

# 着衣が水中歩行時の運動生理に及ぼす影響に関する 基礎的研究

今井 大喜<sup>1)</sup>・横山 久代<sup>2)</sup>・渡辺 一志<sup>3)</sup>・荻田 亮<sup>4)</sup>・岡崎 和伸<sup>5)</sup>  
・鈴木 雄太<sup>6)</sup>・生田 英輔<sup>7)</sup>

- 1) 大阪市立大学 都市健康・スポーツ研究センター e-mail: dimai@sports.osaka-cu.ac.jp
- 2) 大阪市立大学 都市健康・スポーツ研究センター e-mail: yokoyama@sports.osaka-cu.ac.jp
- 3) 大阪市立大学 都市健康・スポーツ研究センター e-mail: watanabe@sports.osaka-cu.ac.jp
- 4) 大阪市立大学 都市健康・スポーツ研究センター e-mail: ogita@sports.osaka-cu.ac.jp
- 5) 大阪市立大学 都市健康・スポーツ研究センター e-mail: okazaki@sports.osaka-cu.ac.jp
- 6) 大阪市立大学 都市健康・スポーツ研究センター e-mail: suzuki@sports.osaka-cu.ac.jp
- 7) 大阪市立大学大学院 生活科学研究科 e-mail: ikuta@osaka-cu.ac.jp

津波や大雨洪水等の水害時には、着衣状態で水に浸かり避難行動をとらざるをえない状況が想定される。そこで本研究では、着衣が水中歩行時の運動生理に及ぼす影響について、一定の水中環境下で検証した。その結果、着衣は最大速度下での水中歩行時において着衣無状態と比べて心拍数および相対強度を高め、特に低速度下では主観的な運動強度の感覚を高めることが示された。

Key words : 水害, 衣服, 浸漬, 運動強度, 体温

## 1. 緒言

津波や大雨洪水等の水害時において、急激な水位の上昇時には着衣のまま水に浸かり、歩行によって避難する状況が想定される<sup>1)</sup>。水中歩行は、陸上歩行に比べて水温や水圧の影響を受け、体温や呼吸循環応答の変動、これらに付随して主観的運動強度や温度感覚に影響することが知られている<sup>2-4)</sup>。清水らは、水中歩行時において、水温30℃条件と比べて25℃条件では血圧や主観的運動強度が上昇し、35℃条件では心拍数が増加することを報告している<sup>4-5)</sup>。また、水流があれば流速の増加に伴って、心拍数や酸素摂取量・換気量等の呼吸諸量さらには主観的運動強度を上昇することや、水流の有る場合には、無い場合に比べて安全に避難できる限界水位を低下することが知られている<sup>6-7)</sup>。さらに、ヒトが水中に浸漬した場合の着衣の影響については、主に寒冷下において水難事故が発生した状況を想定し、体温や呼吸循環器系へ及ぼす影響や、低水温に対する防護服の効果について検証されている<sup>8-10)</sup>。しかし、これらは水中歩行時の生体反応や、冷水下における着衣の影響のみを検証しており、水中歩行時における着衣の影響については検討されていない。この点について検討した研究は、わずか1件であり、それは着衣量の増加に伴って歩行速度が低下することを示している<sup>11)</sup>。したがって、着衣が水中歩行時の体温・循環応答等の生理指標や主観的運動強度・温熱感覚等の自覚的感覚指標に対してどのように影響を及ぼすか検討するためには、諸条件を調整した基礎的な研究が必要である。

## 2. 目的

本研究では、着衣が水中歩行時の運動生理に及ぼす影響について、水温および水流が一定の水中環境のもと、ヒト対象が定常負荷運動をおこなった際の各種生理指標ならびに自覚的感覚指標の評価から検証することとした。

### 3. 方法

#### (1) 対象

対象は、健康な成人男性6名とした。事前の問診にて、体調不良、発熱や息苦しさ、味覚異常の無いこと、また、体温が  $36.6 \pm 0.3^{\circ}\text{C}$  (平均値 $\pm$ 標準偏差, 以下同様)、収縮期血圧が  $124 \pm 11\text{mmHg}$ , 拡張期血圧が  $75 \pm 8\text{mmHg}$  であり、全対象において実験遂行に問題の無いことを確認した。対象の身体的特徴を表1に示す。

表1. 対象の身体的特徴

年齢, 歳	46	$\pm$	9
身長, cm	172.3	$\pm$	4.1
体重, kg	75.59	$\pm$	8.60
BMI, $\text{kg}/\text{m}^2$	25	$\pm$	3

(平均値 $\pm$ 標準偏差)

#### (2) プロトコル

実験は、大阪市住吉区の住吉スポーツセンター内プールにて実施した。実験中におけるプール室内の温度は  $30.0 \pm 0.2^{\circ}\text{C}$ , 相対湿度は  $68 \pm 1\%$  であった。また、水温は  $29.5 \pm 0.1^{\circ}\text{C}$  であり、水流はない。対象は、以下の a)~d) に沿って着衣無試行では水泳用水着 (サイズ: M-XL, 重量: 114.4 - 132.7g) のみ、着衣有試行では水泳用水着の上のスウェット上下 (サイズ: L-LL, 重量: 634.2 - 671.5g) を着用した状態で、水中歩行運動を実施した。水中歩行時の水位は、流速 0m/秒において安全避難ができる水深 (m) / 身長 (m) が 0.85 以下となるように 1.2m とした<sup>7)</sup>。本研究の対象では水深/身長が 0.67-0.71 であった。水中歩行時の歩行速度は、25m/分 (かなりゆっくり) および 50m/分 (かなり速い) とした。実験時間は、1名あたり約1時間を要した。

- a) 予備室にて問診, 更衣および身体測定, 各種センサ類の装着
- b) 座位安静 (プールサイド) → 立位安静 (水中) → 25m/分で歩行  
→ 立位安静 (水中) → 50m/分で歩行 (各3分間)
- c) プールサイドに上がり着衣の脱着後に体を拭いて心拍数がベースラインに戻るまで待機
- d) 再度 b) をおこなう ※b)およびd)においては着衣の有無をランダムに設定

b)からd)の模式図を図1に示す。実験の様子を図2に示す。

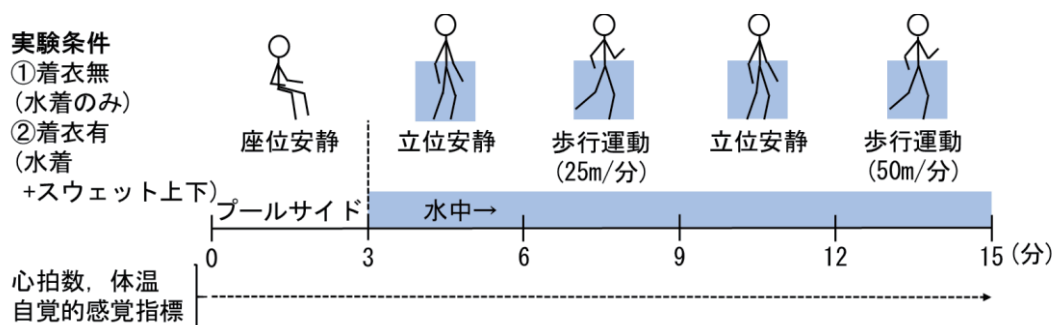


図1. 実験プロトコル

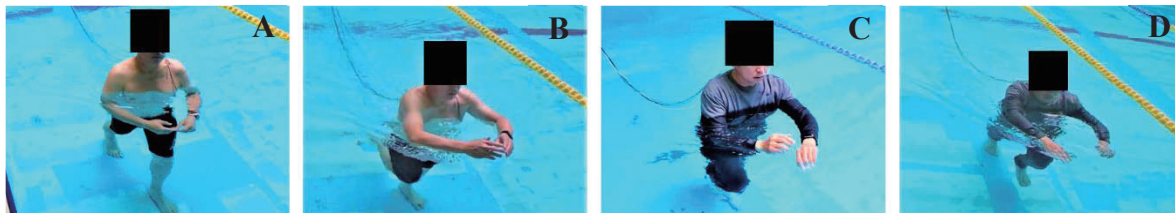


図2. 歩行速度 25m/分 (A,C) および 50m/分 (B,D) における水中歩行の様子 (A,B: 着衣無試行, C,D: 着衣有試行)

#### (3) 測定項目

体重は、高精度体重計 (TANITA 社製 RD-800) にて実験前後の値を測定し、それらの差から脱水量を算出した。心拍数は、左前腕にリストバンド型心拍計 (Polar 社製 A370) を装着し、実験開始より終了まで1秒ごとに記録した。皮膚温は、左半側の胸, 上腕, 大腿, 下腿に皮膚温プローブ (Gram 社製 LT-2N-12) をドレッシング材およ

びサージカルテープにて固定し, 1 秒ごとに記録した. 深部体温として外耳道温および食道温を測定した. それぞれ専用のサーミスタ温度プローブ (外耳道: Gram 社製 LT-2N-13, 食道: Gram 社製 LT-2N-11) を左外耳道および鼻腔より食道へ対象の身長<sup>4</sup>の 4 分の 1 の長さを挿入して固定した. 皮膚温および深部体温は, すべてデータロガー (Gram 社製 LT-200S) に取り込み, 実験開始より終了まで 1 秒ごとに記録した. 自覚的感覚指標として主観的運動強度と温熱感覚を測定した. 主観的運動強度は 15 段階からなる Borg のスケールを使用した<sup>12)</sup> (表 2A). 温熱感覚は, アメリカ暖房冷凍空調学会のスケールを改変した 21 段階からなるスケールを使用した<sup>13)</sup> (表 2B). 対象は, 実験担当者からパネルに貼付されたこれらのスケールをもとに, 該当する番号を 1 分毎に回答した.

(4) データおよび統計解析

心拍数および体温は 1 秒毎のデータから 1 分毎に平均した. 4 か所の皮膚温から, 平均皮膚温を Ramanathan の式にて算出した<sup>14)</sup>. 安静および歩行中の心拍数と年齢から, Karvonen の式にて相対強度を算出した<sup>15)</sup>. また, 実験前後の体重から脱水量を算出した.

統計解析は, ソフトウェア (SYSTAT 社製 Sigmpilot, ver.14.5) を使用しておこなった. 時間および試行間において繰り返しのある 2 元配置の分散分析をおこなった. 着衣無および着衣有の 2 群間の差の検定には, 対応のある T 検定をおこなった. 有意水準は 5%未満とした.

(5) 研究倫理

本研究は, 大阪市立大学生活科学研究科倫理委員会において審査を受けて承認された (No.19-55). 対象者には, 研究実施担当者から研究の趣旨を十分に説明した上で, 同意を得て実施した.

4. 結果

6 名の全対象においてすべてのプロトコルを完遂した. 実測の歩行速度は, 目標速度 25m/分において着衣無試行 (n=3) で 25.7±0.2m/分 (平均値±標準誤差, 以下同様), 着衣有試行 (n=4) で 25.6±0.4m/分であった. 目標速度 50m/分においては着衣無試行で 42.9±3.6m/分, 着衣有試行で 37.1±1.4m/分であり, すべての対象が歩行速度 50m/分を維持することはできなかった (以下, 50m/分での試行については便宜上このまま「50m/分」と表記する). 1 名の着衣有試行中において測定環境のトラブルが発生した

表 2. 自覚的感覚指標 (A: 主観的運動強度, B: 温熱感覚)

A		B	
主観的運動強度		温熱感覚	
20		10	Extreme hot 極めて暑い
19	非常にきつい	9	
18		8	Hot 暑い
17	かなりきつい	7	
16		6	Slightly hot やや暑い
15	きつい	5	
14		4	Warm 暖かい
13	ややきつい	3	
12		2	Slightly warm やや暖かい
11	楽である	1	
10		0	Neutral 暖かくも涼しくもない
9	かなり楽である	-1	
8		-2	Slightly cool やや涼しい
7	非常に楽である	-3	
6		-4	Cool 涼しい
		-5	
		-6	Slightly cold やや寒い
		-7	
		-8	Cold 寒い
		-9	
		-10	Extreme cold 極めて寒い

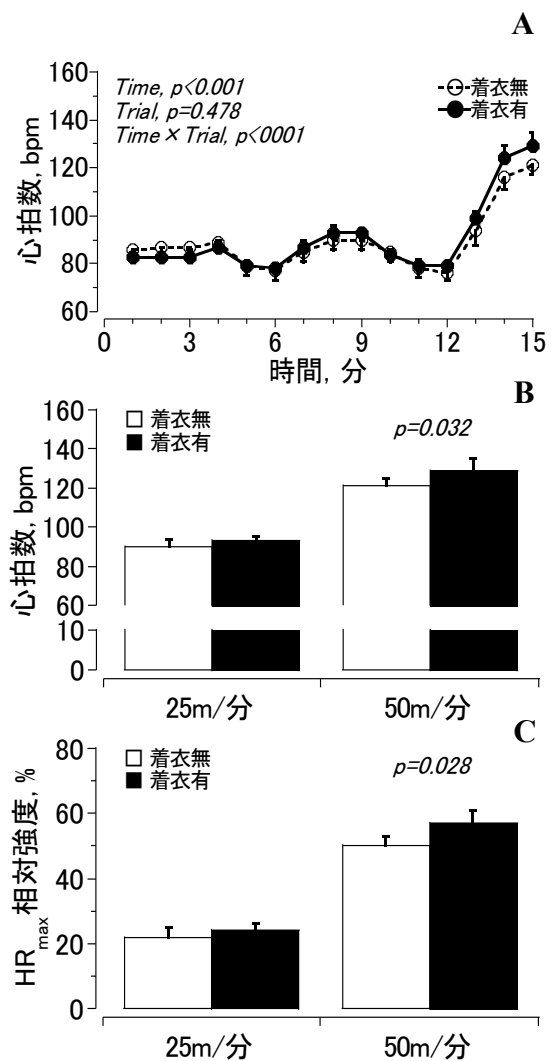


図 3. 各試行における心拍数の変化 (A), 各歩行速度における水中歩行 3 分目の平均心拍数 (B), 予想最大心拍数に対する相対強度 (C)

ため皮膚温および深部温が記録できなかった。このため、この後に示す各種体温の結果は、着衣無試行で  $n=6$ , 着衣有試行で  $n=5$  のデータである。脱水量は  $-38 \pm 44\text{g}$  であり, 本実験による対象の脱水はみられなかった。

(1) 心拍数について

着衣無試行および着衣有試行における心拍数の変化を図 3A に示す。時間および試行間に交互作用を認めた。水中歩行中の心拍数は, 25m/分では試行間に有意な差は認められなかったが (着衣無:  $90 \pm 4\text{bpm}$ , 着衣有:  $93 \pm 2\text{bpm}$ , 図 3B), 50m/分では, 着衣無試行に比べて着衣有試行で有意に高かった (着衣無:  $121 \pm 4\text{bpm}$ , 着衣有:  $129 \pm 6\text{bpm}$ , 図 3B)。水中歩行中の予想最大心拍数に対する相対強度は, 25m/分では試行間に有意な差は認められなかったが (着衣無:  $22 \pm 3\%$ , 着衣有:  $24 \pm 2\%$ , 図 3C), 50m/分では, 着衣無試行に比べて着衣有試行で有意に高かった (着衣無:  $50 \pm 3\%$ , 着衣有:  $57 \pm 2\%$ , 図 3C)。着衣無と着衣有との差は, 25m/分で  $3 \pm 2\%$ , 50m/分では  $7 \pm 2\%$  といずれも着衣有試行で高かった。

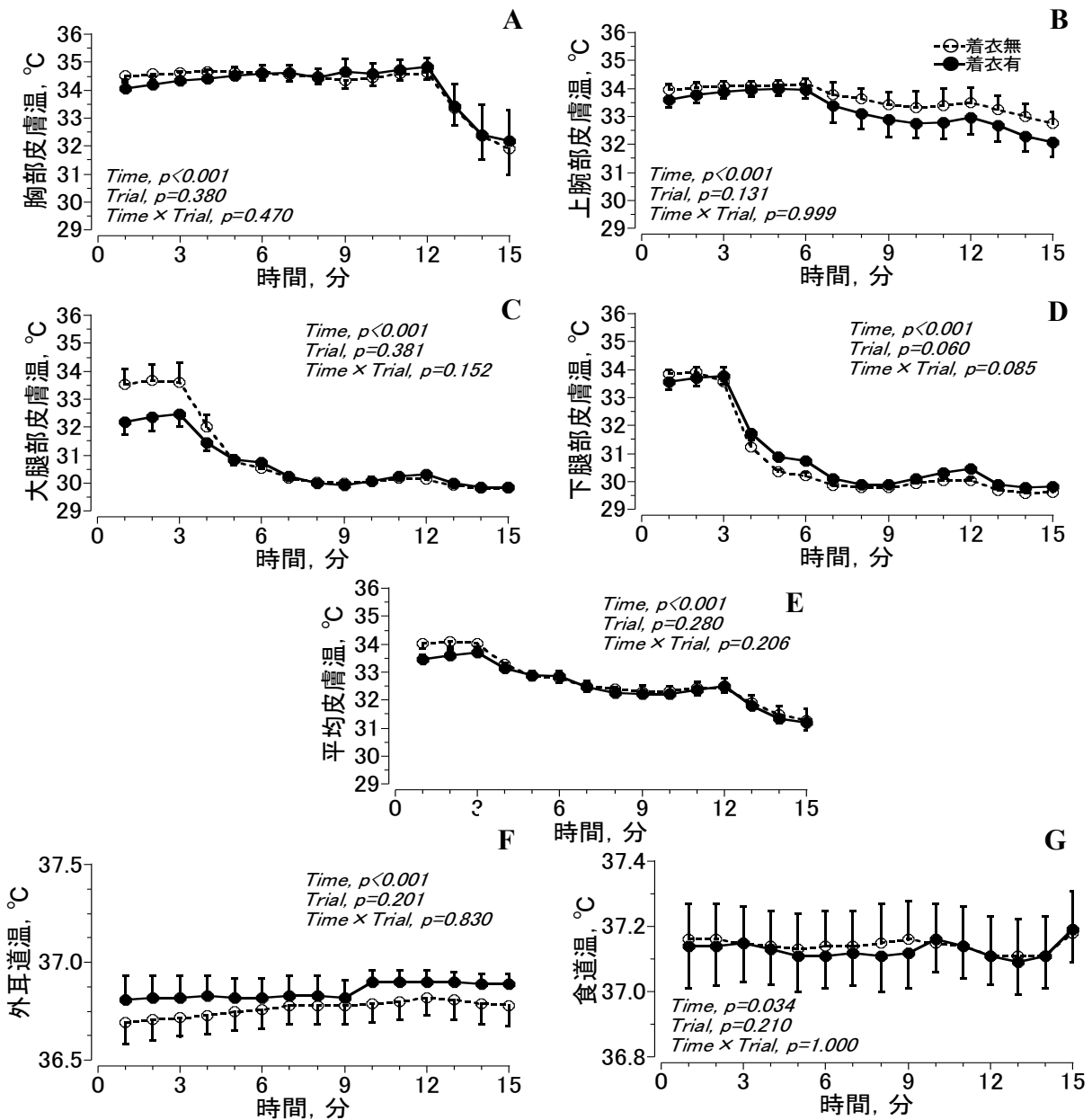


図 4. 各試行における皮膚温 (A: 胸部, B: 上腕部, C: 大腿部, D: 下腿部) および平均皮膚温度 (E) と深部体温 (F: 外耳道温, G: 食道温) の変化

(2) 体温について

着衣無試行および着衣有試行における皮膚温，平均皮膚温度および深部体温の変化を図4A-Gに示す。いずれの部位の体温も試行間に有意な差は認められなかった。また交互作用も認められなかった。胸部皮膚温は，歩行を開始しても低下しなかったが，速度50m/分での歩行開始に伴って低下した（図4A）。上腕部皮膚温は，歩行開始に伴って低下し，その程度は速度が速くなるほど低下した（図4B）。一方で，大腿部および下腿部皮膚温は，入水に伴って次第に低下し，各試行の終了時には水温と同程度にまで低下した（図4C，図4D）。平均皮膚温は，入水と同時に緩やかに低下し，それは歩行速度50m/分の際により顕著であった（図4E）。外耳道温は，速度25m/分で歩行の後，着衣有でわずかに上昇を示した（図4F）。食道温は，入水や歩行時などの各イベントの後に低下あるいは上昇を示し，特に速度50m/分での歩行時には急激な上昇がみられた（図4G）。

(3) 自覚的感覚指標について

着衣無試行および着衣有試行における主観的運動強度の変化を図5Aに示す。試行間に有意な差は認められず，また，交互作用も認められなかった。一方で，水中歩行中は速度25m/分において着衣無試行に比べて着衣有試行で有意に高かったが（着衣無：9±1，着衣有：10±1，図5B），速度50m/分では試行間に有意な差は認められなかった（着衣無：14±1，着衣有：14±1，図5B）。着衣無試行および着衣有試行における温熱感覚の変化を図5Cに示す。試行間に有意な差は認められなかったが，時間および試行間に交互作用を認めた。

5. 考察

本研究では，着衣が水中歩行運動時の運動生理に及ぼす影響について検討した。本研究の測定環境は，水温，水流，水深が一定に保たれていたこと，実験で用いた衣料も統一したことから，本質的に着衣の影響のみを検出できたと考えられる。水中歩行中の心拍数は，速度50m/分時に着衣無に比べて着衣有で有意な高値を示し，また相対強度も上昇した。相対強度の着衣無と着衣有との差は7±2%であったが，主観的運動強度には試行間の差が無く，それは共に指標「14」の「ややきつい」と「きつい」との間であった。このことは，着衣有において物理的にカラダを速く動かすことができなかつたためと考えられる。実際の歩行速度は，着衣無（42.9±3.6m/分）より着衣有（37.1±1.4m/分）で低下した。

今回の実験において，深部体温には試行間に有意な差を検出しなかった。歩行時間が3分と短く有意な差を検出するほどの着衣の影響が運動による熱産生に影響しなかつたためと考えられる。皮膚温は，下半身において入水と同時に低下したが，上半身の特に胸部皮膚温は，50m/分での歩行時に低下し始めた。これは水位が胸部以下であったこと，激しい動作で衣服に水が吸収されたことや前傾姿勢により水に浸かつたと考えられる。深部体温の特に食道温は，50m/分での歩行時に最後の1分で0.1℃上昇した。これらのことは，水中下で激しく動けば皮膚温が低下し，運動強度が高ければ活動筋による熱産生で深部体温が上昇したと考えられる。

主観的運動強度は，25m/分でのみ試行間に有意な差を検出した。これは強度が低ければ着衣の影響を感じやすく，強度が高ければ運動そのものの影響が着衣の影響よりも強くなるため，主観的運動感覚に影響しなかつたと考

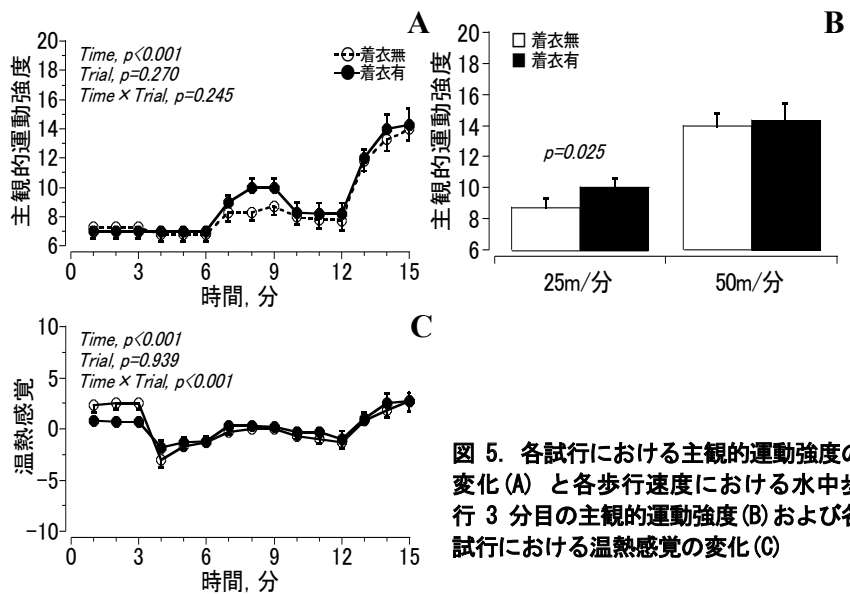


図5. 各試行における主観的運動強度の変化(A)と各歩行速度における水中歩行3分目の主観的運動強度(B)および各試行における温熱感覚の変化(C)

えられる。一方で、温熱感覚に試行間の差は認められなかった。このことは、今回の実験設定では着衣の影響が体温を変動させる程大きくなかったと考えられる。

本研究の限界と今後の課題として、対象の個人差すなわち体格や体力レベル、衣服量や履物の影響があげられる。また、今回の実験環境は水深、水温、水流が一定であったものの、実際の水害現場ではこれらに加えて水の透明度、底面の状態、さらには環境の明るさも異なることが想定される。水害時における着衣の影響をさらに評価するためには、これらの因子について系統的な検討をしていく必要がある。

## 6. 結論

スウェット上下による着衣は、最大速度下での水中歩行時において、着衣無に比べて心拍数と相対強度を高める。一方、低速度下では主観的運動強度を高めるが、心拍数や相対強度には影響しない。また、中和温に近い水温下では皮膚温および深部温に影響しない。

## 7. 利益相反および研究資金

本研究において著者の開示すべき利益相反はない。本研究は、大阪市立大学都市防災教育研究センター2019年度特別推進研究の助成を受けて実施した。

## 引用文献

- 1) 末次忠司, 高木康行 (2009): 都市河川の急激な水位上昇への対応策, 水利科学, 307, 17-27.
- 2) Fujishima K, Shimizu T. (2003): Body Temperature, Oxygen Uptake and Heart Rate during Walking in Water and on Land at an Exercise Intensity Based on RPE in Elderly Men, J Physiol Anthropol Appl Human Sci, 22(2), 83-88.
- 3) Svedenhag J, Seger J. (1992): Running on land and in water: comparative exercise physiology, Med Sci Sports Exerc, 24(10), 1155-60.
- 4) 清水富弘, 藤島和孝, 大柿哲朗, 堀田昇 (1996): 水中歩行時の体温および主観的温度感覚に及ぼす水温の影響, 上越教育大学紀要, 16 (1), 1-14.
- 5) 清水富弘, 藤島和孝, 大柿哲朗, 堀田昇 (1997): 水中歩行時の心臓血管系応答および主観的運動強度に及ぼす水温の影響, 上越教育大学紀要, 16 (2), 667-677.
- 6) 高岡郁夫, 大西朋, 岡村茂, 鈴木大地 (1999): 種々な水流速度および歩行速度の水中歩行 (フローミル) に対する生理学的応答と RPE, 順天堂大学スポーツ健康科学研究, 3, 61-67.
- 7) 国土交通省 地下空間における浸水対策ガイドライン解説〈技術資料〉  
[https://www.mlit.go.jp/river/basic\\_info/jigyo\\_keikaku/saigai/tisiki/chika/pdf/tech.pdf](https://www.mlit.go.jp/river/basic_info/jigyo_keikaku/saigai/tisiki/chika/pdf/tech.pdf)
- 8) Keatinge, W. R. (1961): The effect of work and clothing on the maintenance of the body temperature in water, Q J Exp Physiol Cogn Med Sci, 46, 69-82.
- 9) Keatinge, W. R., Evans, M. (1961): The respiratory and cardiovascular response to immersion in cold and warm water, Q J Exp Physiol Cogn Med Sci, 46, 83-94.
- 10) Faerøvik, H., Reinertsen, R. E. (2012): Initial Heat Stress on Subsequent Responses to Cold Water Immersion While Wearing Protective Clothing, 83(8), 746-750.
- 11) 西畑剛, 森屋陽一, 田村保, 瀧本浩一, 三浦房紀 (2005): 津波浸水時の避難条件に関する実験的研究, 海岸工学論文集, 52, 1256-1260.
- 12) Borg, G. A. (1982): Psychophysical bases of perceived exertion, Med Sci Sports Exerc, 14(5), 377-381.
- 13) ASHRAE. (2004): Standard 55, Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy, 5.
- 14) Ramanathan, N. L. (1964): A new weighting system for mean surface temperature of the human body, J Appl Physiol., 19, 531-533.
- 15) G.Gregory Haff and N.Travis Triplett 編 (2018): ストレングストレーニング&コンディショニング第4版, 第20章有酸素性持久力トレーニングのためのプログラムデザインとテクニック, 608-609.