

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 22 日現在

機関番号：33111

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24500778

研究課題名(和文)聴覚を介した推進力フィードバックが泳動作に与える影響

研究課題名(英文)Effect of auditory feedback of propulsive force on motion in swimming

研究代表者

市川 浩 (Ichikawa, Hiroshi)

新潟医療福祉大学・健康科学部・講師

研究者番号：20375463

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究課題ではクロール泳中の手掌部が発揮する推進力を、圧力測定により推定し、その大きさをリアルタイムで泳者に聴覚フィードバックするシステムを開発した。開発前段階の調査では、手掌部の動作パターンによって手掌部圧力から推定する推進力の精度が低下する場合があること、また、推進力の大きさだけではフィードバック情報として不十分な泳技能レベルがあることが示唆された。これらの課題はあるものの、本システムの開発により、泳中の力情報をフィードバックすることによる影響や効果を検討することが可能となった。

研究成果の概要(英文)：The purpose of study was to develop an auditory realtime feedback system for improving swimming technique. The propulsive force on a front crawl swimmer's hands was selected as feedback signal. The amplitude of force was estimated using four pressure transducers in sensor logger system attached on a swimmer's lumber. The signal of propulsive force was converted to auditory frequency, and output via a waterproofed headphones. The accuracy to estimate the propulsive force from measurements of pressures would not be enough in cases of unsteady motion of hand. The development of the system would make it possible to discuss the effect and contribution of the feedback of force on swimming motion in order to improve swimming technique.

研究分野：スポーツ科学

キーワード：クロール泳 推進力 圧力 フィードバック

1. 研究開始当初の背景

スポーツなどの身体運動を撮影・計測し、その情報を運動者にフィードバックすることはトレーニング効率を高め、パフォーマンスの向上に貢献できるものと考えられている。しかし、フィードバックがそのパフォーマンスへの影響や貢献を検討した研究は決して多くはなく、トレーニングやコーチング現場のニーズに学術的な情報が追いついていない現状がある。センサによる身体運動計測は即時性に優れ、コンピュータ等による処理が容易であることから、運動を行っている最中にアスリートへ計測結果をフィードバックできる。比較的単純な信号であれば、処理時間を要せずにほぼリアルタイムでのフィードバックが実現する可能性がある。過去、センサ装着による身体拘束がパフォーマンスへ及ぼす影響が懸念されていたが、近年の小型軽量化により、水中での利用も容易となってきた。

2. 研究の目的

本研究課題では競泳競技のトレーニングを対象に、圧力センサを使用することで泳者が発揮する推進力を評価し、アスリートに聴覚を介してフィードバックするシステムを開発する。手掌で発揮する推進力をクロール泳中の競泳選手にフィードバックし、これが泳動作やパフォーマンスに及ぼす影響を調査することを目的としたものである。

3. 研究の方法

本研究課題の目的を達成するために、以下の小課題を設定し、それぞれについて実施した。

(1) パドル表面圧力分布測定による推進力推定手法の検証

ヒトの手腕部を模したパドル(平板)表裏5箇所に計10個の薄型圧力センサを装着し(図1)、水中をストロークさせた際の圧力計測を行った。さらにパドルには力計測用ロードセル、動作計測のための慣性センサを装着し、その運動の様子を測定するためのビデオ撮影をあわせて行った。圧力センサから得られた各圧力値 p_i を用い、パドルが水から受ける推進力

$$F_{estimated} = A \sum_{i=1}^{10} (w_i p_i) \quad (式1)$$

を推定するものとした。ここで A はパドルの面積であり、各圧力値に乘じる重み w_i を決定する問題とすることができる。さらに、ロードセルで測定する力 F_m 、三軸加速度センサが検出する加速度 $\ddot{x} - g$ 、パドルの入水体積から算出する浮力 F_b から、検証用力を

$$F_{measured} = m(\ddot{x} - g) + F_m - F_b \quad (式2)$$

として算出した。ここで m はパドルの質量である。これらと比較することで推定の妥当

性を検証した。

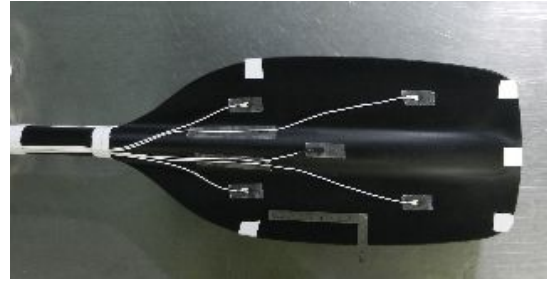


図1 対象としたパドルと圧力センサの配置

(2) 競泳選手がクロール泳中に手掌部が発揮する流体力の測定

女子学生競泳選手2名を被験者とした実験を行った。被験者は左右両手掌部に1対ずつの圧力センサを装着した状態で、クロール泳試技を異なる3段階の強度(slow, middle, fast)で実施した。また試技中の動作を5台のビデオカメラ(水中2台、空中3台)で撮影した。

(3) 水泳中の手掌部が発揮する推進力を聴覚フィードバックするシステムの開発

これまで得られた実験、分析結果から得た情報を元に聴覚フィードバックシステムを開発した。1度に4個の圧力センサから信号を入力し、演算により手掌部が発揮する推進力を算出する。この大小を周波数の高低に変換して出力するものとした。演算の手法、出力のパターンなどの仕様を決定し、デバイス製作は専門業者に委託した。音出力には水中利用可能な防水型骨伝導ヘッドフォンを利用するものとした。

4. 研究成果

(1) 主要な成果

パドル表面圧力分布測定による推進力推定手法の検証

式1を変形することで、パドル表裏5箇所の圧力差 Δp_j に重み付けし、それらの和にパドルの面積を乗じたものをパドルが発揮する推定推進力とした。

$$F_{estimated} = A \sum_{j=1}^5 (w_j \Delta p_j) \quad (式3)$$

この $F_{estimated}$ を、ロードセルなどから算出した検証用力 $F_{measured}$ と比較し、その差の二乗和が最小となる w_j を、最小二乗法により算出した。

これにより、パドル中央部に近い部位の圧力差の影響が強いことが確認されたが、パドル動作によっては、推定値と測定値に乖離が観察されるなど、推定の精度に課題が見られた(図2)。クロール泳を想定し、推進力推定をするためには、泳者が実際に取りうる動作

範囲とその際の推進力変動の関係を得る必要があるものと考えられ、非定常性の強い動作局面では、式1や式3による単純な推進力推定は困難である可能性が示唆された。

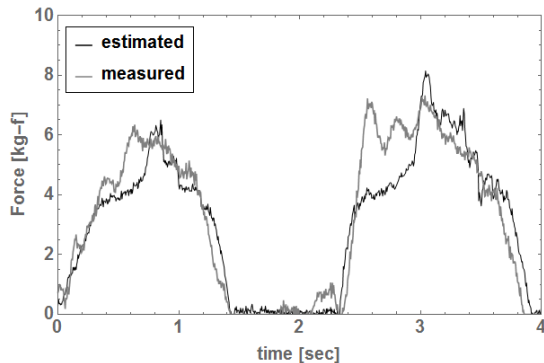


図2 圧力計測から推定したパドルが発揮する推進力とロードセルにより測定した力の比較

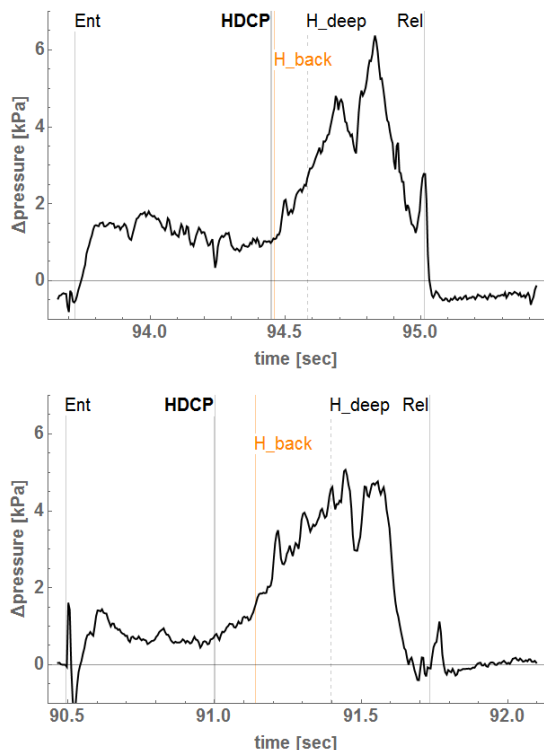


図3 クロール泳中の手掌中央部表裏の圧力差(上図: 上級者, 下図: 中級者)。図中鉛直線 Ent・HDCP・H_back・H_deep・Rel はそれぞれ、手掌部の入水・圧力差増加・後方への移動開始・最深点到達・出水の時刻を表す。

競泳選手がクロール泳中に手掌部が発揮する流体力の測定

手掌中央(第3中手指節間関節付近)の背側と掌側にそれぞれ圧力センサを装着し、手掌部全体が後方(推進方向と逆側)に移動する時刻(HDCP)と、圧力差が増加し始める時刻(H_back)の一致状況を検証した。比較的高い泳技能を有する被験者は両時刻がほぼ一致していたが、中級者は手掌部全体が後方

へ移動するよりも、圧力差が増加する時刻が早く現れる様子が観察された(図3)。このことは手掌部で発揮する流体力の方向が泳技能と関係していることを示唆している。泳技能によっては、手掌部で発揮される流体力の大小だけでなく、その方向を考慮したフィードバックを検討する必要があるものと考えられた。

水泳中の手掌部が発揮する推進力を聴覚フィードバックするシステムの開発

4つの圧力センサが感受した信号を入力することで、4つの圧力値の重み付け平均値を算出し、この大きさを音周波数の高低と対応させ、防水型骨伝導ヘッドフォンで出力するフィードバックシステムを開発した(図4)。

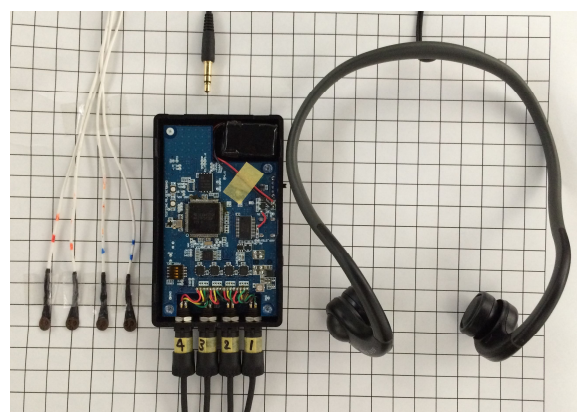


図4 開発した泳流体力聴覚フィードバックシステム。圧力センサ部(図中左)・ロガー本体(図中中央)・ヘッドフォン部(図中右)により構成される。

これにより、圧力センサ4chを手掌部に装着し、泳中の手掌部圧力を計測しつつ、手掌部に働く流体力の大きさを聴覚経由でフィードバックすることが可能となった。クロール泳の推進力フィードバックには、左右両手掌部の第3中手指節間関節の掌側と背側にそれぞれ圧力センサを装着するものとし、左右それぞれの掌側-背側間の圧力差を足したものを利用することとした。

入力した圧力値は内蔵メモリに記録可能であることから、泳試技後に詳細な分析を行ったり、遅延的フィードバックしたりすることも可能となった。

泳中に装着する圧力センサ部・ロガー本体部・ヘッドフォン部の間は有線接続した。泳者の負担をできるだけ抑える配慮はしたものの、上肢や体幹部に沿った配線やその固定のための手間や時間が必要となった。将来的に各部間の通信手法が改善されることで、このような問題が解消されることが期待される。

(2) 得られた成果の位置づけと今後の展望
競泳のように closed skill な運動に関しては、筋運動感覚など体内からの情報を含む

内的フィードバックの重要性が知られている。位置や角度などによって表される姿勢に関する運動学情報(kinematics)は、視覚情報によって把握され、運動の記述や指導ポイントとして用いられることが多い。しかし、運動学的情報は物理的な解釈に直結せず、その挙動が運動者の力感覚と一致するとは限らない。今回のフィードバックの対象とした推進力は、「発揮した力で加速する」のように内的な感覚を説明するのに適した物理量であると考えられる。現時点で推進力推定手法やフィードバック手法に課題が残るものの、このような開発が泳ぎ技能へのフィードバックの影響や効果の検討を可能にしたと言える。今後、このシステムを使用したフィードバックが泳ぎ動作に及ぼす影響を検討していく。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表](計 1 件)

Ikuta Y., Ichikawa H., Matsumoto T., Tachi M., Matsuda Y., The time difference between the increase of hand pressure and the beginning of hand's backward movement during catch in front crawl swimming, XIInd International Symposium on Biomechanics and Medicine in Swimming, 2014.04.28-05.02, Canberra, Australia

6. 研究組織

(1)研究代表者

市川 浩 (ICHIKAWA HIROSHI)

新潟医療福祉大学・健康科学部・講師

研究者番号：20375463

(2)研究分担者

田場 昭一郎 (TABA SHOICHIRO)

福岡大学・スポーツ科学部・講師

研究者番号：50309928

田口 正公 (TAGUCHI MASAHIRO)

福岡大学・スポーツ科学部・教授

研究者番号：80078542