

피복효과면에서 본 발과 다리의 체온조절적 특성

이종민

상지영서대학 의상과

Thermoregulatory Characteristics of Feet and Legs in aspects of Covering Effect

Jong Min Lee

Dept. of Clothing, Sangji Youngseo College
(1999. 3. 25 접수)

Abstract

This study was conducted to investigate the thermoregulatory characteristics of feet and legs by comparing with the physiological responses according to the covering parts of lower limbs. Five healthy female subjects wore three types of clothing—covered legs and feet(LF-C) with long trousers and socks, exposed the legs(L-E) with half trousers and socks, and exposed the legs and feet(LF-E) with only half trousers — when the subjects rested at 25°C and were exposed to 18°C for 90 min.

Rectal temperatures(T_{re}) were maintained higher in LF-E than L-E and LF-C at both environments. Decreases of T_{re} after exposure to 18°C were significantly smaller in LF-E than L-E and LF-C, and almost same in L-E and LF-C. Heat production in both environments, increases of heat production and weight loss after exposure to 18°C were not significant among three types of clothing.

From these findings it would be suggested that the legs would play the little role of voluntary thermoregulation as vasoconstriction and the role of the legs depend on thermal conditions of feet, while the feet play the positive role of voluntary thermoregulation in terms of heat conservation in cool environment.

Key words: thermoregulation, covering part, vasoconstriction, heat conservation;
체온조절, 피복부위, 피부혈관수축, 열보유

I. 서 론

사지는 신체의 열보유와 열방산을 조절하며 심부온의 항온유지에 중요한 역할을 한다. 이러한 역할은 혈류의 중요한 기능으로서¹⁾ 혈관운동성 조절을 통하여 인체내 core와 shell의 비율을 변화시켜 심부가 항온을 유지하도록 하는데, Maddock 등²⁾은 이러한

한 혈액의 조절성 이동은 단순히 신체의 표면에서 보다 말단부위 표면에서 크다는 것을 입증하였으며, Carlson 등³⁾은 한냉 환경에서 신체부위에 따른 이러한 조절 차이는 혈관수축신경의 긴장도 차에 기인하는 것이라고 밝혔다. 손이나 발, 혹은 팔이나 다리에 관한 체온조절적 기능에 대한 연구는 다양하게 이루어져 사지 부위별 조절 효과^{4~6)} 및 사지 부위 간 체온조절적 관련성^{7~9)}, 조절 메카니즘에 대한 규

명^{10~13)}, 운동이 조절 기능에 미치는 영향^{7, 14, 15)} 등이 있으나 의복과 관련하여 실생활에서 겪게 되는 체온조절적 효과에 대한 연구는 부족한 실정이며, 특히 발과 독립적으로 다리의 생리기능을 연구한 자료는 찾아보기 어려운 형편이고 따라서 사지의 큰 부분을 차지하는 다리의 체온조절적 역할에 대해서는 알려진 바가 거의 없는 실정이다.

이에 본 연구에서는 발과 다리의 체온조절적 특성을 일상생활에서 흔히 겪게 되는 환경 및 차의 조건을 통하여 파악해 보고자, 하지부 피복부위 변화에 따른 온열생리반응을 측정하였다. 이를 위하여 25°C 환경에서 안정시와 18°C 환경으로 노출시 하지부를 모두 피복한 경우와 다리를 노출한 경우, 그리고 발과 다리를 노출한 경우의 체온조절반응을 측정하여 비교 관찰하였다.

II. 연구방법

1. 피험자

피험자는 신체 건강한 5명의 여대생(나이 20±2.31yr, 신장 158.4±4.33cm, 체중 49.2±4.96kg, 체표면적 1.45±0.06m², 평균±표준편차)으로 모든 실험은 생리주기를 고려하여 피험자 생리주기의 난포기에 실시하도록 설계하였다. 모든 피험자는 예비실험을 거친 후 각 의복 종류에 대해 오전과 오후에 2회 반복 실험하였으며, 1회 실험 후 최소한 48시간 경과 후 다음 실험에 임하였다.

2. 실험방법

1) 실험의복

실험의복은 세 종류로서 공통적으로 브레이저와 팬티 위에 긴소매 티셔츠를 입고 각각 긴바지와

양말(전체피복), 반바지와 양말(다리노출), 반바지(발-다리노출)를 착용하였다. 긴바지와 반바지의 재료는 동일하였으며, 각 의복 착용시 피복 부위는 Fig. 1과 같다.

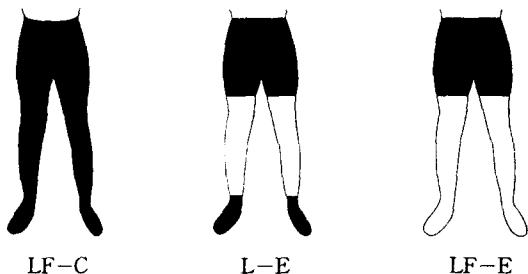


Fig. 1. Covered parts of lower limbs with clothing

2) 실험과정

피험자는 각 실험의복을 착용하고 25°C로 조절된 준비실에서 1시간 정도 안정을 취한 후 센서를 부착, 혹은 삽입하고 20분 정도 다시 안정하여 직장온과 피부온이 일정한 상태가 되었다고 판단되면 직장온과 7부위 피부온(Digital Thermister, Takara Industry Co. 감도 0.1°C), 산소섭취량(Aerosport KB1-C, Ambulatory Metabolic Measurement System KB1-C, Aerosport Inc. USA)을 1회 측정하고 서늘한 환경 조건(18±1°C, 50±5% R.H., 기류 0.4m/sec)으로 조절된 인공기후실로 입실하였다. 25°C 환경에서 18°C 환경으로 피험자를 이동시킨 것은 환경온 변화에 따른 체온조절 반응의 동적인 변화를 피복조건과 관련하여 살펴보기 위함이었다.

실험실에 입실한 후 90분 동안 인체 천칭(Sartorius Factory. F150S-D2, GMBH, 감도 1g) 위의 의자에 앉은 상태로 10분마다 직장온, 피부온

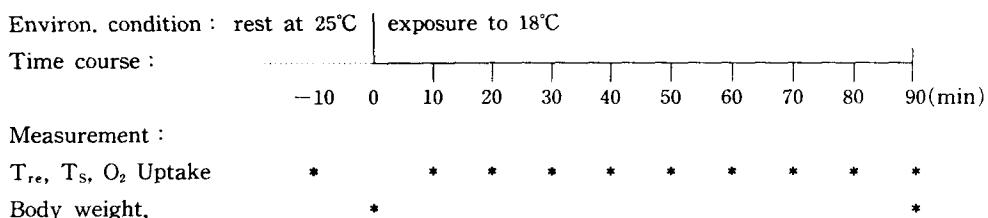


Fig. 2. Experiment procedure

* : measurement

Table 1. Physiological responses when rested at 25°C and exposed to 18°C during covering the legs and feet(LF-C), exposing the legs(L-E) and exposing the legs and feet(LF-E).

	25°C			18°C		
	LF-C	L-E	LF-E	LF-C	L-E	LF-E
Tre(°C)	37.08±.15	37.20±.19	37.24±.16	36.91±.14 ^a	37.03±.24 ^b	37.18±.24 ^c
Temp.of Forehead(°C)	34.46±.32 ^c	34.43±.43 ^{bc}	33.93±.40 ^b	31.79±.58 ^b	31.83±.62 ^{bc}	31.46±.50 ^a
Temp.of Trunk(°C)	34.44±.80	34.51±.45	34.31±.68	32.75±1.05	33.06±.79	32.72±.89
Temp.of Forearm(°C)	33.72±.55	33.60±.50	33.45±.57	29.09±.50	29.08±.86	29.18±.71
Temp.of Hand(°C)	33.95±.72	33.74±.54	33.47±1.05	27.56±1.59	27.36±1.57	27.78±2.12
Temp.of Thigh(°C)	32.08±.55 ^c	31.42±.86 ^{ac}	31.19±.79 ^a	27.25±.81 ^c	26.18±.51 ^{ab}	25.99±.75 ^a
Temp.of Leg(°C)	32.53±.85 ^c	31.23±1.38 ^b	30.71±.61 ^a	28.05±.89 ^f	24.69±2.18 ^{ab}	24.27±2.13 ^c
Temp.of Foot(°C)	33.65±.55 ^c	33.02±1.20 ^{bc}	32.14±.92 ^a	26.56±1.03 ^c	25.59±1.51 ^b	23.89±1.36 ^a
Tsk(°C)	33.56±.42 ^c	33.14±.38 ^{ab}	32.87±.45 ^a	29.82±.42 ^c	29.13±.36 ^{ab}	28.90±.52 ^a
Thermal gradient(°C)	3.51±.46 ^c	4.07±.44 ^{bc}	4.33±.48 ^c	7.09±.48 ^a	7.95±.47 ^b	8.25±.56 ^c
Heat Production(Kcal/m ² hr)	26.96±6.50	26.42±4.30	28.13±4.51	42.41±13.27	42.12±10.80	41.37±7.86
Total Weight Loss(g)				26.66±7.77	28.46±7.24	27.13±5.99

Mean±SD. Values were obtained during the last 30 min. at 18°C.

Duncan Multiple Range Test ($p \leq 0.05$).

및 열생산량 산출을 위한 산소섭취량을 측정하였으며 총 수분증발량은 입실 직후와 실험 만료 후 체중의 차이로 산출하였다. 또한 심부온과 외각온간의 온도기울기는 Tre-Tsk 식에 의해 산출하였으며, 이러한 실험과정은 Fig. 2와 같다.

각 환경에서 의복종류에 따른 인체 반응의 차이와 18°C환경 노출시 반응의 변화폭은 일원분산분석하여 유의한 차이를 나타낸 항목에 대해서는 던컨다중비교 검증($p < 0.05$)하였다.

III. 결 과

25°C환경과 18°C환경에서 의복종류에 따른 체온조절 반응의 결과는 Table 1과 같고, 18°C환경으로 노출시 직장온 및 피부온의 하강폭은 Table 2와 같다.

1. 직장온

25°C환경과 18°C환경 모두에서 직장온은 발-다리노출시 가장 높고 다음이 다리노출시, 전체피복시 순으로 나타나(18°C환경, $p \leq 0.05$) 하지부 피복 면적이나를수록 직장온이 낮아진 것을 확인할 수 있고, 이것은 사지부 노출면적이 큰 의복착용시 구강온과 직장온이

Table 2. Decreases of Tre & skin temp. during last 30 min. when exposed to 18°C

	LF-C	L-E	LF-E
ΔTre	-.16±.17 ^b	-.16±.16 ^b	-.05±.15 ^a
ΔTemp.of Forehead(°C)	-2.66±.47	-2.61±.45	-2.47±.50
ΔTemp.of Trunk(°C)	-1.69±.53	-1.44±.45	-1.59±.43
ΔTemp.of Forearm(°C)	-4.63±.87	-4.51±.79	-4.26±.78
ΔTemp.of Hand(°C)	-6.39±1.71	-6.38±1.56	-5.68±1.56
ΔTemp.of Thigh(°C)	-4.83±.47 ^a	-5.24±.69 ^{bc}	-5.20±.61 ^b
ΔTemp.of Leg(°C)	-4.48±.58 ^a	-6.54±1.19 ^{bc}	-6.43±1.95 ^b
ΔTemp.of Foot(°C)	-7.09±.88 ^a	-7.43±1.23 ^{ab}	-8.25±1.23 ^c
ΔTsk(°C)	-3.74±.35 ^a	-4.01±.33 ^{bc}	-3.97±.37 ^b

Mean±SD. Duncan Multiple Range Test ($p \leq 0.05$).

높게 유지되었다는 정의 연구¹¹와 일치하였다. 18°C환경 노출시 직장온의 시간경과에 따른 양상은 Fig. 3에서 볼 수 있듯이 전체피복시와 다리노출시 매우 유사한 양상을 보이며 노출 말기 30분 동안의 직장온 하강폭도 전체피복시와 다리노출시 동일하게 0.16°C로

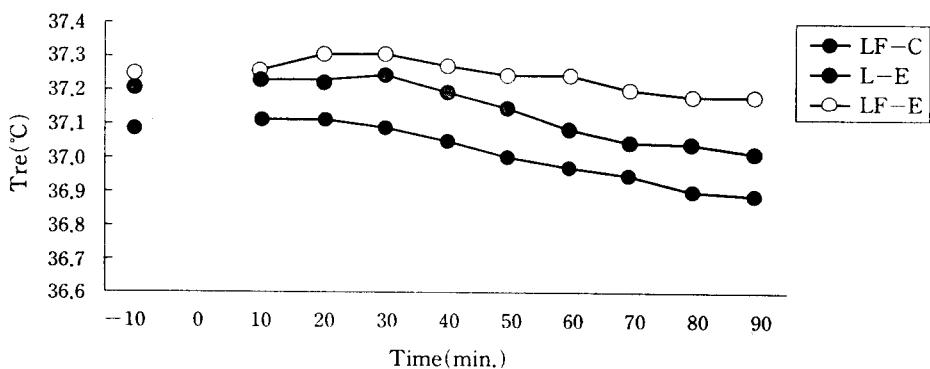


Fig. 3. Rectal temperature during the experiment

나타난 반면, 발-다리노출시는 0.05°C 만 하강하였다 ($p \leq 0.05$). 따라서 환경온 변화시 발을 피복한 경우는 다리의 피복여부와는 무관하게 직장온 변화과정에 미치는 영향이 유사하다는 것을 알 수 있다.

2. 피부온

하지부 피부온은 두 환경 모두에서 전체피복시 가장 높게 나타나고 발-다리노출시 가장 낮게 나타났다 ($p \leq 0.05$). 18°C 환경에 노출로 인한 하지부 피부온의 하강폭은 전체피복시 가장 작았으며, 허벅지온과 종아리온의 하강폭은 다리노출시, 발등온의 하강폭은 발-다리 노출시 크게 나타났다. 25°C 환경에서 발등온은 의복종류에 상관없이 허벅지온이나 종아리온 보다 높은 반면, 18°C 환경에서는 다리노출시를 제외하고는 허벅지온이나 종아리온 보다 낮게 나타났다.

상지부 피부온과 가슴온은 두 환경 모두에서 하지부 의복종류에 따른 유의한 차이가 보이지 않아 하지부 피복 조건이 상지부 피부온과 가슴온에 미치는 영향이 적음을 알 수 있다. 18°C 환경 노출시 상체 피부온의 하강폭은 전체피복시 대체로 크게 나타났으나 의복종류에 따라 유의하지 않았으며, 신체 모든 부위에서 의복종류와 관계없이 피부온 하강폭이 가장 크게 나타난 부위는 가슴이고 가장 크게 나타난 부위는 발이었다.

평균 피부온은 두 환경 모두에서 피복 면적에 비례하여 전체피복시 가장 높았으며, 발-다리노출시 가장 낮게 나타났으나 다리노출시와 발-다리노출시간에는 유의한 차이가 보이지 않았다. 또한 18°C 환경

노출시 평균피부온의 하강폭은 전체피복시 가장 커으며 다음이 발-다리노출, 다리노출 순이었으나 발-다리노출과 다리노출간에 유의한 차이는 없었다. 체내 온도기울기는 두 환경 모두에서 피복 면적에 작은 발-다리노출시 가장 크게 나타났으며, 전체피복시 가장 크게 나타났다.

3. 열생산량 및 수분 손실량

열생산량은 두 환경 모두에서 의복종류에 따른 유의한 차이는 나타나지 않았으며, 25°C 환경에서 18°C 환경으로 노출시 증가하였으나 증가폭도 의복종류에 따라 유의하지 않았다.

18°C 환경에서 측정한 수분손실량도 의복종류에 따른 유의한 차이가 나타나지 않아 습성방열량간의 차이가 없었음을 알 수 있다.

IV. 고 칠

인체내 열 경제라는 관점으로 볼 때, 한냉환경에서 심부온의 유지는 사지의 냉각으로 경제적으로 행하여진다¹⁶⁾. 이것은 사지에서의 교감신경계 반사를 통한 피부혈관 수축과 동정맥간 대량류열교환, 그리고 환경온의 직접적인 작용으로 인한 정맥간 혈류 이동으로 일어난다¹⁸⁾. 본 연구에서 하지부 피복면적이 클수록 직장온이 낮게 나타난 결과는 의복종류 간 산열량과 습성방열량의 차이가 없었던 점을 감안할 때 혈관운동성 조절에 의한 체내 열이동, 즉 체열분포의 차이에 기인한 것이라고 볼 수 있다. 다시말

해 피복 및 노출로 인한 체표면의 보온 및 냉각효과가 인체의 core-shell 구조 형성에 영향을 미친 것으로서, 피복면적이 가장 커던 전체피복시는 core에 대한 shell의 비율이 작아져 체내 열분포가 분산되어 결과적으로 직장온이 낮게 나타났고, 노출면적이 가장 커던 발-다리노출시는 피부표면에서 혈관운동성 조절이 활발히 일어나 core에 대한 shell의 비율이 상대적으로 커짐으로 심부로의 체열 이동이 커져 결과적으로 직장온이 높아지게 된 것으로 보인다. 이것은 피부혈관운동의 지표인 피부온²⁾이 피복면적이 작아질수록 낮아지고, 인체내 온도분포를 예측할 수 있는 체내 온도기울기가 피복면적이 작아질수록 커진 결과에서도 쉽게 짐작할 수 있다.

18°C환경으로 노출시 시간경과에 따른 직장온의 변화양상과 하강폭이 전체피복시와 다리노출시 유사하여 두 환경에서 두 의복종류간 직장온의 차이가 동일하게 나타난 것(Fig. 3, Table 2)은 본 연구의 환경조건에서 환경온 변화에 따른 직장온의 변화과정이 다리의 피복여부와는 크게 관련 없음을 보여주는 결과라 할 수 있으며, 발-다리노출의 경우 다리노출시에 비해 노출면적을 하지부 피부면적의 대략 17%만 증가시킨 것임에도 불구하고 직장온의 하강폭이 유의하게 작게 나타난 것은 발이 갖는 체온조절적 기능의 우수성을 보여주는 결과라 하겠다. Badde 등⁴⁾은 혈관수축은 자극부위의 감각자극과 자극부위에서 되돌아오는 냉각된 혈액에 기인한다고 하였으며, Hirata 등⁸⁾은 아랫팔이나 종아리에서의 열손실은 손이나 발을 통과하는 혈류 변화에 크게 영향받는다고 하여, 30°C환경에서 다리로부터의 열손실 증가의 67%가 발에서 환류하는 정맥혈에 의하였다고 보고하였다. 이상의 사실로 볼 때 본 연구에서 환경온 변화시 발을 피복한 경우는 다리의 피복여부와는 관계없이 발을 노출한 경우에 비해 발의 온도가 높게 유지되어 환류하는 정맥혈이 따뜻하여 다리를 흐르는 피부혈류량이 상대적으로 많아지고 shell의 형성이 방해되어 결과적으로 체내 내부 열전도가 커지게 됨으로¹⁹⁾ 직장온의 하강폭이 커진 것으로 해석된다. 한편, Mitchell 등¹¹⁾은 일반적으로 혈관수축시 열흐름과 전도는 감소된다고 하여 그들의 실험에서 다리 냉각시 전도가 $7W/m^2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 일

것으로 예측하였으나 실험결과 $18W/m^2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 로 나타나 다리에서는 vasorestriction이 별로 일어나지 않는다는 사실을 강하게 주장하였다. 따라서 본 연구에서 전체피복시와 다리노출시 직장온의 차이가 18°C 환경에 노출 전이나 노출 후 동일하게 0.16°C 로 나타난 결과는 위에서 언급한 환류정맥혈의 영향 뿐 아니라 노출된 다리에서 자발적인 체온조절적 역할이 일어나지 않았다는 점을 의미하는 것으로서 이것은 곧 다리에서 피부혈관수축이 일어나지 않았다는 사실을 시사하는 점이라고 볼 수 있다.

반면에 발을 노출한 경우는 발이 손과 유사하게 다리에 비해 근육이 차지하는 비율이 적어 근육혈류보다는 온도에 민감하게 반응하는 피부혈류가 많아²⁰⁾ 노출로 인한 환경온의 영향으로 피부혈관수축이 일어나고 shell 구조 형성을 용이하게 하여 결과적으로 내부 열전도가 낮아져 직장온의 하강폭이 작아지게 된 것으로 해석된다. 또한 발에는 피부온도 감각정보에 의해 체온조절반응을 일으키는 피부온도 수용기가 다리 전체에 분포되어 있는 양과 거의 맞먹는 양이 있는 까닭에¹⁶⁾ 단위 체표면적당 온도 감수성이 우수한 점에도 기인한 것으로 보인다.

이상의 결과로 볼 때 서늘한 환경에서 다리는 열보유 역할이 미흡하고 발의 열적 상태에 매우 의존적이라는 점을 알 수 있고, 발은 매우 적극적인 열보유 역할을 한다는 사실을 알 수 있으나, 좀 더 확실한 결론을 내리기 위해서는 다양한 환경조건에서 혈류량이나 방열량 등의 측정이 필요할 것으로 본다.

V. 요약 및 결론

하지부 피복부위에 따른 체온조절 반응을 비교함으로서 발과 다리의 체온조절적 특성을 파악하고자, 25°C 환경에서 안정하고 있을 때와 18°C 환경으로 노출시 하지부에 의복을 전체적으로 착용한 경우(전체피복)와 반바지에 양말을 착용한 경우(다리노출), 그리고 반바지만 착용한 경우(발-다리노출)의 체온조절 반응을 측정하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 25°C 환경과 18°C 환경에서 직장온은 피복면적이 클수록 낮게 나타났으며, 25°C 환경에서 18°C 환경으로 노출시 직장온의 하강폭은 전체피복시와 다리노출시

는 유사하고 발-다리노출시에 비해 크게 나타났다.

2. 하지부 피부온은 두 환경 모두에서 전체피복시 높게 나타나고, 발-다리노출시 낮게 나타났다.

상체 피부온은 두 환경 모두에서 하지부 의복종류에 따른 차이가 없었으며, 18°C환경 노출시 피부온의 하강폭이 가장 작은 부위는 가슴이고, 가장 큰 부위는 발이었다.

평균피부온은 피복면적에 비례하여 전체피복시 높고 발-다리노출시 낮았으며, 체내온도기울기는 전체피복시 작고 발-다리노출시 크게 나타났다.

3. 열생산량 및 수분 손실량은 두 환경 모두에서 의복종류간 차이가 없었다.

이상의 결과에서 발과 다리의 피복여부는 체내 열분포에 영향을 미치고, 환경온 변화시 다리에서는 피부혈관 수축 등과 같은 심부온 유지를 위한 체온 조절적 역할이 별로 일어나지 않아 열보유 측면에서의 기능이 미흡하고 발의 열적 상태에 매우 의존적인 반면, 발에서는 열보유 역할이 적극적으로 행해진다는 사실을 알 수 있다.

따라서 체온조절 역할 면에서 하지부 부위가 차지하는 중요성이 하지부 면적이 차지하는 중요성에 비해 더 크다는 점을 파악할 수 있다.

참 고 문 헌

- 1) Raman E. and Roberts M., Heat savings from alterations of venous distribution versus counter-current heat exchange in extremities, *Thermal Physiology*, 167-172, 1989.
- 2) Maddock W. G. and Coller F. A., The role of the extremities in the dissipation of heat, *Am. Journal of Physiology*, 589-596, 1933.
- 3) Carlson L. D. and Hsieh A. C. L., Cold, In: 中山昭雄編, 溫熱生理學, 73-216, 理工學社
- 4) Badde M. E. and Macht M. B., Indirect peripheral vasodilation produced by the warming of various body areas, *J. of Appl. Physiol.*, 1, 215-226, 1949.
- 5) Hall J. F., Polte J. W., Kelley R. L. and Edwards J., Skin and extremity cooling of clothed humans in cold water immersion, *J. of Appl. Physiol.*, 7, 188-195, 1954.
- 6) Heising M. and Werner J., Differential heating of trunk and extremities, *Eur. J. of Appl. Physiol.*, 54, 79-83, 1985.
- 7) Johnson J. M., Responses of forearm blood flow to graded leg exercise in man, *J. of Appl. Physiol.*, 46(3), 457-462, 1979.
- 8) Hirata K., Nagasaka T. and Noda Y., Venous return from distal regions affects heat loss from the arms and legs during exercise-induced thermal loads, *Eur. J. of Appl. Physiol.*, 58, 865-872, 1989.
- 9) Hirata K., Nagasaka T., Hirashita M. and Takahata T., Increase in evaporative and non-evaporative heat loss from the forearm depends on venous return from the hand during exercise, *Thermal Physiology*, 155-158, 1989.
- 10) Glaser E. M. and Holmes Jones R. V., Initiation of shivering by cooled blood returning from the lower limbs, *J. of Physiol.*, 114, 277-282, 1951.
- 11) Mitchell J. W. Galvez T. L., Hengle J. Myers G. E., and Siebecker K. L., Thermal response of human legs during cooling, *J. of Appl. Physiol.*, 29(6), 859-865, 1970.
- 12) Nielsen H. V., Effect of vein pump activation upon muscle blood flow and venous pressure in the human leg, *Acta Physiol Scand.*, 114, 481-485, 1982.
- 13) Landval J. and Lanne T., Evidence for a much higher transcapillary hydrodynamic conductivity in the human forearm and lower leg than previously believed, *Acta Physiol Scand.*, 134, 453-454, 1988.
- 14) HELLMSTRØM B., Berg K. and Vogt Lorentzen F., Human peripheral rewarming during exercise in the cold, *J. of Appl. Physiol.*, 29(2), 191-199, 1970.
- 15) Asa Kilbom and Jan Persson, Leg blood flow during static exercise, *Eur. J. of Appl. Physiol.*, 48, 367-377, 1982.
- 16) 中山昭雄編, 溫熱生理學, 理工學社, 1985
- 17) 정운선, 사지말초부의 피복면적이 쾌적성과 체온조절 반응에 미치는 영향, 한국의류학회지, 18(2), 163-169, 1994.
- 18) Wyndham C. H. and Wilson-Dickson W. G., Physiological responses of hands and feet to cold in relation to body temperature, *J. of Appl. Physiol.*, 4, 199-, 1951.
- 19) Folk C. E., Textbook of Environmental Physiology, Philadelphia, 154, 1974.
- 20) 中山昭雄, 體溫とその調節, 75-123, 1970.