

## 50m バタフライ泳直前の 60 秒間の深呼吸が 泳パフォーマンスに与える影響\*

前川 剛輝<sup>\*1,\*3</sup>, 都藤 陽平<sup>\*2</sup>, 杉浦 宏季<sup>\*1,\*3</sup>, 野口 雄慶<sup>\*1,\*3</sup>

### Influence of 60 seconds of deep breathing just before the 50m butterfly on swimming performance

Taketeru MAEGAWA<sup>\*1,\*3</sup>, Yohei TSUDO, Hiroki SUGIURA and Takanori NOGUCHI

<sup>\*1</sup> Faculty of Sports and Health Sciences, Department of Sports and Health Sciences

<sup>\*3</sup> FUT Wellness & Sports Science Center

In this study, we investigated the effect of a decrease in the partial pressure of carbon dioxide in the body due to deep breathing for 60 seconds (60s-DB) immediately before a 50 m butterfly swim on the subsequent swimming performance.

The subjects were five collegiate swimmers. Experiment 1: The partial pressure of exhaled carbon dioxide (PETCO<sub>2</sub>) at 60 s-DB was measured in the laboratory. Experiment 2: A trial (deep breathing trial) in which 60s-DB was performed 1 minute 30 seconds to 30 seconds before the start and then a 50m butterfly swim and a trial in which 60s-DB was not performed (normal trial) were performed.

Results of Experiment 1: PETCO<sub>2</sub> decreased significantly when PETCO<sub>2</sub> was compared around 60s-DB ( $35.46 \pm 3.25$  mmHg  $\rightarrow$   $27.50 \pm 2.66$  mmHg,  $p < 0.01$ ). Results of Experiment 2: The respiratory rate of the 60s-DB trial ( $1.4 \pm 1.50$  times) was lower than the respiratory count of the normal trial ( $3.2 \pm 4.4$  times). There were no significant differences in swim record, stroke count, maximum heart rate, and RPE between the two trials.

Deep breathing immediately before the 50m butterfly swim contributes to the reduction of respiratory rate, but the effect on swimming performance may be small.

**Key Words** : Deep Breathing, Carbon Dioxide, Sprint Swim, Butterfly

## 1. 緒 言

呼吸（外呼吸）は、大気から肺で酸素を取り入れ、二酸化炭素を放出する役割を担っている。競泳における呼吸の役割は、酸素を取り込んでエネルギーを循環する以外にも肺に大気を溜めて浮力を増大させることで身体を浮かせて、水面付近の高いポジションを保持させる役割もある。その際の呼吸は陸上のそれとは異なり制限呼吸となる。競泳における呼吸動作は周期的に行われ、その動作の度に推進方向に対して水と衝突する面積（前方投影面積）を増やすことになるため、泳速度の低下をもたらす<sup>(1)</sup>。

スプリント泳（短い距離の全力泳）の際は、呼吸をしない、または少なくする方が泳記録は短縮されると考えられている。先述のように呼吸動作は推進方向に対する水の抵抗を増大させるので泳記録に影響を及ぼすと考えられているからである。競泳のスプリント泳における呼吸動作の影響を検討した報告では、呼吸動作に伴い重心

\* 原稿受付 2022年4月28日

\*1 スポーツ健康科学部 スポーツ健康科学科

\*2 スポーツ健康科学部 スポーツ健康科学科 学部生

\*3 ウエルネス&スポーツ・サイエンスセンター

E-mail: maegawa@fukui-ut.ac.jp

の推進速度の低下が報告されている<sup>(2)</sup>。そしてこの報告では、呼吸なし（ノーブレス）でスプリント泳を行った方が、泳記録が良いことも併せて報告されている。つまりスプリント泳においては、ノーブレスまたは呼吸回数を減らすことによって泳記録向上が望めるかもしれない。しかしこれらは、呼吸困難感（＝息苦しさ）を増大させることにもつながる。

水中での呼吸困難感の低減やその発生を遅延させる方法の一つに深呼吸がある。呼吸困難感を誘発させる一因が体内の二酸化炭素（CO<sub>2</sub>）の増加であることから、深呼吸をすることで体内のCO<sub>2</sub>の排出を促進させること（CO<sub>2</sub>クリアランス）で制限呼吸における呼吸困難感の緩和やその発生の遅延に効果があると報告されている<sup>(3)</sup>。

そこで我々は、スプリント泳直前の深呼吸が呼吸回数の低減をもたらし、泳記録の短縮にもつながるのではないかと考えた。本研究では、呼吸後の泳動作（リカバリー）で上体の沈み込みが大きいという特徴を有するバタフライ泳を取り上げ、50mスプリント泳直前の60秒間の深呼吸による体内のCO<sub>2</sub>分圧の低下が、その後の泳パフォーマンスに与える影響を検討した。

## 2. 方 法

### 2.1 被検者

大学生の男子競泳選手6名（18.8±0.7歳，169.3±2.6cm，63.9±3.3kg）を被検者とした。被検者の年齢，競技経験年数，専門種目はTable 1に示した。研究実施に先立ち被検者に対して本研究の目的，方法について説明を十分に行い参加への同意を得た。

Table 1 Subject's characteristics

被検者	年齢（歳）	競技経験年数（年）	専門種目
A	20	13.0	自由形（クロール）
B	19	12.5	バタフライ
C	18	13.3	バタフライ
D	19	13.5	自由形（クロール）
E	18	6.8	平泳ぎ
F	19	13.0	バタフライ
平均値±標準偏差	18.8 ± 0.7	12.0 ± 2.3	

### 2.2 実験1：深呼吸時の換気・呼気ガス応答（Fig. 1）

被検者にまず呼気ガス採取用のフェイスマスク（Oro-Nasal 7450 Vmask, Hans Rudorff）を装着させ、立位姿勢を保持させた。その後3分間の通常呼吸，1分間の深呼吸，3分間の通常呼吸を行わせた（60s-DB）。深呼吸はメトロノーム（Model MP-80, YAMAHA）のリズムに合わせ、呼吸周期を一定の6秒（3秒呼気 - 3秒吸気）に保つこととし、10回行わせた。なお、その際にできるだけ大きく深呼吸するように指示した。実験開始から終了まで自動呼気ガス分析装置（AE-300S, ミナト医科学）を用いてブレス・バイ・ブレス法により、一回換気量（TV）、終末呼気二酸化炭素分圧（PETCO<sub>2</sub>）を連続的に測定した。

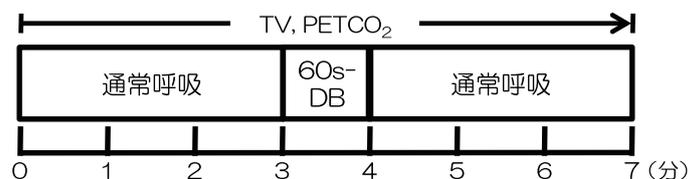


Fig. 1 Procedure of Experiment 1

### 2.3 実験2：50m バタフライ泳パフォーマンス（Fig. 2）

被検者は50mバタフライ泳直前に深呼吸を行う試技（深呼吸試技）と行わない試技（通常試技）を2日に分けて行った。各試技の前には規定のウォーミングアップと休憩をとらせた。なお50mバタフライ泳及びウォーミン

グアップは50mプールを用いた。被検者にウォーミングアップの前に心拍センサー（H10, Polar）と心拍モニター（RCX5, Polar）を装着させた。ウォーミングアップはクロール泳にて、100mを1分30秒～1分40秒のペースで10分間泳がせた。そしてウォーミングアップ終了から10分間の休憩を挟んだ後に50mバタフライの全力泳を行った。深呼吸試技においては実験1で実施した深呼吸と同様の深呼吸を50mバタフライ泳開始1分30秒から30秒前（1分間）に行わせた。全力泳ではデジタルカメラ（EXILIM EX-FH25, CASIO）で泳者（被検者）を動画撮影し、ストップウォッチ（SVAS009, SEIKO）にて泳記録を測定した。全力泳直後には小野寺と宮下による Borg の RPE scale の日本語表示<sup>(4)</sup>を用いて主観的運動強度（RPE）を測定した。また同時に頸動脈による10秒間の脈拍測定から最高心拍数を推定した（10秒間の脈拍数を6倍）。なお、撮影した動画を後で確認して全力泳中のストローク数と呼吸数を数えた。

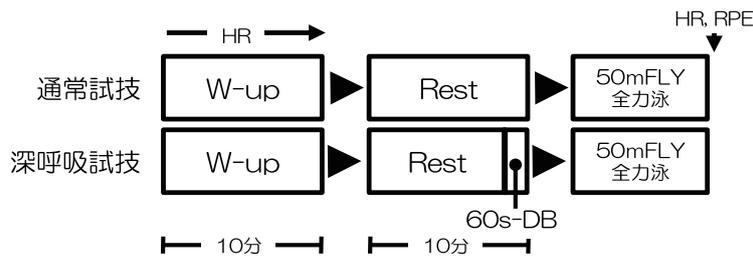


Fig. 2 Procedure of Experiment 2

## 2.4 統計処理

データは平均値±標準偏差で示した。通常試技と深呼吸試技の2条件間で対応のあるt検定を行った。また、ETCO<sub>2</sub>の経時の変化は二限配置分散分析を行い、比較検討を行った。統計学的有意水準はいずれも5%未満（ $p < 0.05$ ）とした。

## 3. 結果

### 3.1 深呼吸時の換気・呼気ガス応答

実験1におけるTVは、安静時と比較し1回目から10回目まで有意に高い値を示した（Fig. 3）。PETCO<sub>2</sub>は安静時と比較し、深呼吸2回目以降から深呼吸終了60秒後まで有意に低い値を示した（Fig. 4）。

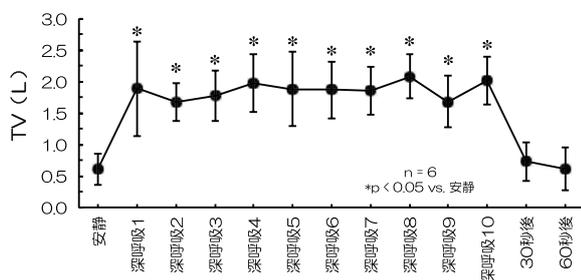


Fig. 3 Changes in tidal volume during deep breathing

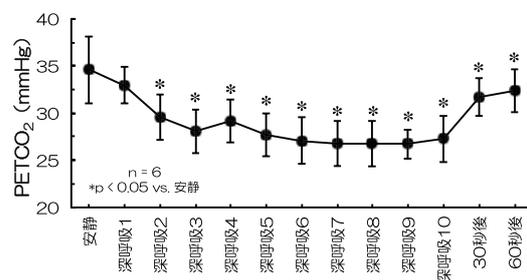


Fig. 4 Changes in end-tidal partial pressure of CO<sub>2</sub> during deep breathing

### 3.2 50m バタフライ泳パフォーマンス

50mバタフライ泳パフォーマンスの各指標を Fig. 5～Fig. 9 に示した。泳記録に両試技間で有意な差はなかった（Fig. 5）。呼吸回数に両試技間で有意な差はなかった（Fig. 6）。しかしながら、深呼吸試技においては、呼吸な

し（ノーブレス）で泳ぎ終えた被検者が2名いた。ストローク数に両試技間で有意な差はなかった（Fig. 7）。泳直後の心拍数に両試技間で有意な差はなかった（図8）。RPEに両試技間で有意な差はなかった（Fig. 9）。

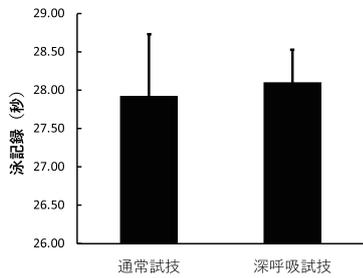


Fig. 5 Comparison of swim record.

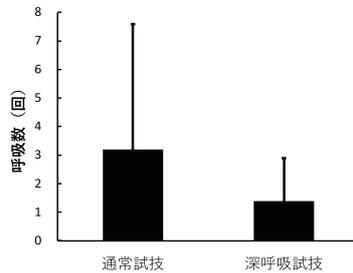


Fig. 6 Comparison of breathing count.

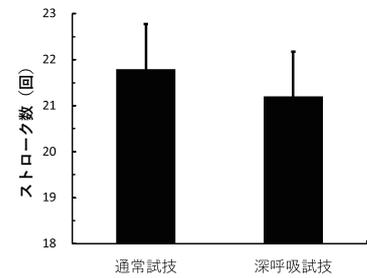


Fig. 7 Comparison of stroke count.

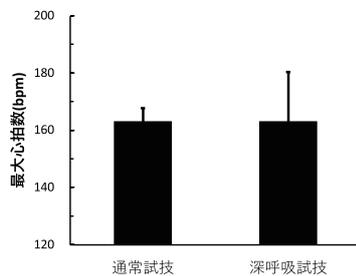


Fig. 8 Comparison of Heart rate peak.

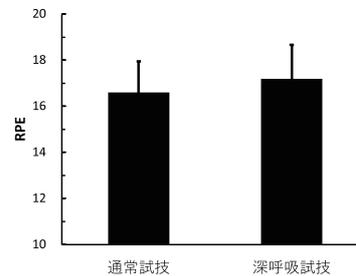


Fig. 9 Comparison of RPE

## 4. 考 察

### 4.1 「3秒吸息-3秒呼息」の特徴

鎌田らの研究 (3) では、深呼吸による CO<sub>2</sub> クリアランスが、水中における息こらえを向上させるかを検討している。この研究では各自のペースで3分間深呼吸を行わせた結果、陸上での息こらえ時間が有意に延長した。また水中での息こらえ時間も有意に延長したことから、深呼吸により CO<sub>2</sub> クリアランスが効果的役割を果たしたと推察している。本研究で行われた深呼吸は、鎌田らの研究よりも時間が短い「3秒吸息-3秒呼息」を1分間行う深呼吸であったが、無呼吸で50mを泳ぎ終える泳者が現れ、鎌田らの研究と同様に息こらえの時間延長がもたらされていると考えられる。過換気（≒深呼吸）は体内の CO<sub>2</sub> 分圧に大きな変化を与える<sup>(5)</sup>。通常の呼吸では動脈血にもかなりの量の CO<sub>2</sub> が残されており、過換気を実施すると、死積の作用により微妙に保たれていた肺胞レベルでの CO<sub>2</sub> 分圧が低下する。その結果、動脈血中の CO<sub>2</sub> 分圧は急激に低下する。過換気は体内の CO<sub>2</sub> レベルを低下させる一方で、通常酸素環境下では酸素レベルには大きな影響を与えない。息こらえにより体内の CO<sub>2</sub> は増加するが、出発点が低いため、さほど苦痛を感じることなく長時間の息こらえが可能となると考えられている。本研究の実験1では、動脈血の CO<sub>2</sub> 分圧を反映する指標である PETCO<sub>2</sub> が、深呼吸開始前と比較すると終了時では7mmHg程度、終了後30秒後では3mmHg程度、60秒後では、2mmHg程度低下している。したがって実験2での1分間の深呼吸により、泳パフォーマンス時には先述の様なメカニズムが働き、呼吸数低減に寄与した可能性が十分に考えられる。

### 4.2 泳パフォーマンスに与える影響

本研究の実験2において行った深呼吸は、スプリント泳における呼吸数低減に貢献していた可能性は高いと考えられる。しかし泳記録においては有意な向上は認められず、平均値では低下する傾向を示した。鎌田らは深呼吸条件の有無と50mクロール泳の平均速度の関係を比較している<sup>(3)</sup>。この研究では、本研究と同様に平均泳速度はコントロール条件と深呼吸条件の二つの条件間で、有意な差が認められなかった。このことから、深呼吸によ

る CO<sub>2</sub> クリアランスが泳速を高める要因としては考えられないと述べている。しかしながら、コントロール条件の平均泳速と、その深呼吸条件の平均泳速との差の関係から、コントロール条件の平均泳速が遅い者ほど、深呼吸条件時の泳速が速くなるという結果が認められている。すなわち泳技術が劣る者ほど、深呼吸による CO<sub>2</sub> クリアランスが泳速を高める要因として考えられるとも述べている。McCabe らは、男子競泳選手を対象に 25m クロールスプリント泳において呼吸動作の有無による速度変化を検討している<sup>2)</sup>。この中で呼吸を行うことによって肩や腕の動きに制限が生じ、重心の推進速度が低下すると述べ、呼吸動作が泳記録の低下につながると結論づけている。したがって、呼吸動作有無や回数が泳記録にどの程度の影響を与えるかは、泳技術の評価もふまえる必要があると考えられる。本研究ではストローク数の結果から泳技術への影響の検討を試みたが十分な根拠を得ることはできなかった。また、RPE 測定の際に「通常試技と比べると深呼吸試技の方が楽に泳げた」と内省報告する被検者も 3 名いたが、深呼吸試技の RPE の方が必ずしも低い訳ではなかった。心理的な負担度や呼吸困難感の評価は、異なる手法により評価すべきかもしれない。被検者には「できるだけ呼吸をしないように」と事前に提示した為、被検者本来のパフォーマンスが発揮できていなかった可能性も考えられる。呼吸制限をすることなく各被検者に合った呼吸回数で行わせるべきだったかもしれない。

### 4.3 実践応用するためのアイデア

バタフライ泳は、特に泳ぎのリズムが乱れやすい泳法といわれ、呼吸動作を小さくするか、呼吸動作の回数を減らすことが速く泳ぐための課題にあげられる。バタフライスプリント泳記録の向上を目的に深呼吸を取り入れる際には、得られる可能性の高い効果に慣れることが必要であると考えられる。その効果は二点、一つは「息こらえ時間の延長」、もう一つは「呼吸困難感の低減」である。前者の効果はノーブレスによる 50m の完泳を戦術とする際に有用であると考えられる。しかし呼吸困難感、泳ぎの終盤において強く現れる為、泳ぎのみだれを予見した戦術を考える必要がある。後者は呼吸困難感に起因する泳ぎの乱れ防止に有用かもしれない。この場合、呼吸のタイミングや技術の熟練度が重要となる。呼吸を行う回数やそのタイミングを事前に決めて、呼吸困難感が生じる前に呼吸動作を行い、呼吸困難感が現れる前に泳ぎきることで泳記録の向上が期待できるかもしれない。何れにおいてもペーシングsstrategiesが重要であり、トライアルを重ねる必要がある。

## 5. まとめ

スプリント泳直前の 60 秒間の深呼吸は、体内の CO<sub>2</sub> 分圧を低下させ (CO<sub>2</sub> クリアランスの増大)、スプリント泳時の呼吸数の低減に寄与する可能性が考えられる。しかし、泳記録短縮への効果は限定的であり、効果を最大化させるには事前練習やペーシングsstrategiesの再考など戦略的な取り組みが必要であると考えられる。

## 謝 辞

本研究にご協力頂いた、福井工業大学水泳部のスタッフと選手の皆様に感謝致します。

## 参考文献

- (1) D.R. Pendergast, P.E. Di Prampero, A.B. Craig Jr., D.R. Wilson and D.W.Rennie, "Quantitative analysis of the front crawl in men and women", *Journal of Applied Physiology: Respiratory, Environmental and Exercise Physiology*, Vol. 43, No.3 (1977), pp.457-459.
- (2) C.B. McCabe, R.H. Sanders and S.G. Psycharakis, "Upper limb kinematic differences between breathing and non-breathing conditions in front crawl sprint swimming", *Journal of biomechanics*, Vol.48, No.15(2015), pp.3995-4001.
- (3) 鎌田安久, 栗林徹, 出口敦美, 山下芳男, “スタート前の深呼吸が水泳に及ぼす効果 : 50 メートル泳のタイムと血中乳酸値”, 岩手大学教育学部附属教育実践研究指導センター研究紀要, Vol.1 (1991), pp.375-383.
- (4) 小野寺孝一, 宮下 充正, “全身持久性運動における主観的強度と客観的強度の対応性 : Rating of perceived exertion の観点から”, 体育学研究, Vol.21, No.4 (1976), pp.191-203.
- (5) 宮村実晴, 古賀俊策, 安田好文 (編), 呼吸 - 運動に対する応答とトレーニング効果 (1998), pp.60-64, ナップ.

(2022年8月4日受理)