重は計測した5秒間の平均値とし、マリン用ウェイトを用いて対象者に付加した負荷と足し合わせた値を支持した正味の荷重とした。各試技にて対象者が支持した正味の荷重（水上荷重+負荷）を表1に示す。

2.3 統計処理

各対象者の各試技において推定された流体力の5秒間の平均値と最大値、試技中の流体力の変動を示した。さらに、対象者が支持した正味の荷重（水上荷重+負荷）と、推定した流体力の平均値や最大値との間の関係をピアソンの相関係数（ r ）を用いて示した。なお、有意水準は5%とした。

3. 結果

表2に各試技における流体力の最大値と、対象者が支持した正味の荷重と流体力の最大値との間の相関係数（ r ）を対象者別に示す。また、表3に各試技における流体力の平均値と、対象者が支持した正味の荷重と流体力の平均値との間の相関係数（ r ）を対象者別に示す。最も試技回数の少なかった対象者Aを除き、流体力の最大値、平均値ともに対象者が支持した正味の荷重との間に有意な相関関係が認められ（ $r = 0.95 - 0.99, p < 0.01$ ）、荷重の増加

表1 各試技にて支持した正味の荷重

対象者	水上荷重	試技1 (0 N)	試技2 (17.6 N)	試技3 (35.3 N)	試技4 (52.9 N)	試技5 (70.6 N)	試技6 (88.2 N)	試技7 (105.8 N)	試技8 (123.5 N)
A	74.0	74.0	91.6	109.3	126.9	144.6	—	—	—
B	61.9	61.9	79.5	97.2	114.8	132.5	150.1	—	—
C	81.2	81.2	98.8	116.5	134.1	151.8	169.4	187.0	—
D	78.3	78.3	95.9	113.6	131.2	148.9	166.5	184.1	—
E	64.3	64.3	81.9	99.6	117.2	134.9	152.5	170.1	187.8

表2 足部に働く流体力の最大値と正味の荷重との間の相関係数

対象者	水上荷重	試技1 (0 N)	試技2 (17.6 N)	試技3 (35.3 N)	試技4 (52.9 N)	試技5 (70.6 N)	試技6 (88.2 N)	試技7 (105.8 N)	試技8 (123.5 N)	r value
A	74.0	243.6	306.8	321.5	345.6	331.0	—	—	—	0.85
B	61.9	142.5	170.9	212.7	217.4	230.9	255.0	—	—	0.97**
C	81.2	132.9	145.6	194.5	232.8	259.3	248.6	277.7	—	0.96**
D	78.3	118.4	176.4	223.9	276.5	285.2	294.8	309.1	—	0.95**
E	64.3	136.2	167.3	168.1	173.2	184.6	212.0	237.9	252.4	0.97**

*: $p < 0.05$, **: $p < 0.01$

表3 足部に働く流体力の平均値と正味の荷重との間の相関係数

対象者	水上荷重	試技1 (0 N)	試技2 (17.6 N)	試技3 (35.3 N)	試技4 (52.9 N)	試技5 (70.6 N)	試技6 (88.2 N)	試技7 (105.8 N)	試技8 (123.5 N)	r value
A	74.0	70.7	83.8	95.8	102.6	104.8	—	—	—	0.97**
B	61.9	47.7	55.1	63.2	73.4	82.3	85.5	—	—	0.99**
C	81.2	45.1	50.1	58.3	65.1	72.5	74.1	81.6	—	0.99**
D	78.3	54.6	68.4	74.5	99.5	106.9	114.5	122.7	—	0.98**
E	64.3	47.3	60.0	60.6	64.5	70.8	86.8	96.6	93.8	0.97**

*: $p < 0.05$, **: $p < 0.01$

に伴い足部に働く流体力も増加した。対象者 E は、試技回数が最も多く、支持した正味の荷重が最も大きいと考えられるが、足部に働く流体力の値は他の対象者と同等もしくは小さな値を示した。反対に、対象者 A は試技回数が最も少なく、支持した正味の荷重が最も小さいと考えられるが、足部に働く流体力の値は他の対象者よりも大きな値を示した。

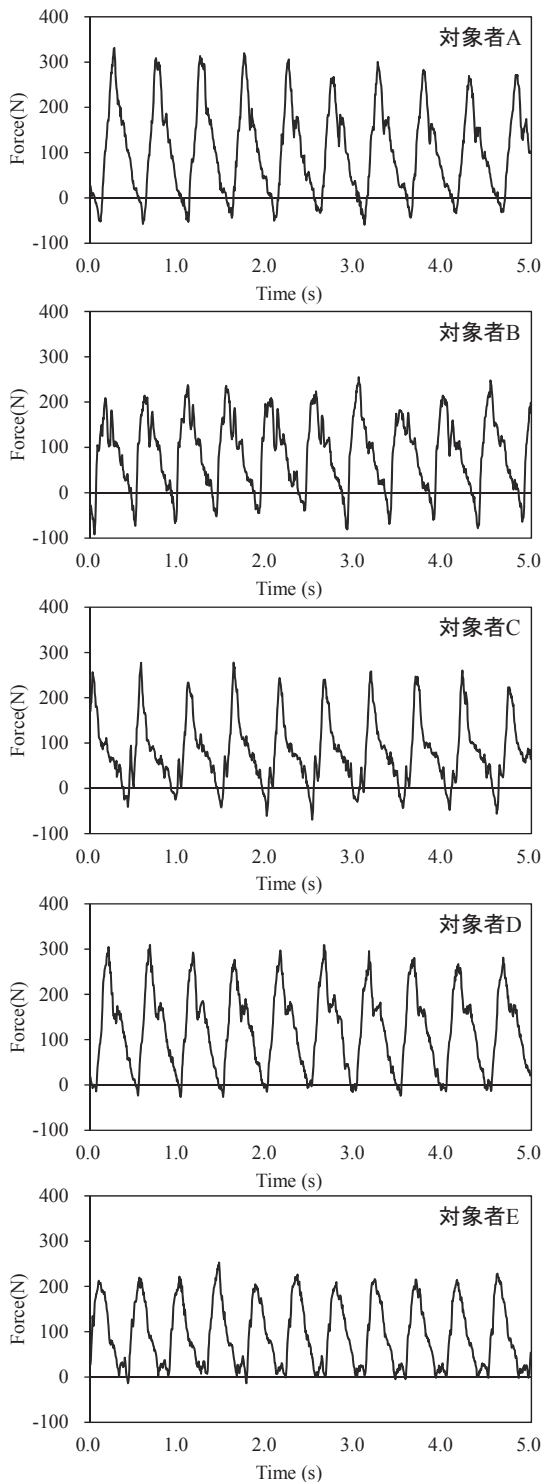


図2 試技中の流体力の変動

図2に各対象者の最大負荷における流体力の変動を示す。各対象者を比較すると、対象者によって流体力の変動は異なっていた。また、対象者 A、B、C は流体力が負の値を示す局面が認められたが、対象者 D、E については流体力が負の値を示す局面がほぼ認められなかった。

4. 考 察

各対象者において、支持した正味の荷重と足部に働く流体力の最大値や平均値との間に有意な強い相関関係が認められた。そのため、角川ほか⁶⁾が報告した平泳ぎキック動作中に働く流体力推定法は、巻き足中に働く流体力の評価にも有用であることが確認された。この方法では、足部に圧力センサを対にして装着し、足背と足底の圧力差を算出するため、鉛直方向での動作が大きな巻き足においても静水圧の影響を受けずに流体力が推定できたと考えられる。

一方で、各対象者の流体力の絶対値を比較すると、足部に大きな流体力が働いていれば支持した正味の荷重も大きいという関係は認められなかった。これは、足部に働く流体力の全てが上方への推進力となるのではなく、足部に働く流体力の鉛直方向成分が推進力となるためである。つまり、対象者 A のように足部に働く流体力が大きいにも関わらず支持した正味の荷重が小さい場合では、流体力の増大ではなく、流体力の鉛直方向成分の割合を高め、効率的な動作をすることが課題となる。反対に、対象者 E のように足部に働く流体力が小さいにも関わらず支持した正味の荷重が大きな場合では、効率的な動作を行っているため、さらなるパフォーマンスの向上には流体力を増大させることが課題として考えられる。今後、圧力分布計測と同時に3次元動作を実施し、流体力の作用方向を明らかにすることができれば、動作の効率や各対象者の課題をより明確に示すことができるだろう。

流体力の試技中の変動パターンは、対象者によって異なっていた。巻き足中の足部に圧力センサを装着した松井ほか³⁾の研究では、未熟練者は負荷が大きくなると鉛直方向への蹴り下ろし動作が顕著となり、推力の変動が大きくなると報告されている。本研究においても、支持した正味の荷重が小さかった対象者 A は、流体力が最大値を示した直後に負の値となるように変動が大きく、蹴り足のような動作を行っていたと推察される。それに対し、対象者 E は流体力が最大値を示した後もう一度小さなピークを示しており、平均的に一定レベルの推力を発揮し続けていたと推察される。

5. 結 論

本研究は、圧力分布計測を用いた流体力推定法の巻き足への有用性を確認し、巻き足中に働く流体力の特徴を明らかにすることを目的とした。その結果、圧力分布から推定した巻き足中の流体力と支持した正味の荷重の間に有意な相関関係が認められ、流体力推定法の巻き足への有用性が確認された。さらに、得られた流体力の値と巻き足によって支持した正味の荷重の関係から、各対象者の課題を明らかにすることができた。また、対象者によって流体力の変動は異なり、各対象者の巻き足の特徴を明らかにすることができた。

付 記

本研究は、平成26年度体育系研究プロジェクトの助成を受けて行った。また、本報告は、日本水泳・水中運動学会2014年次大会論文集(2014)に掲載した原稿に加筆・修正を施したものである。

引用文献

- 1) Clarys, JP (1975) : Analysis of the eggbeater and breaststroke kicks in water polo. (Ed.) Clarys, JP and Lewillie, L (In) Swimming II. Proceedings of the International Symposium on Biomechanics and Medicine in Swimming. University Park Press, Baltimore, 241-246.
- 2) Homma, M and Homma, M (2005) : Coaching Points for the Technique of the Eggbeater Kick in Synchronized Swimming based on Three Dimensional Motion Analysis. Sports Biomechanics 4 (1) : 73-88.
- 3) Kudo, S, Yanai, T, Wilson, B, Takagi, H, and Ross, V (2008) : Prediction of the fluid forces acting on a hand model in unsteady flow condition. Journal of Biomechanics 41 : 1131-1136.
- 4) 松井敦典, 小林一敏, 土居陽治郎 (1984) : 立ち泳ぎにおける下肢の動作と推力発生メカニズムに関する研究. 東京体育学研究. 11 : 59-62.
- 5) 高木英樹, 野村照夫, 松井敦典, 南隆尚, 合屋十四秋 (1999) : スカーリング動作による推力発揮に関する流体力学的考察. 三重大学教育学部研究紀要. 50 : 111-119.
- 6) 角川隆明, 高木英樹, 仙石泰雄, 椿本昇三 (2012) : 平泳ぎ泳パフォーマンスと圧力分布から推定した足部流体力との関係. 体育学研究 57 : 515-525.