

사지말초부의 노출과 보온이 인체의 체온조절에 미치는 영향

정 운 선* · 登 倉 尋 實**

안동대학교 자연과학대학 의류학과*
나라여자대학교 피복학과 피복생리학교실**

Effects of Exposure and Insulation of the Extremities on the Human Thermoregulation

Woon Seon Jeong* · Hiromi Tokura**

Dept. of Clothing and Textiles, College of Natural Sciences, Andong National University*
Lab. of Physiology, Dept. of Clothing Sciences, Nara Women's University, Nara, 630 Japan**
(1991. 9. 24 접수)

Abstract

Effects of insulation after exposure of the extremities on the temperature regulation in clothed men were studied. Experiment was carried out with six males in a climatic chamber fixed at 10°C, 55% R.H. treated with Type A (face only was exposed) and Type B (face and half of the extremities were exposed). Mean skin temperature fell greater in Type B due to intense vasoconstriction than in Type A. Rectal temperature rose a little in Type B and resumed in Type A without any significant differences in metabolism between two types of clothing. These findings suggest that Type B is more effective in physiological defense to the cold stimuli than Type A at least at 10°C.

I. 서 론

우리 인간은 일상생활에서 경험할 때 추운 환경에서는 일반적으로 의복을 많이 착용하여 추위로부터 몸을 보호하고자 하는 행동성 체온조절을 하므로, 이때의 의복은 한랭자극에 대하여 생리적 체온 조절면에서 유리한 형태가 바람직하다고 할 수 있겠다.

환경온이 변화할때 인체의 부위별 피부온의 변화가 구간부에서는 작고 사지말초부에서는 크며¹⁾, 사지부는 체온조절에서 방열의 조절에 중요한 역할을 한다²⁾는 사실이 잘 알려져 있다. 또한, 손이나 발 등을 인위적으로 가

온하거나 냉각시켜 체온조절상 사지말초부의 중요성을 확인하려는 연구들³⁻⁵⁾이 있는데, 그중 Burton³⁾은 추운 환경에서 손과 발을 과잉보온하였을 때 전율과 발한이 일어나고, 정상체온을 유지할 수 없을 정도로 심부체온이 내려갔다는 실험결과를 보고하였다. 한편, Van Someren 등⁴⁾의 연구에서는 피험자가 29°C의 물속에서 손과 발을 12°C의 욕조에 담그었을때 심부체온이 변화하는 결과를 얻었으며, 또한 추운환경에서 손과 발을 가온하는 것은 hypothermia를 유발시키는 원인이 될 것이라고 주장하였다.

이상의 연구결과를 바탕으로 하여 선행연구⁶⁻⁸⁾에서는 중등은 이하의 일정한 온도조건에서 안정시와 운동후에

피험자가 2종류의 의복을 착용하였을때의 체온조절반응을 비교하였다. 주목할만한 사실은 사지말초부를 노출시켜 구간부와 사지부의 온도차이가 큰 형태의 의복이 사지부를 피복한 형태의 의복보다 직장온이 높게 유지되었다는 결과를 얻었다. 한편, 환경온을 22°C → 10°C → 22°C로 변화시켜 피험자가 2종류의 의복을 착용하고 전신의 냉각과 가온과정을 경험하였을 때, 사지말초부를 노출한 의복의 경우 냉각시에는 직장온이 상승하고 가온시에는 직장온이 강하하는 현상을 보였으며, 사지말초부를 피복한 의복의 경우는 환경온의 변화에 관계없이

직장온이 서서히 강하하여 결국 두 의복간에 유의한 차이를 나타내었다⁹⁾.

이와같이, 환경온을 변화시켜 전신을 냉각한 후 가온하였을때 사지말초부의 온열상태가 다르다는 사실만으로도 직장온의 반응이 달라진다는 결과에 주목하여, 본 연구에서는 저온환경에서 사지말초부만을 환경에 노출시켜 국소냉각한 후 다시 의복으로 피복하여 국소가온하였을 때에도 전신냉각후 전신가온의 경우와 같은 결과를 얻을 수 있는지 검토하기 위하여, 직장온의 변화를 중심으로 한 체온조절반응을 살펴보고자 한다.

II. 재료 및 방법

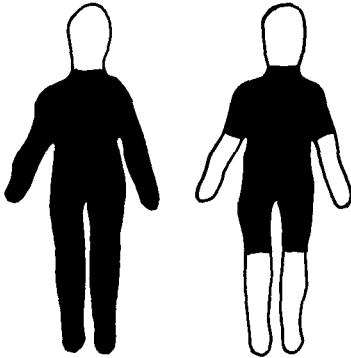


Fig. 1. Covered areas of the body with garments (shown in black) in Type A (left: face only was exposed) and Type B (right: face and half of the extremities were exposed).

본 연구에 사용된 의복은 Type A와 Type B의 두종류로서 의복의 형태와 재료는 Fig. 1과 Table 1에 각각 나타내었다.

Type A는 얼굴을 제외하고 전신을 피복한 형태이고 (1,97 clo) Type B는 구간부, 상완부, 대퇴부만을 피복한 형태이며(1,53 clo), 팔꿈치와 무릎부분에는 매직 테이프를 사용하여 Type A와 Type B의 상호전환이 가능하도록 하였다. 즉, Type A와 Type B는 재료는 같으나 형태가 다른 의복이다.

피험자는 6명의 신체건강한 남학생이며, 신체적 특성은 Table 2에 나타내었다. 피험자는 10°C, 55% R.H.로 유지된 인공기후실에서 Type A를 착용한후 직장온센

Table 1. Characteristics of clothing

Body area	Clothing	Fabric
Upper part	T-shirt ^a	cotton 100%
	training shirt ^a	absorbent acrylic 100%
	sweater ^b	acrylic 70%, wool 30%
	jacket with hood ^b gloves ^d	nylon 100%, down 100%, PET 100%
Lower part	shorts	cotton 100%
	short trousers	acrylic 50%, PET 50%
	training trousers ^c	absorbent acrylic 100%
	socks and leg warmer ^d	cotton, acrylic, wool, nylon

a : with long sleeves in Type A, with short sleeves to the elbow in Type B.
 b : with long sleeves in Type A, sleeveless in Type B.
 c : with long trousers in Type A, with short trousers to the knee in Type B.
 d : only worn in Type A.

Table 2. Physical characteristics of the subjects

Subject	Age	Height (cm)	Weight (kg)	BSA* (m ²)
H.M.	17	165.0	52.5	1.58
T.O.	19	168.2	58.2	1.67
M.Y.	19	169.8	58.0	1.68
M.T.	17	169.3	54.0	1.63
Y.N.	21	163.0	55.4	1.60
K.K.	19	170.5	66.9	1.79
M±SE	19±1	167.6±1.2	57.5±2.1	1.66±0.03

* Body Surface Area = $W^{0.425} \times H^{0.725} \times 72.46$

서를 직장에 삽입하고 피부온 측정을 위한 센서를 7군데의 피부면에 부착시키고 나서 직장온이 일정한 값을 나타내어 신체가 열평형을 이룰때까지 누운자세로 안정상태를 유지한다. 직장온이 일정해지면 피험자는 Type B의 상태로 60분간 안정자세를 취하고, 다시 사지부를 피복한 Type A의 상태로 60분간 안정상태를 유지한다. 피험자는 실험시작에서 실험종료까지 bed balance 위에 똑 바로 누운자세로 실험에 임했으며, 본실험 전에 예비실험을 거쳤으므로 실험에 익숙해 있었다.

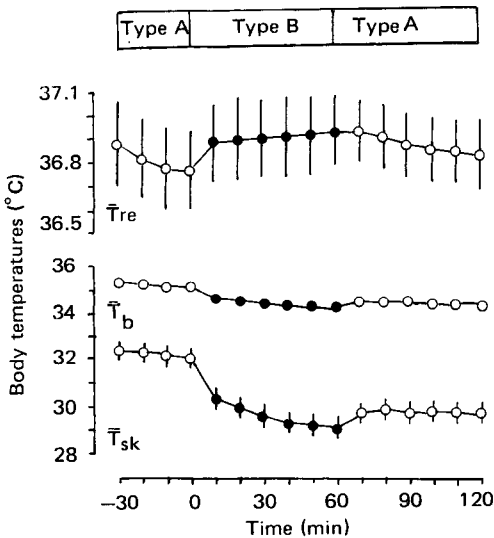


Fig. 2. Temporal changes of T_{re} , T_b and T_{sk} when the clothing was changed into Type B (closed circles) and was changed into Type A (open circles) again at T_a 10°C. values are means±SE.

직장온(T_{re})과 피부온은 copper-constantan 열전대로 측정하였으며, 평균피부온(T_{sk})은 Hardy와 DuBois의 공식으로부터 다음과 같이 계산하였다.

$$T_{sk} = 0.07 T_{head} + 0.05 T_{hand} + 0.13 T_{leg} + 0.07 T_{foot} + 0.35 T_{trunk} + 0.14 T_{arm} + 0.19 T_{thigh}$$

평균체온(T_b)은 다음과 같이 계산하였다.

$$T_b = 0.65 T_{re} \times 0.35 T_{sk}$$

대사량은 Consolazio등¹⁰⁾의 open circuit method에 의해 얻은 산소소비량으로부터 계산하여 구하였으며, 채취된 공기는 magnetic analyzer (MAG-2, Shimadzu Co., Japan)로 분석하였다.

체중감소량은 bed balance (33 B type, James Addison Potter Co., U.S.A)를 사용하여 연속적으로 측정하였다.

의복의 형태에 따른 생리반응의 결과는 paired t-test로 검정하였다.

III. 결 과

본 연구에서 얻은 결과는 피험자 6명의 평균치로 나타내었다. Fig. 2는 직장온(T_{re})과 평균체온(T_b), 평균피부온(T_{sk})을 나타내고 있다. 피험자가 Type A에서 Type B로 바꾸어 착용하였을 때 직장온은 상승하고 평균피부온은 강하하였으며, 다시 Type A를 착용한 상태에서는 직장온은 강하하고 평균피부온은 상승하는 경향

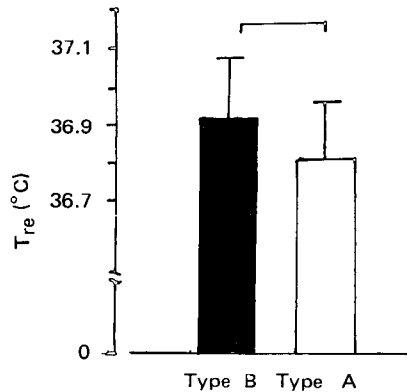


Fig. 3. A comparison of T_{re} between Type B (black bar) and Type A (open bar) after 60 min exposure at T_a 10°C. Values are means±SE. * $p < 0.05$.

을 보였다. 그리고, 평균 피부온의 변화율을 보면 Type A에서 Type B로 하였을때의 강하율이 Type B에서 다시 Type A로 하였을때의 상승율보다 큰 것을 알 수 있다.

Fig. 3에는 Type B에서 Type A로 바꾸었을 때의 직장은온의 변화를 나타내었다. Type B의 상태에서 60분이 경과한 후의 직장은온은 약 0.2°C 상승하였으며, Type B에서 Type A로 바꾸고 60분이 경과한 후의 직장은온은 약 0.1°C 강하하여 두종류의 의복간에 유의한 차이를 나타내었다.

Fig. 4에는 사지말초부의 피부온을 나타내었다. Type B의 상태로 60분 경과후의 피부온은 약 7~11°C

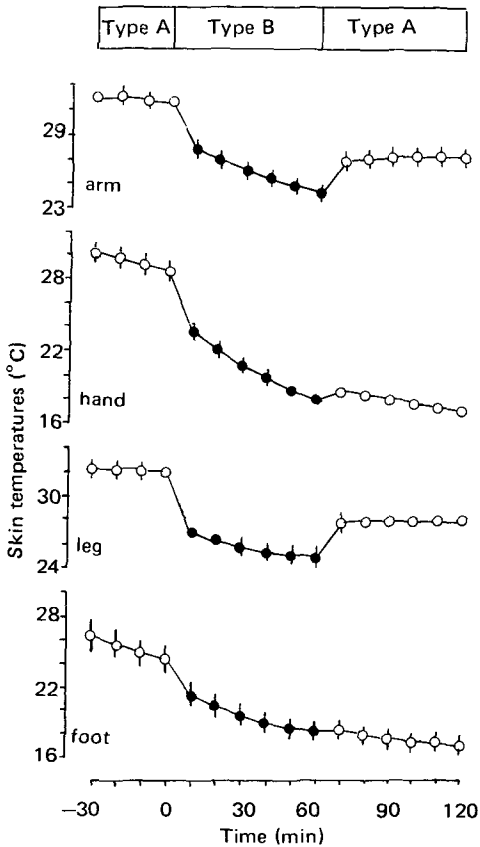


Fig. 4. Temporal changes of skin temperatures in the extremities when the clothing was changed into Type B (closed circles) and was changed into Type A (open circles) again at T_a 10°C. Values are means \pm SE.

Table 3. Heat balance and total thermal conductance in Type B and Type A

	Type B	Type A
Metabolism ($W \cdot m^{-2}$)	70.6 \pm 5.0	68.3 \pm 3.0
Dry heat loss ($W \cdot m^{-2}$)	70.3 \pm 3.4	60.6 \pm 2.5*
Wet heat loss ($W \cdot m^{-2}$)	10.6 \pm 1.7	12.0 \pm 1.1
Storage ($W \cdot m^{-2}$)	-10.3 \pm 5.1	-4.3 \pm 1.9
Total thermal conductance ($W \cdot m^{-2} \cdot ^\circ C^{-1}$)	2.6 \pm 0.1	2.3 \pm 0.1

Values are means \pm SE of experiments on 6 subjects and are from the data obtained during the last 10 min exposure.

* Significantly different between Type B and Type A, $p < 0.05$.

강하하였다. Type B에서 다시 Type A로 바꾸고 60분이 경과한 후 사지말초부의 피부온의 변화를 살펴보면, 전완과 하퇴의 피부온은 약 3°C 상승하였으나 손과 발의 피부온은 징검과 양말을 착용하여 손발을 보온하여도 계속해서 내려가고 있는 것을 볼 수 있다.

열평형식으로부터 얻은 생리반응의 결과는 Table 3에 나타내었다. Type B상태에서 60분 경과후의 산열량과 Type A로 다시 바꾸고 60분 경과후의 산열량간에 유의한 차이는 없었으며, total thermal conductance는 약간 감소되는 경향이고, 방열량은 dry heat loss에서 유의차를 보였다.

IV. 고찰 및 결론

저온에서 의복착용시 인체의 사지부가 환경에 노출되었을 때 심부체온이 상승한 결과는 선행연구들⁶⁻⁹⁾과 일치하는 경향을 보였는데(Fig. 2), 이는 두종류의 의복간에 대사량의 차이가 없는 것으로 보아(Table 3), 말초부위의 피부혈류량 감소에 기여하는 반사작용과 인체의 열손실을 줄이기 위한 사지부의 대향류열교환에 의한 것으로 해석할 수 있겠다. 즉, 사지부 피부온의 강하율에서 볼 수 있듯이(Fig. 4), 신체의 다른 부위에 비하여 현저하게 냉각된 사지말초부가 추위를 감지하는 센서로서의 역할을 효과적으로 수행하였다는 것을 의미한다.

다시 Type A를 착용하여 사지부를 의복으로 보온한 결과, 직장은온은 서서히 강하하여 Type B를 착용하였을 때와 유의한 차이를 보이며 원래의 수준으로 회복되고

있는데 (Fig. 2, Fig. 3), 여기서 손과 발은 장갑과 양말 등으로 다시 보온을 하여도 피부온이 계속 내려가며 회복되지 않는 현상에 주목할 필요가 있겠다. 전완과 하퇴 역시 Type A로 다시 바꾸었을 때 피부온이 다소 상승하는 경향을 보이고는 있으나 원래의 수준으로 회복되기는 쉽지 않을 것으로 보인다 (Fig. 4). 이와같은 결과로 보아 일단 일정시간동안 냉각되어진 사지부의 피부온은 같은 시간내에 회복되기 어려우며, 특히 말초부에서 이러한 경향이 뚜렷하다는 것을 알 수 있으며, 10°C의 한랭자극이 지속되는 한, 일단 냉각되어진 사지부를 냉각전의 상태로 회복시키기 위해서는 냉각 전보다 높은 의복의 보온력이 필요하다는 것을 시사한다고 하겠다. 이러한 관점에서 볼 때, Type A의 경우 사지말초부의 피부온이 상승할 수 있는 조건이고, 두가지 형태의 의복에서 대사량에 차이가 없다고 가정하면 직장온의 강하율은 더욱 컸을 것으로 예측된다.

일반적으로, 인체가 추운환경에 노출되었을 때 혈관수축에 의하여 피부온이 내려가고, 대사량을 증가시켜 심부체온을 일정하게 유지하려는 것이 한랭자극에 대한 생리반응이다. Burton 등의 실험에서는 semi-nude 상태의 피험자들이 약 15°C의 환경에 노출되었을 때 강한 혈관수축으로 인한 피부온의 급강하와 진율에 의한 산소 소비량의 증가 등의 생리적 반응으로 인하여 직장온의 상승이라는 방어적 결과를 나타내었다³⁾. 본연구에서도 Type B는 혈관수축의 결과 Type A보다 피부온의 강하폭이 현저하게 컸다 (Fig. 4). 그러나, Burton³⁾과 Van Someren⁴⁾의 연구결과와는 달리 대사량이 직장온의 상승에 직접 영향을 끼치지 않은 이유는 그들의 연구와 비교해볼때 구간부의 온열상태가 달랐기 때문으로 사료된다. 즉, 본연구에서는 Type A와 Type B 모두 피험자들의 구간부를 의복으로 충분히 보온하였으므로, 구간부에 분포되어 있는 냉수용기가 두종류의 의복간에 대사량의 차이를 유발시킬 정도의 기능을 발휘할 필요가 없었다는 것을 알 수 있다.

이상에서 살펴본 바와 같이, 본연구에서는 10°C의 한랭환경하에서 인체의 구간부와 사지말초부의 온도차를 크게 설정한 Type B가 Type A보다 강한 혈관수축으로 인하여 직장온을 다소 높게 유지하여 추위에 대한 방어능력이 우수함을 나타내었으며, 사지말초부가 일단

냉각되면 냉각전의 상태로 회복되기 위해서는 냉각전보다 더 높은 의복의 보온력이 필요하다는 것을 알 수 있다.

참 고 문 헌

- 1) Hardy, J.D. and DuBois, E.F., Basal Metabolism, Radiation, Convection and Vaporization at Temperatures of 22 to 35°C, *J. Nutr.*, **15**(5), 477~497, (1938)
- 2) Maddock, W.G. and Collier, F.A., The Role of the Extremities in the Dissipation of Heat, *Am. J. Physiol.*, **106**, 589~596, (1933)
- 3) Burton, A.C., The Pattern of Response to Cold in Animals and the Evolution of Homeothermy. In: Herzfeld, C.M. (ed.), *Temperature*, **3**, Part 3, Reinhold, 363~371, (1963)
- 4) Van Someren, R.N.M., Coleshaw, S.R.K., Mincer, P. J., and Keatinge, W.R., Restoration of Thermoregulatory Response to Body Cooling by Cooling Hands and Feet, *J. Appl. Physiol.*, **53**(5), 1228~1233, (1982)
- 5) Heising, M. and Werner, J., Differential Heating of Trunk and Extremities, *Eur. J. Appl. Physiol.*, **54**, 79~83, (1985)
- 6) Jeong, W.S. and Tokura, H., Effects of Wearing Two Different Forms of Garment on Thermoregulation in Men Resting at 10°C, *Eur. J. Appl. Physiol.*, **57**, 627~631, (1988)
- 7) Jeong W.S. and Tokura, H., Effects of Wearing Two Different Types of Clothing on Body Temperatures During and After Exercise, *Int. J. Biometeorol.*, **33**, 77~81, (1989)
- 8) Jeong, W.S. and Tokura, H., Effects of Wearing Two Different Types of Clothing on Core Temperature under the Conditions Simulating Actual Indoor Life, *J. Home Econ. Jpn.*, **41**(2), 143~148, (1990)
- 9) Jeong, W.S., Influences of Different Types of Clothing on Human Core Temperature under Various Living Environments, 일본나라여자대학교 박사학위논문, Chapter 5, 42~60, (1989)
- 10) Consolazio, C.F., Johnson, R.E., and Pecora, L.J., *Physiological Measurements of Metabolic Functions in Man*, McGraw-Hill, 5~12, (1963)