

令和 3 年 6 月 30 日現在

機関番号：31301

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2020

課題番号：18K17796

研究課題名(和文)水難事故防止教育の着衣泳における系統に基づいた浮き身指導法の開発とその効果の検証

研究課題名(英文) Recommendations for providing systematic instruction while floating with clothing to prevent water accidents and its verification

研究代表者

渡邊 泰典(WATANABE, Yasunori)

仙台大学・体育学部・講師

研究者番号：50638418

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、呼吸に伴う浮力の増減や衣服の組み合わせが、ヒトの浮力と重力の大小関係、浮心と重心の位置関係に及ぼす影響を検証し、着衣泳指導提言への示唆を得ることを目的とした。その結果、夏の軽装を想定したTシャツとハーフパンツの着用では、肺換気量と浮力は、着衣時が水着時より減少した。また、これに合わせて靴を着用した場合、肺換気量は、着衣時が水着時より減少したが、浮力に違いはなかった。浮心重心間距離は、着衣時が水着時より短縮した。顔を挙げてクロールを泳いだ場合、着衣時は水着時より泳速とストローク長は減少したが、ストローク頻度は変わらなかった。RPEは着衣時が水着時より増加したが、心拍数に違いはなかった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の学術的意義は、衣服が水中におけるヒトの肺換気量、水平姿勢、主観的/客観的負担度に及ぼす影響を定量的に評価したことにある。結果として、たとえ着圧が高くないTシャツとハーフパンツの着用でも換気量が減少することや、運動靴を着用すれば減少した浮力をカバーでき、身体は水平に近づくこと、さらには、負担度は主観的には大きくなるが、客観的には衣服の有無で差はなく、主観と客観に乖離が生じることが明らかとなった。これらの知見は、着衣泳の指導内容の明確化に貢献する点で社会的意義は大きく、水辺の安全教育の更なる発展が期待できる。

研究成果の概要(英文)：This study aimed to verify the increase and decrease in buoyancy with breathing and the combination of clothing on the relationship between human buoyancy and mass and the positional relationship between the centers of buoyancy and mass. Results showed that lung ventilation and buoyancy decreased when wearing a clothes (T-shirt and shorts, assuming the summer weather) compared with when wearing a swimsuit. When shoes were added, lung ventilation decreased but not buoyancy. The distance between the centers of the buoyancy and mass decreased when clothed compared with when wearing a swimsuit. When swimming front crawl with the face out of the water, the speed and stroke length decreased when clothed compared with when wearing a swimsuit. However, the stroke rate did not change. Moreover, the rate of perceived exertion increased when clothed compared with when wearing a swimsuit; however, the heart rate did not change.

研究分野：運動方法学

キーワード：着衣泳 肺換気量 浮力 浮心重心間距離 ストローク長 ストローク頻度 主観的運動強度 心拍数

## 1. 研究開始当初の背景

着衣泳は、今や小・中・高校を問わず学校現場を中心に実施されるだけでなく、近年は、民間スイミングスクールにおいても、水難を想定した自己保全を学ぶ体験型の学習活動として取り組まれている。学習指導要領では、体験活動や安全教育に関する取り組みの重要性が強調されていることもあり、積極的に実施しようとする流れがあるが、自然水域における水難を想定した着衣泳指導となると、単なる泳法指導とは全く勝手が異なることから、水泳の専門的知識・スキルを有する指導者であっても、戸惑うこともあるかもしれない。

今日、我が国で実施される着衣泳の多くは、むやみに泳がず“浮いて待つ”ことが強調される傾向にある。これは着衣によって増大する水中抵抗による体力の消耗を防ぐことが目的であり、実際に水難から無事に生還した事例からも、その重要性は明らかである。荒木ら(1995)や野沢(1996)が提唱した、日用品を浮き具として活用して浮く方法は、手軽さも相まって、全国に普及して大きな教育成果を挙げた。一方で、近年は、着衣泳と言えば、空のペットボトル等を利用した“浮く体験”に終始するケースも多く、浮き具に頼らず浮くための指導が十分になされていないとは言えない。稲垣(2013)は、教える側(指導者)が、必ずしも指導に精通しているとは言えないとして、着衣泳の実践に目を疑うようなケースがあることを報告している。そもそも、今日の我が国の着衣泳指導は、衣服による抵抗の変化にのみ注意が向けられる現状もあり、衣服が溺者の身体に及ぼすその他の影響に関しては、広く知られているとは言い難い。

## 2. 研究の目的

本研究は、衣服がヒトの身体に及ぼす影響を詳細に検証し、着衣泳の指導に活用可能な実践的示唆を得ることを目的とした。この目的を達成するために、以下に示す3つの課題を設定した。

課題1: 衣服が水中環境下のヒトの肺換気量、浮力、浮心、重心に及ぼす影響

課題2: 衣服の組み合わせがヒトの肺換気量、浮力、浮心、重心に及ぼす影響

課題3: 着衣の有無が水泳時のパフォーマンスと身体負担度に及ぼす影響

## 3. 研究の方法

### 課題1

参加者は大学水泳部所属の男子競泳選手10名とした。実験は25mの屋内温水プールで実施した。参加者は、水着条件では、腰から膝上丈の一般的なスパッツ型水着を着用した。着衣条件では、夏場の水辺でのレクリエーション時を想定し、上記スパッツ型水着の上から、体育授業用のTシャツとハーフパンツ(共にポリエステル100%)を着用した(写真1参照)。

事前検証として、衣服による抵抗増加の程度を確認するため、20 lbs (88.97 N)の張力で前方牽引測定を実施した。測定には、張力を一定に保つことができる牽引機(Torrent E-Rack Swim Power Trainer; Hector Engineering Co., Inc., USA)を用いた。参加者は、糸の先に取り付けられたナイロン製ベルトを腰に巻いて、けのび姿勢を保持した状態で前方に牽引された。

重心位置測定は、Hay(1993)のリアクションボード法を参考に開発した身体重心測定機(G-Gravity; 4Assist, Inc., Japan)を用いて陸上にて実施した。参加者は、上肢と下肢にそれぞれ一つずつ配置した1軸式簡易フォースプレートの上に設置された特製のテーブルの上で、仰臥位けのび姿勢で静止した。

浮力測定は、Gagnon and Montpetit(1981)、McLean and Hinrichs(2000)及びWatanabe et al.(2017)を参考にロードセルとフレームを用いて水中にて実施した。

肺換気量は、センタースノーケルの先に取り付けたニューモタコグラフ式センサ(Arco System Inc., Japan)をアンブ(FM-200XB; Arco System Inc., Japan)に接続して、導出される圧力差から求めた。参加者は、5秒ごとに最大吸気と最大呼気を繰り返し、60秒間水中に止まった。

すべての測定値は、平均値及び標準偏差で示した。衣服の有無に伴う各測定値の平均値は、対応のある学生t検定にてその差の検定を実施し、有意水準は5%とした。統計解析はIBM SPSS statistics v. 24を用いた。



写真1 水着条件(左)と衣服条件(右)

## 課題 2

参加者は大学水泳部所属の男子競泳選手 10 名とした。実験は 25 m の屋内温水プールで実施した。参加者の水着条件は課題 1 と同様、腰から膝上丈の一般的なスパッツ型水着を着用した。着衣条件は、課題 1 と同様、T シャツとハーフパンツ（共にポリエステル 100%）に加えて、一般的な運動靴を着用した（写真 2 参照）。

重心位置測定、浮力測定及び肺換気量測定は、課題 1 と同様とした。



写真 2 着用した運動靴

## 課題 3

参加者は大学水泳部所属の男子競泳選手 10 名、女子競泳選手 5 名とした。実験は 25 m の屋内温水プールで実施した。参加者の水着条件は課題 1 及び課題 2 と同様、腰から膝上丈の一般的なスパッツ型水着を着用した。着衣条件は、課題 2 と同様、T シャツとハーフパンツに加えて、一般的な運動靴を着用した。参加者は 5 m ライン上に頭がくるよう位置し、測定者のスタートの合図とともに壁やプール底を蹴らずに泳ぎ始めた。なお、参加者は泳ぎ初めから泳ぎ終えるまで一貫して頭部を水面上へ出し続け、顔を進行方向へ向けた状態で 15 m の距離をクロールで泳いだ（写真 3 参照）。努力度は、「slow」、「normal」、「fast」の 3 段階に設定した。参加者の

側方からデジタルビデオカメラ（GZ-RX680-D、JVC ケンウッド社製）にて動画撮影を行い、映像データを基に、Video Performance Monitor-Swim（VPM-D、YSDI 社製）を用いて、泳速度、ストローク長、ストローク頻度を算出した。主観的身体負担度は、小野寺・宮下（1976）による和訳版の Borg's Scale を用いて、泳ぎ終えた直後の主観的運動強度を評価した。客観的身体負担度は、ハートレートモニター（RS400、Polar 社製）を用いて、心拍数を評価した。



写真 3 顔を上げたクロールの様子

## 4. 研究成果

### 課題 1

参加者を前方牽引した際の速度は、着衣時（ $1.69 \pm 0.10$  m/s）が、水着時（ $1.92 \pm 0.08$  m/s）に比べ、0.1%水準で有意な低値を示した。浮心重心間距離は、水着時（ $1.61 \pm 0.25$  cm）と着衣時（ $1.71 \pm 0.25$  cm）の間に統計学的有意差は認められなかった。肺換気量は、着衣時（ $1.66 \pm 0.44$  L）は、水着時（ $1.83 \pm 0.49$  L）に比べ、1%水準で有意な低値を示した。浮力は、着衣時（ $646.33 \pm 76.12$  N）が、水着時（ $648.19 \pm 76.65$  N）より、5%水準で有意な低値を示した。

前方牽引時の張力は 20 lbs（88.97 N）で同じにもかかわらず、着衣時に速度の明確な低値を示したことから、着衣が受動抵抗を増加させることが明らかとなった。本研究で用いた T シャツとハーフパンツは、決してコンプレッションウェアのような着圧の高い衣服ではなかった。よって、速度の低下は、水抵抗の影響で衣服の形状が変化し、前方投影面積の増加によるものと考えられる。

浮心重心間距離の観点から見れば、本研究で設定した T シャツとハーフパンツのような夏の軽装では水平姿勢に影響を及ぼさないことが明らかとなった。

肺換気量は、水着時と比べて着衣時で減少した。通常、水中での体積の変化が、浮力に影響することはよく知られている。Sarro et al.（2006）は、泳者の呼吸に伴う体幹部分の体積と胸郭の動きは正の相関関係にあることを報告している。体積の変化は、肺内の気量の変化によって起こるため、肺換気量が減少すると体積が減少し、浮力も減少することになる。本研究で、着衣時の肺換気量と浮力が減少したのもこのためと考えられる。よって、たとえ陸上で衣服の着圧が高くなくとも、水中では、泳者の胸郭の動きに影響を及ぼし、水中体積の低下を引き起こすことが示唆された。

### 課題 2

浮心重心間距離は、着衣時（ $0.17 \pm 0.55$  cm）は水着時（ $1.46 \pm 0.42$  cm）に比べ、0.1%水準で有意な低値を示した。肺換気量は、着衣時（ $1.47 \pm 0.32$  L）は、水着時（ $1.83 \pm 0.66$  L）に比べ、5%水準で有意な低値を示した。浮力は、着衣時（ $677.95 \pm 70.83$  N）と水着時（ $677.08 \pm 71.92$  N）の間に統計学的有意差は認められなかった。

浮心重心間距離は、T シャツとハーフパンツに加えて運動靴を着用した場合、水着時よりも大幅に短縮することが明らかとなった。元来、ヒトの下肢は、大腿骨やハムストリングスなど骨量・筋量ともに多いため沈みやすいことが知られている。運動靴の着用は、沈下しがちな下肢の持ち上げに貢献することが示唆された。

一方、肺換気量は、T シャツとハーフパンツに加えて運動靴を着用した場合、水着時よりも有意に減少したにもかかわらず、浮力の結果に差は認められなかった。このことから、運動靴の浮力が肺換気量減少とそれに伴う浮力の減少をカバーしたと考えられる。

### 課題 3

泳速度は、すべての努力度において、着衣時 (slow : 0.59 m/s、normal : 0.79 m/s、fast : 1.11 m/s) が、水着時 (slow : 0.85 m/s、normal : 1.08 m/s、fast : 1.52 m/s) に比べ、5%水準で有意な低値を示した。ストローク長は、すべての努力度において、着衣時 (slow : 1.17 m/stroke、normal : 1.23 m/stroke、fast : 0.95 m/stroke) が、水着時 (slow : 1.61 m/stroke、normal : 1.50 m/stroke、fast : 1.26 m/stroke) に比べ、5%水準で有意な低値を示した。ストローク頻度は、着衣時 (slow : 30.54 strokes/min、normal : 39.00 strokes/min、fast : 71.32 strokes/min) と、水着時 (slow : 31.31 strokes/min、normal : 43.30 strokes/min、fast : 73.49 strokes/min) で、いずれも努力度の違いに伴い有意な増加を示した。衣服の有無の比較では、「normal」の努力度においてのみ、着衣時が水着時に比べ、5%水準で有意な低値を示した。主観的身体負担度を評価する主観的運動強度は、着衣時 (slow : 11.4、normal : 12.8、fast : 16.6) が、水着時 (slow : 9.3、normal : 11.3、fast : 15.8) で、いずれも努力度の違いに伴い増加を示し、slow と fast、normal と fast で有意性が確認された。衣服の有無の比較では、「slow」と「normal」の努力度において、着衣時が水着時に比べ、5%水準で有意な高値を示した。客観的身体負担度を評価する心拍数は、着衣時 (slow : 121.6 bpm、normal : 130.3 bpm、fast : 151.3 bpm) が、水着時 (slow : 115.1 bpm、normal : 127.2 bpm、fast : 148.6 bpm) で、いずれも努力度の違いに伴い増加を示した。また、着衣時は slow と fast、normal と fast で有意性が確認され、水着時は slow と normal、slow と fast、normal と fast で有意性が確認された。衣服の有無の比較では、着衣時と水着時で統計学的な差は認められなかった。

着衣時の明確な泳速度の低下とストローク長の減少は、衣服による抵抗の増加や靴の着用による下肢動作の効率低下に起因するものと推察された。

ストローク頻度は「normal」の努力度で衣服の有無の違いがみられるが、その他では差はないため、概ね、衣服の有無による影響は軽微と考えられる。

身体負担度の比較では、心拍数は衣服の有無で差はないため、客観に見れば違いはないが、主観的には衣服着用時に負担を大きく感じていることが明らかとなり、主観と客観の間に乖離が生じることが示唆された。

#### 着衣泳指導への提言

本研究で用いた T シャツ及びハーフパンツは、一般的な体育授業用の衣服であり、シルエットは比較的ゆったりとした物であった。しかしながら、水中環境下では、肺換気量は約 160 mL 減少し、それに伴い浮力も低下した。これまで、衣服は空気を内部に留めるため、裸の時より浮力を付加する (Barwood et al. 2011) という、そのポジティブな部分が注目を集めてきた。ただし、それは、冬の服装のように、ウールや防水/防風ジャケット、あるいはスウェットシャツを重ね着した場合のように、衣服間に残存する空気量が、着衣によって減少する肺換気量の分を上回った時に初めて有効に機能するのであって、今回の一連の研究のように夏の軽装ではその恩恵を受けることができない可能性がある。本研究における肺換気量の減少に、衣服が何らかの影響を及ぼしたかどうかは推察されるが、それがどのようなメカニズムかは具体的にはわからない。ただし、本研究の知見から、着衣泳指導では、夏の軽装で水難に遭遇した際の対処として、意識的に大きく息を吸い込むことの重要性を説明することはできるだろう。

また、運動靴の着用は、衣服による肺換気量の減少とそれに伴う浮力の低下をカバーできることが示された。これまで、直立でも口が水面上に出れば呼吸が確保できるとして、「パーティカル・フローティング」がその具体的な対処の仕方として示されてきた。ただし、我が国では子供の溺水死亡事故の約半数が河川で発生していることを考慮すれば、その現状に即して水辺の安全教育としての着衣泳授業で扱う内容を検討する必要があるだろう。運動靴を履くことで身体がより浮くのであれば、楽に呼吸が確保できることにつながるはずである。また、近年、安全水泳教育先進諸外国では、溺水事故への対処として、「浮いて待つ」だけでなく、必要に応じて泳ぐなど、ひとりひとりが選択的な行動をとれるように教育している。運動靴を履くことで姿勢がより水平になるのであれば、より省エネで泳ぐことが可能になるはずである。溺水死亡事故の報道から確認できる限りでは、不意に履いていたサンダルが流されたことによりパニックが生じて重大な事故に遭遇しているケースが散見される。本研究の知見から、水辺に出かける際には、サンダルではなく運動靴を着用することの重要性を説明することはできるだろう。

#### <引用文献>

1. Barwood, M.J., Bates, V., Long, G., and Tipton, M.J. (2011). "Float First": Trapped air between clothing layers significantly improves buoyancy after immersion. *International Journal of Aquatic Research and Education*, 5(2), 147-163.
2. Gagnon, M., and Montpetit, R. (1981). Technological development for the measurement of the center of volume in the human body. *Journal of Biomechanics*, 14, 4, 235-241.
3. Hay, J.G. (1993). *The biomechanics of sports techniques (4th ed.)*. Englewood Cliffs: NJ: Prentice-Hall.
4. McLean, S.P. and Hinrichs, R.N. (2000). Influence of arm position and lung volume on the center of buoyancy of competitive swimmers. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 71 (2), 182-189.

5. Sarro, K.J., Silvatti, A.P. and de Barros, R.M.L. (2006). Separate trunk volumes and ribs motion correlations in swimmers. *24th International Symposium on Biomechanics in Sports*, 1-4.
6. Watanabe, Y., Wakayoshi, K., Nomura, T. (2017). New evaluation index for the retainability of a swimmer's horizontal posture. *PLoS ONE.*, 12(5): e0177368.
7. 荒木昭好, 野沢巖, 椿本昇三 (1995). 30分でわかる着衣泳実技トレーニング, 山海堂
8. 稲垣良介 (2013). 再考、夏休み前に行う水難事故防止の指導. 体育科教育, 第61巻第7号, 42-45
9. 野沢巖 (1996). 服を着たまま水に落ちたらどうするか 命を守る5つの方法, 財団法人競艇保安協会

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1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 Watanabe Y., Moriyama S., Inagaki R., Wakayoshi K.	4. 巻 1
2. 論文標題 Effect of being fully-clothed in water on the distance between the centre of buoyancy and the centre of mass as well as pulmonary ventilation for people involved in water-related incidents	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 XIIIth International Symposium on Biomechanics and Medicine in Swimming Proceedings	6. 最初と最後の頁 449-454
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 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 -

〔学会発表〕 計6件（うち招待講演 0件/うち国際学会 3件）

1. 発表者名 渡邊泰典、森山進一郎
2. 発表標題 衣服および靴の着用が水中におけるヒトの肺気量、浮力および浮心重心間距離に及ぼす影響
3. 学会等名 日本体育学会第70回大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 水越勇人、渡邊泰典、及川研、森山進一郎
2. 発表標題 衣服と靴の着用が水泳時のパフォーマンスおよび身体負担度に及ぼす影響
3. 学会等名 日本コーチング学会第31回大会兼第13回日本体育学会体育方法専門領域研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Watanabe Y., Moriyama S., Inagaki R., Wakayoshi K.
2. 発表標題 Effect of being fully-clothed in water on the distance between the centre of buoyancy and the centre of mass as well as pulmonary ventilation for people involved in water-related incidents
3. 学会等名 XIIIth International Symposium on Biomechanics and Medicine in Swimming（国際学会）
4. 発表年 2018年

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

1. 発表者名 若吉浩二、森山進一郎、渡邊泰典
2. 発表標題 有浮力水着着用が水中バランスおよび血中乳酸カーブテストに及ぼす効果
3. 学会等名 日本コーチング学会第30回大会兼第12回日本体育学会体育方法専門領域研究会
4. 発表年 2018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
---------------------------	-----------------------	----

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
---------	---------