

クロール泳における手部に生じる 圧力差と推進力に関する研究

上藤 重忠 (Shigetada Kudo)

高木 英樹 (Hideki Takagi)

小野木 裕 (Hiroshi Onogi)

草川 良種 (Yoshitane Kusagawa)

三重大学大学院教育学研究科

三重大学教育学部

ジャパンテクノメイト

ジャパンテクノメイト

〔要旨〕

本研究はクロール泳における手掌と手背部に発生している圧力値を計測し、水泳運動のパフォーマンスを客観的に評価するのに手部の圧力差を利用することが有用であるかを検討した。また手部圧力値の計測とともに実際の推進力も同時に計測を行った。手掌と手背部にそれぞれ3個ずつ圧力センサーを取り付け、計測されたそれぞれの圧力値を手掌部側から手背部側を差し引くことで手部で発生している圧力差を求めた。回流水槽に推進力計測装置を設置し、流速は0~1.6m/sの間で、4つのペースを設定して実験を行った。

手部の圧力差と推進力の関係を調べた結果、圧力差が増加するに伴って推進力も増加するという結果が得られた。また1ストローク中における圧力差の推移は先行研究同様、入水からフィニッシュにかけて幾つかのピークをつくりながら上昇する形を示した。これらの結果より水泳運動中の手部の圧力差は水泳のパフォーマンスを評価できる指標であると考えられた。

◆キーワード：クロール、圧力差、手部出力、推進力

1. 目的

クロール泳においては推進力の大部分は、手によって発揮されていると考えられている。手による推進力を定量化する方法としてこれまで画像解析が中心であった。しかしこの方法は多大な労力と時間を要し、また現場へのフィードバックがすぐにはできないという欠点がある。

水泳運動中において手手が水中を動くとき、手掌と手背部の間に圧力差が生じ、この圧力差によって泳者は推進力を得る。この圧力差を定量化し客観的に評価することができれば推進力の推定ができ、またストロークテクニックを考察することが可能となる。また、圧力差から推進力やストロークテクニックを考察する方法はリアルタイムで選手や指導者にフィードバックすることを可能とする。

そこで本研究では、実際のクロール泳において手部の圧力差と推進力を計測し検討することで、今後圧力差がパフォーマンスを評価し得る指標であることを明らかにすることを目的とした。

2. 方法

2.1 被験者

被験者は年齢20±2（平均±SD）歳、身長1.71±0.044m、体重63.7±7.0kg、手部平面積0.0145±0.0008㎡の健康な大学水泳部員男子6名とした（表1）。

表1 各被験者の身体特性

被験者	年齢(歳)	身長(m)	体重(kg)	手部面積(m ²)
A(男)	22	1.72	63.5	0.0146
B(男)	22	1.69	61.0	0.0135
C(男)	21	1.70	65.5	0.0150
D(男)	18	1.79	63.7	0.0147
E(男)	18	1.71	75.0	0.0156
F(男)	18	1.66	53.5	0.0136
平均値	20	1.71	63.7	0.0145
標準偏差	2	0.044	7.0	0.0008

2.2 測定装置

図1に本研究の測定機器の構成図を示した。

①回流水槽

NKKの船舶実験用回流水槽を使用した。この回流水槽は、静水中を泳いだ場合との誤差(流速分布の不均一性、平均水平勾配、定常波発生等)が最小になるような制御システムによって動いている。

②泳者用ハーネス

泳者に着用させたハーネスは、ハーネス自体の抵抗をできる限り低減することと、激しい運動にも関わらず、身体にフィットすることを開発上の課題とし、ウエットスーツの下腹部とベルトを組み合わせたデザインのものである。

③推進力計測装置

泳者の泳運動を妨げないように、起こりうるすべての動き(左右、上下)に対応できるように配慮し、前後方向のみの力を測定できるように設計した。そして、推進力計測装置のロッドを泳者着用の特製ハーネスにつなぎ、推進力計測装置を泳者の上方に取り付けた。泳者の1ストローク中の泳速の動揺を考慮に入れて、ロッドは前後に少しだけ可動するようになっている。出力はサンプリング周波数10HzでA/D変換した後パーソナルコンピュータに入力した。

④圧力センサー

泳者の右手掌部、右手背部のそれぞれの人さし指、

中指、薬指の中手指節関節付近に防水加工を施した小型圧力センサーを計6つ着用させた。手背部における人さし指の圧力センサーをPS1、中指部をPS2、薬指部をPS3とし、手掌部における人さし指部をPS4、中指部をPS5、薬指部をPS6とした。この圧力センサーの信号は、サンプリング周波数10HzでA/D変換した後、推進力のデータと共にパーソナルコンピュータに入力した。

⑤ビデオカメラ

家庭用8mmビデオカメラ(Sony社製)1台を回流水槽の測定部にあたる側部観測窓(泳者の右側)に固定し泳者を撮影できるようにした。この映像からクロール泳時において、規定されたペースを保持してプル動作を行っていたかを確認した。また、撮影したVTR中にビデオタイマーの表示を写し込んだ。

⑥同期装置

ビデオ画像と推進力および圧力データを同期させるためにフラッシュを用いた。試技開始の合図の約5秒後に同期スイッチを押してフラッシュを発光させ、その閃光をビデオに記録するとともに、電気回路内の電圧変化を推進力および圧力データと一緒にコンピュータに入力し、両データの時間的同期をはかった。

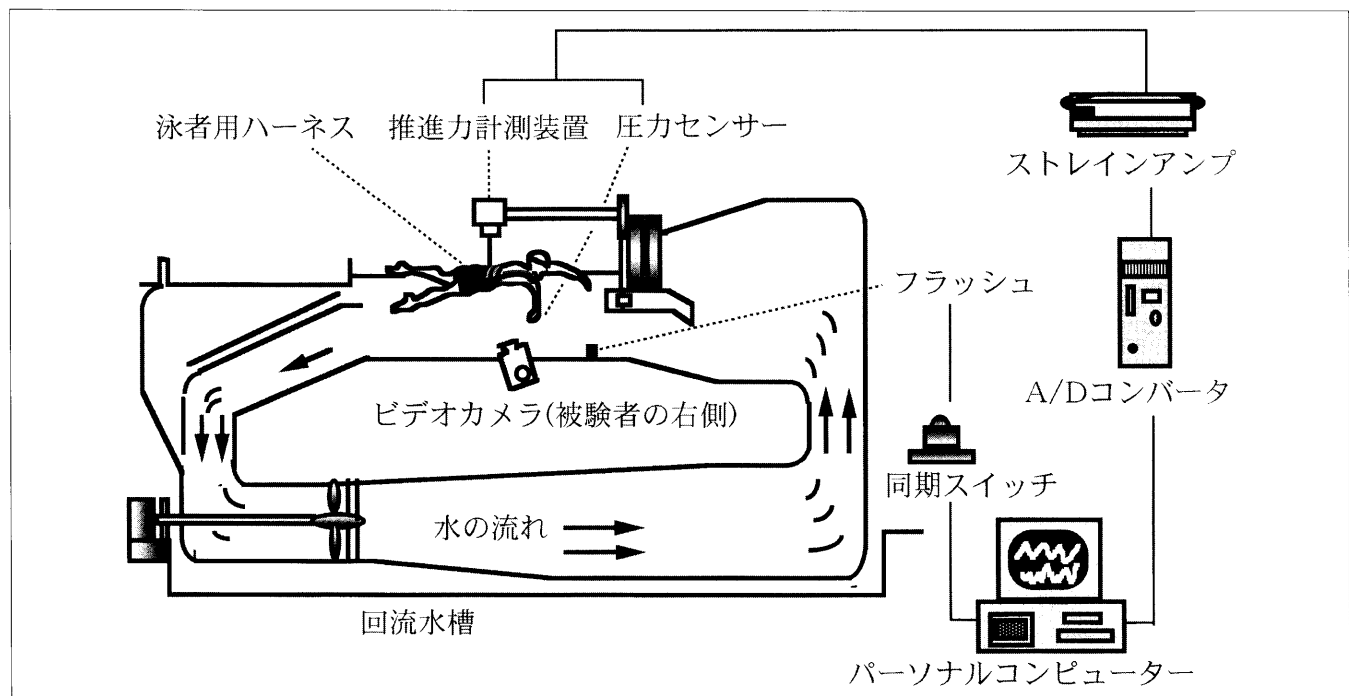


図1 実験構成図

2.3測定方法

泳者はロッドに固定された状態で4つのストローク頻度（以下「SR」と略す）で流水中を泳いだ。本実験では、SRの変化による圧力差と推進力の関連を検討するために4つのSRを設定し、そのペースを約10秒間維持して泳ぐよう被験者に指示した。4つのSRの決定方法は、クロール全力泳をSRmaxとし、この10秒間のストローク回数を基準に、ストローク回数を3/4回、1/2回、1/3回としたものを、各々SR75%、SR50%、SR30%とした。各SRを維持して泳ぐことができなかつた時は、もう一度やり直しを行った。これらのSRで圧力値、推進力値を試技開始の約5秒後から10秒間測定を行った。

回流水槽の流速はSRmaxが1.2~1.6m/s、SR75%が1.0~1.5m/s、SR50%が0.7~1.3m/s、SR30%が0.4~1.0m/sで測定を行った。推進力計測装置による余剰推進力の計測値がマイナスを示した時点で各々の測定を終了したため、個人により試技した流速の範囲は若干異なつた。

2.4分析方法

手掌面と手背面の人さし指、中指、薬指の中手指関節節付近に各々装着した圧力センサーから出力されたデータは、各々手掌面から手背面の圧力を差し引き（PS4-PS1、PS5-PS2、PS6-PS3）、それらの3箇所の圧力差の平均値を手部全体を代表する圧力差とした。そして、各被験者のすべての試技において、フラッシュ発光直後の1ストロークにおける右手の入水からフィニッシュまでの圧力差と推進力の平均値を求めた。また各被験者の手部の平面積を測定し、これに圧力差を乗じることで手前で発生している流体力を求め、これを手部出力とした。指先から尺骨と橈骨の骨端までを手部の平面積とした。

本実験の推進力の測定方法は、Takagi et al.⁴⁾の方法により余剰推進力と自己推進時抵抗(Active Drag)の測定を行い、2つの測定値から推進力を導き出した。Active Dragとは、自らの四肢の運動により推進力を発揮し、水中を進んだ場合に発生する様々な抵抗をあわせたものである。余剰推進力とは、自己の発揮する推進力からActive Dragを差し引いた流体力を指す。これが推進力計測装置によって直接計測された。また本研究では、余剰推進力にActive Dragを

加えたものを総出力とした(図2)。つまりこれが実際に泳者が発揮している出力である。

被験者Eに関してはSRmax、流速1.5m/sにおける5ストロークの手部出力を検討するため、各々のストロークにおける手部出力のデータに関して補間を行い、各1ストロークの入水からフィニッシュまでの時間を百分率で表した。

Svec³⁾は手部の圧力値を1箇所求めて、それを手前における圧力値の代表値としている。本研究では6箇所の圧力値より3箇所の圧力差を計測し、また圧力差を使うことで静的圧力の影響を取り除くことができた。

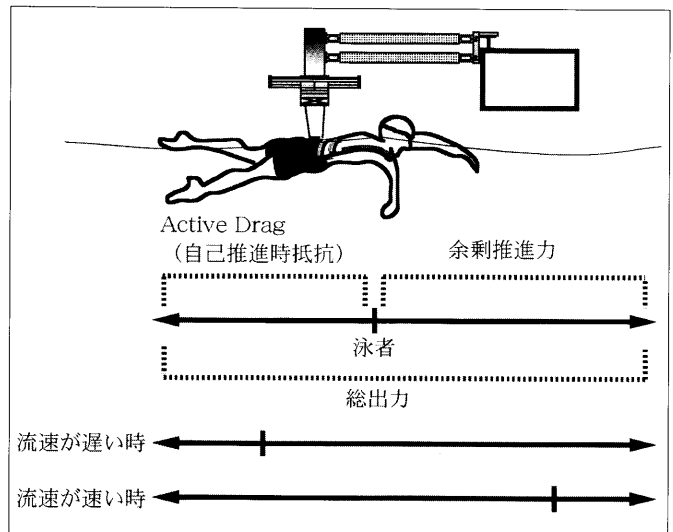


図2 総出力

3. 結果及び考察

被験者Eにおける総出力と手部出力の関係を図3に示した。図3から手部出力と総出力に有意な正の相関があることが明らかになった。手部出力は手前の大きさに起因する面もあるが、大きくは手前における圧力差が関係していると考えられる。被験者6人中5人の総出力と手部出力に有意な正の相関が認められた。図4に唯一相関がなかつた被験者Bの結果を示した。SR50%において推進力があまり出ないのにも関わらず、大きな圧力差が計測された。これは推進方向と違う方向に手部出力が発揮されていたことが考えられる。しかし、本研究では実際に力が働いている方向までは推定できなかったため、明らかにすることはできなかった。

手部出力の増加に伴って、余剰推進力とActive Dragの和である総出力が増加したということは、手部の圧力差は推進力の一部を反映していると言える。

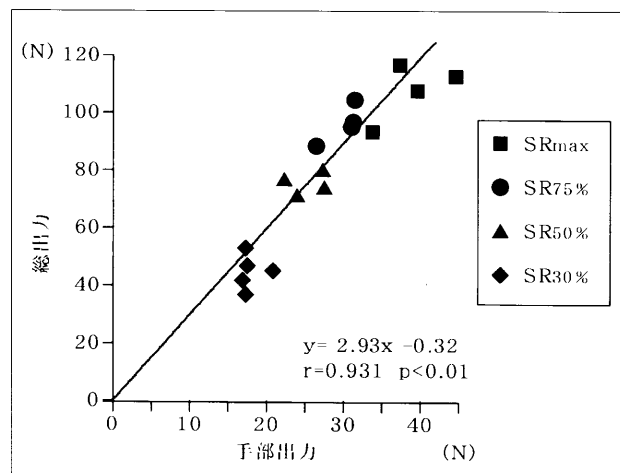


図3 被験者Eにおける手部出力と総出力

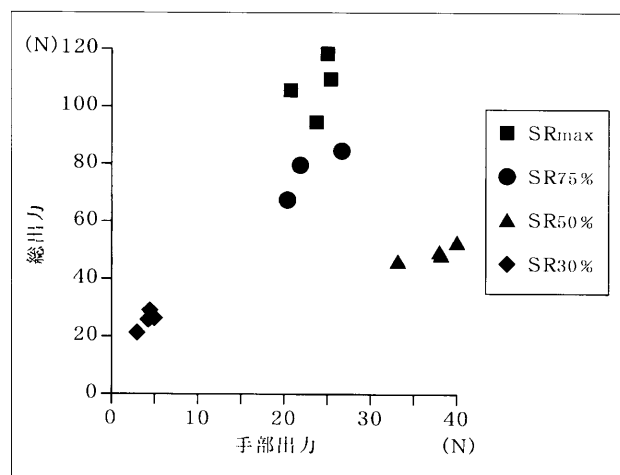


図4 被験者Bにおける手部出力と総出力

被験者Eにおける5回のストロークの手部出力の平均値を図5に示した。図のようにクロール泳での手部出力は幾つかのピークをつくってフィニッシュの手前にかけて上昇を示した。この結果は1つのセンサーを使って手部の圧力値を測定したSvec²³⁾、圧力差を用いたLoetz et al.¹⁾そして画像解析により手部の出力を求めているSchleihauf et al.²⁴⁾らと同様であった。本研究は前者2つの先行研究に比べて、かき込みの局面で圧力値の大きな上昇が見られなかった。これは本研究のサンプリング周波数が低かったことが原因の1つとして考えられる。しかしこのように圧力値のモニタリングによって、各ストロークの入水、キャッチ、押さえ、かき込み、かき上げなどを局面的に考察することは可能であると考えられる。

本研究の手部出力の値は、Schleihauf et al.²⁴⁾のものに比べて小さな値を示した。圧力値から実際の手部の流体力を推定する研究は数が少ないため、基礎的なデータの集積が必要である。また、今後本研究より高いサンプリング周波数にして精度を上げる必要もある。しかし、ストロークテクニックを評価するのに手部の圧力値を使う方法は、リアルタイムで選手や指導者にフィードバックを行うことができるという利点がある。

以上のようなことから、クロール泳中における手部の圧力差はパフォーマンスの指標になり得ると言える。

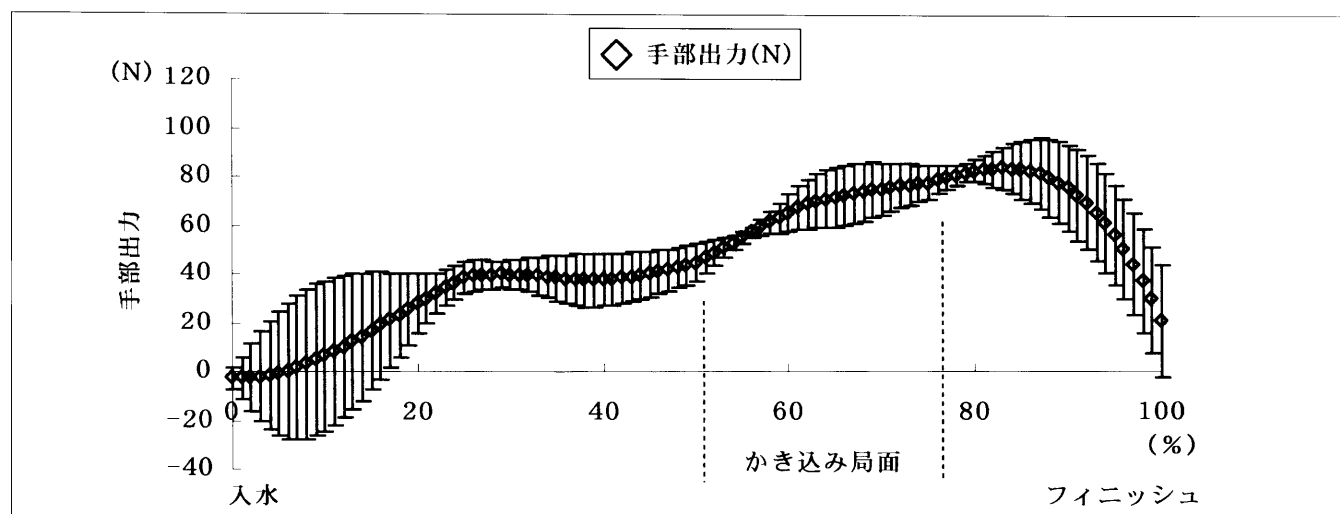


図5 被験者Eにおけるストローク頻度SRmax、流速1.5m/sの5ストロークの平均手部出力

4. 謝辞

本研究は三重大学水泳部の協力を得て実施されました。ここに感謝いたします。

【参考文献】

- 1) Loetz, C., Reischle, K. and Schmitt, G. (1988) The evaluation of highly skilled swimmers via quantitative and qualitative analysis. Ungerechts, B. E. Wilke, K. and Reischle, K. Swimming Science V. Human Kinetics Books: Champaign, Illinois, 361-367.
- 2) E・W・マグリシオ 著／野村武男他訳 (1986) スイミングファースター. ベースボールマガジン社：東京, 22-79.
- 3) Schleihauf, R. E., Higgins, J. R., Hinrichs, R., Luedtke, D., Maglischo, C., Maglischo, E. W. and Thayer, A. (1988) Propulsive techniques: front crawl stroke, butterfly, backstroke, and breaststroke. Ungerechts, B. E. Wilke, K. and Reischle, K. Swimming Science V. Human Kinetics Books: Champaign, Illinois, 53-59.
- 4) Svec, O. J. (1982) Biofeedback for pulling efficiency, Swimming Technique 19: 38-46.
- 5) Takagi, H. Shimizu, Y. Onogi, H. and Kusagawa, Y. (1997) The relationship between coefficients of drag and swimming performance. Proceedings XII fina world congress on sports medicine: Goteborg, Sweden, 474-486.
- 6) Takagi, H. Wilson, B. (1998) Calculating hydrodynamic forces by using pressure differences in swimming. VIII international symposium biomechanics and medicine in swimming, Programme and abstracts: University of Jyväskylä, Finland, 137.