

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 5 月 30 日現在

機関番号：12102

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2012～2014

課題番号：24300215

研究課題名(和文)水中におけるヒトのロコモーションの仕組み - 水中動作解析システムの構築と応用 -

 研究課題名(英文) Dynamics and awareness of swimmers during underwater undulation swimming
 -Establishment of measuring system for under water movements-

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) 7,400,000円

研究成果の概要(和文)：水中ドルフィンキック泳(以下UUSとする)は、泳タイム短縮に貢献できる潜水泳技術として近年着目されている。UUSにおいて、これまでキック頻度が最も泳速度に影響する運動学的変数であることが示されてきたが、これは泳者間の比較によるものであり、泳者内でキック頻度と泳速度が関連しているのかは明らかとなっていない。そこで本研究では、周期音を用いてUUSの頻度を直接調節し、泳動作を改善させる新たな方法論の開発に取り組み、その効果について運動学習の観点に加え、運動学、流体力学の観点など多角的に分析を試みた。その結果、周期音の利用により、UUSの動作がより効率のよい動作へと変容する可能性が示唆された。

研究成果の概要(英文)：Undulatory underwater swimming (UUS) is an important swimming technique after a start and after turns. It was considered that a higher swimming velocity (U) resulted from a higher kick frequency (f), and greater propelling efficiency, i.e., Strouhal number (St) and Froude efficiency (F), resulted from a lower f . The aim of this study was to investigate whether changing f affected U and St , F plus other kinematics of UUS. In conclusion, increasing f did not affect U , but decreasing f significantly decreased U . Depending on the swimmer, it was expected that incremental changes in kick frequency may increase the average U , in fact there were three swimmers whose average swimming velocity was improved. Decreasing f had no effect on either F or St ; however, increasing f had a negative effect on F . As for human undulation mode, the wavelength per body length significantly decreased while F maintaining, which means a decrement in f seems to be suitable for human undulation training.

研究分野：バイオメカニクス

キーワード：水中ドルフィンキック 三次元動作分析 水中モーションキャプチャー 水中筋電 身体感覚 運動制御

1. 研究開始当初の背景

ヒトが水中環境において運動する場合、浮力や抵抗の影響で必然的に陸上とは異なった口コモーション(運動様式)とならざるをえないが、水中で合目的に運動するためには、効率がどの程度であるのかを正確に見積もる必要がある。たとえば競泳のように水中をできる限り速く移動しようと思えば、抵抗の少ない水平姿勢をとり、水を捉えて進む必要がある。しかしどれだけ推進力を発揮しているかを正確に測定することは、たやすい事ではない。近年流体力学的解析手法が発展したことで、ようやく推進メカニズムの解明が進みつつある。たとえば Miwa et al.(2006) は、水の流れが粒子によって可視化された回流水槽内で、ドルフィンキックを対象として分析を行った結果、蹴り下ろし動作後に泳者の後方ヘドーナツ型の渦が発生し、この渦が推進力発揮に寄与していることを明らかにしたが、推進力の定量には至っていない。

一方競泳では、スタートとターン後に行う水中ドルフィンキック泳(以下 UUS とする)があり、泳タイム短縮に貢献できる潜水泳技術として近年着目されている。UUS において、これまでキック頻度が最も泳速度に影響する運動学的変数であることが示されてきたが、これは泳者間の比較によるものであり、泳者内でキック頻度と泳速度が関連しているのかは明らかとなっていない。泳者のキック頻度を直接調節する方法の 1 つに周期音を用いた方法があり、この方法を用いることで頻度と泳速度の関係を調査できる。さらには、周期音と運動の同期によって、ヒトが自然にとりリズムが改変される可能性が示唆されており、この周期音を利用した方法によって泳者の全力泳時のキック頻度を変える可能性もある。その一方で、ヒトが運動中に向ける注意が変わることで運動学習が阻害される可能性が示されており、周期音を用いることで泳者の泳技能習熟を阻害することが危惧されているので、様々な観点から分析および検証が必要となっている。

2. 研究の目的

本研究では、以下の 3 つの目的を設定した。大学競泳選手を対象に、(1) 泳技能習熟と泳者の身体感覚の関連性を調査する、(2) 泳者内における UUS のキック頻度と泳速度の関連性を明らかにする、(3) キック頻度調節の介入が直後の UUS の泳動作に及ぼす影響について運動学習の観点を加味して検討する。

3. 研究の方法

(1) 泳技能習熟と泳者の身体感覚の関連性
大学競泳選手が泳技能改善時に重視している身体感覚について質問紙調査を行った。対象者は全国 296 名の大学競泳選手とし、泳フォーム改善時に重視している身体感覚 12 項目(例: 泳中にタイミングを意識して

いるか)について 7 段階尺度(全くそう思わない~とてもそう思う)で回答させた。12 項目に対して因子分析を行い、因子を決定した。また、12 の質問項目間の差の検定には、繰り返しのある一元配置分散分析(ANOVA)および Sidak 法を用いて比較した。分散分析にて Mauchly 球面性検定を行い、球面性が仮定できなかった場合には Greenhouse-Geisser の ϵ を利用して修正された自由度を採用した。因子間の関係性は、因子を構成する下位尺度得点を用いて Pearson の相関係数によって評価した。また、パフォーマンスレベルと身体感覚との関係性についても、対象者の資格級と各因子の下位尺度得点との Pearson の相関係数によって評価した。

(2) 泳者内における UUS のキック頻度と泳速度の関係性

回流水槽にて泳者の泳速度増加の方略を確認した。9 名の大学競泳選手を対象とし、各泳者の全力泳時の 70%~95% の泳速度に設定して泳がせた。対象者の身体 7 点の関節点に LED マーカー(図 1 参照)を貼り付け、水中モーションキャプチャシステムを回流水槽側面に設置し、ドルフィンキック中の泳動作を 5 台のモーションカメラ(VENUS3D 100A, Nobby Tech. Ltd., Japan)で記録し、その時の泳動作を 2 次元動作分析した。



図 1 マーカーとして用いた LED

(3) キック頻度調節の介入が直後の UUS の泳動作に及ぼす影響

対象者は 10 名とし、周期音を用いて頻度調節を行った前後に全力で泳ぐよう指示した。運動学的変数だけでなく、前述した質問紙を応用して身体感覚についても回答させ比較した。また、頻度調節時に周期音と同

期する手間を省けるか、プールサイドで音を聞いて再現する試技も同時に行った。

4. 研究成果

(1) 泳技能習熟と泳者の身体感覚の関連性

大学競泳選手が泳技能改善時に重要に考えている身体感覚は、体性感覚因子、時間調節因子、特殊感覚因子の3因子構造であることが明らかとなった。特に重視している身体感覚は「タイミング」「リズム」の時間調節と、「水の抵抗」「関節角度」「身体位置」「運動効率」の体性感覚で、その一方で「聴覚」「視覚」の特殊感覚は重要性が低いことが明らかとなった。3因子の下位尺度得点とパフォーマンスレベルに係性は見られず、性別でも差が認められなかったことから、大学競泳選手以上では、パフォーマンスレベルや性に関係なく、重視する身体感覚の程度に差は無いことが示唆された。長距離タイプの方が短距離タイプに比べて時間調節の下位尺度得点が有意に高かったことから、長距離タイプの泳者ほどリズムやタイミングを重視していることが明らかとなった。泳法別では、平泳ぎの方が自由形に比べて体性感覚の下位尺度得点が有意に高かったことから、平泳ぎの泳者は体性感覚を重視していることが明らかとなった。

(2) 泳者内における UUS のキック頻度と泳速度の関係性

泳者は泳速度の増加に対応して、つま先の振幅を維持したままキック頻度を増加させており、同一泳者内で泳速度とキック頻度が比例関係にあることが明らかとなった。また、泳速度が増加しても、ストローク数は影響を受けず、渦を生成する能力は維持されている可能性が推察された。さらに泳者は、身体波速度を増大させ、下肢のみではなく全身の振幅を素早く連動させる様子が観察された。フルード効率、波長は変化せず、推進効率とうねり様式を変化させずに泳速度増加の方略を取ることが示唆された。これらのことから、泳者が泳速度を増加させる際の方略が明らかとなった。

(3) キック頻度調節の介入が直後の UUS の泳動作に及ぼす影響

泳者は音を聞いて頻度を記憶するだけで要求されたキック頻度を再現できることが示された。また、介入前後の比較では、運動学的変数には有意差は認められなかったものの、時間調節への意識が高まる傾向がみられた ($p = .07$)。このことから、周期音を用いた頻度調節は、泳動作への悪影響は認められず、泳技能改善が見込まれる意識の状態になる可能性が示唆された。また水泳において頻度調節のために周期音を使用することは理に適っており、使用後には泳技能改善が見込まれる身体感覚へと意識が向くことが示唆された。また、泳者内においてキック頻度と泳速度の関係性は最大努力時以下までは

関連し、それ以上キック頻度を増加させても泳速度は頭打ちとなることが示唆された。一方、最大努力時以上のキック頻度で泳ぐと泳速度が増加する泳者も見られ、泳者によっては最適値が存在する可能性が示された。よって、周期音を用いた手法は、大学競泳選手を対象とした場合において、ドルフィンキックの泳パフォーマンス向上に有用であることが示唆された。

< 引用文献 >

Miwa, T., Matsuuchi, K., Shintani, H., Kamata, E., & Nomura, T. (2006). Unsteady flow measurement of dolphin kicking wake in sagittal plane in 2C-PIV. In J. P. Vilas-Boas, F. Alves & A. Marques (Eds.), *Biomechanics and Medicine in Swimming X* (pp. 64-66). Porto: University of Porto.

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計4件)

Hirofumi Shimojo, Yasuo Sengoku, Tasuku Miyoshi, Shozo Tsubakimoto, Hideki Takagi: Effect of imposing changes in kick frequency on kinematics during undulatory underwater swimming at maximal effort in male swimmers. *Human Movement Science*, 査読有, 38: 94-105, 2014. DOI: 10.1016/j.humov.2014.09.001

下門洋文, 仙石泰雄, 椿本昇三, 高木英樹: 屋内プールおよび回流水槽におけるドルフィンキック泳のキネマティクスと競泳泳者が抱く身体感覚. *体育学研究*, 査読有, 59(1), 237-249, 2014. DOI: <http://doi.org/10.5432/jjpehss.13103>

Nakashima, M., Hasegawa, T., Kamiya, S., Takagi, H.: Musculoskeletal Simulation of the Breaststroke. *Journal of Biomechanical Science and Engineering*, 査読有, 8, 152-163, 2013. DOI: <http://doi.org/10.1299/jbse.8.152>

下門洋文, 仙石泰雄, 椿本昇三, 高木英樹: 大学競泳選手が泳技能改善時に重視している身体感覚. *体育学研究*, 査読有, 57(1), 201-213, 2012. DOI: <http://doi.org/10.5432/jjpehss.11033>

[学会発表] (計2件)

下門洋文, 仙石泰雄, 三好扶, 椿本昇三, 高木英樹: ドルフィンキックのキック頻度と泳パフォーマンスの関係性. 日本水泳水中運動学会 2014 年次大会, 2014.11.16, 愛知学院大学 (愛知県名古屋市中区)

下門洋文, 椿本昇三, 高木英樹: 泳速度増加に応じたドルフィンキックのキネマティクス変化. 日本水泳・水中運動学

会 2013 年次大会， 2013.11.3，早稻田
大学（埼玉県所沢市）

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

中島 求 (NAKASHIMA, Motomu)
東京工業大学・大学院情報理工学研究科・
教授
研究者番号：20272669

三好 扶 (MIYOSHI, Tasuku)
岩手大学・工学部・准教授
研究者番号：研究者番号：10392193

(3)研究協力者

下門 洋文 (SHIMOJO, Hirofumi)