

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 20 日現在

機関番号：14303

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26350777

研究課題名(和文) 競泳の泳動作における共通性と多様性の探求

研究課題名(英文) Exploring the commonality and diversity of swimming motion for competitive swimming

研究代表者

野村 照夫 (NOMURA, Teruo)

京都工芸繊維大学・基盤科学系・教授

研究者番号：60189438

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：競泳の泳動作の共通性と多様性の探求を目的に研究を行った。その結果、ジュニアからシニアまで泳速度が年齢で指数関数近似できる共通性が認められたが、プル動作、リカバリ動作、左右の腕のコーディネーション動作に多様性が見られた。個人内のストローク多様性の一つである呼吸の有無では、呼吸動作が加わるによりストローク時間が約0.03秒増大し、泳速度の減少を招くことが明らかとなった。さらに呼吸時に水中手部軌跡が後方に滑る現象が減速の要因であることが示唆された。

研究成果の概要(英文)：This research aimed at exploring the commonality and diversity of swimming motion for competitive swimming. As a result, the commonality recognized that swimming speed could approximate exponentially with age from junior to senior. The diversities were observed in the pull motion, the recovery motion and the both arms coordinated motions. The presence or absence of respiration motion, which is one of the stroke diversity within the individual, revealed that the stroke time increased by about 0.03 seconds due to the addition of respiratory motion, causing a decrease in swimming speed. Furthermore, it was suggested that the phenomenon that the underwater hand trajectory slips backward during respiration was a factor of deceleration.

研究分野：スポーツ科学

キーワード：競泳 泳動作 共通性 多様性

1. 研究開始当初の背景

これまで 25 年に渡り競泳の日本選手権のレース分析、水泳競技の科学サポートに関する研究に取り組んできた。また、先進的なスタートやターンのスキルを提案してきた。これらを通して、データをコーチング現場へ還元することの重要性は、競技成績というアウトプットとして示されてきた。さらに国際競技力向上のアウトカムを大きくすることは、国家的課題である。

競泳の基幹スキルである泳動作は、選手の特長、コーチの経験、形式知等によって長い年月をかけて形成され多様な状態を生んでいる。画一的な泳動作を目指すより、多様性を持った方が数多くの事態に対処でき、情報を柔軟に様々な形で組み合わせることが可能となる(中野・竹内 1996)。したがって、数多い泳動作の中から共通性と水平方向へ進むのに有効な多様性を理解することはコーチングに有用であると考えられる。他の競技スポーツの研究知見や運動制御に関わる知見を基に、泳動作の共通性と多様性について、レースにおける泳動作パターンの現状把握から、パターンを生じる具体的な動作の相違の検討を行い系統発生的な泳動作の変革を探り、創発的な泳動作の変革の提案に発展させたい。

日本選手権水泳競技大会(2013)における男子 50m 自由形予選の 25m~35m 区間(39 名)では、1 ストロークに要する時間は $0.96 \pm 0.05\text{sec}$ であり、泳速度($1.97 \pm 0.05\text{m/s}$)との相関係数は 0.35 しか見られず、変動係数が 4.8%で、回帰直線からの逸脱が $0.11 \sim -0.08\text{sec}$ の範囲であった。また、1 ストロークで進む距離は $1.90 \pm 0.11\text{m}$ であり、泳速度との相関係数は 0.67 で必ずしも高いとは言えず、変動係数が 5.9%で、回帰直線からの逸脱が $0.20 \sim -0.16\text{m}$ の範囲であった。したがって、優れた水泳選手の均一集団において、泳動作に多様性が認められると総括される。松田ら(2010)は一流選手の男子 100m 自由形のストローク頻度とストローク長の多変量解析の結果からストローク頻度型、ストローク長型、前半ストローク頻度後半ストローク長型、前半ストローク長後半ストローク頻度型の 4 タイプを抽出し、レースペースとの関連を報告した。しかし、ジュニア、競技水準および女性にも同様なタイプが存在するかは不明である。泳速度の向上にはトレーニングやタレント発掘による体格・体力の向上は勿論だが、泳動作のスキルの向上も国際競技力向上の重要な要因であることから、動作の共通性と有効な多様性を集約することは、競技力向上を見通したコーチングに大いに寄与するものと推察される。

泳動作には、姿勢、腕の動作、脚の動作、呼吸動作の調和的反復が求められる。合屋ら(1992)は泳動作の発達について、ボディポジション、プル動作、キック動作、息継ぎ動作から 5 つの動作パターンを抽出し、陸上運動

に比べ年齢に伴う変化量が少なく、学習経験量によってそのパフォーマンスが左右されると報告した。また、Keys et al. (2010)は、一流選手の全身ポリゴンモデルを用いたクロール中の数値流体力学解析を行い、推進力には上肢の肘から先が主に関与し、足は調整的な役割を果たすとし、抵抗力には体幹や大腿の位置取りと上肢の入水直後の状態が関与していることを示した。

これまで、基礎的動きである走動作や投動作について、動作パターンを基準としてその達成や発達を観察評価法で究明した質的な研究(宮丸・平木場 1982)、バイオメカニクス的な変量で標準動作モデルと変動度を示した量的な研究がなされてきた(Ae et al. 2007; 小林ら 2012)。これらは、標準動作が 1 つに絞られ、動作の多様性について十分検討されたとは言えない。

2. 研究の目的

競泳の泳動作における共通性と多様性の探求を主目的とした。そのために次の 3 つの下位問題を設定した；(1)泳動作の共通性と多様性の抽出、(2) 系統発生的な泳動作変革の探索、(3)一層の競技力向上を見通した創発的泳動作変革の提案。

3. 研究の方法

(1) 泳動作の共通性と多様性の抽出

競技中のクロール泳動作について、1 ストロークごとの時空情報より共通性と多様性を抽出することとした。

2014 年度ジュニアオリンピック、全国中学、高校総体、大学選手権の男子 50m 自由形決勝(B 決勝も含む)に出場した 72 名の 15m から 35m のストローク映像(59.94fps, 1920 × 1080)を 4 倍に拡大し、Windows API と 64bit 用 Visual Basic for Applications を用いた自作の動作分析プログラム NotePlayer2 にて水面上の 2D-DLT 解析を行い、1 ストロークごとの着水、離水座標と時間の情報を得た。なお、呼吸サイクルは除いた。ストローク特性を示す 25 変数について因子分析(斜交回転)を行い、ストローク特性を集約した。年齢と同じ因子に類別された泳速度を年齢で指数関数近似した。また、その他の因子の因子負荷量の高い項目に対しクラス分析を適用し、多様性を検討した。

(2) 系統発生的な泳動作変革の探索

系統発生的に非常に近いと判断できる個人内多様性に焦点を当て、クロール泳動作の呼吸の有無における動作を比較検討することとした。

前年の映像のうち、呼吸動作の視認できた 60 名を対象として、水面上の 2D-DLT 解析を行い、呼吸サイクル(B)と無呼吸サイクル(NB)の被験者内効果を検討した。

(3) 一層の競技力向上を見通した創発的泳動作変革の提案

一層の競技力向上を見通すために、当初介入

実験を想定したが、個人内多様性の一つである呼吸の有無によるストロークの違いを更に深く探求するために、小学生のトップスイマーに焦点を当て、クロール泳動作の呼吸の有無による個人内多様性を生じる水中動作を比較検討することとした。

エリート小学生合宿(2016)に参加した自由形専門の小学生7名を対象として、100m自由形全力泳をプール側方水中窓より29.97fps、1440×1080にて撮影し、m2t形式で保存、AVI変換した。呼吸サイクルと無呼吸サイクルにおける手部軌跡について矢状面2D-DLT解析をNotePlayer2にて行った。手部着水点を原点とし、水平座標および垂直座標を時間の6次多項近似し、離水時刻および座標を決定した。軌跡の幾何学的特性変数として、着水離水間距離、軌跡水平幅、軌跡深度、軌跡最大到達位置、水平線と着水から最大到達位置のなす角(着水-到達角)を求めた(図1)。

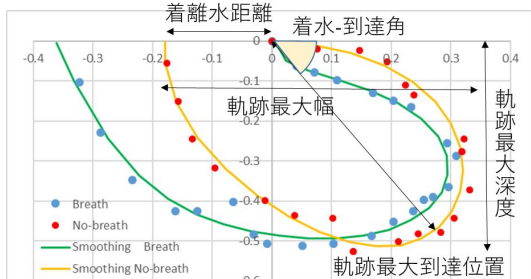


図1 着水点を原点とした手部水中軌跡

4. 研究成果

(1) 泳動作の共通性と多様性の抽出

ストローク特性の因子分析の結果、プル、スピード、リカバリ、コーディネーションの4因子(回転前寄与率0.928)が抽出された。スピード因子における因子負荷量の高い項目に泳速度と年齢が含まれ、泳速度と年齢の指数関数関係($r=0.961$)が認められ、泳速度はストローク特性ではなく年齢による影響の大きいことが明らかとなった。よって、泳速度は泳動作の共通性を示すと言えた(図2)。

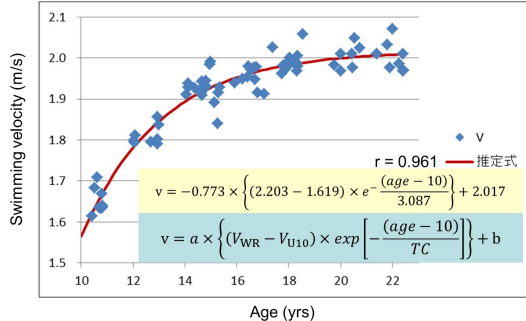


図2 50m自由形の泳速度と年齢の関係

さらに、その他の因子における負荷量の高い項目によるクラス分析の結果、プル動作では、ストロークの大中小の3クラス(図3)、リカバリ動作では長、中、短の3クラス、コーディネーション動作では左右の着水間隔の長短の2クラスが得られた。分散分

析の結果、これらのクラス間に有意な差が認められた。一流選手は年齢と共に競技力が向上するが、ストロークには多様性が見られ、それぞれに合ったストロークを進化させる必要があると提案された。

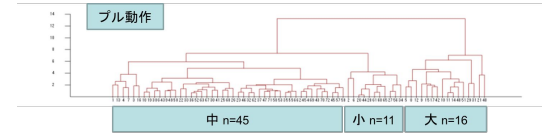


図3 プル動作の多様性デンドログラム

(2) 系統発生的な泳動作変革の探索

ストローク時間 $B(1.027 \pm 0.088 \text{ sec}) > NB(0.990 \pm 0.075 \text{ sec})$ $p < 0.001$ 、ストローク長 $B(1.925 \pm 0.195 \text{ m}) > NB(1.881 \pm 0.162 \text{ m})$ $p < 0.05$ 、泳速度 $B(1.878 \pm 0.133 \text{ m/s}) < NB(1.902 \pm 0.119 \text{ m/s})$ $p < 0.01$ であった(図4)。一方、手の入出水距離 $B(0.110 \pm 0.172 \text{ m})$ $NB(0.101 \pm 0.161 \text{ m})$ に差が認められなかった。

呼吸動作が加わることにより、手の入出水距離に変化がないものの、ストロークに要する時間の増大することが泳速度の低下を招くと考えられた。次の特性が得られた；

50m自由形では1ストロークサイクルに約1秒要す、50m自由形では1ストロークサイクルで約1.9m進む、50m自由形では手の着水地点付近から水中ストローク後に手の離水が見られた、19m~34m区間では約8ストロークサイクルで1-2回呼吸動作が見られた、呼吸動作により1ストロークに要する距離も時間も有意に増えるが、有意に減速し、1回の呼吸で約0.03秒の遅延が認められた。50m自由形で何をすべきかについて、無呼吸で泳ぎ切ることは、無呼吸と変わらないテンポで呼吸できることを目指すことが提案された。水中動作について、さらに詳細に検討する必要があると認められた。

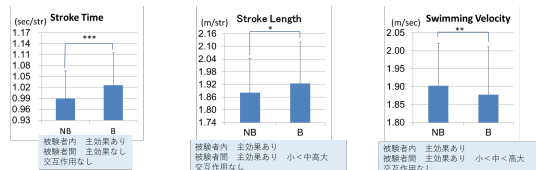


図4 呼吸の有無によるストロークの相違

(3) 一層の競技力向上を見通した創発的泳動作変革の提案

実座標と推定座標の相関係数は0.998~0.999と極めて高く、誤差は水平方向0.9~1.2cm、垂直方向1.8~2.6cmであった。したがって、分析ソフトの妥当性が確認された。そして、次に示す結果が得られた。呼吸の有無による軌跡特性の平均値比較では、着水-到達角を除き有意な差は認められなかった(表1)。これは小学生期に既に専門距離によるストローク特性が形成され始めているためであると考えられる。中距離選手より短距離選手は着水後のグライドが長い傾向が認められ1ストロークごとの推進力が大きいことが考えられる。無呼吸時に比べ呼吸時に

は、アップスイープ期から離水のプル軌跡が後方に滑る選手が観察されたことから、呼吸動作による減速が推察される(図5)。呼吸時の着水-到達角が有意に小さかったのはグライド時の潜り込みから体幹のローリングにより上肢が上方に引き上げられるダウンスイープの抑制が関係していると思われる。

これらのことより、コーチングにおいて呼吸動作の改善を試みる必要性のあることが示唆された。

表1 呼吸の有無による手部水中軌跡特性

N=7	単位	呼吸時	無呼吸時	一対比較
着離水距離	m	0.01 ± 0.26	0.07 ± 0.23	N.S.
軌跡水平幅	m	0.67 ± 0.11	0.61 ± 0.10	N.S.
軌跡深度	m	-0.53 ± 0.06	-0.52 ± 0.05	N.S.
軌跡最大到達位置	m	0.67 ± 0.19	0.70 ± 0.12	N.S.
着水 到達角	deg.	-41.1 ± 19.4	-46.8 ± 15.8	p<0.05

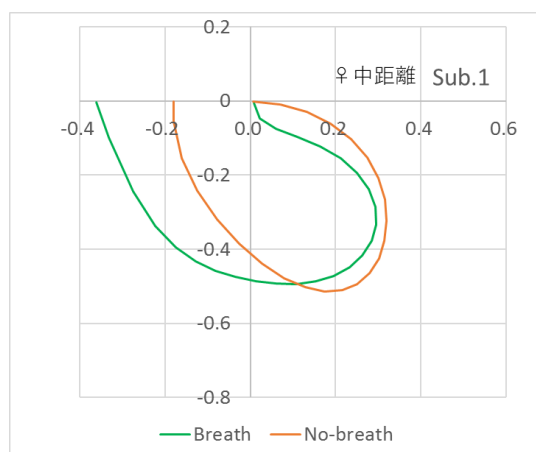


図5 呼吸の有無による手部水中軌跡の相違

本研究を総括して、3年間の研究を通じて、泳動作の共通性と多様性を探求することを目的に研究を行った。その結果、ジュニアからシニアまで泳速度が年齢で指数関数近似できる共通性が認められたが、プル動作、リカバリ動作、左右の腕のコーディネーション動作に多様性が見られた。個人内のストローク多様性の一つである呼吸の有無では、呼吸動作が加わることによりストローク時間が約0.03秒増大し、泳速度の減少を招くことが明らかとなった。さらに呼吸時に水中手部軌跡が後方に滑る現象が減速の要因であることが示唆された。これらを踏まえた部分の性質の単純な総和にとどまらない全体としての創発的な泳動作の変革が期待される。

本研究によって、泳動作の1ストロークごとの検討が競技中水面および水中矢状面において可能となった。これは飛込競技、シンクロナイズドスイミング競技、水球競技等にも転用可能な技術で、学術的意義は大きい。また、クロールの共通性と多様性を示した新規性は高い。さらに、呼吸の有無により0.03秒の遅延を具体的に提示できたこと、水中手部軌跡が後方へスリップしていることが観察されたことは興味深い。そして、小学生期

にすでに泳ぎの分化が始まっていることも新たな発見として意義深い。今後、レース進行に伴う個人内の泳ぎの変容やトレーニング中の強度や疲労に伴う泳ぎの変容を個人内多様性としてさらに探求することが展望として挙げられる。

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 3件)

野村照夫, 浅井泰詞, 村松愛梨奈, 今井由佳, クロール泳における呼吸の有無が水中ストロークに及ぼす影響, 日本コーチング学会第28回大会, 2017/3/21-22, 早稲田大学(東京都・西東京市).
優秀発表賞受賞

野村照夫, 来田宣幸, 一流水泳選手の50m自由形における呼吸の有無がストロークに及ぼす影響, 日本体育学会第67回大会, 2016/24-26, 大阪体育大学(大阪府・泉南郡熊取町).

野村照夫, 谷川哲朗, 吉田司, 来田宣幸, 一流水泳選手の泳動作の共通性と多様性, 日本体育学会第66回大会, 2015/8/25-27, 国士舘大学(東京都・世田谷区).
体育方法専門領域優秀賞受賞

6. 研究組織

(1) 研究代表者

野村 照夫 (NOMURA, Teruo)

京都工芸繊維大学・基盤科学系・教授

研究者番号: 60189438