

平泳ぎ200m イーブンペースにおけるストロークサイクルの速度変化

馬場康博¹⁾ 佐藤大輔¹⁾ 市川 浩¹⁾ 櫻岡まりえ²⁾ 奈良梨央¹⁾ 下山好充¹⁾

Intracycle Velocity Fluctuations during the 200 m swimming of the steady pace breaststroke

Yasuhiro Baba¹⁾, Daisuke Sato¹⁾, Hiroshi Ichikawa¹⁾, Marie Sakuraoka²⁾,
Rio Nara¹⁾ and Yoshimitsu Shimoyama¹⁾

Abstract

This study aims to investigate the intracycle velocity fluctuations (IVF) and stroke parameters (Stroke Length and Stroke Rate) during the 200 m swimming of the breaststroke. Twenty-four competitive collegiate swimmers (females, $n=11$; males, $n=13$) performed with the maximum effort required to keep steady pace. Swimming performances were videotaped simultaneously using two cameras at different views (i.e., frontal and lateral views). Stroke cycles for each 50 m were analyzed over the 200 m swim course. IVF was employed during the breaststroke performance analysis to measure (1) the peak velocity during the kick ($V_{K_{peak}}$), (2) the peak velocity during the pull ($V_{A_{peak}}$), (3) minimum linear body velocity before the arm pull motion (V_{Glide}), and (4) minimum velocity with leg recovery ($V_{Recovery}$) calculated as a percentage of the mean swimming velocity. Videotaped swimming performances were analyzed to obtain the stroke rate, stroke length, and mean swimming velocity.

$V_{K_{peak}}$ significantly decreased in the last 50 m of the course. In addition, a significant increase was observed over the same interval for V_{Glide} . Although $V_{K_{peak}}$ decreased, swimmers maintained the mean swimming velocity, and V_{Glide} increased simultaneously. Thus, for a given subject, even if the mean swimming velocity remained constant, changes in IVF were observed during the 200 m swimming of the steady pace breaststroke.

It is concluded that the evaluation associated with IVF and stroke parameters provided useful and detailed race strategy and evaluation.

Key words: swimming, breaststroke, speed fluctuation, performance, steady pace

競泳, 平泳ぎ, ストロークサイクルの速度変化, パフォーマンス, イーブンペース

I. 緒言

水泳は、水の抵抗が泳速度に影響を及ぼすため、「高い泳速度を獲得することと、それを維持することあるいはその低下を小さく抑えることが求められる」(生田ほか, 2010)。特に平泳ぎは、腕と脚を水中で前方へ押し出すリカバリー動作がルールで義務づけられ、4泳法の中でも最も大きな抵抗が生じ (Kolmogorov and Duplishcheva, 1992)、エネルギー効率が悪い (Holmer, 1974; Barbosa et al., 2006) ことが明らかにされている。このことから泳パフォーマンスを詳細に評価するために、ストロークパラメーターなどの指標が

活用されてきた。

ストロークパラメーターは、ストローク長 (以下、「SL」) とストローク頻度 (以下、「SR」) で表し、レース分析の評価指標として活用される。SLとSRの積は泳速度として算出されることから、レース中の平均泳速度の変動を検討する際には同時にSLとSRの変動も考慮する必要がある。

国内の平泳ぎに関するレース分析において宮下ら (1998) は「レースにおける後半の泳速度の維持には、SRの増加が有効である」と提言している。これはストロークパラメーターを経時的に分析することでレース情報の詳細を獲得できることを示している。また、

1) 新潟医療福祉大学
Niigata University of Health and Welfare

2) 栃木県鹿沼市立東中学校
Kanuma junior school

ストロークパラメーターは1ストロークサイクルの速度変化(以下、「IVF」)などの指標と同時に評価される(D'Aquisto et al., 1988; Leblanc et al., 2007). IVFは、泳中の加速と減速を繰り返すことにより生じる1ストロークサイクルの速度変化を経時的に測定し、泳速度をより詳細に定量化できる指標である(D'Aquisto et al., 1988; 市川ほか, 2010). また, Costill et al. (1987)は「最も効果的なストロークサイクルのリズムと速度パターンを決定できる」と報告し, Leblanc et al. (2007)は「平泳ぎの技術的な特徴を定量化することに役立つ」, Psycharakis et al. (2010)は、「最大と最小の泳速度などキネマティックパラメーターの一部は泳パフォーマンスとつながっている」と述べている. しかし, 平泳ぎは一定距離の平均泳速度が同じだとしても, IVFにおける変動幅の大小が考えられる.

D'Aquisto and Costill (1998)は、平泳ぎの牽引装置による大学競泳選手を対象とした測定において「IVFは2回の加速局面と減速局面が生じることから、4ポイントに着目」している. 4ポイントとは、上肢と下肢のリカバリー動作、下肢キック動作終了後、ストリームライン姿勢の保持動作、上肢プル動作終了後である. この指摘に基づき, Seifert et al. (2011)の研究では同じ泳速度でも「高い泳速度を上肢動作で発揮するタイプと下肢動作で発揮するタイプ」と2つのタイプが存在することを指摘した. このことから、平泳ぎのIVFをより細かく評価するためには4つのポイントに着目することが妥当である.

IVFは、大転子や質量重心をもとに算出される. 「大転子と質量重心におけるIVFの指標には、高い相関関係がある」(Maglischo et al., 1987)ものの、大転子をもとにした算出は、質量重心よりも「1ストロークサイクルの速度変化が大きく」(Maglischo et al., 1987), 「最低となる泳速度(V Recovery)のタイミンが早くなる」(市川ほか, 2010). 一方、質量重心の算出は、部位が泡で見えなくなること、水上の部位を特定しにくいことに加え、レース中には身体上にテープやマーキングの貼付が許されないといったルール上の問題も存在する. このことから、レース中のIVFは、簡易的に大転子から算出されることが多かった(Takagi et al., 2004; 窪, 2006). したがって、現実的にはスタートやターン動作を含むレースに近い状態での実験では、大転子をもとにストロークパラメーターとIVFを算出しなければならない. この大転子をもとにしたレース分析は散見される. 松田ほか(2007)は、「クロール泳のIVFは変動の大きさを小さくすること

が競技レベル向上の一要因」と述べており, Takagi et al. (2004)は、世界選手権の決勝進出グループと予選レベルの平泳ぎを比較して「両グループともIVFの最高泳速度は、変わらないものの決勝進出グループは、IVFの低下を軽減することで高い平均泳速度を維持できた」ことを示している. さらに、マグリシオ(2005)は、200m平泳ぎのレース戦略について「優秀な成績を収めてきた選手のほとんどはイーブンペースでレースを展開している」と報告している. これらの研究結果より、ストロークパラメーターとIVFは、レース分析や泳技術の評価に有用であることが伺える. しかし、いずれの評価においてもレースに近い状態で二つの指標を経時的かつ同時に評価し、平泳ぎのIVFにおける特徴(4つのポイント)に着目した検討はされていない.

以上のことから、レース同様のストロークパラメーターとIVFとの経時的な評価は、泳動作の持続性を検証できる可能性があり、平泳ぎにおける効果的な速度パターンを探究することでレース戦略やレース評価の一助になり得ると考えられる.

II. 目的

本研究は200m平泳ぎのイーブンペースにおけるストロークパラメーターとIVFが経時的にどのように変動するか検討することを目的とした.

III. 方法

A. 被験者

被験者は日本学生選手権に出場するレベルの大学競泳選手24名(男性13名, 女性11名)であり、週に8-10回(1回5,000-8,000m)程度、日頃からトレーニングしていた熟練者(専門種目は背泳ぎ2名, 平泳ぎ8名, バタフライ3名, 自由形9名, 個人メドレー2名)であった. 身体的特性をTable 1に示す. 本研究内容は、新潟医療福祉大学倫理委員会によって承認(17365-121002)され、予め被験者に実験概要を説明し、参加の同意を得た.

B. 実験プロトコル

全ての試技は屋内プール(25m×6レーン, 水深1.4m)で行われた. 試技は、200m平泳ぎを実施した. 被験者は笛の合図で飛び込み、前半と後半の記録が同じ位のイーブンペース条件で主観的にできるだけ速

Table 1 Subject Characteristics. ($n = 24$)

| | Male ($n = 13$) Mean \pm SD | Female ($n = 11$) Mean \pm SD |
|---------------------|------------------------------------|--------------------------------------|
| Age (years) | 19.5 \pm 1.1 | 20.0 \pm 0.7 |
| Height (cm) | 173.6 \pm 3.5 | 164.5 \pm 5.5 |
| Weight (kg) | 69.3 \pm 6.2 | 56.1 \pm 6.0 |
| Bodyfat (%) | 11.4 \pm 2.7 | 20.1 \pm 2.5 |
| Time (sec) | 157.1 \pm 9.7 | 170.2 \pm 7.3 |
| Time (%WorldRecord) | 77.08 \pm 4.8 | 79.22 \pm 3.3 |
| 2013 FINA Point | 462.46 \pm 87.12 | 498.9 \pm 61.6 |

FINA points : comparisons of results among different events, assigns point values to swimming performances, more points for world class performances typically 1000 or more and fewer points for slower performances.

FINA ポイント：国際水泳連盟により設定されるポイントシステム。
大会における選手のランキング決定に使用される。

く泳ぐよう予め要求した。マグリシオ (2005) によると平泳ぎにおける 200 m のイーブンペースは、「前半と後半の 100m のタイム差は 3.50~4.50 秒となることが多く、自由形や背泳ぎよりも大きくなる」と述べている。また、マグリシオ (2005) はイーブンペースとは「最初から高いスピードで泳ぎ、そのスピードを最後まで維持すること」としており、本研究では飛込みの影響を考慮し、50m 毎のラップの振れ幅が 1 秒以内の記録をイーブンペースと定義づけた。なお、試技は 1 回のみとし、イーブンペースに当てはまらなかった 4 名のデータは除外した。

C. 映像解析

撮影は、泳者の水中正面および右側方の二方向から行い、実験において得られた映像は 25 - 50m, 75 - 100m, 125 - 150m, 175 - 200m の 4 局面であった。カメラは泳者の側方より水中窓を通した 1 台 (SONY 社製：DCR-HC62, 露光時間 1/30sec) および泳者の正面より水中カメラ 1 台 (YAMAHA 発動機社製：水中モニタシステム 2) を設置した。2 つの映像はミキシング装置 (ローランドエスジー社製：4Channel Video Mixer V-4) によって同一画面へ上下に合成し、アナログ DV コンバータ (grass valley 社製：ADVC-55) を通し、キャプチャソフト (DKH 社製：Sceneple) を用いて PC (DELL 社製：Vostro 3700) に取り込んだ。取り込まれた映像のサンプリング周波数は 29.97fps であった。撮影された映像は、画像処理ソフト (DKH 社製：Frame DIAS IV Version 1.32R4) の二次元 4 点実長換算法によりストロークパラメーターおよび IVF を

算出した。また、正面の映像は参考にのみ使用した。実長換算に用いたコントロールポイントは 4 点とし、較正用に撮影した映像ではこれ以外に実座標が既知である箇所が 8 点あった。これらをデジタル化し、実長換算した結果から推進方向のみの平均誤差を算出し予測値 8 点から求めた実座標との推定精度は 3.8cm であった。なお、導出されたデータは Butterworth 型ローパスフィルタにより遮断周波数 4Hz の範囲で平滑化を行った。

D. 分析項目

ストロークパラメーターの SL と SR, IVF を算出した。IVF の詳細は以下に示す。

Lebranc et al. (2005) の先行研究に従い、データは、画角の中央部分 10.5 - 4.5m (4m) に録画された 2 または 3 ストロークを使用し、局面分けを参考に被験者の大転子を手動でデジタル化した座標をもとに IVF を算出した。IVF は D'Aquisto et al. (1988) の方法に則り 4 ポイントに分け、それぞれの速度を算出した (Fig. 1)。4 ポイントは、それぞれ、上肢と下肢のリカバリー動作により極小となる泳速度 "minimum velocity prior to kick" (以下, V Recovery), 下肢のキック動作終了後に極大となる泳速度 "peak kick velocity" (以下, V K_{peak}), 肘関節と膝関節を伸展させてストリームライン姿勢を保持しながら極小となる泳速度 "minimum velocity between completion of kick" (以下, V Glide) および上肢で水を掻く推進動作によって極大となる泳速度 "peak arm velocity" (以下, V A_{peak}) とした。抽出された 4 ポイントの速度は、泳者

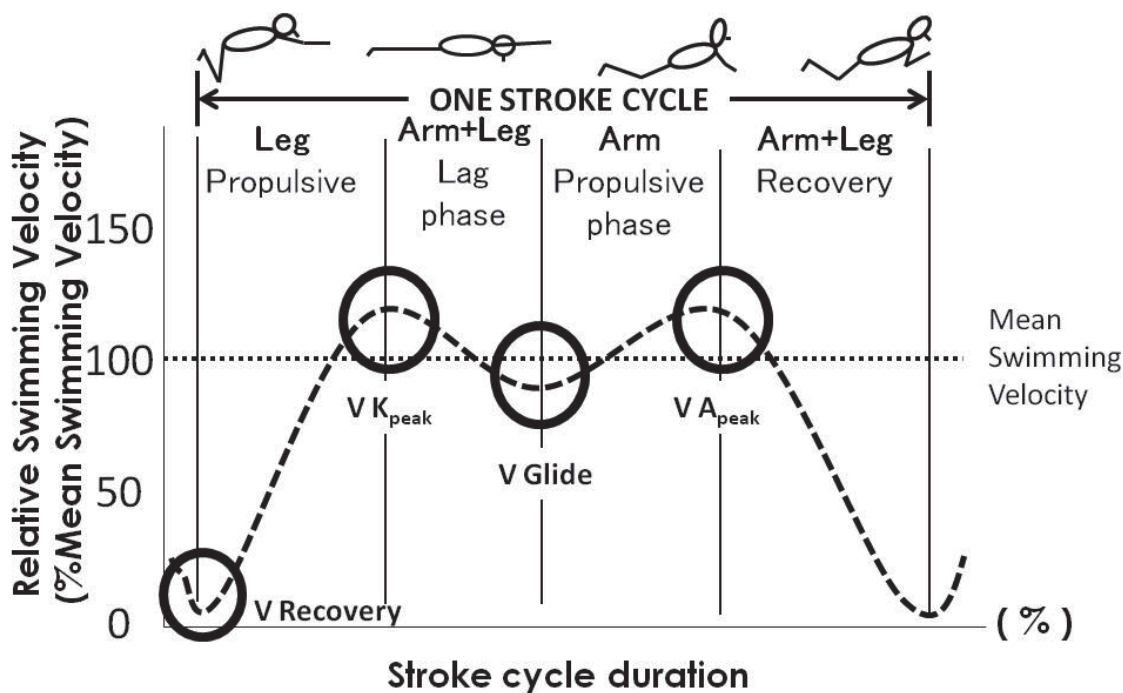


Fig. 1 Intracycle Velocity Fluctuations for one breaststroke cycle (calculated as a percentage of mean velocity).

本人の平均泳速度を100%とした比率で表した。よって平均泳速度を上回る場合は100%以上の値となる。

E. 統計処理

ストロークパラメーターと各距離 (50m, 100m, 150m, 200m) における群間の比較には、一元配置分散分析法を、IVF: 4水準 (V_{Recovery} , $V_{K_{\text{peak}}}$, V_{Glide} , $V_{A_{\text{peak}}}$) と各距離における群間の比較には、二元配置分散分析法を用いた。Mauchlyの球面性の検定により等分散性を保証した後、交互作用を確認した。交互作用の有意性が認められた場合、それぞれの要因ごとに水準別に単純主効果の検定を行い、有意であった場合にはBonferroniの方法に基づき多重比較検定を行った。さらにPearsonの方法を用いてIVFとストロークパラメーターとの相関係数を求めた。なお、本研究の統計処理ではSPSS statistics 19.0 (IBM社製) を用い、いずれも有意水準は危険率5%未満とした。

IV. 結果

本研究における200mの記録はパーソナルベストに対して男性 $92.5 \pm 1.3\%$ 、女性 $92.8 \pm 0.6\%$ と自己ベストの9割程度の泳速度であった。

A. ストロークパラメーター

Table 2に200m平泳ぎ試技における50m毎のストロークパラメーターと平均泳速度の変動を示した。50m, 100m, 150m, 200mと50m毎の距離間の平均泳速度について一元配置分散分析を行った結果、有意な主効果は男性 ($F(3,48) = .869, p = .464$)、女性 ($F(3,48) = 1.006, p = .398$) とともに認められなかった。SLにおける一元配置分散分析の結果、有意な主効果は男性 ($F(3,48) = 7.697, p < .05$) にのみ認められ、女性 ($F(3,48) = 2.525, p = .069$) は認められなかった。男性の200mは $1.97 \pm 0.18\text{m/stroke}$ 、50mでは $2.30 \pm 0.20\text{m/sec}$ 、100mでは $2.29 \pm 0.22\text{m/sec}$ と200mよりも50mと100mが高値を示した ($p < .05$)。一方、SRも一元配置分散分析の結果、有意な主効果は男性 ($F(3,48) = 5.802, p < .05$) にのみ認められ、女性 ($F(3,48) = 2.674, p = .058$) は認められなかった。男性の200mでは $0.61 \pm 0.18\text{stroke/sec}$ 、100mでは $0.54 \pm 0.05\text{stroke/sec}$ 、50mでは $0.55 \pm 0.05\text{stroke/sec}$ と200mと100m ($p < .05$)、200mと50m ($p < .05$) との間に有意差が認められた。男女で異なる結果として男性は、200mにかけてSRを増加させながら平均泳速度を維持するが、女性はSLとSRは有意に変化しなかった。

Table 2 Mean Swimming Velocity, Stroke Length (SL) and Stroke Rate (SR) during steady pace of the 200m breaststroke swimming test. ($n = 24$)

| Dependent variable | Lap | Mean \pm SD | | |
|--------------------------------|------|--------------------------------|--------------------------------|---------------------|
| | | All ($n = 24$) | Male ($n = 13$) | Female ($n = 11$) |
| Mean Swimming Velocity (m/sec) | 50m | 1.22 \pm 0.10 | 1.26 \pm 0.09 | 1.17 \pm 0.09 |
| | 100m | 1.18 \pm 0.10 | 1.23 \pm 0.09 | 1.13 \pm 0.08 |
| | 150m | 1.17 \pm 0.09 | 1.22 \pm 0.09 | 1.11 \pm 0.07 |
| | 200m | 1.16 \pm 0.09 | 1.20 \pm 0.09 | 1.11 \pm 0.07 |
| 50m Lap Time (sec) | 50m | 37.2 \pm 2.4 | 35.8 \pm 2.2 | 39.2 \pm 1.5 |
| | 100m | 41.6 \pm 2.5 | 40.2 \pm 2.6 | 43.3 \pm 2.0 |
| | 150m | 41.9 \pm 2.8 | 40.6 \pm 2.9 | 43.7 \pm 2.2 |
| | 200m | 41.8 \pm 2.7 | 40.5 \pm 2.5 | 43.9 \pm 1.9 |
| SL (m/stroke) | 50m | 2.30 \pm 0.27 | 2.30 \pm 0.20 | 2.31 \pm 0.35 |
| | 100m | 2.30 \pm 0.30 | 2.29 \pm 0.22 | 2.32 \pm 0.38 |
| | 150m | 2.19 \pm 0.24 | 2.15 \pm 0.18 | 2.23 \pm 0.30 |
| | 200m | 2.03 \pm 0.27 ^{a,b} | 1.97 \pm 0.18 ^{a,b} | 2.09 \pm 0.35 |
| SR (stroke/sec) | 50m | 0.54 \pm 0.07 | 0.55 \pm 0.05 | 0.52 \pm 0.09 |
| | 100m | 0.52 \pm 0.07 | 0.54 \pm 0.05 | 0.50 \pm 0.09 |
| | 150m | 0.54 \pm 0.07 | 0.57 \pm 0.05 | 0.51 \pm 0.07 |
| | 200m | 0.58 \pm 0.08 ^b | 0.61 \pm 0.18 ^{a,b} | 0.54 \pm 0.09 |

^a significantly difference between 50m and 200m; ^b 100m and 200m. $p < .05$

B. 1 ストロークサイクル中の速度変化

200m平泳ぎ試技における50m毎のIVFをFig 2とTable 3に示した。全被験者 ($n = 24$) における $V_{K_{peak}}$ は、150mから200mにかけて有意に低下 ($p < .05$) し、女性における $V_{K_{peak}}$ は、150mから200mにかけて有意に低下 ($p < .05$) した。全被験者 ($n = 24$) における

V_{Glide} は50m, 100m, 150m, よりも200mの方が有意に高い値を示した ($p < .05$)。男性も V_{Glide} は、50mよりも200mの方が有意に高い値を示した ($p < .05$)。男女共通して $V_{Recovery}$ は変化しなかったが、男性の $V_{K_{peak}}$ および $V_{A_{peak}}$ 、女性の V_{Glide} に有意差が認められず男女で異なる結果を示した。

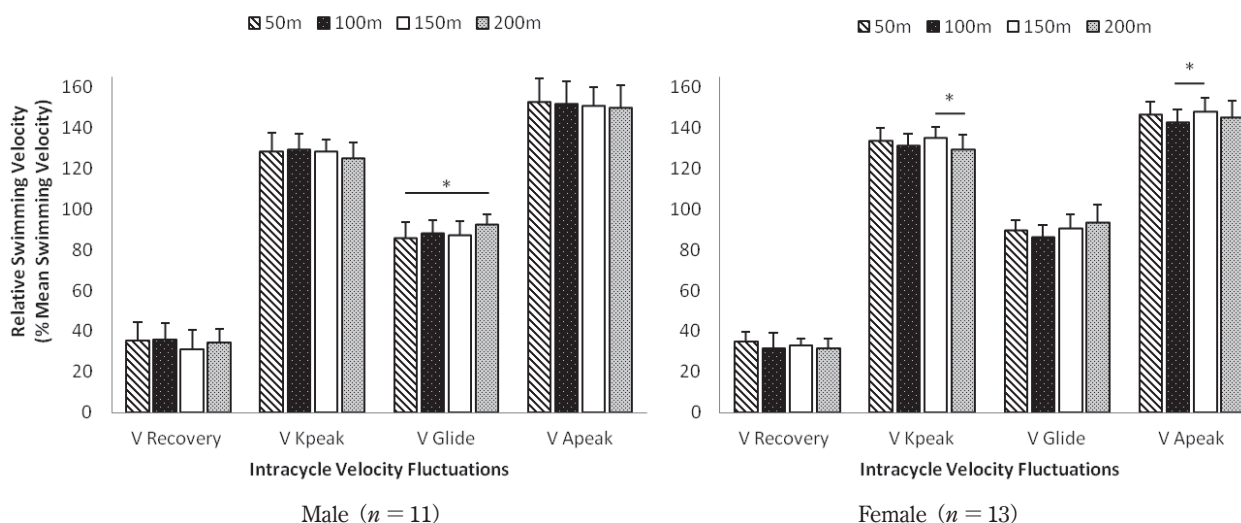


Fig. 2 Comparison of Relative Swimming Velocity of various Intracycle Velocity Fluctuations at each distance. (the Y-axis represents the %Mean Swimming Velocity) * Significant at $p < .05$

Table 3 Four values of Intracycle Velocity Fluctuations (calculated as a percentage of mean swimming velocity)

| Dependent variable | Lap | Mean \pm SD | | |
|--------------------|------|-----------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|
| | | All ($n = 24$) | Male ($n = 13$) | Female ($n = 11$) |
| V Recovery (%) | 50m | 35.27 \pm 7.92 | 35.49 \pm 9.12 | 35.01 \pm 4.61 |
| | 100m | 34.05 \pm 8.06 | 36.08 \pm 8.04 | 31.66 \pm 7.75 |
| | 150m | 32.28 \pm 7.04 | 31.59 \pm 9.18 | 33.10 \pm 3.40 |
| | 200m | 33.28 \pm 5.83 | 34.59 \pm 6.70 | 31.74 \pm 4.41 |
| V K_{peak} (%) | 50m | 130.81 \pm 9.41 | 128.40 \pm 9.22 | 133.65 \pm 5.99 |
| | 100m | 130.05 \pm 6.92 | 128.99 \pm 7.96 | 131.30 \pm 5.56 |
| | 150m | 131.38 \pm 6.39 | 128.30 \pm 5.74 | 135.01 \pm 5.27 |
| | 200m | 126.82 \pm 7.79 ^a | 124.85 \pm 7.74 | 129.16 \pm 7.53 ^c |
| V Glide (%) | 50m | 87.50 \pm 6.73 | 85.87 \pm 7.57 | 89.43 \pm 5.28 |
| | 100m | 87.34 \pm 6.02 | 88.22 \pm 6.15 | 86.31 \pm 5.98 |
| | 150m | 88.91 \pm 6.64 | 87.31 \pm 6.56 | 90.79 \pm 6.52 |
| | 200m | 92.94 \pm 6.85 ^{a,b,c} | 92.48 \pm 5.05 ^a | 93.48 \pm 8.75 |
| V A_{peak} (%) | 50m | 149.78 \pm 9.74 | 152.51 \pm 11.56 | 146.55 \pm 6.05 |
| | 100m | 147.53 \pm 10.14 | 151.75 \pm 11.00 | 142.54 \pm 6.39 |
| | 150m | 149.57 \pm 7.90 | 150.85 \pm 8.94 | 148.06 \pm 6.56 ^d |
| | 200m | 147.50 \pm 9.96 | 149.81 \pm 11.00 | 144.77 \pm 8.24 |

^a difference between 50 m and 200 m; ^b 100m and 200m; ^c 150m and 200m, ^d 100m and 150m. $p < .05$

C. ストロークパラメーターと1ストロークサイクルの速度変化との関係

ストロークパラメーターとIVFとの関係をTable 4に示した。SLと女性100mにおけるV A_{peak} ($r = -.749$, $p < .05$), SRと女性100mにおけるV A_{peak} ($r = .720$, $p < .05$)に有意な相関関係が認められた。また、IVFの相関関係として男女共通に50mではV K_{peak} とV Glideとの間に有意な負の相関関係(男性; $r = -.557$, 女性; $r = -.684$, $p < .05$), 男性はV GlideとV A_{peak} との間に負の相関関係($r = -.735$, $p < .05$)が認められた。

V. 考 察

本研究は、被験者に対してイーブンペースで泳ぐよう予め要求をした結果、平均泳速度を維持できる最大努力での200m平泳ぎでは、平均泳速度が変動しなくともIVFが変動していることが明らかとなった。また、ストロークパラメーターの変動がIVFのV K_{peak} およびV Glideに連動している可能性が示唆された。

A. 泳速度設定と速度を維持する場合のストロークパラメーター

水泳のストロークパラメーターは、レース分析

(Craig et al.,1985; Chengalur and Brown,1992; 宮下ほか, 1996, 1997, 1998; Thompson et al., 2000; Hellard et al., 2007)と泳動作評価(Chollet et al., 2004; Takagi et al., 2004; Seifert and Chollet, 2005; Leblanc et al., 2005, 2009)に用いられ、「平均泳速度の増加に伴い最初はSL, SRともに増加するが、ある平均泳速度を超えると、SLは増加から減少傾向に変わり、それを補うためにSRが急激に増加する」(下山ほか, 2001)ことが知られている。さらに、200m平泳ぎのレース分析の中には、150mから200m地点においてSLが低下していたにも関わらず、SRを増加させることで平均泳速度を維持した報告が存在する(宮下ほか, 1996, 1997, 1998; Thompson et al., 2000)。

同様に本研究においても被験者に対して一定の平均泳速度を維持できる最大努力で泳ぐよう要求した結果、平均泳速度に有意差は認められず、最初の50mはやや泳速度が高いものの、それ以降はほぼ一定の平均泳速度が維持された。また、全被験者($n = 24$)におけるSLの200m平均値は50mと100mよりも有意に低値を示し、SRの200m平均値は100mよりも有意に高値を示した(Table 2)。野村ほか(1999)は、200m平泳ぎの日本選手権において「女子の(疲労型, 抗疲労型でもない)中間型は泳ぎの質を変化させている」

Table 4 Relationship of swimming velocity, stroke length and stroke rate with intracycle velocity fluctuation during steady pace of the 200 m breaststroke swimming test.

| | | Mean Swimming Velocity vs IVF | | | | | | | | | | | | V Recovery (IVF vs IVF) | | | | | V K _{peak} (IVF vs IVF) | | | | | V Glide (IVF vs IVF) | | | | |
|---------------------|---------------------|-------------------------------|--------|-------|-------|-----------|-------|-------|--------|------------|-------|-------|-------|-------------------------|-------|-------|--------|---------|----------------------------------|-------|--------|--------|-------|----------------------|-------|--|--|--|
| | | SL vs IVF | | | | SR vs IVF | | | | V Recovery | | | | V K _{peak} | | | | V Glide | | | | | | | | | | |
| | | 50 | 100 | 150 | 200 | 50 | 100 | 150 | 200 | 50 | 100 | 150 | 200 | 50 | 100 | 150 | 200 | 50 | 100 | 150 | 200 | | | | | | | |
| Male (n = 13) | V Recovery | r | -.385 | -.286 | -.303 | .120 | .531 | .548 | .331 | -.072 | .206 | .282 | .015 | .047 | | | | | | | | | | | | | | |
| | | p | .19 | .34 | .31 | .70 | .06 | .05 | .27 | .81 | .35 | .96 | .88 | | | | | | | | | | | | | | | |
| | V K _{peak} | r | .254 | .304 | .395 | .347 | -.069 | -.047 | -.044 | -.118 | .226 | .388 | .422 | .366 | .086 | -.034 | -.576* | -.043 | | | | | | | | | | |
| | | p | .40 | .31 | .18 | .25 | .82 | .88 | .89 | .70 | .46 | .19 | .15 | .22 | .78 | .91 | .04 | .89 | | | | | | | | | | |
| V Glide | r | .168 | -.171 | -.178 | -.235 | -.426 | .088 | .173 | .310 | -.301 | -.104 | -.052 | -.005 | -.130 | .179 | .353 | -.165 | -.484 | -.557* | -.321 | -.332 | | | | | | | |
| | p | .58 | .58 | .56 | .44 | .15 | .77 | .57 | .30 | .32 | .74 | .87 | .99 | .67 | .56 | .24 | .59 | .04 | .04 | .28 | .27 | | | | | | | |
| V A _{peak} | r | -.460 | -.262 | -.095 | -.188 | -.311 | .245 | -.173 | -.026 | -.146 | -.011 | -.246 | -.373 | .276 | -.107 | -.311 | .298 | .151 | .400 | .195 | .364 | -.505 | -.530 | -.735* | -.554 | | | |
| | p | .11 | .39 | .76 | .54 | .30 | .42 | .57 | .93 | .63 | .97 | .42 | .21 | .36 | .73 | .30 | .32 | .62 | .18 | .52 | .22 | .08 | .06 | .00 | .05 | | | |
| Female (n = 11) | V Recovery | r | -.401 | .206 | .213 | .240 | .387 | -.206 | .100 | -.334 | .126 | -.027 | -.308 | -.283 | | | | | | | | | | | | | | |
| | | p | .18 | .50 | .49 | .43 | .19 | .50 | .75 | .26 | .68 | .93 | .31 | .35 | | | | | | | | | | | | | | |
| | V K _{peak} | r | .243 | -.068 | .369 | .029 | -.340 | -.077 | -.448 | -.110 | -.332 | -.251 | -.269 | -.227 | -.321 | -.141 | .150 | -.006 | | | | | | | | | | |
| | | p | .43 | .83 | .22 | .93 | .26 | .80 | .13 | .72 | .27 | .41 | .37 | .46 | .29 | .65 | .63 | .99 | | | | | | | | | | |
| V Glide | r | -.057 | -.279 | .182 | .004 | .196 | .279 | .138 | -.149 | .417 | .159 | .500 | .287 | .411 | .607* | .241 | -.003 | -.684* | -.241 | -.353 | -.604* | | | | | | | |
| | p | .85 | .36 | .55 | .99 | .52 | .36 | .65 | .63 | .16 | .60 | .08 | .34 | .16 | .03 | .43 | .99 | .01 | .43 | .24 | .03 | | | | | | | |
| V A _{peak} | r | -.330 | -.749* | -.315 | -.178 | .324 | .720* | .252 | .287 | -.143 | .225 | -.101 | .139 | .463 | -.052 | .125 | -.351 | -.348 | -.010 | .068 | .127 | .029 | .237 | -.520 | .084 | | | |
| | p | .27 | .00 | .29 | .56 | .28 | .01 | .41 | .34 | .64 | .46 | .74 | .65 | .11 | .87 | .68 | .24 | .24 | .97 | .83 | .68 | .93 | .44 | .07 | .91 | | | |
| All (n = 24) | V Recovery | r | -.356 | .034 | -.130 | .128 | .431* | .138 | .109 | -.045 | .233 | .291 | -.066 | .135 | | | | | | | | | | | | | | |
| | | p | .09 | .88 | .55 | .55 | .04 | .52 | .61 | .83 | .27 | .17 | .76 | .53 | | | | | | | | | | | | | | |
| | V K _{peak} | r | .176 | .052 | .391 | .165 | -.231 | -.082 | -.452* | -.205 | -.148 | .004 | -.221 | -.067 | .003 | -.080 | -.213 | -.104 | | | | | | | | | | |
| | | p | .41 | .81 | .06 | .44 | .28 | .70 | .03 | .34 | .49 | .98 | .30 | .76 | .99 | .71 | .32 | .63 | | | | | | | | | | |
| V Glide | r | .088 | -.208 | .096 | -.039 | -.161 | .218 | .000 | .127 | -.123 | .115 | .014 | .103 | -.021 | .384 | .313 | -.102 | -.454* | -.366 | -.158 | -.461* | | | | | | | |
| | p | .68 | .33 | .65 | .86 | .45 | .31 | 1.00 | .55 | .57 | .59 | .95 | .63 | .92 | .06 | .14 | .64 | .03 | .08 | .46 | .02 | | | | | | | |
| V A _{peak} | r | -.303 | -.390 | -.201 | -.211 | .310 | .468* | .434* | .075 | .035 | .310 | -.053 | .015 | .280 | .034 | -.261 | .115 | .020 | .211 | .044 | .178 | -.482* | -.182 | -.673* | -.240 | | | |
| | p | .15 | .06 | .35 | .32 | .14 | .02 | .03 | .73 | .87 | .14 | .80 | .94 | .18 | .87 | .22 | .59 | .93 | .32 | .84 | .40 | .02 | .40 | .00 | .26 | | | |

SL: stroke length, SR: stroke rate, IVF: intracycle velocity fluctuation. *Significant at p < .05

と推察している。本研究においても男女で異なる泳速度を示し、泳ぎの質が変化している可能性が考えられる。ただし、本研究の被験者は日本学生選手権に出場するレベルであるため、今後も更なる検討が必要である。

平均泳速度を一定に保つ一般的な実験方法には回流水槽(角川ほか, 2012)や腰にベルトを巻いた牽引泳(Maglischo et al., 1987; D'Aquisto et al., 1988; D'Aquisto and Costill, 1998)あるいはペースメーカー(Psycharakis et al., 2010)が用いられる。しかし、回流水槽や牽引泳の場合はスタートおよびターン局面を含まず、ペースメーカーを使用する場合は壁を強く蹴ることができないなど、レースと試技との間にいくつかの相違点が生じる。本研究結果は一定の平均泳速度を完全にコントロールしたとは言い難いが、200m平泳ぎにおいてヒトが持つ能力のみで平均泳速度を維持するイーブンペースを保つためにはSR増加が必要であることが明らかとなった。

B. 1ストロークサイクルの速度変化

泳動作継続による本研究のIVFは、男女ともにV Recoveryは変化しないが、150m時点において女性の $V_{A_{peak}}$ は100mよりも有意に増加、200m時点では全体的に $V_{K_{peak}}$ が有意に低下、V Glideが有意に増加した。男女ともV Glideは増加、 $V_{K_{peak}}$ と $V_{A_{peak}}$ は低下する傾向があった。これはIVFの振幅が小さくなったことを意味している(Fig. 2)。角川ほか(2012)は、足部に小型圧力センサを装着し足部流体力の各周期力積を測定した結果、「試技後半において、力積が減少したことから、キック動作を継続することによる疲労の影響で推進力が減少した」ことを報告している。さらに生田ほか(2010)は、200mレースをシミュレートするために50mを4回に分けて泳ぐブローケンと呼ばれる方法でクロール泳における14筋の筋活動変動を筋電図で調査したところ1回目の50mよりも2回目の50mの方が膝関節を伸展する大腿直筋の筋活動が有意に低下したことを報告した。これらのことから $V_{K_{peak}}$ が変動した要因として疲労による推進力減少や筋活動低下が考えられる。

競泳選手における4泳法の中でも平泳ぎのIVFは、「1ストロークサイクルの加速と減速の差が45-50%変化するバタフライと並び、15-20%変化するクロールと背泳ぎよりも大きく」(Craig and Pendergast, 1979), Takagi et al. (2004)は「1ストロークサイクルにおける最高泳速度に差がなくとも高い平均泳速度を

維持した決勝進出グループは、急激な泳速度低下を抑制し、速度変化の振幅が小さい」ことを示しており、「熟練者はストロークサイクルの推進力を得ていない時間を短縮し、速度の低下時間を短くすることでIVFの振幅を小さくして高い泳速度を獲得した」(松田ほか, 2007)報告が存在する。

以上のことから、本研究結果は泳動作を継続することで疲労が生じたことや大腿直筋の筋活動低下が $V_{K_{peak}}$ 低下に影響を及ぼしたことが推察される。また、200m終盤に平均泳速度を維持するためにSRを増加させることで結果的に全被験者と男性のV Glideが増加した可能性も考えられる。200m全力泳において平均泳速度を一定に保った場合、序盤よりも終盤は $V_{K_{peak}}$ が低下し、V Glideが増加することが推測された。

C. ストロークパラメーターと1ストロークサイクルの速度変化との関係

本研究は、IVFの $V_{A_{peak}}$ とSRに正の相関関係、また $V_{A_{peak}}$ とSLおよび $V_{K_{peak}}$ とSRに負の相関関係が認められた。この結果より、100m時点では、 $V_{A_{peak}}$ がストロークパラメーターに影響するが、150m時点では $V_{K_{peak}}$ と $V_{A_{peak}}$ の両者がストロークパラメーターに影響を及ぼすことが推測できる。

Lebranc et al. (2007)は「レースペース相当の平泳ぎ泳速度増加に伴いストリームライン姿勢の時間と距離を短縮し、SRが増加すること」を指摘した。さらに、ストリームライン姿勢に費やす時間が平均泳速度に反比例した報告(Costill et al., 1987)が存在する。

平泳ぎのパフォーマンスレベルが高い選手は、効果的に上肢および下肢の推進局面を重複させて平均泳速度を増加した一連の研究(Takagi et al., 2004; Chollet et al., 2004; Leblanc et al., 2005)があることから、本研究においてもストリームライン姿勢を保持している時間を短縮することで腕による推進のタイミング、すなわち掻き始めを早め、V Glideを増加させることで平均泳速度を維持したことが推察される。また、全被験者と女性における200mでは $V_{K_{peak}}$ とV Glideとの間に有意な負の相関関係があることに加え、1ストロークサイクルの加速と減速の差が大きな平泳ぎの特性を考慮したとしてもV Glideが平均泳速度の維持に影響したと考えることは妥当であろう。

したがって、200m全力泳において平均泳速度を一定に保つためには以下のような機序が考えられる。男性は200mにかけてSLは減少するが、SRを増加させることでV Glideが増加した。女性は終盤部分におい

て下肢の疲労により、 $V K_{peak}$ が減少する。それを補うためにSLの低下を小さくし、僅かにSRを増加させることで平均泳速度を維持した。

D. コーチング現場への示唆

本研究結果から200m終盤部分において、SRを増加させ、疲労による $V K_{peak}$ 低下を補うような V Glide増加によって一定の平均泳速度を維持した可能性が推測された。ただし、終盤のSR増加は $V A_{peak}$ と V Recoveryが変動しないことが必要条件である。指導者は $V K_{peak}$ が低下しすぎていないか、 V Glideでの減速が軽減されているか着眼する必要がある。また、呼吸動作時に伴う体幹部の回転が泳速度に影響すること(市川ほか, 2010)や「上肢の筋力は下肢に比べて小さいものの、推進に働かせる時間や水を長く掻くことで推進力が大きくなること」(菊池ほか, 1991)を考慮すれば、SRを増加させたとしても体幹部の回転、掻く長さや方向に注意しなければならない。

練習においてストロークパラメーターは測定が容易であるため、トレーニングやレース評価に使用されている。特にSRは泳者による意図的な微調整が可能であるため、メトロノームのように聴覚情報を提供する器具をスイムキャップ内に収納し、一定リズムに合わせながらSRを保つトレーニングも存在する。コーチが選手に対して「終盤は(一定距離の)回転数を増やしてテンポを上げなさい」といった声掛けはレース終盤に近い状態でのSRを増加するシミュレーションとなりうるであろう。レースにおいても極端なSL低下の場合を除き、SRの増加は平均泳速度低下を軽減することが期待できる。また、Takagi et al. (2004)は「速い選手は腕と脚による推進局面を効率良く重複している」と報告していることから、男女ともにSR増加に伴う、推進局面の効率を考慮しなければならない。レース終盤の戦略として、男性はSR増加に伴い V Glide増加、女性はSR維持に伴い V Glideの維持が期待できる。

以上のことから、ストロークパラメーターの指標であるSLおよびSRだけでなく、同時にIVFと評価することでレース戦略やレース評価のための有用な示唆を与える可能性が考えられる。また、本研究結果はレース戦略を検討するオープンペースの基礎的資料として役立つことが期待でき、経時的なIVF測定は泳速度維持を実現するための戦術やコーチが練習中に着眼すべき局面を明確にできることが示唆された。

VI. 結 論

200m平泳ぎの全力泳におけるIVFは、ほぼ一定の平均泳速度を維持した場合でも変動することが明らかとなった。また、泳速度を維持する寄序は男女によって異なっていた。ストロークパラメーターとIVFとの間に相関関係が認められたことから、200m終盤において $V A_{peak}$ と V Recoveryが変動していなければ、 $V K_{peak}$ 低下や V Glide増加にストロークパラメーターが影響していることが示唆された。

今後、ストロークパラメーターとIVFは同時かつ経時的に評価することでレース戦略やレース評価のために有用な指標となることが考えられる。

謝 辞

本研究は、2014年新潟医療福祉大学研究奨励金(萌芽的研究費)の助成を受けて実施したものである。

文 献

- Barbosa, T. M., Fernandes, R., Keskinen, K. L., Colaco, P., Cardoso, C., Silva, J., and Vilas-Boas, J. P. (2006) Evaluation of the energy expenditure in competitive swimming strokes. *Int J sports Med*, 27(11): 894-899.
- Chengalur, S. N., and P. L. Brown. (1992) An analysis of male and female Olympic swimmers in the 200-meter events. *Can J sport Sci*, 17(2): 104-109.
- Chollet, D., Seifert, L., Leblanc, H., Boulesteix, L., and Carter, M. (2004) Evaluation of arm-leg coordination in flat breaststroke. *Int J sports Med*, 25(7): 486-495.
- Costill, D. L., Lee, G., and D'Acquisto, L. J. (1987) Video-Computer assisted analysis of swimming technique. *J Swim Research*, 3(2): 5-9.
- Craig, A. B., Jr. and Pendergast, D. R. (1979) Relationships of stroke rate, distance per stroke, and velocity in competitive swimming. *Medicine and science in sports*, 11: 278-283.
- Craig, A.B., Jr., Skehan, P. L., Pawelczyk, J. A., and Boomer W. L. (1985) Velocity, stroke rate, and distance per stroke during elite swimming competition. *Med Sci sports Exerc*, 17(6): 625-634.
- D'Acquisto, L. J., Costill, D. L., Gehlsen, G. M., Young, W. T., and Lee, G. (1988) Breaststroke economy, skill, and performance: study of breaststroke mechanics using a computer based "velocity-video" system. *J Swimming Research*, 4: 9-13.
- D'Acquisto, L. J., and Costill, D. L. (1998) Relationship between intracycle linear body velocity fluctuations power, and sprint breaststroke performance. *J Swimming Research*, 13: 8-14.
- Hellard, P., Dekerle, J., Avalos, M., Caudal, N., Knopp, M., and Hausswirth C. (2007) Kinematic measures and stroke rate variability in elite female 200-m swimmers in the four swimming techniques: Athens 2004 Olympic semi-finalists and French National 2004 Championship semi-finalists. *Journal of*

- sports Sciences, 26(1): 35-46.
- Holmer, I. (1974) Propulsive efficiency of breaststroke and free-style swimming. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 33(2): 95-103.
- 市川浩・三輪飛寛・下門洋文・下山好充・大庭昌昭 (2010) 肘・膝・大転子の3点デジタイズによる平泳ぎの全身重心速度推定. 第14回日本水泳・水中運動学会年次大会論集, 76-77.
- 生田泰志・松田有司・山田陽介・来田宜幸・小田伸午 (2010) クロール泳における泳速度・ストローク頻度およびストローク長の変化と筋活動の関係. *体力科学*, 59(4): 427-438.
- 菊池邦雄 (1991) 水泳選手の上肢と下肢の等速性筋力に関する研究. 広島大学総合科学部紀要. VI, 保健体育学研究, 8: 31-38.
- Kolmogorov, S.V., and O.A. Duplishcheva. (1992) Active drag, useful mechanical power output and hydrodynamic force coefficient in different swimming strokes at maximal velocity. *J Biomech*, 25(3): 311-318.
- 窪康之 (2006) 競泳サポートにおけるデータの役割 (スポーツデータIV). *オペレーションズ・リサーチ: 経営の科学*, 51(4): 230-232.
- Leblanc, H., Seifert, L., Baudry, L., and Chollet D. (2005) Arm-leg coordination in flat breaststroke: a comparative study between elite and non-elite swimmers. *Int J sports Med*, 26(9): 787-797.
- Leblanc, H., Seifert, L., Tourny-Chollet, C., and Chollet, D. (2007) Intracycle distance per stroke phase, velocity fluctuations and acceleration time ratio of a breaststroker's hip: a comparison between elite and non elite swimmers at different race paces. *Int J sports Med*, 28(2): 140-147.
- Leblanc, H., Seifert, L., and Chollet, D. (2009) Arm-leg coordination in recreational and competitive breaststroke swimmers. *J Sci Med sport*, 12(3): 352-356.
- Maglischo, C, W, Maglischo, E, W, and Santos, T, R. (1987) The relationship between the forward velocity of the center of gravity and the forward velocity of the hip in the four competitive strokes. *J Swimming Research*, 3: 11-17.
- マグリシオEW・高橋繁浩・鈴木大地翻訳 (2005) スイミング・ファステスト. ベースボールマガジン社, 829-832.
- 松田有司・赤井聡文・生田泰志・野村照夫・小田伸午 (2007) クロール泳における1ストローク中の速度変動. 第11回日本水泳・水中運動学会年次大会論集, 5-8.
- 宮下充正・武藤芳樹・高橋伍郎・若吉浩二・奥野景介・吉田章・藤本秀樹・本間三和子・伊東三吾・佐野忠弘・有吉護・片山直樹・太田美穂・笠師久美子・野村照夫・鈴木紅・生田泰志・松井健・伊藤雅浩・小原淳・加賀谷瑞江・寺本明子・上内哲男・田中尚喜・小松泰喜・金景美・早川拓哉・加藤知生・市瀬郁子・高橋静昭 (1996) アトランタオリンピック代表選考会における競泳のレース分析. 2: 189-197.
- 宮下充正・奥野景介・野村照夫・若吉浩二・寺田晶裕・生田泰志・松井健 (1997) 第73回日本選手権水泳競技大会における競泳のレース分析No.11水泳, *日本体育協会スポーツ医・科学研究報*, 131-139.
- 宮下充正・生田泰志・松井健・後藤真二・野村照夫・若吉浩二・奥野景介・若宮知子・森 弘暢・重松良祐・本部洋介 (1998) 第74回日本選手権水泳競技大会における競泳のレース分析No.2水泳, in *日本体育協会スポーツ医・科学研究報告*, 27-31.
- 野村照夫・若吉浩二・奥野景介・生田泰志 (1999) 疲労特性を考慮した200m平泳ぎ記録の推定. *日本体育学会大会号*, 50: 503.
- Psycharakis, S, G., Naemi, R., Connaboy, C., McCabe, C., and Sanders, R, H. (2010) Three-dimensional analysis of intracycle velocity fluctuations in frontcrawl swimming. *Scand J Med Sci sports*, 20(1): 128-135.
- Seifert, L., and Chollet, D. (2005) A new index of flat breaststroke propulsion: a comparison of elite men and women. *J sports Sci*, 23(3): 309-320.
- Seifert, L., Chollet, D., and Mujika, I. (Eds.) (2011) *World Book of Swimming: From Science to Performance (sports and Athletics preparation, Performance and Psychology)*, 139-140.
- 下山好充・萬久博敏・椿本昇三・野村武男 (2001) 水泳スピードの変化に伴うストロークパラメーターと生理的応答の関係. *筑波大学運動学研究*, 第17巻. 1-6.
- Takagi, H., Sugimoto, S., Nishijima, N., and Wilson, B. (2004) Differences in stroke phases, arm-leg coordination and velocity fluctuation due to event, gender and performance level in breaststroke. *sports Biomech*, 3(1): 15-27.
- Thompson, K, G., Haljand, R., and MacLaren, D, P. (2000) An analysis of selected kinematic variables in national and elite male and female 100-m and 200-m breaststroke swimmers. *J sports Sci*, 18(6): 421-431.
- 角川隆明・高木英樹・仙石泰雄・椿本昇三 (2012) 平泳ぎ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(2): 515-525.

平成27年1月25日受付
平成27年6月18日受理