

## 한랭 환경에서 손발노출에 의한 청년과 노인의 체온조절반응 비교

정 운 선 · W.L. Kenney\*

안동대학교 생활과학대학 의류학과

\*미국 펜실바니아 주립대학교, Noll 생리학연구소

### Temperature Regulation of the Young and the Aged during Hands and Feet Exposure to the Cold

Woon Seon Jeong · W.L. Kenney\*

Dept. of Clothing and Textiles, College of Human Ecology, Andong National University

\*Noll Physiological Research Center, The Pennsylvania State University, U.S.A.

(1998. 8. 10 접수)

#### Abstract

A study was conducted to investigate the effect of cooling hands or feet on human thermoregulation in the cold. Eight young ( $22 \pm 1$  yr) and eight aged ( $69 \pm 4$  yr) men volunteered as subjects. They stayed at  $10^\circ\text{C}$  in the supine posture during the experiment which included hands or feet exposure to the air for 20 minutes. Hand Exposure (HE) and Foot Exposure (FE) were conducted in randomized order and the baseline was kept before HE and FE. Core temperatures, limb skin temperatures and thermal sensations were measured. Obtained data were analyzed using t-test and correlation. Rectal and esophageal temperatures increased in the young (YG) and in the aged (AG). Change rate of esophageal temperature ( $T_{es}$ ) was maintained higher during FE than HE while rectal temperature showed no differences between YG and AG, and between HE and FE. Hand and foot skin temperatures in YG and AG decreased similarly during HE and FE. Forearm skin temperature during HE decreased while leg skin temperature during FE showed no change in YG and slightly increased in AG. YG felt 'slightly warm' while AG felt 'neutral' during both HE and FE. It was concluded that the lower limb skin temperatures mainly resulted in the increase of core temperature during limb cooling. Furthermore, the increase of  $T_{es}$  was greater in young men than aged men. It is also suggested that the wearing behavior can be differently modified between young and aged men.

**Key words:** distal limb exposure, the young, the aged, core temperature, thermal sensation;  
손발노출, 청년, 노인, 체온, 온랭감

\*본 연구는 LG 연암문화재단의 해외연구지원 사업에 의하여 수행되었음.

## I. 서 론

인체의 항체온 유지에 손발과 같은 인체 방열기구의 역할이 중요하다는 것은 잘 알려진 사실이다. 이 사실을 바탕으로 하여 선행연구에서는 10°C의 환경에서 사지부를 노출하여 체간부와 사지부의 온도차를 크게한 형태의 의복과 사지부를 의복으로 보온하여 체간부와 사지부의 온도차를 작게한 형태의 의복을 착용하였을 때의 직장온을 비교한 결과, 사지부를 노출한 형태의 의복을 착용하였을 때 직장온이 더 높게 유지되며 직장온의 변화율도 크다는 결과를 얻었다 (Jeong and Tokura, 1988, 1993). 그러나, 상지부와 하지부를 동시에 노출하였으므로 손과 발의 혈관운동의 차이 (Pickering and Hess, 1933; Allen et al., 1984)는 고려되지 않은 채 연구가 수행되었으므로, 상지부와 하지부에서의 혈관운동의 차이를 고려한 경우의 심부체온의 반응에 관한 검토가 필요하다.

한편, 사람은 노화가 진행됨에 따라 체온조절기능과 온도의 지각능력이 저하하며, 혈관수축 기능 또한 저하하므로 노인이 추위에 노출되었을 때 저체온증이 유발되기 쉽다는 사실이 알려져 있다 (Ogawa et al., 1993; Kenney and Armstrong, 1996). 이와 더불어, 청장년에 비해 피부에 분포된 냉점의 수가 크게 감소하여 추위에 대한 감수성이 부족하다는 등의 연구보고 (村田·入來, 1974; 清水 등, 1992)는 고령화에 관한 사회적 관심의 증가와 함께 노인의 의복을 고안하는데 중요

한 자료로 제공될 수 있다.

이상의 사실을 바탕으로 하여, 본 연구에서는 저온환경에서 같은 온도로 유지된 손과 발을 각각 냉각하였을 때와 연령차에 의한 체온조절반응의 차이를 비교관찰하고자 한다.

## II. 재료 및 방법

## 1. 피험자 및 실험의류

미국 펜실바니아주에 거주하고 있는 서양인 중에서 8명의 청년남자와 8명의 노인남자가 본 실험의 피험자로 참여하였다. 이들은 의사의 진단에 의해 정신적·신체적 질병이 없는 것으로 판명된 후, 실험 전에 미리 실험 내용에 관하여 상세한 설명을 들었다. 본 연구에서는 청년과 노인에게서 일반적으로 보여지는 체지방률의 차이가 신체 보온력의 차이를 유발시킬 수 있는 가능성을 배제하기 위하여, 연령에 관계없이 체지방률이 비슷한 사람만을 피험자로 선택하였다. 이들의 나이와 신체적 특징은 Table 1과 같다. Table 2에는 팬티를 제외하고 피험자가 착용한 의류를 제시하였다.

## 2. 실험과정

실험은 미국 펜실바니아 주립대학교의 Noll 생리학 연구소에 있는 인공기후실에서 수행되었다. 피험자는 체중측정 후에 체온측정용 센서를 직장에 삽입한 후 팬티 위에 반소매 티셔츠와 상하의 두꺼운 운동복을 착용하고, 식도온 측정용 열전대 온도계용 센서를 피험자

Table 1. Physical characteristics of the young (YG) and the aged (AG)

Subject	Age (yr)	Height (cm)	Weight (kg)	BSA (m <sup>2</sup> )	Body Fat (%)
YG	22±1	180.7±6.7	85.8±11.5	2.06±0.16	16.01±2.83
AG	69±4	175.1±6.3	71.0±6.8	1.86±0.13	16.46±3.03

Values are mean±SD.

Table 2. Experimental clothing worn by the subjects

Clothing	Material	Weight (kg)
Training wear	cotton 50%, PET 50%	0.38
T-shirt	cotton 100%	0.18
Gloves	cotton 50%, PET 50%	0.09
Socks	acrylic 50%, nylon 50%	0.10

키의 1/4 길이만큼 코를 통하여 식도에 삽입한 후에 10°C, 50% RH, 25 cm/sec 이하로 조절된 인공기후실에 입실하여 바로누운자세를 취하였다. —직장온과 식도온은 심부체온으로서, 국내에서 현재까지 수행된 착의실험에서는 직장온을 주로 측정하였으나, 식도온이 직장온보다 반응속도가 빠르다는 특징을 고려하여 본

연구에서는 식도온의 측정을 시도하였다. — 이어서, 사지부에 피부온 측정용 센서를 고정시키고 장갑과 양말을 착용하였으며, 머리를 제외한 전신에 담요를 덮어 체열을 빼앗기지 않도록 하였다. 일반적으로 손의 온도가 발보다 높게 유지되므로, 본 실험에서는 손과 발의 온도를 비슷한 수준으로 유지하기 위하여 사지부에 전기용 가열패드를 사용하기도 하였다. 가열패드는 손 또는 발의 냉각후 원래의 온도로 회복되는 시간이 긴 경우에만 피험자에게 불필요한 부담을 주지 않기 위하여 사용하였다. 손과 발의 온도가 각각 0.3°C 범위 내에서 10분 이상 유지되면(기준선), 장갑 또는 양말을 벗고 맨손이나 맨발을 20분간 노출시킨다(손노출 또는 발노출). 손노출은 손끝에서 손목까지의 노출을, 발노출은 발끝에서 발목까지의 노출을 의미하며 손노출과 발노출의 순서는 무작위로 결정하였다. 그러므로, 본 실험은 피험자 전원이 안정기(마지막 10분 동안의 평균값을 기준선으로 설정)—손노출 또는 발노출(20분간)—손발피부온 회복기—발노출 또는 손노출(20분간)의 순서로 진행되었다. 각 피험자는 서로 다른 날 같은 시간대의 실험에 1회 참여하였으며, 실험에 소요된 시간은 약 3시간이었다.

3. 측정항목 및 자료분석

식도온, 직장온, 피부온(손, 전완, 발, 하퇴)을 1분 간격으로 측정하여 각각 기준선의 값을 0으로 하고 기준선으로부터의 변화율을 구하여 평균하였다. 전신, 손, 발의 주관적 온랭감을 피험자가 5분 간격으로 응답하게 하였는데, 온랭감의 등급은 ASHRAE의 7등급(1. 춥다, 2. 서늘하다, 3. 약간 서늘하다, 4. 출지도 덥지도 않다, 5. 약간 따뜻하다, 6. 따뜻하다, 7. 덥다)을 택하였다. 이와 같은 방법으로 얻어진 성적에 대하여 t-test와 correlation으로 유의차 검정을 하여 실험결과를 청년-손노출, 청년-발노출, 노인-손노출, 노인-발노출의 4그룹으로 나누어 분석하였다.

III. 결 과

1. 심부체온 반응

Table 3에 직장온과 식도온의 결과를 비교하였다. 손노출과 발노출시 20분 동안 측정된 청년과 노인의 직장온은 상승하였으나, 평균변화율은 4그룹 모두 0.01°C

Table 3. Rectal temperature( $T_{re}$ ) and Esophageal temperature( $T_{es}$ ) of the young(YG) and the aged(AG) during hand exposure(HE) and foot exposure(FE)

	$T_{re}(^{\circ}C)$		$T_{es}(^{\circ}C)$	
	YG	AG	YG	AG
HE	0.01±0.03	0.01±0.05	0.01±0.04	0.01±0.05
FE	0.01±0.02	0.01±0.03	0.04±0.03	0.02±0.02

Values are mean±SD.

로서 그룹간 차이가 없었다. 식도온의 평균변화율은 손노출시 청년과 노인 모두 0.01°C로서 직장온과 같은 결과를 보였다. 발노출시는 청년과 노인이 각각 0.04°C와 0.02°C를 보여 청년이 노인보다 크게 변화하였으며( $p<0.01$ ), 청년과 노인 모두 식도온은 발을 노출하였을 때가 손을 노출하였을 때보다 크게 변화하는 결과를 나타내었다( $p<0.01$ ).

Fig. 1에는 손노출과 발노출시 청년과 노인의 식도온의 변화를 2분 간격으로 나타내었다. 손과 발을 노출함에 따라 식도온은 상승하는 경향을 보이고 있으며, 특히 청년-발노출의 경우가 상승폭이 가장 큰 것으로 나타났다. 청년-손노출의 경우 다른 3그룹과는 달리 손노출 초기에는 식도온이 약 0.01°C 강하하다가 6분 경과 후부터 상승하는 경향을 보였다. 직장온과 식도온은 심부체온을 대표하는 인자로서 이들의 상관성이 높은 것으로 알려져 있어 4그룹간에 직장온과 식도온의 상관을 구한 결과, 발노출시의 청년에서만 유의하였다( $r=0.475, p<0.01$ ).

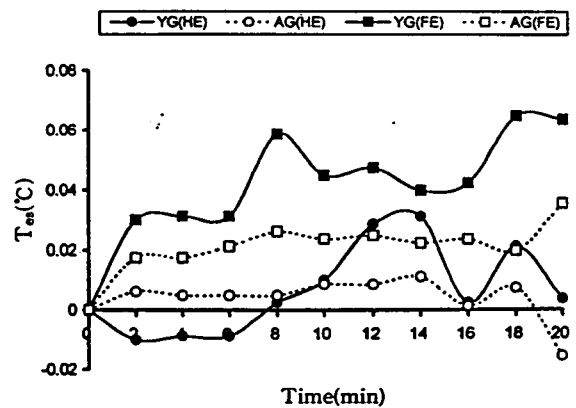


Fig. 1. Changes of esophageal temperature( $T_{es}$ ) in the young(YG) and the aged(AG) during hand exposure(HE) and foot exposure(FE).

## 2. 피부온 반응

4그룹의 손과 발의 피부온은 점차 강하하였으며, 20분 동안 변화한 손의 피부온의 평균변화율은 청년-손노출이  $-3.36^{\circ}\text{C}$ , 노인-손노출이  $-3.35^{\circ}\text{C}$ 였고, 발의 피부온의 평균변화율은 청년-발노출이  $-3.44^{\circ}\text{C}$ , 노인-발노출이  $-3.32^{\circ}\text{C}$ 로서 4그룹간에는 차이가 없었다.

Fig. 2에서 보는 바와 같이, 20분간 손노출시 전완의 피부온은 청년과 노인 모두 강하하였으며 강하도는 청년이 노인보다 더 컸다( $p < 0.01$ ). 한편, 발노출시 청년의 하퇴피부온은 거의 변화가 없는데 비해 노인의 경우는 평균  $0.06^{\circ}\text{C}$ 를 유지하여 청년과의 차이를 보였다( $p < 0.01$ ).

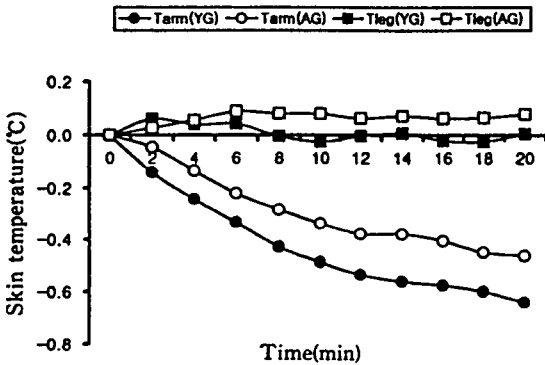


Fig. 2. Changes of arm skin temperature ( $T_{arm}$ ) during hand exposure and leg skin temperature ( $T_{leg}$ ) during foot exposure in the young (YG) and the aged (AG), respectively.

## 3. 온랭감 반응

손의 온랭감은 청년-손노출이 평균 3.2, 노인-손노출이 평균 2.7로서 '약간 서늘하다'는 반응을 보였으며, 발노출시 발의 온랭감은 청년과 노인 모두 평균 1.9로서 '서늘하다'는 반응을 보였다. 전신의 온랭감 반응은 손노출시와 발노출시 청년이 각각 평균 4.5와 평균 4.6로 '약간 따뜻하다'는 반응을 보인데 비해, 노인은 두 처리 모두 평균 3.9를 나타내 '춥지도 덥지도 않다'는 반응을 보여 청년과 노인의 손노출시( $p < 0.05$ )와 발노출시( $p < 0.01$ )의 온랭감 반응이 달랐다. 한편, 전신의 온랭감은 노인의 경우만 손노출시에 손에서 느끼는 온

랭감에 의해 작점 영향을 받는 것으로 나타났다( $r = 0.629$ ,  $p < 0.01$ ). 온랭감과 피부온의 관계를 보면 청년만이 손노출시 손의 온도와 온랭감에 유의한 상관관계를 보여, 손의 온도가 내려갈수록 차갑다는 반응을 나타내었다( $r = 0.472$ ,  $p < 0.01$ ).

## IV. 고찰

피험자는 손과 발만 각각 20분간  $10^{\circ}\text{C}$ 에 노출되었을 뿐 머리를 제외한 체간부는 의복 및 담요로 보온된 상태였으므로 피험자는 추위를 느끼지 않을 정도였고(전신의 온랭감: 3.9~4.8, 사지부 피부온:  $28.0^{\circ}\text{C}$ ~ $33.8^{\circ}\text{C}$ ), 식도온의 변화율이 최대  $0.06^{\circ}\text{C}$  내외라는 점에서(Fig. 1) 피험자가 경험한 것은 약한 한랭 자극이었다는 것을 알 수 있으며 피험자들이 응답한 온랭감 반응이 이러한 사실을 뒷받침해 주고 있다. 이러한 환경조건에서도 식도온이 상승한 것은 손노출과 발노출로 인한 대사량의 증가에 기인하였다기보다는, 말초혈관의 수축으로 인하여 혈액이 재분배되었기 때문인 것으로 생각된다. 한편, Fig. 1에서와 같이 청년과 노인 모두 손노출시보다 발노출시에 식도온의 변화율이 큰 것은, 냉수침지에 의한 방법으로 발을 냉각한 경우가 손을 냉각한 경우보다 직장온의 변화율이 컸다는 선행연구의 결과와 일치하였다(정, 1997). 이는 손보다 발에서 더 서늘하게 느꼈다는 본 연구의 결과로 보아도 발에 분포된 냉점의 반응강도가 손에서보다 더크게 심부체온의 반응에 영향을 미쳤을 것으로 생각된다. 손노출시와 발노출시 청년과 노인의 식도온의 반응이 유사한 형태를 보인 것으로 보아 사지말초부의 한랭자극에 대하여 심부체온의 변화형태는 연령의 차이와 무관하다는 것을 알 수 있다.

20분이라는 짧은 시간 동안 직장온과 식도온을 상세히 관찰해보면, 손발노출로 인한 식도온의 반응이 빨라서 상승하기 시작하는데도 직장온은 식도온보다 늦게 반응하여 아직 변화를 보이지 않거나 상승폭이 직장온과 다른 경우가 다수 관찰되었다. 그럼에도 불구하고 청년-발노출시에 직장온과 식도온 사이에 상관이 인정되었는데, 이는 한랭자극에 대한 감각수용기의 기능이 청년이 노인보다 우수하며(Ogawa et al., 1993), 발과 손에서의 혈관반응의 차이(Allen et al., 1984)로 인하여 손보다 발에서 혈관수축이 강하게 일어남에 따라 청

년-발노출의 경우 이 두가지 상승효과에서 나타난 결과라고 생각된다. 한편, 청년-손노출에서만 보여진 식도온의 초기강하는 혈관수축에 의한 것으로서 청년이 노인보다 상지에서의 혈관수축이 강하다는 결과(Fig. 2,  $p < 0.01$ )에 기인하는 것으로 생각할 수 있겠다. 이상의 사실을 종합해 볼 때, 본 연구의 환경조건에서는 식도온이 직장온보다 반응속도가 빠르며, 본 연구에서와 같이 작은 자극에도 그룹간 차이를 나타내는 등의 현저한 반응을 보이는 것으로 보아, 가벼운 한랭자극 환경에서 심부체온의 변화를 상세히 관찰하기에는 식도온이 직장온보다 더 적합한 것으로 평가된다.

피부온의 변화가 심부체온의 변화에 영향을 미쳤는지를 알아보고자 식도온과 피부온과의 상관관계를 Table 4에 나타내었다. 손노출시 청년과 노인 모두 손의 피부온과 식도온 간에만 부의 상관을 나타내어( $p < 0.01$ ), 손의 온도변화가 식도온의 변화에 영향을 주었다는 것을 알 수 있다. 발노출시 청년의 경우는 하퇴의 피부온과 식도온 간에, 노인의 경우는 발의 피부온과 식도온 간에 각각 부의 상관을 나타내어( $p < 0.01$ ) 노인은 발의 온도가 내려갈수록, 청년은 다리의 온도가 내려갈수록 식도온의 상승을 가져온다는 것을 알 수 있다. 이러한 결과는 한랭환경에서 체온을 높게 유지해야 하는 경우에 청년은 다리의 온도를, 노인은 발의 온도를 낮게 유지하는 것이 효과적임을 시사한다.

**Table 4.** Correlation between changes of esophageal temperature ( $T_{es}$ ) and limb skin temperatures in the young (YG) and the aged (AG) during 20 minutes of distal limb exposure

		YG(°C)	AG(°C)
Hand Exposure	$\Delta T_{hand} \text{ \& \ } \Delta T_{es}$	-0.402**	-0.467**
	$\Delta T_{arm} \text{ \& \ } \Delta T_{es}$	-0.067	0.116
Foot Exposure	$\Delta T_{foot} \text{ \& \ } \Delta T_{es}$	0.002	-0.227**
	$\Delta T_{leg} \text{ \& \ } \Delta T_{es}$	-0.430**	-0.099

\*\* $p < 0.01$

Fig. 2에 제시된 바와 같이, 청년과 노인 모두에게서 전완과 하퇴의 피부온 반응이 다르게 나타난 사실은 예측하지 못했던 결과이다. 팔의 피부온이 손으로부터 환류되는 정맥의 영향을 받는다는 사실은 알려져 있으나 (Hirata, 1988; Hirata et al., 1989; Takahata et

al., 1993), 발과 다리의 관계를 손과 팔에서 측정된 것과 같은 방법으로 관찰한 연구는 거의 없으므로 본 연구에서 얻은 결과를 해석하기는 쉽지 않겠으나, Fig. 2에 나타난 현상은 다음과 같이 정리된다. 사지부에서의 혈관수축은 다리보다 팔에서, 노인보다 청년에서 강하게 일어났으며, 팔과 다리의 피부온 반응이 다르게 나타난 것은 팔과 다리의 형태적·구조적 차이로 인하여 말초로부터 환류되는 혈관반응이 다르게 나타났기 때문이라고 해석할 수 있겠다.

본 연구의 결과에 의하면 추운환경에서 체지방률이 같은 청년과 노인이 손과 발을 각각 노출하였을 때 전신의 온도감각에 미치는 영향이 같다는 것을 알 수 있다. 청년이 노인보다 따뜻한 쪽의 반응을 보인 것은, 일반적으로 청년과 노인에게서 보이는 체지방률의 차이에 의한 것이 아니고 청년과 노인의 감각수용기 기능의 차이에 의한 것이라고 생각된다. 따라서, 노인이 청년보다 손발노출이라는 사지말초부의 한랭자극에 더 민감하게 반응한다는 것을 알 수 있으나, 이에 관해서는 다른 연구에서도 활발히 논의되기를 기대한다. 한편, 사람의 경우 행동성 체온조절은 주관적 온도감각과 관련이 있으므로 (Hensel, 1981), 청년남자와 노인남자의 체지방률이 같은 경우에는 사지말초부에 추위를 느낄 때 노인이 청년보다 체간부에 옷을 많이 입을 것으로 예측된다. 그러므로, 노인의복을 고안할 때 노인은 손에서 느끼는 온랭감이 전신의 온랭감에 영향을 미친다는 사실을 고려하여야 할 것이다.

## V. 요약 및 결론

본 연구는 저온환경에서 손과 발을 각각 노출하였을 때 심부체온의 변화와 주관적 온랭감에서 청년과 노인의 차이가 있는지를 관찰하기 위하여 20대의 청년과 60대의 노인 각 8명을 대상으로 10°C, 50%RH, 25 cm/sec 이하의 환경에서 직장온, 식도온, 피부온과 온랭감을 측정하고 다음과 같은결과를 얻었다.

1. 청년과 노인의 직장온과 식도온은 손노출시와 발노출시 모두 상승하였으나, 식도온의 변화율만 청년과 노인 모두 발노출시가 손노출시보다 컸다( $p < 0.01$ ).
2. 식도온의 변화율은 발노출시에만 청년이 노인보다 컸다( $p < 0.01$ ).
3. 손노출시와 발노출시 청년과 노인의 손발의 피부온

은 내려갔으나 변화율의 차이는 없었다. 손노출시 전완의 피부온 역시 내려갔으며, 청년의 피부온 변화율이 노인보다 컸다( $p < 0.01$ ). 그러나, 발노출시 청년의 하퇴피부온은 변화가 거의 없었으나 노인은 약간 상승하였다( $p < 0.01$ ).

4. 손노출시와 발노출시 청년은 전신이 '약간 따뜻하다', 노인은 '춥지도 덥지도 않다'고 응답하여, 노인이 손발의 한랭자극에 대해 청년보다 민감하다는 것을 알 수 있다( $p < 0.05$ ).

이상의 결과로 요약되는 본 연구에서는, 10°C 환경에서 체지방률이 비슷한 청년남자와 노인남자의 하지부의 온도가 심부체온 변화에 중요한 역할을 하며, 손보다는 발의 온도를 낮게 하는 것이 체온의 상승효과가 크다는 것을 확인할 수 있었다. 또한, 청년이 노인보다 체온의 상승율이 크다는 사실도 알 수 있었는데, 이러한 결과는 사지부의 보온여부에 따라 청년과 노인의 착의행동이 다를 수 있다는 것을 시사한다.

#### 참 고 문 헌

- 정운선(1997) 손발의 냉각처리가 직장은 반응과 전신의 온랭감에 미치는 영향. 한국생활환경학회지, 4(4) pp. 69-74.
- 村田成子·入來正躬(1974) 老人の體温 - 皮膚感覺點分布頻度に及ぼす加齡の影響. 日本老年醫學會雜誌, 11(3) pp. 157-163.
- 清水裕子·清水義雄·弓削 治(1992) 高齢者の氣温變化に對する温熱反應に及ぼす衣服の役割. 日本家政學會誌, 43(7) pp. 677-685.
- Allen J.A., Finlay R.J. and Roddie I.C.(1984) The effect of local temperature on the response of an extremity to indirect heating in man. *Clin. Sci.*, 66 pp. 27-32.
- Hensel H.(1981) Principles of temperature regulation. In: Thermoreception and temperature regulation. Academic Press, pp 5-17.
- Hirata K.(1988) Skin circulation and clothing comfort. In: H. Tokura(ed) Proceedings of International Symposium on Clothing Comfort Studies in Mt. Fuji. The Japan Association for Textile End-Uses, Osaka, pp 61-79.
- Hirata K., Nagasaka T. and Noda Y.(1989) Venous return from distal regions affects heat loss from the arms and legs during exercise-induced thermal loads. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 58 pp. 865-872.
- Jeong W.S. and Tokura H.(1988) Effects of wearing two different forms of garment on thermoregulation in men resting at 10°C. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 57 pp. 627-631.
- Jeong W.S. and Tokura H. (1993) Different thermal conditions of the extremities affect thermoregulation in clothed man. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 67 pp. 481-485.
- Kenney W.L. and Armstrong C.G. (1996) Reflex peripheral vasoconstriction is diminished in older men. *J. Appl. Physiol.*, 80(2) pp. 512-515.
- Ogawa T., Ohnishi N., Imai K., and Sugenoja J. (1993) Thermoregulatory responses of old men to gradual changes in ambient temperature. *J. therm. Biol.*, 18(5/6) pp. 345-348.
- Pickering G.W. and Hess W.(1933) Vasodilatation in the hands and feet in response to warming the body. *Cli. Sci.*, 1 pp. 213-223.
- Takahata T., Shido O. and Tanabe M. (1993) Influence of venous returning from the hand on forearm skin blood flow and sweating rate during exercise in humans. *J. therm. Biol.*, 18(4) pp. 237-243.