

# 異なる水の比重が回流水槽における水泳姿勢と passive dragに及ぼす影響

小野寺 昇 (Sho Onodera)	川崎医療福祉大学医療技術学部
宮地 元彦 (Motohiko Miyachi)	//
宮川 健 (Takeshi Miyakawa)	//
西村 正広 (Masahiro Nishimura)	川崎医療福祉大学大学院医療技術学研究科
星島 葉子 (Yoko Hoshijima)	川崎医療福祉大学医療技術学部
山元 健太 (Kenta Yamamoto)	川崎医療福祉大学大学院医療技術学研究科
山口 英峰 (Hidetaka Yamaguchi)	//
斉藤 剛 (Takeshi Saito)	//
松井 健 (Takeshi Matsui)	//

## 〔要旨〕

本研究は、水の比重を0.99から1.04に変化させた時の回流水槽におけるpassive dragと姿勢変化について詳細に検討した。対象は、健康成人男女13名（男子7名、女子6名）とした。水の比重は、Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>水溶液の濃度を調節し、姿勢変化は、真横から高速度ビデオカメラで撮影し、分析した。passive dragは、回流水槽の吹き出し口に固定したストレインゲージによって求めた。水温は28℃、室温は30℃とした。水の比重が0.99（水道水）から1.03の範囲では比重が大きくなるにしたがって体の受ける抵抗、すなわちpassive dragが有意に減少した（ $p < 0.05$ ）。さらに比重を増大し、1.04にすると逆にpassive dragは減少から増大に転じた。姿勢変化は、水の比重が大きくなるにしたがって体幹、大腿、下腿が浮く傾向を示した（ $p < 0.05$ ）。これらのことから水の比重は、水泳のエネルギー効率に影響を及ぼすと考えられるpassive dragと水泳姿勢の変化に大きく係わることが明らかとなった。

◆キーワード：水の比重、passive drag、水泳姿勢、回流水槽

## 1. 緒言

海水は、淡水に比較し泳ぎやすいといわれる。これは、海水の比重の影響で浮力が淡水に比較し高いためと考えられる。DobeinとHolmer<sup>1)</sup>は、立ち泳ぎのときの浮くためのエネルギー消費量を1.2l/minと報告し、Ikegamiら<sup>2)</sup>は、クロール泳における浮くためのエネルギー消費量を0.32l/min（男子）、0.185l/min（女子）と報告した。小野寺ら<sup>3)</sup>は、比重を増大させた塩水（Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>水溶液）におけるクロール泳のエネルギー代謝について検討し、比重が高くなるとエネルギー消費量が有意に減少し、淡水より約30%エネルギー効率が高くなることを示した。水の比重が高くなるとエネルギー消費量が減少することから、passive dragも同様に減少すると予測される。そこで、水の比重をNa<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>を用いて変

化させたとき、水の比重の違いが、passive dragに及ぼす影響を姿勢変化から検討した。

## 2. 方法

健康な成人男女13名を対象とした。被験者の年齢、身長、体重、体脂肪率、頭周囲、肩周囲、体表面積を表1に示した。水の比重は、Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>の濃度を変化させ0.99（水道水）、1.02、1.03、1.04とした。水の比重が変化しても水の粘性は、一定であった。回流水槽13)の容積は15m<sup>3</sup>であり、水温は28℃、室温は30℃とした。passive dragは、ストレインゲージ（LT-50KG, 共和電業）によって求めた。対象は、ストレインゲージに接続したスチール線端のグリップをつかみ、伏し浮き姿勢を回流水槽で維持した（図1）。回流水槽の流速は、0.6m/secから1.8m/secまで0.2m/secずつ増大させた。姿勢変化は、回流水槽の

表1 被験者の年齢、身長、体重、体脂肪率、頭周囲、肩周囲、腰周囲、体表面積

	年齢 (歳)	身長 (cm)	体重 (kg)	体脂肪率 (%)	頭周囲 (cm)
平均	23.8	169.0	63.6	15.1	56.6
標準偏差	±6.8	±8.9	±10.0	±3.7	±1.8
	肩周囲 (cm)	腰周囲 (cm)	体表面積 (m <sup>2</sup> )		
平均	92.3	91.9	1.75		
標準偏差	±7.1	±3.8	±0.18		

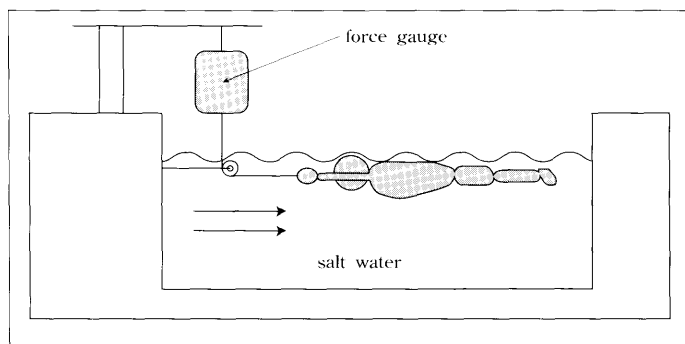


図1 回流水槽におけるPassive drag測定の模式図

真横から高速度ビデオカメラ (Nac ; HSV400) で撮影し、肩峰、大転子、脛骨中央部、外果 (足関節) に添付した蛍光マーカー4点に注目し、体幹角度、大腿角度、下腿角度を分析した。

統計処理は、二元配置分散分析 (Stat View4.0 2Factor-ANOVA) で行ない、有意水準は、5%とした。多群間比較は、FisherのPLSDを用いた。

### 3. 結果

各流速における水の比重とpassive dragの変化を表2に示した。passive dragは、水の比重が高くなるにしたがって有意に減少した ( $p<0.05$ )。水の比重、1.03と1.04におけるpassive dragに有意な差はみられなかった。passive dragは、流速が速くなる従って有意に小さくなった ( $p<0.05$ )。

回流水槽における水の比重と流速が及ぼす体幹角度 (肩峰点と転子点を結ぶ線と水平面のなす角度) への影響について図2に示した。水の比重が高くなるにしたがって体幹角度は有意に ( $p<0.05$ ) 小さくなった。特に流速0.6m/secから1.0m/secにおいてこの傾向は著明であった。水の比重0.99 (水道水) においては、流速が速くなるにしたがって体幹角度は有意に ( $p<0.05$ ) 小さくなった。一方、水の比重1.02から1.04においては、流速が速くなっても体幹

表2 異なる流速における水の比重とPassive drag(kg)の関係

比重\流速	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8 (m/s)
0.99	1.72 ±0.18	2.52 ±0.41	3.59 ±0.57	4.59 ±0.73	5.65 ±1.05	6.55 ±1.06	7.45 ±0.85
1.02	1.78 ±0.24	2.41 ±0.45	3.31 ±0.50	4.61 ±0.77	5.38 ±0.85	6.48 ±1.17	7.09 ±1.07
1.03	1.70 ±0.23	2.20 ±0.26	3.30 ±0.43	4.20 ±0.49	5.10 ±0.73	6.00 ±0.87	7.10 ±1.06
1.04	1.60 ±0.21	2.20 ±0.32	3.40 ±0.54	4.20 ±0.65	5.10 ±0.74	6.20 ±0.77	7.10 ±0.81

(平均値 ±標準偏差)

角度はほとんど変化しなかった。

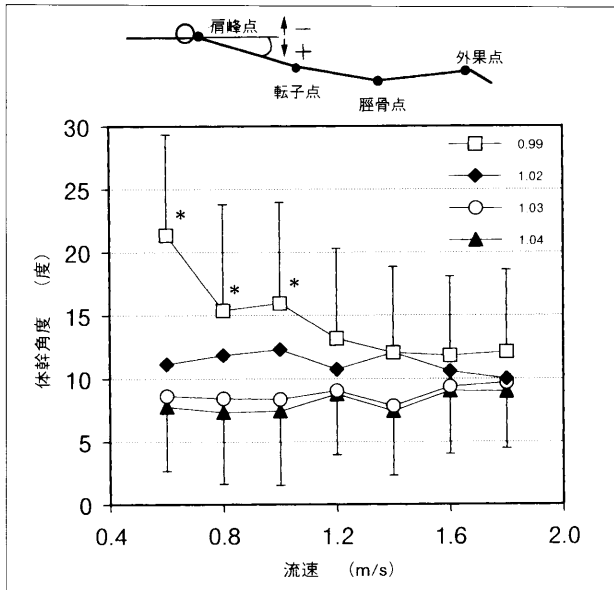


図2 回流水槽における水の比重と流速が及ぼす体幹角度（肩峰点と転子点を結ぶ水平面のなす角度）の変化（\* P<0.05）

回流水槽におけ水の比重と流速の違いが及ぼす大腿角度（転子点と脛骨点を結ぶ線と水平面のなす角度）への影響について図3に示した。水の比重が高くなるにつれて大腿角度は有意に小さくなった（p<0.05）。水の比重0.99（水道水）では、流速が速くなるにしたがって有意に大腿角度が小さくなった

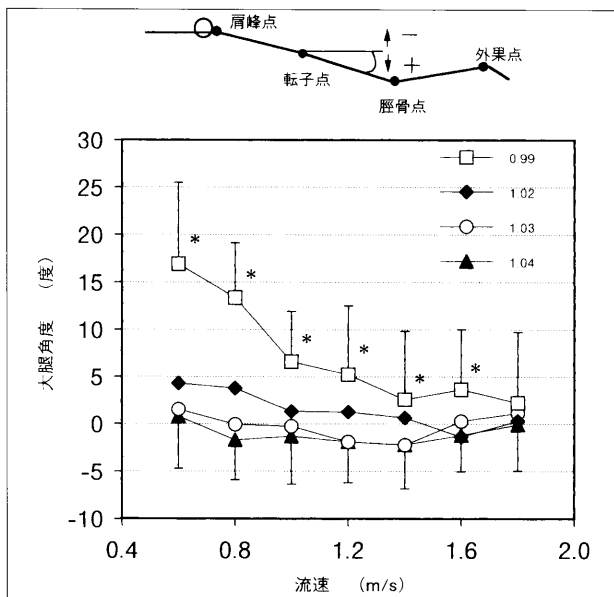


図3 回流水槽における水の比重と流速が及ぼす大腿角度（転子点と脛骨点を結ぶ水平面のなす角度）の変化（\* P<0.05）

(p<0.05)。水の比重1.02から1.04では、流速が速くなくてもほとんど変化しなかったが、水の比重1.03と1.04では、流速が速くなるにしたがって、大腿角度がマイナスの値をとった。このことは、大腿部が水平よりもさらに浮いた状態にあることを示唆する。

回流水槽における水の比重と流速の違いが及ぼす下腿角度（脛骨点と外果点を結ぶ線と水平面のなす角度）への影響について図4に示した。角度0度は、脛骨点を通る水平方向を示し、プラス方向は、水面下方向へ傾斜していることを示し、マイナス方向は水面方向に傾斜していることを示す。水の比重が高くなるにつれて下腿角度は有意に小さくなり（p<0.05）、マイナス方向に傾斜した。水の比重1.02から1.04では、その傾向が著明であった。同様に、流速が速くなるにつれて、水の比重0.99（水道水）では、下腿角度は有意に小さくなり、マイナス方向に傾斜した。水の比重1.02から1.04では、流速0.6m/secにおいてすでにマイナスの値をとった。

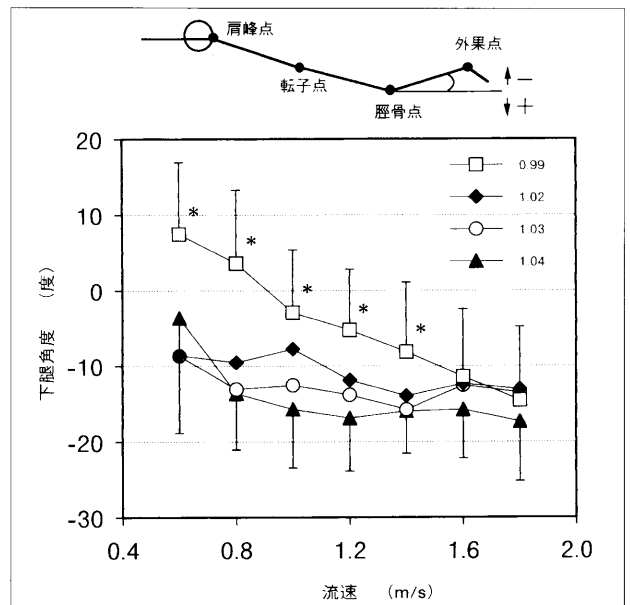


図4 回流水槽における水の比重と流速が及ぼす下腿角度（脛骨点と外果点を結ぶ水平面のなす角度）の変化（\* P<0.05）

#### 4.考察

本研究は、水の物理的特性である比重を変えることによって、水泳のエネルギー効率に影響を及ぼすと考えられるpassive dragと姿勢変化から詳細に観

察した。水泳時の水の抵抗となる要因として速さ、姿勢、体密度、体表面積、体型等があげられる。これらの要因と passive drag の係わり<sup>1,3,5,9,12)</sup>、そして active drag の係わり<sup>2,6,7,11,15,16,17,18,19)</sup> が多数報告されている。Miyashita et al は、流速が増加すれば passive drag が増加し、男性よりも女性の passive drag が有意に小さいことを示した<sup>10)</sup>。このことは、女性の体密度が男性よりも有意に小さいことに帰因する。今回の実験条件の様に水の比重を変化させることは、passive drag に体密度の大小と同様の影響を及ぼすものと考えられる。水の比重を高めると passive drag は、有意に減少した(表2)。この傾向は、水の比重を変化させたときのクロール泳の酸素消費量の変化とよく一致した<sup>11)</sup>。これらの事実は、水泳のエネルギー効率に体密度が深く係わることを示唆する。同時に水の比重が1.04になると passive drag の減少は有意な変化ではなかった。このことも先行研究と一致する傾向であった<sup>11)</sup>。これらのことは、水の浮力の増加が水泳のエネルギー効率を高めることを示唆するものと考えられる。

比重を高めた水中では、体幹角度、大腿角度そして下腿角度が小さくなり(図2、3、4)水道水に比べて、より水平に近い伏し浮き姿勢をとることができた。この傾向は、流速が0.6m/sから1.2m/sにおいて著明であった。このことは、比重の増大による浮力の増大が、特に遅い流速における水中姿勢に影響を及ぼし結果的に passive drag を減少させるものと考えられた。また、これらのことは、水泳姿勢がエネルギー効率を左右する大きな要因であることを示唆する。

遅い流速において関節角度及び passive drag の減少傾向が大きいことから水泳技術取得の一つの手段として比重を高めた水中でのトレーニングも有効であると考えられる。同時に初心者にとって水泳の基本姿勢である「けのび姿勢」の修得に適した環境であると考えられる。また、補助浮き具等は、浮力を高める一方で進行方向には抵抗となることも考え合わせると比重を高めた水は、初心者や子供たちにとって水泳技術を修得する有効な手段になりえると考えられる。

## 5.まとめ

1. 水の比重の違いが passive drag と水泳姿勢に及ぼ

す変化について検討した。

2. 水の比重は、Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>を溶解し、回流水槽を用いて drag force を求め、姿勢変化は高速度ビデオ記録から分析した。

3. 水の比重が高くなると passive drag は、有意に減少した。

4. 水の比重が高くなると水泳姿勢は passive drag が減少する方向に変化した。

これらのことは、浮力の増加が合目的な姿勢を保ち、水泳のエネルギー効率を高めることを示唆するものと考えられる。また、そのことが初心者などの水泳技術の獲得に有効であると考えられる。

## 【参考文献】

- 1) Calrys JP., Jiskoot, J. and Lewillie, L. (1973) A cinematographic, electromyographic and resistance study of water polo and competition front crawl. In S. Cerquiglini, A. Vene rando and J. Wartenweiler (eds) Biomechanics ... Basel, Karger : 446-452.
- 2) Clarys JP (1979) Human morphology and hydrodynamics, Swimming」: 3-41.
- 3) Counsilman, J. E (1955) Forces in swimming two types of crawl stroke, Reserch Quarterly 26 : 127-139.
- 4) Dobein W, and Holmer I (1974) Body composition, sinking force and oxygen uptake of treading water, J Appl Physiol 37: 55-59.
- 5) Faulkner, J. A (1968) Physiology of swimming and diving., Ini H. B. Falls (eds) Exercise Physiology. Academic Press : 415-446.
- 6) Hollander AP et al (1986) Measurement of active drag during crawl arm stroke swimming. J Sports Sci 4: 21-30.
- 7) Holmer I (1975) Efficiency of breaststroke and freestyle swimming, Swimming」: 130-136.
- 8) Ikegami H, et al (1983) Comparison of Vo<sub>2</sub> for buoyancy and propulsion during swimming between males and females, Jp J Phys Educ 28: 33- 42.
- 9) Karpovich, P. V. (1933) Water resistance in swimming , Reserch Quarterly 4 : 21-28.
- 10) Kitagawa, K. et al (1977) Maximal oxygen uptake, body composition and running performance in Japanese young adults of both sexes, Jpn J Physical Educ 21: 335-340.
- 11) Kolmogorov SV and Duplishcheva OA (1992) Active drag, useful mechanical power output and hydrodynamic force coefficient in different swimming strokes at maximal velocity, J Biomech 25: 311-318.
- 12) Miyashita, M and Tsunoda, T (1978) Water resistance in relation to body size, Swimming Medicine, : 395-401.
- 13) Onodera S, et al (1991) Distribution of the velocity of flowing fluid at the swimming flume, Kawasaki Med Welfare 1: 177-181.

- 14) Onodera S, et al (1994) Effect of differences in buoyancy of water on oxygen uptake and heart rate during swimming, *Med Sport Sci Basel, Karger* 39: 126-130.
- 15) di Prampero PE et al (1974) Energetics of swimming in man, *J Appl Physiol* 37: 1-5.
- 16) Scheleihauf RE and Gary L (1983) Three-dimensional analysis of swimming propulsion in the sprint swimming. in Hollander AP, Huijing PA, de Groot G (eds) *Biomechanics and Medicine in Swimming*. Champaign ] , Human Kinetics: 173-184.
- 17) Teruo Nomura et al (1994) Determination of active drag during swimming , *Medicine and Science in Aquatic Sports*, Basel, Karger 39: 131-136.
- 18) Toussaint HM, et al (1988) Active drag relate to velocity in mail and femail swimmers, *J Biomech* 21 : 435-438.
- 19) Ungerechts B. E. and A. Niklas (1994) Factors of activedrag estimated by flume swimming, *Medicine and Science in Aquatic*, Basel Karger 39: 137-142.