

水循環スーツ・ベスト着用時における運動中の体温調節反応

久 米 雅 芳 田 哲 也

全身を覆うユニフォームを着用して行うスポーツ種目は、着衣が熱放散を阻害し熱中症を誘発する事から、本研究は水循環スーツ（WPS）・ベスト（WPV）を着用した場合の体温調節反応をフェンシングユニフォーム（FU）や裸体時（NU）と比較した。その結果WPSに26℃の水を循環させた時の冷却効果はNUと同様で、14℃の条件ではNUより高い事が示された。しかしWPVを着用して14～26℃の場合の3条件はNUよりも身体冷却効果は低いが、FUよりも高い事が示唆された。

キーワード：熱中症予防、食道温、平均皮膚温、平均体温、自転車こぎ運動

1. 諸 言

高温環境下で運動行う場合、人体は過度の体温上昇を抑制するため、皮膚血流や発汗による熱放散を増加させる。しかし過度の体温上昇を抑制できない場合、脱水症状や高体温を引き起こし、熱中症を誘発させる¹⁾。熱中症は暑熱障害の総称であり熱失神、熱疲労、熱射病および熱痙攣などに分けられ、特に熱射病は死亡事故となる可能性が高い²⁾。夏季のスポーツ活動時では熱中症に陥る危険性が高いため、日本体育協会³⁾では、黒球湿球温度（Wet-Bulb Globe Temperature、以下WBGT）の上昇に伴う予防対策が講じられている。

高温環境下での運動は発汗による熱放散（湿性放熱）の依存度が全熱放散量の90%を占める²⁾。新矢らはフェンシングや野球などの夏季においても全身を覆うユニフォームを着用して行うスポーツ種目について、着衣が熱放散を抑制し脱水や高体温を増加させる要因になると報告した。さらに新矢らは野球やフェンシング、サッカー等のユニフォームを着用して運動した場

合、皮膚温上昇と深部温、さらに平均体温と発汗量には有意な正の相関関係が認められたことから、熱放散の減少による皮膚温上昇が温熱ストレス増加の要因になることを報告している^{4,5)}。近年では温熱生理学の実験や宇宙飛行士の船外活動等の暑熱、寒冷環境下において皮膚を加熱・冷却する方法として、水循環スーツ（water-perfused suits；WPS）が用いられている⁶⁾。WPSは手、足、顔を除き、頭部・頸部まで全身を覆う構成で、一定温度の液体が衣服に敷き詰められたチューブ内を循環する着衣であり、皮膚温を一定に保つことができる。一方、水循環ベスト（water-perfused vestss；WPV）は体幹のみを冷却できるので簡便に現場応用が期待できるが、冷却面積はWPSよりも狭い。したがって、これらの装置を用いて皮膚温を冷却することにより、深部温上昇を抑制するための体表面冷却の程度を定量化することで熱中症の予防に寄与できると考えられる。

著者ら⁷⁾は250W/m²（約30%VO₂max）の軽度負荷で20分間の自転車運動を3回行い、水循環スーツの冷却容量や冷却面積と体温調節反応との関係について検討した。その結果、上半身

冷却は全身冷却と同様に皮膚温や温冷感覚（温冷感）を低下させて、かつ全身冷却よりも活動筋部（大腿部）の温度を高く維持できること、深部温上昇を抑制するための冷却面積の閾値は、250 W/m²の軽度負荷ではおよそ40%であることを明らかにしている。しかし、運動時の体温調節反応に与える着衣の影響に関する定量的な研究は少なく、熱放散を阻害するようなユニフォームを着用するスポーツ活動時の熱中症予防対策は検討されていないのが現状である。

本研究は、WPSやベストWPV着用における運動時の体温反応について、全身を覆うために運動時の熱放散を阻害し脱水や高体温を招きやすいフェンシングユニフォームや放熱が大きい裸体時と比較し、体表面冷却の程度と運動時の体温調節反応の関係について検討した。

2. 方 法

A. 被験者

被験者は健康な成人男子7名（年齢：23±1歳、身長：174±2cm、体重：65.7±2.7kg、体表面積：1.79±0.03m²、体脂肪率：10.9±1.2%、それぞれ平均±標準誤差）とした。体表面積はFujimoto et al.⁸⁾の推定式を用いて算出した。また、体脂肪率は榮研式キャリパーを用いて上腕背部、肩甲骨下角、腹部の皮下脂肪を測定し、Nagamine and Suzuki⁹⁾及びBrožek¹⁰⁾の推定式

で算出した。

被験者にはヘルシンキ宣言に基づき実験の内容を十分説明し、同意を得た上で実験への協力を依頼した。また実験の実施については、医師の監督の基に安全面について十分注意して実施した。

B. 運動負荷テスト

実験に先立ち各被験者における運動時の負荷強度を決定するため、自転車エルゴメータ（MONARK社製）を用い、3段階による自転車運動を実施した。運動強度を決定するために、ガス分析器（バイズメディカル、METS900）を用いて各段階の運動時における酸素摂取量を測定した。酸素摂取量からワット（W/sec）に換算し（酸素摂取量1ℓ当り5kcal=20.92kJ）、各段階の負荷強度（kp）とWの回帰直線から、体表面積当たり250Wになる負荷強度（kp）を算出した。この強度は最大酸素摂取量の約30%でエルゴメータ負荷では1～1.3kpであり、屋外における球技種目の練習時に類似した強度である¹¹⁾。

C. 測定環境及び手順

被験者は昼食を取らずに正午に実験室に来室させ、10g精度の体重計（AND、FW-100K）で裸体時の体重を測定した。心拍数測定用電極（日本光電、Vitrode R-150）を胸部、皮膚温測定用熱伝対を右腕上腕部、胸部および左足大腿部の3ヶ所に装着した。その後、日本体育協会の熱中症予防の指針³⁾では「警戒」に相当する黒

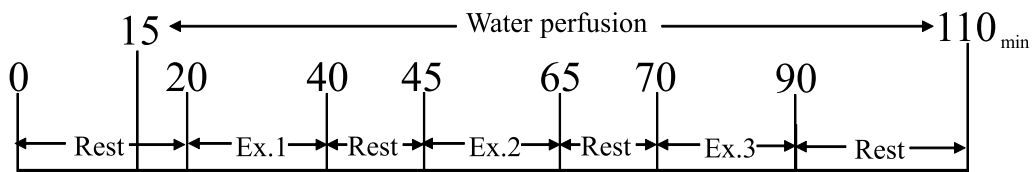


Fig.1 Experimental protocol of the body surface cooling and exercise several wares. Exercise was performed three sessions of 20-min cycling exercise at low intensity (250 w/m², 30%VO₂max) in a hot environmen, 28°C of wet bulb globe temperature (WBGT). Ex1, 2, and 3 indicate exercise-1, 2, and 3, respectively

球湿球温度 (Wet- Bulb Globe Temperature、WBGT、 $0.7 \times \text{湿球温度} + 0.3 \times \text{黒球温度}$) 28°C に設定した実験室にて、被験者は着座姿勢による安静状態を維持し、最後に食道温測定用の熱電対を鼻より約42～44cm (身長 $\frac{1}{4}$) 挿入した。またセンサーが食道に挿入されている事を確認し、運動前の脱水を防ぐために水を200ml 飲ませて食道温が 36.7°C 程度で安定した後、実験を開始した。実験はFig.1に示すように、20分間の安静値を測定した後、スポーツ現場の実態を考慮した寄本ら¹²⁾の実験方法と同様に、運動時の全エネルギー消費量が $250\text{W}/\text{m}^2$ (約30% VO_2max) の運動負荷で20分間 (毎分60回転) の自転車運動を自転車エルゴメータ (MONARK 社製) で行い、5分の休憩を挟んで3回行った。運動終了後には10分間回復させた後、汗を十分拭き取り、再び裸体時の体重を測定した。

D. 測定項目と測定方法

食道温 (Esophageal temperature、 T_{es}) と皮膚温は熱伝対を用いて3部位 (胸部、上腕部、大腿部) を30秒ごとに測定した。さらに、3部位の皮膚温から平均皮膚温 (Mean skin temperature、 \bar{T}_{sk} 、 $0.43 \times \text{胸部皮膚温} + 0.25 \times \text{上腕部皮膚温} + 0.32 \times \text{大腿部皮膚温}$)¹³⁾、また平均皮膚温と食道温から平均体温 (Mean body temperature、 T_b 、 $0.9 \times T_{es} + 0.1 \times \bar{T}_{sk}$)¹⁴⁾を算出した。心拍数 (Heart rate、HR) はベッドサイドモニター (日本光電、BSM-7200) を用いて1分間ごとに測定した。発汗量 (Sweat、SW) は最小目盛り10gの体重計 (A & D社、FW-100K) を用いて実験前後に体重を測定し、次の式： $SW = \text{実験前の裸体時の体重} - \text{実験後の裸体時の体重} + 0.2 \text{ kg}$ (水分摂取量) を用いて算出した。温冷感 (Thermal sensation、TS) は1 (かなり寒い) から9 (かなり暑い) までの0.5ポイント刻みのものを用い¹⁵⁾、Fig.2を用いて

9	---	かなり暑い
8.5		
8	---	暑い
7.5		
7	---	暖かい
6.5		
6	---	少し暖かい
5.5		
5	---	ふつう
4.5		
4	---	少し涼しい
3.5		
3	---	涼しい
2.5		
2	---	寒い
1.5		
1	---	かなり寒い

Fig.2. Thermal sensation scales.

運動開始5分後から5分毎に被験者に自己申告させた。

E. WPS及びWPVの素材と構成

WPSの素材は50%KERMEL ARAMID、50%FR VISCORSE素材からなり伸縮性があり、手、足、顔を除き頭部を含めて全身を覆い (Fig.3) 直径4mmのナイロンチューブが3～5cm間隔でスーツ全体に設置され、その長さは上半身 (頭

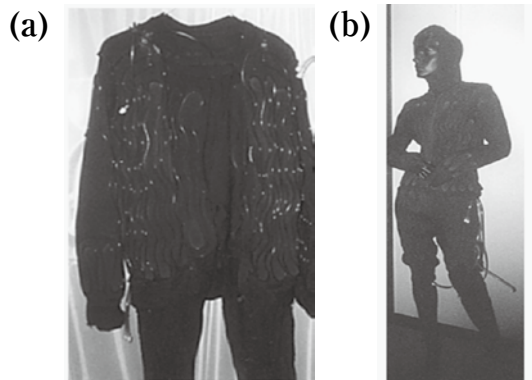


Fig.3 Water perfused suits. (a), tube fixed at suits; (b), wearing to the mannequin.

部含む)で35.2m、下半身で22.4mであり、水を循環させるチューブ入口、出口は上・下半身それぞれ1箇所ある。また、水を循環させた時の総重量は1.85kgである。足部からの放熱を防ぐために裸体以外の条件の下腿部は野球用ソックスを着用した。WPSに循環させる水温は低温恒温水槽(井内、LTB-400)を用いて、先行研究¹⁶⁾を参考に流入する水温がおよそ14℃、20℃および26℃の3条件になるように設定し、実験開始15分目から終了までにシールレスキャンド循環ポンプ(Grundfos、USP 25-80 JA)により1ℓ/minで水を循環させた。WPS着用時はFig.4に示す様に上・下半身のWPSへの流入口をIN、上・下半身からの流出口をそれぞれOut-U(Outlet at upper body)、Out-L(Outlet at lower body)として、水温を循環開始(実験開始から15分目)から終了まで30秒毎に測定した。

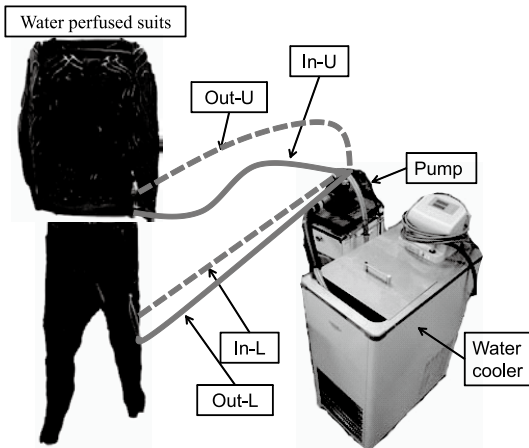


Fig. 4. Water circulation of water perfused suits. In-U, inlet at upper body; In-L, inlet at lower body; Out-U, outlet at upper body; Out-L, outlet at lower body.

Fig.5にはWPVの写真を示した。WPVは65%POLYESTER、35%COTTON素材からなり伸縮性があり、腕および頭部を除き上半身を覆



Fig. 5 Water perfused vests.

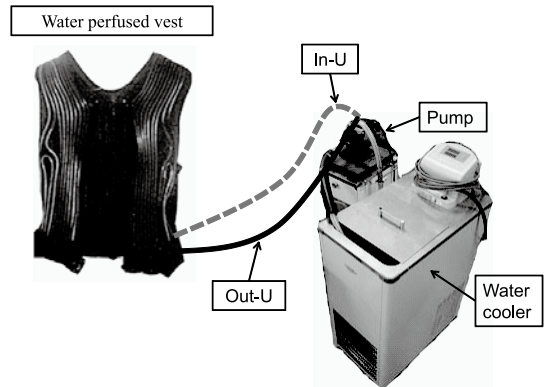


Fig. 6. Water circulation of water perfused vests. In-U, inlet at upper body; Out-U, outlet at upper body.

う直径4mmのナイロンチューブが1~3cm間隔でベスト全体に設置され、その長さは23.6mである。また、水を循環させた時の総重量は0.65kgである。WPVに循環させる水温条件はWPSと同様に上半身のみの水循環経路を用いた3条件で行った(Fig.6)。

F. 実験時の着衣条件

着衣条件は、①競泳用パンツのみの裸体条件(Semi nude、NU)、②フェンシングユニフォーム(Fencing uniform、FU)のみ、及びFUの下にWPSを着用した時の循環温度が③14℃(WPS14)、④20℃(WPS20)、⑤26℃(WPS26)、さらにWPVの循環温度が⑥14℃(WPV14)、⑦20℃(WPV20)、⑧26℃(WPV26)の合計8条件において、1週間以上の間隔を空けて実施し

た。

3. 統計処理

統計処理は運動終了時 (t=90[min]) における Tsk、食道温上昇 (Changes in esophageal temperature、 ΔT_{es})、Tb、HR、TS、および SWを対象とし、One-way repeated measures ANOVA (1-within factors) を用いて分散分析を実施した後、有意な交互作用が得られた場合に、FisherのPLSDテストにて個別の有意差を検定した。有意水準は、いずれの場合についても5%未満 ($p < 0.05$) とした。

4. 結 果

Table 1は上段にWPS、下段にWPVの循環開始から実験終了までの平均水温を示した。ポンプからWPS、WPVへ流入するINの水温は全ての条件でおおよそ設定温度に近い値を示した。

Table1. Change in water temperature wearing water perfused suits and vest during experiment.

Conditions	IN(°C)	Out-U(°C)	Out-L(°C)
WPS14	14.7±0.3	20.5 ±0.5	18.1 ±0.3
WPS20	20.3±0.2	24.5 ±0.2	22.9 ±0.2
WPS26	26.4±0.4	29.1 ±0.3	28.0 ±0.3
WPV14	14.8±0.1	16.9 ±0.1	
WPV20	20.5±0.0	21.1 ±0.1	
WPV26	26.5±0.0	27.6 ±0.1	

WPS14 ~ 26 and WPV 14 ~ 26 indicate clothing conditions wearing water perfused suits and vest perfused water at 14,20 and 26°C, respectively. Values are means ± SE for seven subjects. IN, inlet; Out-U, outlet at upper body; Out-L, outlet at lower body.

WPSから恒温水槽に戻るOut-UおよびOut-LはINに比べ有意 ($p < 0.05$) に高い値を示した。また、全てのWPSを着用した条件でOut-UはOut-Lより有意 ($p < 0.05$) に高い値を示した。さらに、WPVから恒温水槽に戻る流出口 (Out) はINに比べ有意に ($p < 0.01$) 高い値を示した。

Fig.7は運動終了時における各条件 (NU、FU、

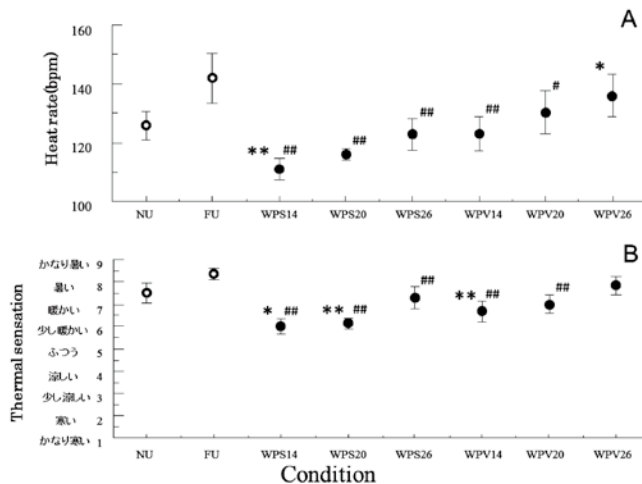


Fig. 7. Comparison of the increase in heat rate (HR, A) and thermal sensation (TS, B) at the end of exercise under eight conditions, with four sets of clothing, fencing uniform(FU), swimming trunks(semi nude, NU), and water perfused suits (WPS) or vest (WV) perfused water at 14(WPS14, WPV14), 20(WPS20, WPV20) and 26 °C (WS26, WV26) in a hot environment (28 °C). Each data point indicates the mean± S.E. for 7 subjects. *,** and #, ## indicate significant difference from NU and FU, respectively. * or #, $p < 0.05$; ** or ##, $p < 0.01$.

WPS14～26、WPV14～26)のHR (Fig.7, A)、

TS (Fig.7, B)を示したものである。HRについて、NUと比較してWPS14は有意に低い値を示し ($p < 0.01$)、WPV26は有意に ($p < 0.01$) 高い値を示した。

またFUと比較した場合はWPV26を除く全ての条件で有意に低い値を示した ($p < 0.05 \sim 0.01$)。

TSについてはNUと比較してWPS14、20、WPV14は有意に ($p < 0.01$) 低い値を示し、FUと比較した場合はWPV26を除く全ての条件で有意に低い値を示した ($p < 0.05$)。

Fig.8は運動終了時における8条件 (NU、FU、NUとWS14～26、WV14～6)の \bar{T}_{sk} (Fig.8, A)、 ΔT_{es} (Fig.8, B)、 T_b (Fig.8, C)を示

したものである。まず、 \bar{T}_{sk} (Fig.8, A) について、NUと比較してWPS14、20が有意に ($p < 0.01$) 低い値を示し、WPV26は有意に ($p < 0.01$) 高い値を示した。FUと比較した場合はWPS14～26、WPV14、20で有意に ($p < 0.01$) 低い値を示した。 ΔT_{es} (Fig.8, B)は、NUと比較した場合、WPV14～26が有意に ($p < 0.01$) 高い値を示し、FUと比較するとWPS14～26が有意に ($p < 0.01$) 低い値を示した。 T_b (Fig.8, C)ではNUと比較してWPS14は有意に ($p < 0.05$) 低い値を示し、WPV26では有意に ($p < 0.05$) 高い値を示した。FUと比較した場合はWPS14～26、WPV14～26の全ての条件で有意に ($p < 0.01$) 低い値を示した。

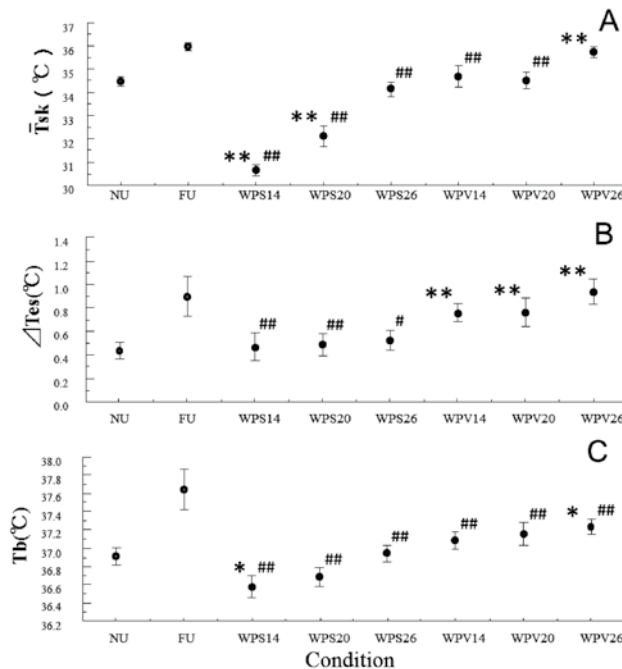


Fig. 8. Comparison of the increase in mean skin (T_{sk} , A), esophageal (T_{es} , B), and mean body temperature (T_b °C) at the end of exercise under eight conditions, with four sets of clothing, fencing uniform (FU), swimming trunks (semi nude, NU), and water perfused suits (WPS) or vest (WV) perfused water at 14 (WPS14, WPV14), 20 (WPS20, WPV20) and 26 °C (WPS26, WV26) in a hot environment (28 °C). Each data point indicates the mean \pm S.E. for 7 subjects. *, ** and #, ## indicate significant difference from NU and FU, respectively, * or #, $p < 0.05$; ** or ##, $p < 0.01$.

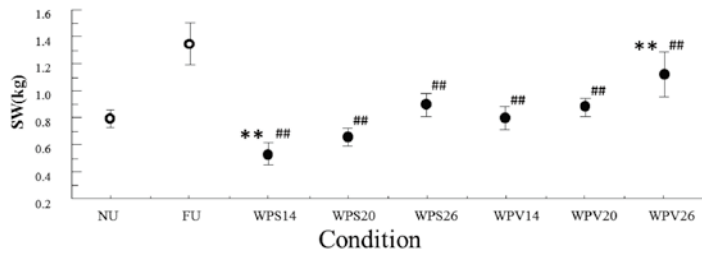


Fig. 9. Comparison of the increase in total sweat loss (SW) during exercise under eight conditions, with four sets of clothing, fencing uniform(FU), swimming trunks(semi nude, NU), and water perfused suits (WPS) or vest (WV) perfused water at 14(WPS14, WPV14), 20(WPS20, WPV20) and 26 °C (WS26, WV26) in a hot environment (28 °C). Each data point indicates the mean ± S.E. for 7 subjects. *,** and #,## indicate significant difference from NU and FU, respectively. * or #, $p < 0.05$; ** or ##, $p < 0.01$.

Fig.9は運動終了時における各条件 (NU、FU、WPS14 ~ 26、WPV14 ~ 26) のSWを示したものである。NUと比較してWPS14は有意に ($p < 0.01$) 低い値を示し、WPV26は有意に ($p < 0.01$)高い値を示した。FUと比較した場合、WPS14 ~ 26、WPV14 ~ 26の全ての条件で有意に ($p < 0.01$) 低かった。

5. 考 察

A. 循環水温の変動

Table1に示した様にWPS、WPVともに設定した条件付近の温度の水を流すことが可能である事が明らかとなった。また、Inの温度よりもOutの温度が有意に高かったのは皮膚表面から循環した水に熱を移動させた事を示している。WPSを着用した条件において、一定温度の水がWPSを循環して恒温槽に戻る水温はOut-LよりもOut-Uが高かった。Out-UがOut-Lよりも高かったのは軀幹部と下半身による皮膚温上昇の差が原因ではなく、WPSの上半身のチューブの長さが下半身よりも約1.5倍長い為、皮膚との接触面積の差が熱の授受に大きく関与した結果と考えられる。

WPSのOut-Uと比較すると、全ての条件でWPVのOutはWPSのOut-Uよりも水温が低かった。WPVのチューブ長は23.6mであるが、WPSは32.5mであるため、WPVはWPSに比較してチューブ長が短く皮膚との接触面積が小さくなり、熱の授受が小さくなったものと思われる。

B. NUを基準としたWPS・WPVの体温冷却効果

ヒトによる行動性の体温調節、特に熱放散に関する反応は、一般的に衣服を脱ぐ行為が実施される¹⁷⁾。また、本研究のようにWPSやWPVなどの体温を冷却させる器具や衣服を用いない場合、熱放散が最大になる状態は裸体である¹⁸⁾。本研究の結果についてNUを基準としてWPS14 ~ 26を比較した場合、 T_{sk} やTSにおいてWPS14、20はNUよりも有意に低い値を示したにもかかわらず、 ΔT_{es} では有意な差は見られなかった。このことから、WPS14、20は皮膚表面を冷却する能力はNUよりも高いが、深部温である ΔT_{es} を冷却する能力はNUと大きく変わらない事が明らかとなった。5 ~ 35°Cの環境条件では、軽運動時の深部 (直腸) 温上昇は同様であることが報告されているので¹⁹⁾、外気温に影響する皮膚温をWPSによって大きく低下させても、血管収縮による断熱を増加させること

によって深部温は一定に維持されると考えられる。しかし平均皮膚温と食道温から算出される平均体温 ($T_b = 0.9 \times \text{食道温} + 0.1 \times \text{平均皮膚温}$) やSW、HRはWPS14が有意に低い値を示した。 T_b はヒトの中核(深部)と外郭(皮膚)を統合した体温を反映するので、WPS14はNUよりも体温冷却能力に優れている事が考えられる。さらにWPS26は全ての測定項目でNUとほぼ同程度の反応を示した。したがって、WPS26の体温冷却効果はNUとほぼ同様であることが示唆された。

一方、WPVを着用した3条件ではNUと比較して ΔT_{es} は有意に高値を示し、特にWPV26の \bar{T}_{sk} や T_b はNUよりも有意に高い値を示した。またWPV26のHRやSWはNUよりも有意に高値を示したことからWPVを用いて体幹部のみを26℃の水で循環させた場合の冷却能力はNUよりも低いと考えられる。しかしWPV14のTSはNUと比較して有意に低値を示した。胸部や腹部の温度感覚は上肢や下肢よりも敏感であるので²⁰⁾、体幹部を過度に冷却すると清涼感が高まると考えられる。このように体幹部の冷却は、全身冷却よりも効果は低いが、冷却温度を過度に低下させると、冷却効果が高まる可能性が示唆された。

C. FUを基準としたWPS・WPVの体温冷却効果

新矢⁴⁾らはフェンシングユニフォーム着用時の運動時における体温調節反応について、皮膚温の上昇が深部体温の上昇に関係し、さらにその深部温上昇が発汗や心拍数の上昇と関係している事を報告している。したがって皮膚を冷却すると運動時の温熱ストレスを減少させることが示唆される。本研究の結果から熱放散を大きく阻害すると考えられるFUを基準にWPS14～26を比較した場合、全ての測定項目でFUよりも有意に低い値を示したことから、WPSを着用

することで、FUのみの条件よりも \bar{T}_{sk} や ΔT_{es} 及び T_b の上昇を抑制できる事が明らかとなった。一方、FUとWPV14～26を比較した場合、 T_b 、SWについてはWPV14～26の条件では有意に低い値を示した。また、HR、TS、 \bar{T}_{sk} 、 ΔT_{es} の項目ではWPV14、20はFUよりも有意に低い値を示したが、WPV26については有意差が認められなかった。これらのことから、WPVはWPSよりも冷却効果は低いがFUのみよりも高いことが示唆された。手足と四肢の表面積は体表面積の約60%を占めるため、手足と四肢による皮膚血流量の増加は乾性放熱量の調節に有効である^{21, 22)}。一方、体幹部の表面積は体表面積の約18%である²³⁾。本研究では心臓などの内臓器官に近い体幹部をWPVで冷却したが、その冷却面積は体表面積のわずかに18%であり、手足と四肢はFUにより熱放散を阻害されていた。したがって、体幹部のみの冷却は全身冷却よりも冷却面積が小さいためにFUと比較して顕著な ΔT_{es} の抑制が認められなかったものと思われる。

ま と め

本研究では水循環スーツ(WPS)・ベスト(WPV)着用における運動時の体温調節反応をフェンシングユニフォーム(FU)や裸体時(NU)と比較した。その結果、WPSに26℃の水を循環させた条件(WPS26)の身体冷却効果はNUとほぼ同様で、14℃の水循環条件(WPS14)ではNUよりも高いことが示された。しかしWPVを着用して14～26℃の水を循環させた3条件はNUよりも身体冷却効果は低いが、FUよりも高かった。したがって、体幹部の冷却は全身を覆うスポーツユニフォーム着用時の体温上昇を抑制できる可能性はあるが、その程度は全身冷却

より低いことが示唆された。

本研究は京都文教短期大学特別研究助成を受けて実施したものである。

参考文献

1. 中井誠一, 新矢博美, 芳田哲也, 寄本明, 井上芳光, 森本武利: スポーツ活動および日常生活を含めた新しい熱中症予防指針の提案—年齢, 着衣及び暑熱順化を考慮した予防指針—, 体力科学, (2007), 56, (4), 437-444.
2. 朝山正己: 運動と暑熱馴化, 臨床スポーツ医学, (1997), 14 (7), 736-734.
3. 財団法人日本体育協会: スポーツ活動中の熱中症予防ガイドブック, (2008), 48.
4. 新矢博美, 中井誠一, 芳田哲也, 常秀行, 高橋英一: 高温下運動時の体温調節反応に及ぼすフェンシングユニフォームの影響—現場調査および実験室的検討—体力科学, (2003), 52, (4), 75-8.
5. 新矢博美, 芳田哲也, 常秀行, 中井誠一, 伊藤孝: スポーツユニフォームの違いが高温環境下運動時の体温調節反応に及ぼす影響, 体力科学, (2004), 53, (3), 347-356.
6. 今田尚美, 平田耕造: 水灌流スーツによる体幹部および四肢部冷却に対する体温調節の部位差, 繊維消費科学雑誌, (2003), 44, (8), 470-479.
7. 久米雅, 芳田哲也, 常岡秀行, 木村直人, 伊藤孝: 水循環スーツを着用した運動時の体温調節反応と冷却面積, 冷却容量との関係, 体力科学, (2009), 58, (1), 109-122.
8. Fujimoto, S., and Watanabe, T.: Studies on the body surface area of Japanese, Acta. Med. Nagasaki, (1969), 14, (1), 1-13.
9. Nagamine, S., and Suzuki, S.: Anthropometry and body composition of Japanese young men and women, Human Biology (1969), 3, 8-15.
10. Brožek, J., Grande, F., Anderson, J. T., and Keys, A.: Densitometric analysis of body composition revision of some quantitative assumptions. Annals of New York Academy of Sciences, (1963). 110, 113-140.
11. Lind, A. R.: A physiological criterion for setting thermal environmental limits for every day work, J. Appl. Physiol., (1963), 18, 51-56.
12. 寄本明: WBGТを指標とした暑熱下運動時の生体応答と熱ストレスの評価, 体力科学, (1992). 41, (4), 477-484.
13. Nadel, E., R., Michel, J. W., and Stolwijk, J. A.: Differential thermal sensitivity in the human skin, Pflüger Arch., (1973), 340, (1), 71-76.
14. Gagee, A. P., and Nish, Y.: Heat exchange between human skin surface and thermal environments., In handbook of Physiology. Reaction to Environmental Agents (ed. D. H. K. Lee), Am. Physiol/ Soc., Md (1977), sect. 9, chap. 5, 69-72.
15. 渡辺ミチ: 衣服と体温調節. 温熱生理学, 第1版, 7, 理工学社, 東京, (1983), 539-555.
16. 芳田哲也, 中井誠一, 新矢博美, 高橋浩二: 運動時温熱ストレスを軽減するための冷却部位に関する基礎的研究, デザントスポーツ科学, (2004), 25, 82-87.
17. Bligh, J. & Johnson, K. G.: Glossary of terms for thermal physiology, J. Appl. Physiol., (1973), 35, (6), 941-961.
18. Fox, E. D. and Mathews.: The physiological basis of physical education and athletics, 3rd Ed., Saunders, New York, (1948), 468-479.
19. Nielsen, M.: Die Regulation der Körpertemperatur bei Muskelarbeit, Skand. Arch, Physiol., (1938), 79, 193-230.
20. Stevens, J. C., Mark, L. E., Simonson, D. C.: Regional sensitivity and spatial summation in the warmth sense, Physiol. Behav. (1974) 13, 825-836.
21. Hertzman, A. B.: Vasomotor regulation of cutaneous circulation, Physiol. Rev., (1959), 39, 280-306.
22. 中山昭雄: 温熱生理学, 理工学社, (1981), 496.
23. 渡辺ミチ: 被覆面積の二, 三の実測値について, 衣服学会誌, (1958) 2 (2), 7-11.