

## 宇宙船外活動用蒸散冷却下着の開発と検証

田中邦彦, 中村 浩二 (岐阜医療科学大学)

### Development and Verification of Self-perspiration Garment for Extravehicular Activity

Kunihiko Tanaka\*, Koji Nakamura

\*Gifu University of Medical Science, Seki, Gifu 501-3892

E-Mail: ktanaka@u-gifu-ms.ac.jp

The current U.S. extravehicular activity (EVA) suit in space includes liquid cooling and ventilation garment (LCVG) to control thermal condition. Tubes knitted in LCVG for flowing water interrupt evaporation of perspiration, and astronauts feel discomfort. In the present study, we develop a self-perspiration garment with water-oozing tube, and examined the effects. Healthy eight subjects were studied with cyclic ergometer of 30, 60 90 and 120W loading for 3 minutes each. Skin temperature and humidity on the back were measured continuously. Subjects wore and tested three types of garments. First is a spandex wear without any cooling device (Normal). Second is a simulated LCVG (s-LCVG) or the spandex wear knitted a vinyl tube similar structure to current LCVG for flowing water. Third is the spandex wear with a tube, which were designed for flowing water and self-perspiration for evaporative cooling (SPEC). The self-perspiration is induced by oozing water from pores in the tube. The s-LCVG decreased skin temperature  $0.39 \pm 0.14$  °C during 12 min of cooling. With Evap, skin temperature did not decrease significantly until 6 to 9 minutes after starting the cooling. However, the temperature decreased rapidly and significantly after that, and finally decreased  $1.59 \pm 0.32$  °C. Humid in the SPEC was significantly lower than that in s-LCVG in spite of direct wetting of the garment. SPEC was effective for lowering skin temperature without raising humidity in the garment. The concept is expected to use as a better cooling system during EVA.

*Key words;* extravehicular mobility unit, liquid cooling and ventilation garment, perspiration, heat conduction, humidity

#### 1. はじめに

宇宙飛行士（以下、飛行士）は宇宙空間の高度真空状態で活動する際には船外活動用宇宙服（以下、宇宙服）を装着する。宇宙服は気密を維持するため閉鎖空間であり、この閉鎖空間で約 8 時間の活動を行わなくてはならないため、飛行士の体温は上昇する。そのためアメリカ合衆国および日本人飛行士が使用している宇宙服は最内層に冷却下着(Liquid Cooling and Ventilation Garment; 以下 LCVG)を装着している。この LCVG は伸縮性の下着の内面にビニルチューブを走行させ、その内部に冷却水を還流させることで身体を冷却している。しかし、この方法では大量のビニルチューブによって汗の蒸散が妨げられるため、飛行士は不快である[1]。汗を蒸散させる際の気化熱で身体を冷却すれば汗が貯留することなく体温を低下させることができる。しかし体温を下げるために汗をかかなければならない即ち体温を上げなければならないという矛盾が生じる。今回、我々はこの矛盾を解決するため冷却下着そのものが発汗し、その蒸散によって気化熱を奪うことによって身体を冷却する『蒸散服』を使用すれば、汗が貯留することもなく身体を冷却することができるのではないかと考え、これを作成、検証した。

#### 2. 方法

①市販の伸縮性スポーツ用ウェア(Normal)、② ①の背部に LCVG 同様のチューブを縫着し冷却水を灌流させた simulated LCVG (s-LCVG, Fig. 1 左)、③ ①の背部に冷却水還流用のチューブを縫着し、チューブに作成した 10 か所の微小孔から冷却水をウェアに滲出させる自己発汗式蒸散服(self-perspiration for evaporative cooling garment; SPEC, Fig. 1 右)の 3 種類のウェアを装着させ計測を行った。計測中、14°Cの冷却水を 1.8L/min で還流した[2, 3]。被検者の背部には現在の宇宙服同様 1m/s で気流をあてた。

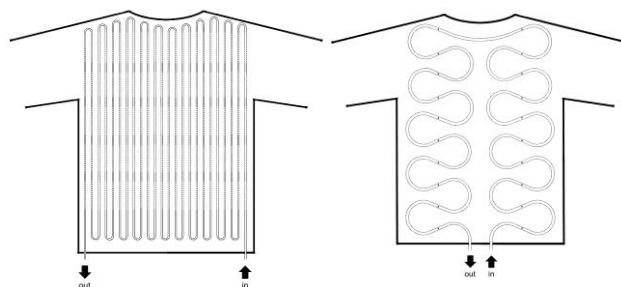


Fig. 1 simulated Liquid Cooling and Ventilation Garment (s-LCVG; 左) と Self-Perspiration for Evaporative Cooling garment (SPEC; 右)

8 人の健康被検者にエルゴメーターで 30 W, 60W, 90W, and 120W の負荷で各 3 分間系 12 分間の運動を行わせたときの皮膚温と衣服内湿度を連続的に計測した。

### 3. 結果と考察

運動中、Normal でもやや皮膚温が低下したが s-LCVG ではこれよりも有意に皮膚温が低下した。また SPEC においては運動および還流開始直後は皮膚温低下が s-LCVG よりも小さかったが、浸出水が増量し蒸散効果が表れた後半は有意に皮膚温が低下した(Fig. 2)。

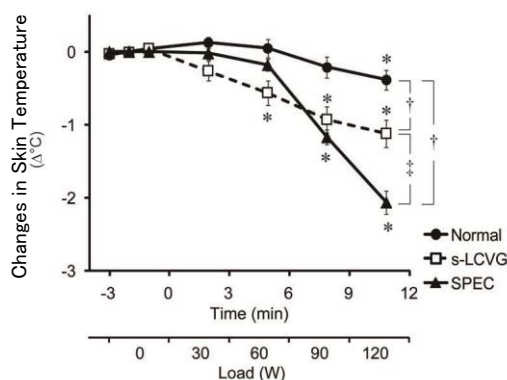


Fig. 2 皮膚温変化

(† $p < 0.05$  vs. Normal, ‡ $p < 0.05$  vs. s-LCVG)

このとき、衣服内湿度は s-LCVG では Normal に比較して有意に増加したが、SPEC では冷却水を滲出させているにも関わらず有意な上昇を認めなかった(Fig. 3)。

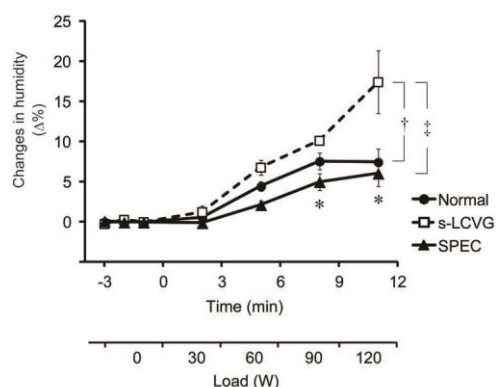


Fig. 3 衣服内湿度変化

(† $p < 0.05$  vs. Normal, ‡ $p < 0.05$  vs. s-LCVG)

以上の結果から SPEC は衣服内湿度を上昇させることなく高い身体冷却効果を得られることがわかった。今後は皮膚温が低下しにくい還流初期およびその後低下しすぎる現象を抑制するため滲出・蒸散量が任意にできる機構を考慮する必要があると考えら

れた。

### 参考文献

1. Marcy, J.L., et al., *Material Choices for Mars*. JMEP, 2004. **13**(2): p. 208-217.
2. Gokhan, A., et al., *Carbon Dioxide Control System for a Mars Spacesuit Life Support System*, in *41st International Conference on Environmental Systems*. 2011, American Institute of Aeronautics and Astronautics.
3. Koscheyev, V.S., A. Coca, and G.R. Leon, *Overview of physiological principles to support thermal balance and comfort of astronauts in open space and on planetary surfaces*. Acta Astronaut, 2007. **60**(4 - 7): p. 479 - 487.