

令和 3 年 6 月 18 日現在

機関番号：12604

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18K10848

研究課題名(和文)泳姿勢の観点から水泳初心者の技術的特性を解明する

研究課題名(英文)The effect of streamline posture on swimming performance

研究代表者

森山 進一郎 (MORIYAMA, Shinichiro)

東京学芸大学・教育学部・准教授

研究者番号：60386307

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：水中水平姿勢における浮心・重心間距離が離れると下肢を沈下させる力が働き、抵抗を受ける面が増えて泳速が落ちる。本研究では、水中水平姿勢は泳力レベルに関わらず重要な技術と捉え、「浮心・重心間距離は泳力を示す指標になる」と仮説立て、その検証を行った。その結果、水平静止姿勢時の顔の向きは浮心および重心位置を有意に変化させること、水平静止姿勢における浮心・重心間距離の違いは被牽引時のけのび姿勢による泳速に影響しないが、泳技術の差を反映すること、そして浮力のある水着を着用することで泳パフォーマンスは向上することが明らかとなった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の学術的独自性は、泳技術を浮心・重心間距離と関連づけて検討し、水中静止姿勢から泳者技術的特性を解明しようとする点にある。結果として、顔の向きというわずかな泳姿勢の変化が水平姿勢に影響が出ることが明らかになった点は、水泳初心者に対する指導法改善に資する知見と言える。けのび姿勢の優劣には技術が存在しており、より水平な姿勢の保持が、泳力の向上につながることも明らかとなったことから、新たな水泳用の練習器具の開発につながる知見も得られた。以上の視点は、学校体育における新しい教材の提案と児童生徒のより効率的な泳技能の獲得の実現、延いては生涯スポーツとしての水泳の発展にもつながることが期待できる。

研究成果の概要(英文)：We hypothesized that "the distance between the center of buoyancy and gravity is an indicator of swimming skill" and verified it. As these results, the direction of the face in the stationary horizontal streamline posture significantly changed the position of the center of buoyancy and the center of gravity. The difference in the distance between the center of buoyancy and the center of gravity in the stationary horizontal posture does not affect the swimming velocity due to the towed streamline posture but affects the difference in swimming skill. It was also revealed that wearing a swimsuit with additional buoyancy improves swimming performance. Therefore, we concluded that the position and distance between the center of buoyancy and the center of gravity affect swimming performance, and competitive swimmers have advantageous skills for maintaining horizontal posture than non-skilled swimmers.

研究分野：運動方法学

キーワード：浮力 重力 水平姿勢 抵抗 牽引泳

### 1. 研究開始当初の背景

水中での水平姿勢には、頭部側に浮力、足部側に重力が働き、両者の間(浮心・重心間距離)には通常ズレがある。このズレによって下肢を沈下させる力(水中トルク)(Pendergast 1977)が生じると、抵抗を受ける面積が増えて泳速が落ちる(Capelli 1995)。とりわけ、泳技能の低い水泳初心者の場合、水中トルクが大きくなると、呼吸が出来なくなったり泳運動を継続できなくなったりする。

水泳運動時には、身体の前後の圧力差による圧抵抗、水と水着や皮膚との間の摩擦による摩擦抵抗、そして泳者の動作による造波抵抗が生じる(高木 2001)。これまで、浮心・重心間距離は、圧抵抗と関係の深い水中水平姿勢の指標として、主に競泳のパフォーマンス分析やトレーニングへの示唆を得る報告がなされてきた(Gagnon 1981; McLean 1998; 丸山 2012)。近年では、レース水着の開発で水中姿勢のサポート機能が着目されるなど、実践現場でも抵抗と姿勢は注目されている。

しかし、浮心・重心間距離を指標とした初心者の泳技術の分析は未だない。初心者の泳ぎは、選手と異なり頭を上げる呼吸時だけでなく、通常の泳姿勢から下肢の沈下が散見される(柴田 2000)。また、姿勢保持に関与する体幹部の筋活動や、浮力と関係の深い体脂肪の分布と浮心・重心間距離と関連づけた検討も未だない。一方で、浮くことや沈むことは、浮心と重心を直接的に水中で体感できる水慣れ段階の指導(宮畑 1960)だが、浮きやすいあるいは沈みやすい姿勢を浮心・重心間距離から検討した報告も皆無に等しい。つまり、浮く・沈む技術の指導は、今日に至るまで指導者の経験知に基づいたものであった。

### 2. 研究の目的

本研究では、泳姿勢の観点から水泳初心者の技術的特性を解明することを目的とした。水中水平姿勢における浮心・重心間距離が離れると下肢を沈下させる力が働き、抵抗を受ける面が増えて泳速が落ちる。本研究では、水中水平姿勢は泳力レベルに関わらず重要な技術と捉え、「浮心・重心間距離は水泳初心者の泳力を示す指標になる」と仮説立てた。この仮説を検証するために、以下の4つの課題を設定した。

課題1: 異なる水平姿勢における浮心・重心間距離の定量および比較

課題2: 浮心・重心間距離と水泳時の泳力関連指標との関係の検証

課題3: 浮力のある水着を着用することによる意図的な泳姿勢の変化が泳力に及ぼす影響

### 3. 研究の方法

#### 課題1

12名の参加者(1.72 ± 0.06 m; 64.5 ± 6.7 kg)が、両腕を挙上させたストリームライン姿勢を陸上および水中にて保持した。顔の向きは、頸部の屈伸を伴わない状態(NSL)および指先を見るような頸部伸展位(FLS)とした。重心位置(CM)の測定は、リアクションボード法(Hay, 1993)を用いた。浮心位置(CB)の測定は、全身を浸水させ、手部と足部に設置されたロードセルにより計測した水中体重を用いた。その際、スノーケルを介して5秒間で最大呼気位から最大吸気位までの呼吸を30秒間繰り返した(Watanabe et al, 2016; 2017)。すべての値は1回の吸気量( $\ell$ )を元に得られた浮力によって正規化し、姿勢間で比較した。CBおよびCMは、参加者の足からの距離で示し、CBとCMの距離の差(浮心・重心間距離)も算出した。得られたすべての値に対し、対応のあるt検定を用いて比較した。

#### 課題2

8名の良く鍛錬された大学男子競泳選手(1.69 ± 0.06 m; 61.4 ± 5.8 kg)および5名の競泳経験のない一般男子学生(1.74 ± 0.06 m; 66.2 ± 6.9 kg)を対象に、以下に示す4種類のテストより定量データを得た。(1)水中ストリームライン姿勢を保持したまま専用の牽引装置を用いて26.7N, 53.4Nおよび80.1Nの力で牽引された際の泳速度、(2)格子状のフレーム上で両腕を挙上した仰向けストリームライン姿勢を保持した際のCBおよびCM、(3)陸上にて(2)と同様のストリームライン姿勢を保持した際の体幹部横断面積、(4)水中ストリームライン姿勢でステンレス製の棒を握った状態での水平線と手首およびくるぶしを通る線分からなる下肢沈降角度。CMおよびCBの測定には、課題1と同様の方法を用いた。

なお、課題1を含め、先行研究に見られる方法(Watanabe et al, 2016; 2017)では、CBはうつ伏せ姿勢であり、CMは仰向け姿勢であり、両者の姿勢が異なっていた。そこで、課題2では、新たに



写真1 浮心位置測定の様子

開発した実験機器（写真1）を用いてCBもCMも仰向け姿勢にて測定した。CBおよびCMの位置や浮心・重心間距離は課題1と同様の定義とした。

以上の得られた測定項目のうち、競泳選手においては(1)より得られた牽引された際の泳速度に対するピアソンの積率相関係数を算出した。牽引負荷による泳速度の変化は、繰り返しのある一元配置分散分析およびボンフェローニ法による多重比較を用いて検定を行った。一般男子学生は参加者数が少ないため、統計処理は行わなかった。

加えて、本測定データに深く影響することが十分予測できる身長および体重がほぼ同等の競泳選手および一般学生各1名について、上記(1)から(4)の測定データに加えて25mの最大努力によるクロール泳を実施し、すべての値を比較した。

### 課題3

参加者は、3名の大学女子競泳選手とした。試技は、課題1および2と同様にCBおよびCMを定量するための陸上および水中での上肢を挙上させた水平姿勢保持、ならびに泳パフォーマンス測定としての200mを4回行う漸増速度クロール泳とした。CBとCMの決定も、課題1および2と同様に、鉛直方向の荷重と参加者の垂直軸方向の長さとした。漸増速度クロール泳の測定では、自己最高記録を100%として、80%、85%、90%、100%の泳速度で実施し、運動強度の指標として血中乳酸濃度を採用した。血中乳酸濃度を測定するための採血は、1~3回目は1分後、4回目は最大値を示すまで1分後から2分おきに実施した。本研究では、意図的に姿勢を変化させたことによるパフォーマンスを比較するために、ポリエステル素材の一般的な練習用水着と、浮力が約2Nであり太ももまで覆うラバー素材の有浮力水着を用いた（写真2）。得られたすべての定量データは、水着間で比較した。



写真2 一般的な練習用水着（左）と有浮力水着（右）

## 4. 研究成果

### 課題1

参加者の長軸方向の長さは、FSL ( $206.3 \pm 6.5$  cm) よりもNSL ( $207.4 \pm 6.2$  cm) の方が有意に大きかった。NSLのCB ( $104.80 \pm 3.61$  cm) およびCM ( $103.10 \pm 3.49$  cm) は、FSLのそれら (CB,  $104.50 \pm 3.65$  cm; CM,  $102.75 \pm 3.56$  cm) よりも有意に頭部側であった。しかしながら、浮力がゼロとなる吸気量 (NSL,  $2.34 \pm 0.68$  l; FSL,  $2.46 \pm 0.68$  l) および浮心・重心間距離 (NSL,  $1.70 \pm 0.29$  cm; FSL,  $1.75 \pm 0.22$  cm) は、NSLとFSLとの間に有意差は認められなかった。重心位置に確認された姿勢間の差は、Watanabe et al の報告 (2016) と同様に、身体の長軸方向の長さの違いに起因するだろう。NSLとFSLの吸気量には、有意差は認められていないものの平均値で0.12lの差が生じた。それゆえ、顔の向きによるCBの違いは、肺の中のわずかな空気量に影響を受けたかもしれない。結論として、ストリームライン姿勢における顔の向きは、CBおよびCMに影響を及ぼすことが示唆された。

### 課題2

競泳選手において、26.7N、53.4N および 80.1N の力で牽引された際の泳速度は、26.7 N で  $1.06 \pm 0.06$  m/s、53.4 N で  $1.52 \pm 0.11$  m/s、そして 80.1 N で  $1.84 \pm 0.13$  m/s であり、すべての牽引負荷間で負荷の増加に伴って有意に上昇した。一方、体幹部横断面積 ( $893.30 \pm 141.85$  cm<sup>2</sup>)、浮心・重心間距離 ( $2.57 \pm 0.02$  cm) および下肢沈降角度 ( $7.44 \pm 3.22$  °) は、すべての牽引負荷による泳速度との間で有意な相関関係が認められなかった (表1)。以上の結果より、競泳選手においては、水中推進時に生じる受動抵抗と関連のある静止ストリームライン姿勢より得られた指標は、牽引されたストリームライン姿勢の泳速度に影響を及ぼさないことが明らかとなった。

表1 泳速度と各測定項目との間の相関係数

	V26.7 N	V53.4 N	V80.1 N
体幹部横断面積	0.039	0.071	-0.151
下肢沈降角度	-0.229	-0.145	0.214
浮心・重心間距離	-0.489	-0.248	-0.054

一般大学生において、26.7N、53.4N および 80.1N の力で牽引された際の泳速度は、26.7 N で  $0.85 \pm 0.06$  m/s、53.4 N で  $1.32 \pm 0.08$  m/s、そして 80.1 N で  $1.69$

V26.7N、V53.4N および V83.1N は、それぞれ牽引負荷が 26.7N、53.4N および 83.1N の時の泳速度

$\pm 0.11$  m/s であり、競泳選手同様に牽引負荷に伴って泳速の平均値も上昇した。体幹部横断面積は  $933.49 \pm 82.57$  cm<sup>2</sup>、浮心・重心間距離は、 $3.08 \pm 0.03$  cm であり、下肢沈降角度の測定では、全員が下肢を浮かせた状態で保持することができず、測定値を算出することは出来なかつ



た。浮心・重心間距離は、競泳選手よりも一般大学生の方が若干ではあるが大きな値を示した。すなわち、一般大学生の方がより下肢が沈み込みやすいことが予想される。この仮説を裏付けるように、下肢沈降角度の測定では競泳選手は一定の角度で姿勢を保持し続けることが出来たものの、一般大学生は5名全員が下肢を浮かせた状態でのストリームライン姿勢を保持することが出来なかった。以上をまとめると、水泳が得意でない泳者の泳ぎに散見される下肢が沈降した姿勢は、静止したストリームライン姿勢の巧拙が影響していることが示唆された。

人が水中を進む際の抵抗は、水を受ける面積に依存する (Capelli 1995)。この面積は、泳者の体格の影響を受け、大きい方が抵抗は大きくなるため、同じ力で牽引された場合は、面積が小さい方がより高い泳速度となることが期待できる。仮に身長や体重のような体格が同じ泳者間において、ストリームライン姿勢を保持しながら牽引された際の速度に差が認められたとすると、両者の泳力差は、手のかきや足のけりといった泳ぎ自体の技能レベルだけでなく、最も単純な技術とも言えるストリームライン姿勢保持そのものにも差があることになる。そこで、次に身長と体重がほとんど同じだが、泳力レベルが著しく異なる2名の参加者を対象に、上記より得られた指標について比較した。

その結果、浮心・重心間距離は選手が2.6cmで一般学生が2.9cmであり、下肢沈降度は選手が1.7度で一般学生は水平姿勢を保持できなかった(写真3)。牽引のび泳速度は、26.7N, 53.4N, 80.1Nの順に選手は

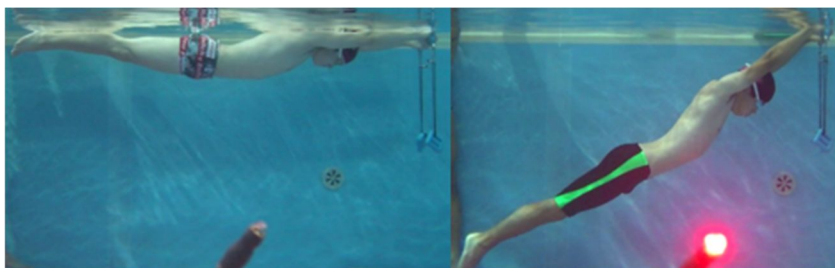


写真3 競泳選手(左)と一般学生(右)の下肢沈降角度

1.10m/s, 1.60 m/s, 1.87 m/sであり、一般学生は0.90 m/s, 1.38 m/s, 1.81 m/sであった。以上より、選手と一般学生との間には、下肢沈降度と低い牽引力における泳速に大きな差が認められ、一般学生よりも選手の方が浮く技能が優れていることが示唆された。

### 課題3

浮力が0となる時点でのCBは、一般用練習水着そして有浮力水着の順に、選手Aは99.3 cmおよび98.3 cm、選手Bは93.9cmおよび93.3 cm、そして選手Cは95.5 cmおよび95.2 cmであった。同じく、CMは、選手Aは98.5 cmおよび97.7 cm、選手Bは92.4cmおよび92.0 cm、そして選手Cは水着の違いに関わらず94.5 cmであった。浮心・重心間距離は、一般用練習水着そして有浮力水着の順に、選手Aでは0.85 cmおよび0.61 cm、選手Bでは1.52 cmおよび1.32 cm、そして選手Cでは1.02 cmおよび0.72cmであり、3名ともに一般練習用水着着用時よりも有浮力水着着用時の方が短縮した。漸増速度泳の結果より泳速度と血中乳酸濃度の関係式から計算された4mmol/l強度の泳速度(OBLA速度)は、有浮力水着着用時(選手A, 1.34 m/s; 選手B, 1.32 m/s; 選手C, 1.33 m/s)と一般用練習水着着用時(選手A, 1.35 m/s; 選手B, 1.34 m/s; 選手C, 1.32 m/s)を比較してみると、選手Bおよび選手Cの2名が上昇(0.04 m/sと0.01 m/s)し、選手Aが低下(0.01m/s)した。

有浮力水着は、通常の水着に重ねて着用する。そのため、水着が重なっている臀部から大腿部の荷重(約140g)は増加する。また、リアクションボード法の特徴から、水着の重ね着が腰椎骨盤の角度へ影響するかもしれない。これらの要因によって、CMは0~0.8 cmの間で尾側へ移動したものと考えられる。

本研究で用いた有浮力水着を着用することで、下肢は約2Nの浮力を受ける。その結果、3名全員のCBが尾側へ移動したものと考えられる。浮心位置は、重心位置よりも尾側への移動幅が大きかったため、結果的に浮心・重心間距離は有浮力水着の方が低値となり、下肢沈降トルクが減少して水平姿勢に近づいたといえる。

この一方で、OBLA速度は必ずしも水平姿勢の変化から期待できる改善を示したとはいえない。すなわち、競泳選手における水中水平姿勢の改善は、必ずしも泳パフォーマンスを向上させるとは言えないだろう。結論として2N程度の浮力のあるジャマータイプの水着は、泳パフォーマンスへの影響には個人差が見られるものの、ストリームライン姿勢における浮心・重心間距離を短縮させることが示唆された。

以上の三つの課題を総じて、水中での静止状態におけるストリームライン姿勢は、顔の向きのような比較的小さな姿勢変化によっても影響を受け、泳技能が選手よりも乏しい一般学生の方が下肢は沈みやすいものの、下肢に浮力を加える水着を着用することで下肢の沈降は防げることが示唆された。それゆえ、水泳初心者指導の際には、水中でのストリームライン姿勢において下肢の沈降を防ぐことを狙いつつ、状況に応じて有浮力水着のような意図的に下肢に浮力を課すことの有効性が期待できるだろう。

### <引用文献>

Capelli C, Zamparo P, Cigalotto A, Francescato MP, Soule RG, Termin B, Pendergast DR, Di Prampero PE. Bioenergetics and biomechanics of front crawl swimming. J Appl

Physiol (1985). 1995;78(2):674-9.

Gagnon M, Montpetit R. Technological development for the measurement of the center of volume in the human body. J Biomech. 1981;14:235-41.

Hay JG. The biomechanics of sports technics. 4th ed. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall; 1993.

McLean SP, Hinrichs RN. Sex differences in the centre of buoyancy location of competitive swimmers. J Sports Sci. 1998;16(4):373-83.

Pendergast DR, Di Prampero PE, Craig AB Jr, Wilson DR, Rennie DW. Quantitative analysis of the front crawl in men and women. J Appl Physiol Respir Environ Exerc Physiol. 1977 Sep;43(3):475-9.

柴田義晴. 基礎からの水泳. ナツメ社, 東京: 2000.

高木英樹. 抵抗を制する者、勝負を制す. 水泳水中運動科学. 2001; 4(1): 5-10.

丸山 祐丞, 近田 彰治, 矢内 利政. 呼吸様式が重心位置と浮心位置に与える影響: 水泳における水平姿勢維持への示唆. 体育学研究, 2012; 57(2): 641-651.

宮畑虎彦. 水泳競技. ベースボールマガジン社, 東京: 1960.

Watanabe Y, Wakayoshi K, Nomura T. The Effect of Shoulder Position Difference of Streamline Posture in Competitive Swimmers. 34th International Conference on Biomechanics in Sports, Tsukuba, Japan, July 18-22, 2016: 1135-1138.

Watanabe Y, Wakayoshi K, Nomura T. New evaluation index for the retainability of a swimmer's horizontal posture. PLoS One. 2017;12(5):e0177368.

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Moriyama Shin-Ichiro, Mankyu Hirotochi, Tsunokawa Takaaki, Kurono Tsubasa, Mizukoshi Hayato, Ogita Futoshi	4. 巻 0
2. 論文標題 Does a jammer-type racing swimsuit improve sprint performance during maximal front-crawl swimming?	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Sports Biomechanics	6. 最初と最後の頁 1-13
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1080/14763141.2021.1878263	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Moriyama, S., Yoshida, Y., Watanabe, Y., Wakayoshi, K.	4. 巻 1
2. 論文標題 Assisted training improves swimming performance in non-competitive collegiate swimmers	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Constructing a happy sport field of future generations	6. 最初と最後の頁 61-62
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Yoshida, Y., Moriyama, S., Watanabe, Y., Wakayoshi, K.	4. 巻 1
2. 論文標題 Effects of stroke rate on assisted swimming performance	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Constructing a happy sport field of future generations	6. 最初と最後の頁 114
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計6件（うち招待講演 0件/うち国際学会 4件）

1. 発表者名 Moriyama, S., Watanabe, Y., Kurono, T., Toyoda, Y., Wakayoshi, K., Shibata, Y., Ogita, F.
2. 発表標題 Relationship between characteristics of static streamline posture and swimming velocities of towed streamline posture
3. 学会等名 25th Congress European College of Sport Science（国際学会）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 森山進一郎、渡邊泰典、黒野翼、水越勇人、豊田郁豪、若吉浩二
2. 発表標題 浮力のある水着の着用が競泳選手の泳パフォーマンスに及ぼす影響
3. 学会等名 第75回日本体力医学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 ○森山進一郎、渡邊泰典、黒野翼、豊田郁豪、佐藤耕平、若吉浩二
2. 発表標題 競泳選手と一般学生の静止けのび姿勢の特徴と牽引けのび泳速の比較
3. 学会等名 日本バイオメカニクス学会第26回大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Moriyama, S., Yoshida, Y., Watanabe, Y., Wakayoshi, K.
2. 発表標題 Assisted training improves swimming performance in non-competitive collegiate swimmers
3. 学会等名 2018 KNSU International Conference-Asia-Pacific Conference on Coaching Science- (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yoshida, Y., Moriyama, S., Watanabe, Y., Wakayoshi, K.
2. 発表標題 Effects of stroke rate on assisted swimming performance
3. 学会等名 2018 KNSU International Conference-Asia-Pacific Conference on Coaching Science- (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Moriyama, S., Watanabe, Y., Kurono, T., Mizukoshi, H., Wakayoshi, K., Shibata, Y., Ogita, F.
2. 発表標題 Does different facial direction influence the swimmer's horizontal posture?
3. 学会等名 24th Annual Congress of the European College of Sport Science (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	渡邉 泰典 (WATANABE Yasunori) (50638418)	仙台大学・体育学部・講師  (31301)	
研究分担者	荻田 太 (OGITA Futoshi) (50224134)	鹿屋体育大学・スポーツ生命科学系・教授  (17702)	
研究分担者	佐藤 耕平 (SATO Kohei) (00409278)	東京学芸大学・教育学部・准教授  (12604)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------