

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 25 日現在

機関番号：82404

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2011～2013

課題番号：23650360

研究課題名(和文) 肢体不自由者のうつ熱予防のための熱電素子を用いた接触式抜熱システムの開発

研究課題名(英文) Body heat removal system for prevention of hyperthermia with thermoelectric devices

研究代表者

硯川 潤 (SUZURIKAWA, Jun)

国立障害者リハビリテーションセンター(研究所)・研究所 福祉機器開発部・研究室長

研究者番号：50571577

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円、(間接経費) 840,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、日常生活でのうつ熱発症予防という観点から、身体との接触面からの体熱除去で誘発される温熱生理反応の特徴抽出と、最適な冷却アルゴリズムの確立を目的とした。健常者を被験者とした温熱環境下での背部冷却実験から、発汗量の有意な減少を確認できたため、人為的な体熱除去が人体の温熱生理反応を代替できることが示された。一方で、被験者間の皮膚温のばらつきが減少したり、皮膚温と血流量の相関性が崩れるなど、体熱除去が通常の温熱生理反応の外乱となりうる現象も確認された。この結果は、代謝量や生理反応を指標として、冷却出力などをリアルタイムに調整する必要があることを示唆している。

研究成果の概要(英文)：To prevent such individuals with spinal cord injuries from becoming hyperthermic, we developed a body heat removal system (BHRS) with thermoelectric devices. We characterized thermophysiological responses induced by the cooling system. A cooling experiment in a hot environment with able-bodied subjects demonstrated that sweating and systolic blood pressure in the back-cooling (BC) trial were significantly suppressed compared with those in no-cooling (NC) trial. A correlation was observed between chest skin temperature and blood flow in the NC trial; this was not observed in the BC trial. These results suggest that BHRS modulates normal thermoregulatory responses, including sweating and vascular dilation and has the capability to partly replace these functions.

研究分野：複合領域

科研費の分科・細目：人間医工学・リハビリテーション科学・福祉工学

キーワード：温熱生理反応 体温調節 うつ熱

1. 研究開始当初の背景

人の体温は体温調節機能によって維持されており、体温と外部環境との間の熱収支を監視して調節される。熱収支は発汗や血管の拡張・収縮などによって主に調節されているが、肢体不自由者の中にはこの体温調節の能力が損失・低下する場合があることが知られている。例えば、脊髄損傷者（以下脊損者）の多くは感覚・運動神経系だけでなく、自律神経系にも損傷を受けており、特に高位の脊損者は発汗や血流調節といった体温調節に必須の機能が失われている場合が多い。この体温調節機能障害は、うつ熱と呼ばれる体内への熱の異常蓄積の原因となる。うつ熱では著しい高体温化がみられ、脳温が 40°C 以上にもなる事もあり、脳の機能障害を引き起こす。また、突然に虚脱状態となり、昏睡状態に陥る。

体温調節に障害のある身体障害者は日常生活の中でこのような熱ストレスのリスクに直面している。臨床現場では霧吹きによる人工発汗やアイスパックなどによる局部冷却による対応が取られているが、これらは体温が上昇した後の一時的な対応に過ぎない。また、これまでの研究にも身体障害者の体温上昇の抑制を目的とした取り組みがあるが、そのほとんどが車いすスポーツのような限られた状況下における急性的な処置に関する報告であり、すでに上昇した身体を冷やすための方法として対処している。このような研究の冷却段階では、被験者は冷却装置に拘束され、自由な移動や行動が制限されてしまう。日常生活での利用とうつ熱の発症自体を予防するという観点からの技術開発は行われていない。

2. 研究の目的

本研究では、日常生活でのうつ熱発症予防という観点から、身体との接触面からの体熱除去で誘発される温熱生理反応の特徴抽出と、最適な冷却アルゴリズムの確立を目的とした。例えば、電動車いすのバックレストなど、肢体不自由者の身体に接触する場所に、連続的な熱移動が可能な熱電素子を搭載することで、体内の熱を接触面から恒常的に除去してうつ熱予防を実現する。

3. 研究の方法

体熱除去システムを人工気候室(室温 33°C, 相対湿度 40%)において試用し、それで誘発される温熱生理反応を記録した。図 1 に示したように着座した人体の背部にペ

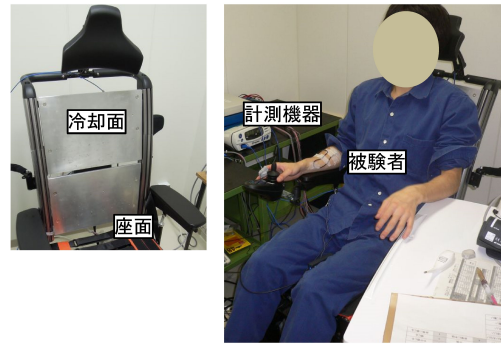


図 1 実験の様子。

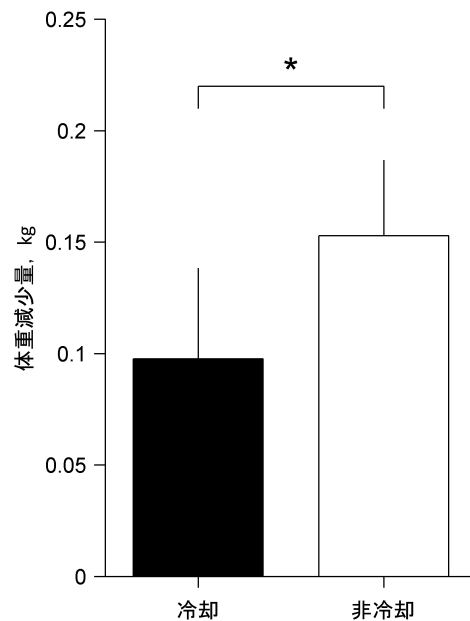


図 2 発汗量の減少。

ルチェユニットを密着させ、その際の体温挙動などを、ペルチェユニットを稼働させた場合(冷却実験)と稼働させない場合(非冷却実験)で比較した。被験者は健常な男性 5 名である。ペルチェユニットは素子の低温部側が 10°C となるように駆動電力を制御した。実験中は皮膚表面温度(背部, 腹部, 胸部), 鼓膜・口腔温度, また血圧・心拍数・指先血流量・体重量を計測した。

4. 研究成果

体熱除去システムによる体温調節効果を確認するために、実験中の発汗量を比較した。図 2 は冷却実験と非冷却実験の体重減少量の結果を示しており、それぞれ $0.098 \pm 0.0041\text{kg}$ と $0.153 \pm 0.034\text{kg}$ であった。

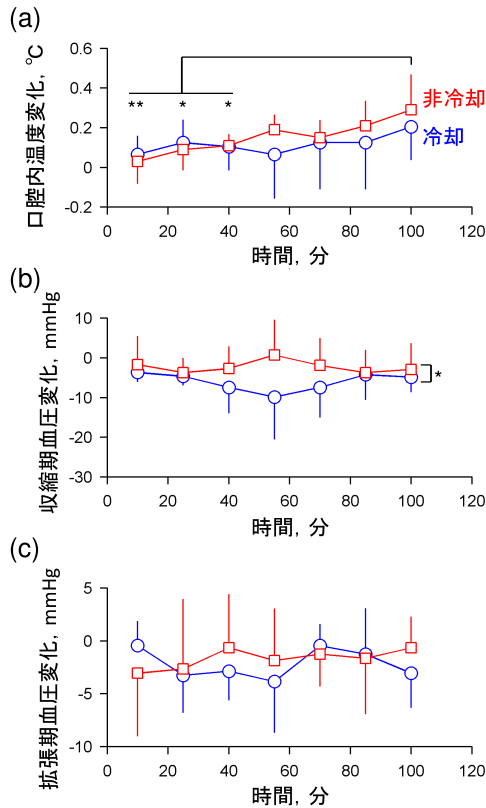


図3 生理指標の経時変化。(a) 口腔内温度。(b) 収縮期血圧。(c) 拡張期血圧。

[mean ± standard deviation (SD)] . 2つの実験間において有意差がみられた。これらの体重減少量は実験中の発汗に起因するものであり、本システムによる発汗抑制の直接的な根拠を示している。

図3は口腔温および血圧の経時変化を示す。図3(a)で示すように冷却実験と非冷却実験において口腔温に有意差は見られず、経時的な上昇が確認された ($P < 0.01$, $t = 10 \text{ min vs } 100 \text{ min}$; $P < 0.05$, $t = 25, 40 \text{ min vs } 100 \text{ min}$, ANOVA)。また図3(b)に示されるように、収縮期血圧も有意に低下しており、身体への負荷が軽減されたことが示唆された。

次に示される分析において、他の温熱生理反応の変化を検討する。図4は皮膚温度および血流量の経時変化を示す。冷却実験と非冷却実験において、冷却部近傍である背部温度以外に有意差はみられなかった。これは皮膚表面の血管拡張が本システムによって変化しなかったことを示唆している。血流量が冷却実験で低い傾向を示している

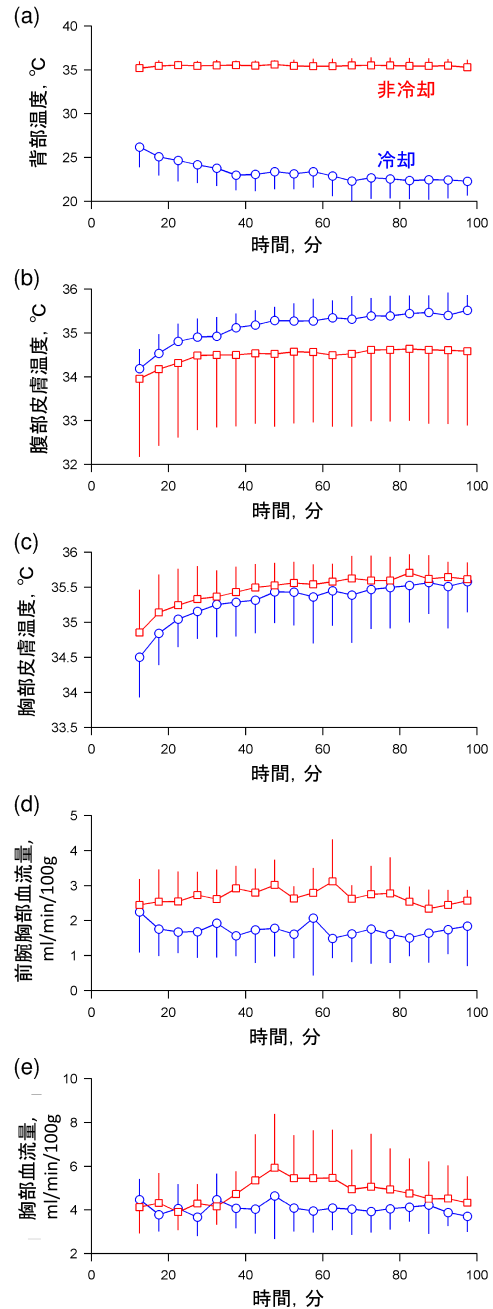


図4 温熱生理反応。(a) 背部皮膚温。(b) 腹部皮膚温。(c) 前腕部皮膚血流量。(d) 胸部皮膚血流量。(e) 胸部血流量。

のは、本システムによって体温調節反応を部分的に置き換えていることを示唆している。腹部温度の分散が冷却実験と比較し非冷却実験の方が有意に大きいのは注目すべき点であり ($P < 0.01$, Bartlett's test), 非冷却実験における発汗が原因となって、被験者間の温度変動が増加した可能性がある。

図5は胸部温度と胸部血流量における初期値からの変位の散布図のである。図5(a)

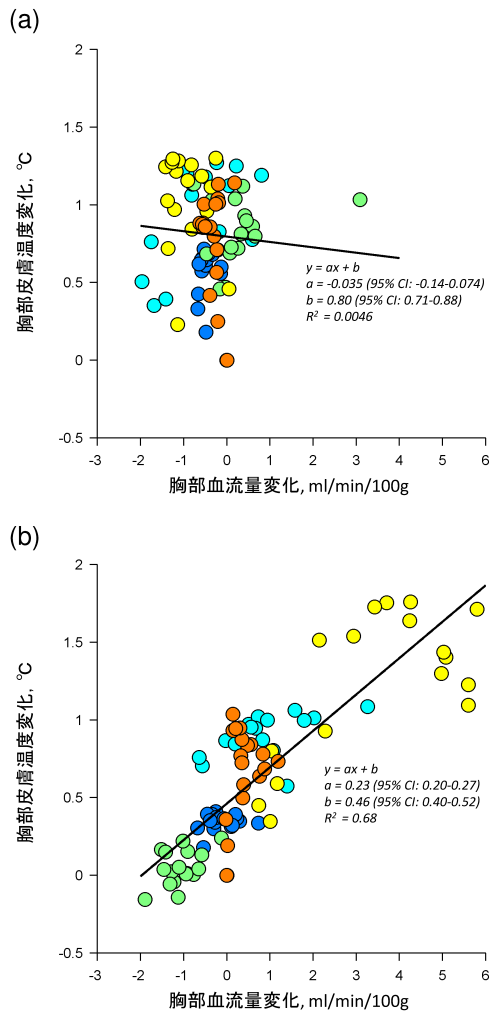


図5 胸部血流量と皮膚温の相関的变化。(a) 冷却時。(b) 非冷却時。

は冷却実験，図5(b)は非冷却実験を示す。図5(b)で示すように，非冷却実験において T_{CH} と BF_{CH} との間に有意な相関が見出されたが ($R^2 = 0.68, P < 0.01$)，冷却実験では相関関係は認められなかった。非冷却実験における皮膚温度と血流の相関関係は，放熱のための血管拡張が原因だと推測することができる。

上記の結果は，通常な体温調節機能を有している健常者を対象とした実験で得られたものであるため，体温調節機能に障害を呈している被験者の反応も調査する必要がある。

本研究は，ペルチェ素子を用いた体熱除去システムで誘発される温熱生理反応を計測し，その特徴を分析した。冷却実験と非冷却実験において，本システムを使用する

ことで発汗を抑制できることを示した。また非冷却実験において観察された胸部皮膚温と血流量の相関は冷却実験では観察されなかった。これらの結果は，本システムを使用することで，部分的に発汗や血管拡張といった体温調節機能を置き換えられたことを示唆している。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計0件)

[学会発表](計5件)

Suzurikawa J, Fujimoto S, Mikami K, Jonai H, Inoue T, "Thermophysiological Responses Induced by a Body Heat Removal System with Peltier Devices in a Hot Environment.", *Proceedings of the 35th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, pp. 6377-6380, Osaka, Japan, 2013-07-06.

山田篤史, 藤本翔, 三上功生, 城内博, 硯川潤, 井上剛伸, "接触式体温調節機構において着衣が冷却効率に与える影響の基礎的検討", 第22回ライフサポート学会フロンティア講演会予稿集, D2-2, 東京, 2013-03-02.

脇山功三郎, 藤本翔, 三上功生, 城内博, 硯川潤, 井上剛伸, "背部冷却で誘発される高温環境下での温熱生理反応", 第22回ライフサポート学会フロンティア講演会予稿集, D1-1, 東京, 2013-03-02.

他2件

[図書](計0件)

[産業財産権]

出願状況(計0件)

取得状況(計0件)

[その他]

平成25年度ビジネスネット 企業情報交流会 開発・研究交流会 出展

6. 研究組織

(1)研究代表者

硯川 潤 (SUZURIKAWA, Jun)

国立障害者リハビリテーションセンター (研究所)・研究所 福祉機器開発部・研究室長

研究者番号：50571577

(2)研究分担者

井上 剛伸 (INOUE, Takenobu)
国立障害者リハビリテーションセンター
(研究所)・研究所 福祉機器開発部・研
究部長
研究者番号：40360680

中村 隆 (NAKAMURA, Takashi)
国立障害者リハビリテーションセンター
(研究所)・研究所 義肢装具技術研究
部・義肢装具士
研究者番号：40415360