

신체 부위별 냉각허용한계온도에 관한 연구

황경숙[†] · 최정화* · 김경란

농촌진흥청 농업과학기술원 농촌자원개발연구소

*서울대학교 생활과학대학 의류학과

Permissible Safety Limits in Local Cooling Focused on the Parts of Human Body

Kyoung Sook Hwang[†] · Jeong Wha Choi* · Kyung Ran Kim

Rural Resources Development Institute, NIAST, RDA

*Dept of Clothing & Textile, College of Human Ecology, Seoul National University

(2006. 5. 23. 접수)

Abstract

The objects of this study were to investigate responses and peculiarity during local cooling by parts of the human body and to show permissible safety limits without injurious to his health because of excessive cooling when he works hot environments. It were measured rectal temperature, skin temperature, heart rate, total body weight loss, local sweat in back and thigh, clothing microclimate and subjective sensation on 8 subjects and cooling parts were head, neck, chest, abdomen, back, waist, hip, upper arm, forearm, hand, thigh, calf and foot. According to above-mentioned the first experiment, we chose permissible safety limits by parts of the human body for one hour. In the second experiment, it was showed permissible safety limits by parts which examined their safety about health through 4 hours cooling test on 3 subjects.

The results are as follows:

1. As a result of the first experiment, we chose permissible safety limits by parts, as follows, head 25°C, neck 20°C, chest 27°C, abdomen 25°C, back 20°C, waist 20°C, upper arm 20°C, forearm 20°C, hand 23°C, thigh 20°C, calf 20°C and foot 23°C in 37°C, 50%R.H. environment for 1 hour.

2. As a result of the second experiment, cooling on these safety limits temperatures except chest didn't have a bad effect on health. So it was proved that right permissible safety limits of chest was 28°C.

From these results, it has been suggested that skin temperature didn't fall below permissible safety limits when human body was to be cool by parts.

Key words: Permissible safety limits temperature, Skin temperature, Hot environments, Local cooling; 허용한계온도, 피부온, 고온환경, 냉각

I. 서 론

고열환경에서는 혈액이 산소의 수송보다는 외부로 열을 발산하기 위해 심장으로 수송되는 혈액순환을

[†]Corresponding author

E-mail: hks0475@rda.go.kr

증가시켜 정신적, 운동적 기능이 저하하고 근육 혈액량의 감소로 젖산이 증가하여 작업능력, 작업수행지속시간이 감소된다(Nakai et al., 1999; OSHA, 2005).

따라서 고열 작업자들을 위한 서열 스트레스를 줄일 수 있는 아이스 겔이나 밧테리를 이용한 냉각조끼, 목냉각수건 등이 시판 중에 있으며, 일부 회사에서는

제복으로 이러한 냉각제품들을 보급하고 있다. 그러나 냉각효율만이 고려된 방열보호구의 착용은 냉각효과는 좋으나 심박수가 증가하여 심장 등 장기에 무리를 주거나 보호구 자체의 무게가 신체부담을 가중시키고 오히려 냉각효과를 상쇄시키기도 한다(최정화, 황경숙, 2001; Chen et al., 1997; Nishihara et al., 2002).

그러나 냉각제품 제조업체나 관리자, 사용자 모두 과도한 냉각의 위험성을 전혀 인식하지 못하고 있으며, 방송매체나 학계에서도 고열환경에서 냉각보조 장치를 사용할 때의 주의점 등에 관심을 갖지 않고 있다. 최근 찜질방이나 목욕탕에서 고령자들이 더위에 노출되어 있다가 더위를 쫓기 위해 갑자기 냉탕에 들어가서 급사한 경우가 종종 보도되고 있다. 따라서 만일 병약자나 고령자가 더위를 이기기 위해 냉각제품을 사용한다면 유사한 사고가 발생할 수 있으리라 사료된다. 따라서 냉각제품을 안전하게 제작하고 사용하기 위한 적절한 지침이 필요하며, 최우선으로 인체에 직접 닿는 냉각제품인 경우 건강을 위협하지 않는 냉각수준을 세우는 것이 필요하다.

고온이나 저온에 의한 인체의 스트레스를 평가하기 위해서 선행연구에서는 심박수와 심부온을 척도로 하고, 그 외 피부온과 혈류량, 주관적 한서감각 등을 함께 측정하였다(Hancock & Vasmatazidis, 2003; Nag et al., 1997; Shvartz et al., 1977).

작업강도에 상관없이 고온 환경에서 비적응자인 경우 평균 안전선을 심부온은 38°C, 가장 힘든 작업 1분 후의 심박수가 110bpm 이하를 유지하도록 권고하고 있다(ACGIH, 2002; Malchaire et al., 2000). 반대로 저온환경의 노출은 심부온이 36°C에 이르면 반드시 더 이상 추위에 노출되지 않도록 보호해야 한다고 하였다(ACGIH, 2002). 최근에는 이러한 고전적인 심부온 및 심박수 외에 PHS와 CSI 등을 개발하여 그 사용의 타당성을 입증하려는 연구가 활발히 진행되고 있다. PHS란 Predicted Heat Strain의 약자로서 최

대발한량과 대사율로 구성된 산출식이고(Malchaire et al., 2000), CSI란 Cold Strain Index의 약자로 심부온과 피부온을 대입시키는 방정식으로 0~10까지의 등급으로 구성되어 있다(Castellani et al., 1998; Moran et al., 1999).

본 연구에서는 냉각허용한계온도를 결정하기 위한 평가지표로 직장온과 심박수를 선택하였다. 허용한계란 영어로는 acceptable limits, permissible limits 또는 safety limits라 표현할 수 있으며, 이 범위를 벗어나면 치명적이거나 그 이상의 위험에 처하게 된다는 허용값인 threshold limits과는 다른 의미이다. 즉 피부를 냉각시킬 때에는 심부온의 증감률이 1°C 이하를 유지하도록 허용한계를 지켜서 각 부위를 냉각시키는 것이 바람직하다는 것이다(Tell & Harlen, 1979).

본 연구의 목적은 서열 환경에서 작업능률을 향상시키고 더위로 인한 신체부담을 경감시키기 위하여 인체를 냉각시키고자 할 때, 신체 부위별로 냉각시의 반응양상 및 특징을 구명하여 각 부위별로 지나친 냉각으로 인한 건강상의 위험을 주지 않는 피부온의 냉각허용한계온도를 제시하고자 한다.

II. 연구방법

1. 1시간 냉각에 의한 각 부위 냉각허용한계 피부온도(1차 실험)

1) 환경조건 및 실험 protocol

각 피험자는 쾌적한 환경에서 30분 이상의 안정을 취한 후에 각 측정센서를 부착한 후 37±1°C, 50±5%R.H.의 인공 기후실로 입실하여 의자에 앉은 상태로 측정을 시작하였다. 실험기간은 2001년 12월부터 2002년 11월까지였으며, 실험 순서는 <Fig. 1>에 제시하였다.

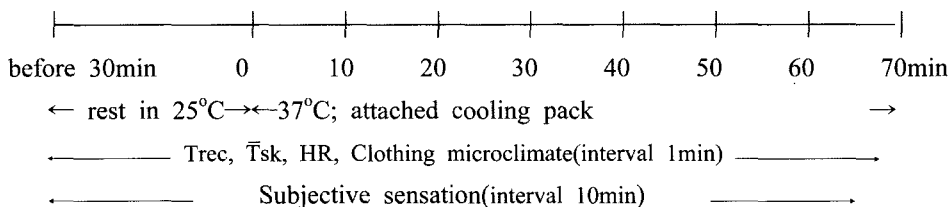


Fig 1. Experiment procedure.

2) 측정항목

60분 동안 휴대용 피부온도 측정기(LT 8A, Gram Corp., Japan)로 7부위 피부온도(이마, 배, 위팔, 아래팔, 넓적다리, 종아리, 발등)와 직장온도를 측정하고, 휴대용 자동 온·습도 기억장치(Thermo Recorder RS-10, Tabai Espec Corp., Japan)로 가슴부위 의복내 온도 및 습도를, 심박수 측정기(Polar Sports Tester, Polar Electro INC, Finland)로 심박수를 측정하였다. 평균피부온도는 Hardy와 DuBois에 의한 인체의 안분비율로 계산하였다. 총발한량은 실험 전후의 체중의 변화량에 의해 계산하였고, 등과 넓적다리 부위의 국소 발한량은 여과지법을 이용하였다. 주관적 감각은 Winakor(1982)의 11단계 척도를 이용하여 10분 간격으로 측정하였다(Fig. 2).

3) 피험자 및 의복조건

신체 건강한 20대 남자 8명을 대상으로 하였으며, 평균연령은 26.6±1.7세, 키는 174.1±3.1cm, 몸무게는 70.6±2.5kg, 체표면적($weight^{0.425} \times height^{0.725} \times 72.46$)은 1.86±0.1m²이었다. 실험 동안 상의는 얇은 면 소재의 긴팔, 하의는 팬티, 면 소재의 긴바지, 면양말을 착용하였다.

4) 냉각방법

냉각 부위나 냉각면적을 설정할 때는 두 가지 방법

이 있다. 하나는 각 부위별로 동일면적을 냉각시키는 방법과 면적은 달라도 각각의 부위를 전체로 덮어서 냉각하는 방법이다. 본 연구에서는 의복착용시 구분되는 머리, 목, 가슴, 배, 등, 허리, 엉덩이, 위팔, 아래팔, 손, 허벅지, 종아리, 발등 등 13부위로 나누어 각각 냉각시켰다. 냉각팩은 피험자별로 각 부위에 따라 면적을 달리하여 완전히 감쌌으며, 특히 머리부위는 얼굴을 제외하고 이마 중간에서부터 양 옆의 귀등, 뒷목 바로 위까지 냉각팩으로 감쌌다. 각 부위별로 냉각면적의 평균을 <Table 1>에 제시하였다.

냉각기(물의 온도를 0~40°C 사이로 조절하는 기계로서, 전기를 열원으로 하여 정해진 온도로 유지된 물을 냉각팩에 공급하도록 본 연구를 위해 고안된 장비)를 이용하여 일정 온도(2~3°C) 간격으로 냉각팩의 온도를 하강시켜 피험자에게 각 부위별로 부착시켰으며, 이 때 냉각팩은 각 피험자의 신체 부위에 맞도록 제작되었다. 신체를 부위별로 냉각하기 위하여 희망온도로 냉각된 물을 비닐관(지름 0.5cm)을 통해 팩으로 이동시켜 일정한 온도로 유지시키는 냉각기를 사용하였다. 이 때 냉각팩은 각 피험자의 신체 부위에 맞도록 비닐과 전기접착기, glue gun, 본드, 비닐관 등으로 제작되었으며, 고깔형으로 제작된 머리 부위의 팩을 제외하고 나머지 팩은 측정부위를 덮거나 감을 수 있도록 사각형 모양으로 만들었다. 팩을 각 부위에 고정시키기 위해 가죽벨트와 테이프를 사용하였

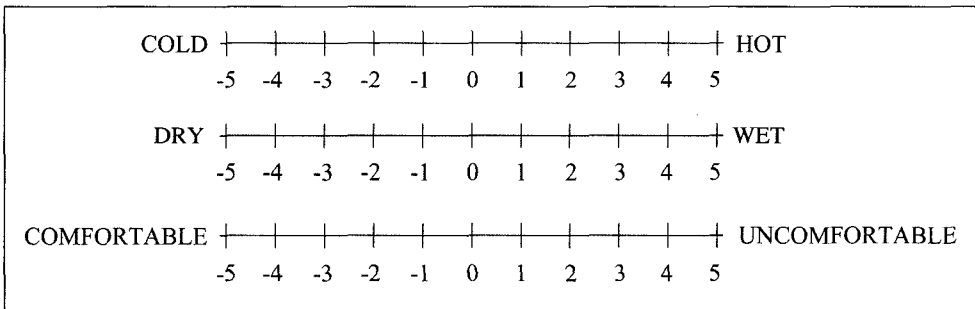


Fig. 2. Subjective sensation(Winakor, 1982).

Table 1. Surface area of cooling pack(8 persons)

	head	neck	chest	abdomen	back	waist	hip	upper arm	fore arm	hand	thigh	calf	foot	Whole Body
m ²	0.1245	0.0538	0.1426	0.0925	0.1281	0.0862	0.1402	0.1816	0.1412	0.1370	0.2124	0.1908	0.1550	1.86*
%	6.7	2.9	7.7	5.0	6.9	4.6	7.5	9.8	7.6	7.4	11.4	10.3	8.3	100.0

*face area exclusion

으며 압박을 주지 않는 범위에서 가능한 신체에 밀착시켰다. 부위별로 냉자극을 가할 때 선행연구에 의해 사지부의 냉각 온도간격은 3°C로 하고(Hagander et al., 2000; Hilz et al., 1999; Pertovaara & Kojo, 1985), 몸통부위는 냉점의 밀도도 높고(이영숙, 1988; Choi & Seol, 2001), 민감도도 높으므로(Nishihara & Hasebe, 2003) 2°C 간격으로 하였다.

2. 냉각허용한계온도의 검증(2차 실험)

2차 실험에서는 3명을 대상으로 1차 실험에서 부위별로 선정된 냉각허용한계온도로 4시간 동안 냉각하였을 때 인체에 건강상의 위험을 주지 않는지를 검토하였다.

1) 환경조건 및 실험기간

2차 실험은 더위 노출을 4시간(240분)으로 하여 중간에 냉각 후 80분, 155분에 냉각팩을 떼고 각각 10분간 30°C의 실온에서 쾌적한 상태로 휴식을 취하게 하였다. 주관적 한서감각을 15분 간격으로 기입하도록 하였고 그 외 다른 측정항목은 1차 실험과 동일하게 하였다. 실험기간은 2003년 1월부터 2003년 5월까지였으며, 측정환경 및 측정항목, 측정방법은 1차 실험과 동일하였다.

2) 피험자

1차 실험에서 부위별로 냉각허용한계온도로 선정된 온도로 각 부위를 4시간 휴식시간을 제외하고 연속냉각 하였을 때 지속적으로 피험자의 직장온과 심박수가 안전범위를 벗어나지 않는지를 검증하기 위해 1차 실험에 참여하였던 피험자 중 2명을 선출하였으며, 1차 실험에 참여하지 않았던 1명을 더 선정하여 냉각허용한계온도를 실제로 일반화할 수 있는지를 검증하였다. <Table 2>에 이들 3명의 신체적 특성을 제시하였다.

Table 2. Physical characteristics of the subjects in the second experiment

Subject	Age(yr)	Height(cm)	Weight(kg)	BSA(m ²)
A	26	179	73	1.92
B	25	174	72	1.88
C	23	177	71	1.89

3. 통계분석

실험에 의해 얻어진 측정치를 SAS(Statistical Analysis System) 통계 패키지를 이용하여 각 부위별로 온도간에 GLM(Generalized Linear Model) 분석을 한 후 유의한 항목에 대해 5% 유의수준에서 Duncan의 다중검정을 행하였다.

III. 연구결과 및 고찰

1. 1시간 냉각에 의한 각 부위 냉각허용한계 피부 온도(1차 실험)

다음의 결과는 각 부위별로 냉각허용한계로 판단된 각각의 피부온을 찾아내고 이를 확인하기 위하여 예비실험 결과 찾아낸 각각의 온도를 중심으로 상하 2~3°C씩 생리반응을 확인하였다. 그 결과를 심부온과 심박수 위주로 비교하였으며, 그래프는 머리 부위의 냉각결과를 대표로 나타내었다. 그 외의 부위도 같은 방법으로 허용한계피부온도를 찾아내었다.

1) 머리 냉각

직장온은 머리의 피부온을 25°C로 냉각하였을 때 37.25~37.30°C의 범위로 안정되었으며, 23°C인 경우 실험후반부에 지속적인 감소가 나타나 23°C의 냉각온도가 과냉으로 인해 인체에 무리가 될 수 있음을 시사하였다(Fig. 3). 심박수는 23°C와 25°C로 냉각하였을 때는 큰 차이가 없었으나 27°C로 냉각하였을 때 점차적으로 높아져서 더위로 인해 심장 박동수가 증가함을 알 수 있었다(Fig. 4). 머리부위를 23°C로 60분간 냉각시켰을 때, 8명의 피험자 중 반 이상(5명)이 두통을 호소하였고, 불쾌감도 높았으며, 직장온은 완만하나 지속적으로 저하하였다.

2) 목 냉각

목의 냉각은 냉각면적이 적음에도 불구하고, 다른 부위와 비교해 볼 때 직장온, 심박수로 판단한 냉각효과가 우수하였다. 17°C로 냉각하였을 때 직장온이 실험시간 60분 동안 37.2°C 이상의 높은 값을 유지하였으며, 20°C 냉각온도에서는 37.05~37.10°C의 안정범위였다($p < .001$). 반면, 23°C로 피부를 냉각시켰을 때는 직장온, 심박수 모두 점차적으로 상승하였다. 17°C와 20°C의 심박수는 유의차를 보이지 않았고 모

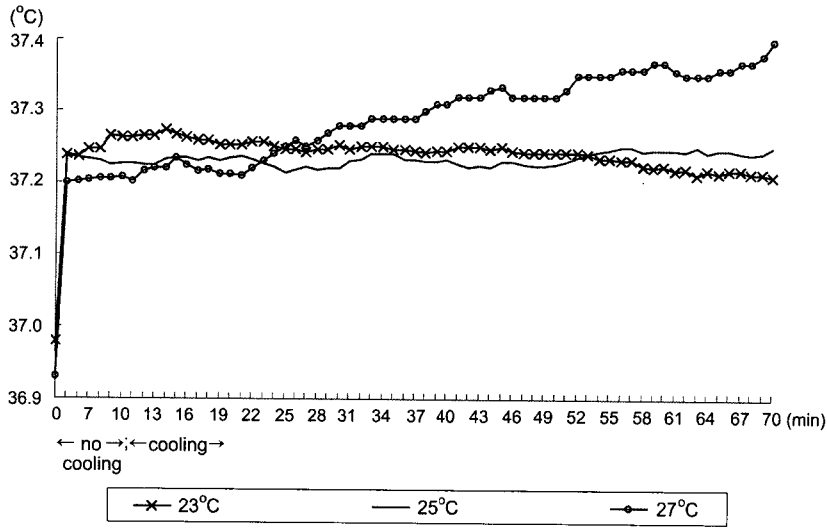


Fig. 3. Rectal temperature during head cooling.

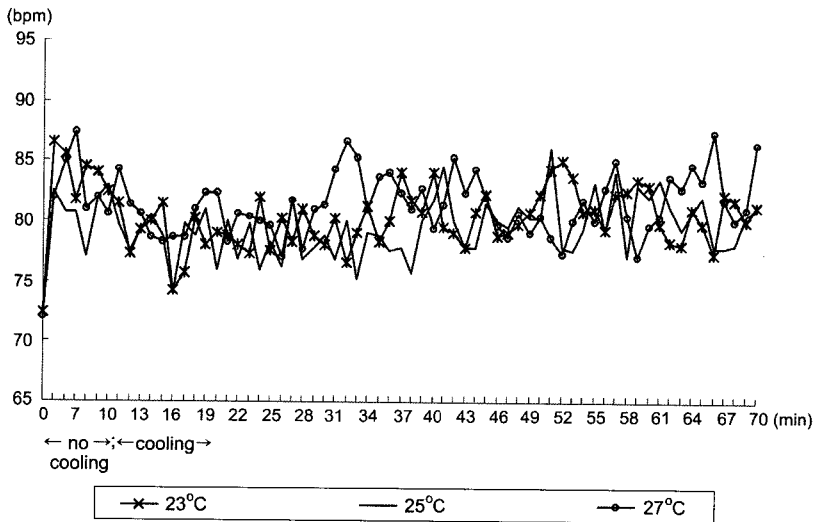


Fig. 4. Heart rate during head cooling.

두 75~85bpm 범위의 안정값이었다. 따라서 목을 냉각할 때에는 20°C 이상으로 하는 것이 건강상 안전하다고 판단된다.

3) 가슴 냉각

직장온으로 본 가슴 냉각의 효과는 피부온이 27°C일 때 36.6~37.1°C의 쾌적 범위를 유지한 것에 반해, 25°C인 경우에는 실험후반부에 직장온의 저하가, 30°C에서는 지속적인 상승이 유지되었다. 심박수($p<.05$)도 27°C 피부온일 때 다른 두 온도와 비교해 유의하게 낮은

값을 보여 가슴 냉각시 25°C나 30°C보다는 27°C가 효과적인 온도임을 알 수 있었다. 온열감($p<.05$), 숨운감($p<.05$), 쾌적감($p<.05$) 모두 27°C 피부온일 때 다른 두 온도와 비교해 유의하게 낮은 값을 보여 가슴 냉각시 25°C나 30°C보다는 27°C가 효과적인 온도임을 알 수 있었다. 세 온도간에 발한량은 큰 차이를 보이지 않았다. 그러나 가슴의 냉각은 심장에 직접적으로 영향을 미치지므로 4시간 냉각실험을 통해 27°C의 냉각허용한계온도를 검증한 후 확정해야 할 것이다.

냉각조끼를 착용하였을 때 가슴 부위의 피부온이 30.67°C로, 지속적인 착용을 우려한 바 있으며(최정화, 황경숙, 2002), 가슴부위의 피부온이 31.1°C일 때 보다 32.6°C인 것이 국소 온열감과 쾌적감에 있어서 더 좋았으므로 가슴의 지나친 냉각을 피하는 것이 냉각복 착용에 의한 쾌적성의 향상에 있어서 중요하다 는 결과도 있었다(Nishihara et al., 2002). 그러나 본 결과의 가슴 부위 국소 온열감이 “neutral”과 “cool”의 사이에 있었던 것에 반해, Nishihara의 연구에서는 “cool” 또는 “cold”로 답하였고, 환경온과 습도도 30.2°C, 37%R.H.이었으므로, 적절한 냉각온도를 논의하기 위해 본 연구의 27°C와 Nishihara의 32.6°C인 가슴의 피부온을 비교할 수는 없었다.

4) 배 냉각

배를 냉각한 경우 23°C, 25°C, 27°C 모든 냉각온도에서 직장온과 심박수가 실험 후반부에 점차적으로 상승하였다. 그러나 25°C일 때 직장온과 심박수의 상승폭이 가장 작아서 실험 후반부의 심박수는 80bpm 정도의 비교적 안정적인 값을 보였으며, 통계적으로도 25°C의 피부온이 두 항목 모두에서 유의하게 낮았다(직장온 $p<.001$, 심박수 $p<.001$).

배 부위는 얼굴과 손바닥을 제외하고 냉각극에 의한 감수성이 가장 우수하다고 평가되어 왔다(Lee & Tamura, 1995). 본 연구결과에서는 배를 냉각시키면 직장온과 심박수가 유의하게 상승하여 냉각에 의한 생리반응의 변화가 일어났음을 알 수 있었다. 또한 냉감에 의한 불쾌감을 호소하는 피험자도 있었다. 따라서 높은 냉점의 밀도로 인한 냉감의 민감성은 안정적인 즉 직장온과 심박수의 상승이 적으면서 주관적으로 쾌적하게 느끼는 냉각허용한계온도 선정을 어렵게 하였다.

5) 등 냉각

18°C, 20°C, 22°C의 냉각온도 간에 직장온에서의 유의차는 없었으며 실험 후반부에 모두 상승하는 경향이었다. 또한 심박수를 나타낸 그래프에 의하면, 18°C와 20°C간에는 차이가 없었으나 22°C인 경우에는 유의하게 높은 값을 나타냈다($p<.001$). 그러나 18°C로 냉각하였을 때 8명의 피험자 중 3명의 직장온이 실험 종료시에 저하하여 이 온도를 냉각허용한계온도로 지정하기에는 무리가 있었다. 따라서 20°C를 등 냉각시 허용한계온도로 선정하였다. 또한 주관적

서감각 중 온열감($p<.001$)과 쾌적감($p<.05$)에서 20°C인 경우에 유의하게 낮은 값을, 18°C로 냉각하였을 때 가장 높은 값을 보고하여 18°C의 냉각온이 피험자에게 주관적인 불쾌감을 초래하는 것을 알 수 있었다.

6) 허리 냉각

18°C, 20°C, 22°C 중 18°C의 냉각온도일 때 심박수는 20°C의 경우와 비슷하였지만 직장온이 실험 후반부로 갈수록 점차 저하하였고, 22°C일 때는 직장온이 37.3°C 이상으로 높고 심박수도 지속적으로 증가하였다. 따라서 20°C를 허리 냉각시 허용한계온도로 선정하였다. 온열감, 습윤감, 쾌적감에서도 모두 유의하게 허리의 피부온이 20°C일 때 가장 쾌적하다고 답하였다. 따라서 허리 냉각의 경우 20°C를 한계냉각허용온도로 선정하였다.

7) 엉덩이 냉각

엉덩이의 피부온이 17°C와 20°C일 때 직장온은 저체온증이 유발될 수 있는 36°C 이하로 하강하였고(Fig. 5), 실험 후반부에 심박수의 가파른 상승률을 보였다(Fig. 6). 23°C인 경우 직장온의 쾌적범위인 36.5°C 수준에서 실험을 마쳤으며, 심박수도 75bpm 정도로 안정적이었다. 그러나 23°C 피부온도 역시 실험 후반부에 지속적인 직장온의 하강이 보이면서 발한량이 급속히 증가하고 더위로 인한 주관적 불쾌감이 상승하였다.

신체부위의 국부온열감에 따른 전신온열감의 관계를 본 김수영 외(1993)에 의하면, 엉덩이를 바닥온의 상승에 의해 가온시키면 다른 부위(머리, 등, 팔, 손, 허벅지, 종아리, 발)보다 바닥온과의 상관성이 매우 높다는 결과를 나타내었다. 따라서 본 연구에서 심부의 측정을 직장온으로 하지 않고 엉덩이 부위 피부온과의 관련성이 적은 고막온이나 식도온을 측정하였다면 엉덩이 부위의 냉각허용한계온도를 예측할 수 있었을 것이다.

8) 위팔 냉각

17°C로 냉각한 경우 실험 후반부에 직장온이 점차 하강하였지만, 심박수는 70~75bpm의 범위로 매우 안정적인 값을 보였다. 반면, 20°C로 냉각하였을 때, 심박수는 17°C일 때보다 높았지만 직장온의 완만한 상승기울기와 후반부에 더 이상의 상승을 하지 않는 안정을 이루어 이 온도를 위팔의 냉각허용한계온도로 선정하였다. 허벅지 냉각시와 유사하게 실험 초반

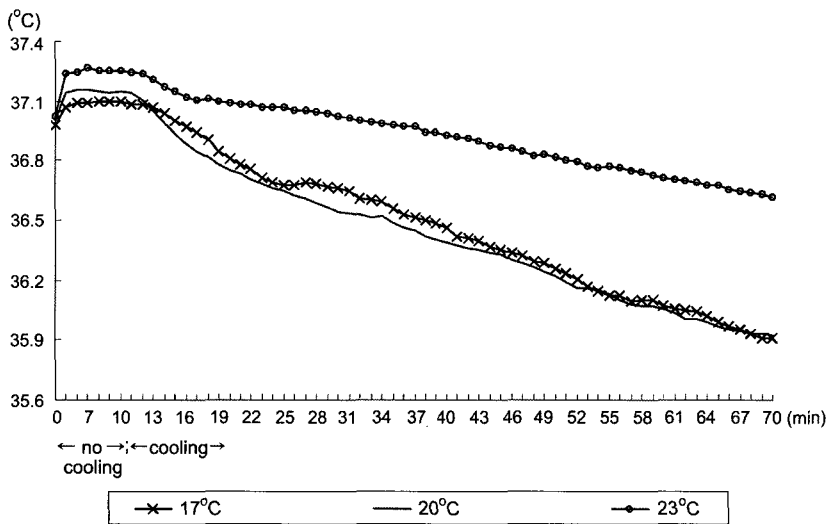


Fig. 5. Rectal temperature during hip cooling.

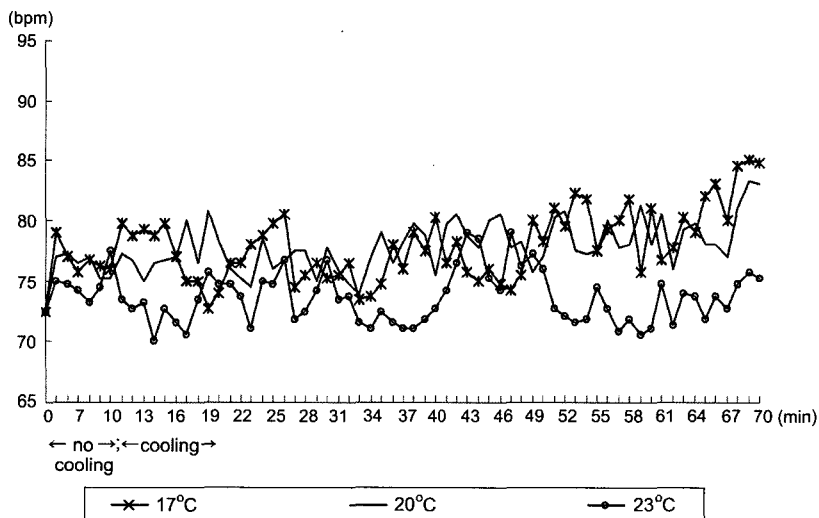


Fig. 6. Heart rate during hip cooling.

과 후반의 직장은 상승폭은 컸다.

9) 아래팔 냉각

아래팔의 피부온을 17°C와 20°C로 냉각하였을 때 모두 70~80bpm 수준의 안정적인 심박수 값을 보였으나 17°C 냉각에서 직장온이 실험 후반기에 계속 하강하였다. 반면, 20°C의 냉각온도에서 약간의 직장은 저하가 있었으나 유의하지는 않았고 실험 후반에는 완만한 기울기를 보여 20°C를 아래팔의 냉각허용한계온도로 선정하였다.

10) 손 냉각

상지부위 중 손을 냉각시킨 경우가 다른 부위를 냉각시켰을 때보다 다소 직장온이 낮았으며, 피험자들의 주관적으로 가장 쾌적하다고 답하였다. 특히 23°C의 피부온에서 직장온이 37.05~37.1°C 범위의 매우 쾌적한 수준이었으며 심박수도 실험 후반부에 가장 낮아져 75bpm 이하의 값을 나타내었다. 20°C의 피부온일 때 피험자들이 지나친 냉감으로 고통을 호소하였다. 손등의 냉점 밀도가 높고(Choi & Seol, 2001) 혈관조절 능력이 우수하여 냉감을 빨리 알아내고 그에

대한 혈관수축을 하였고 때문으로 사료된다. 26°C 냉각은 실험 후반부에 직장온의 상승이 보이고 심박수도 80bpm 이상으로 다소 높았다. 따라서 23°C를 손의 냉각허용한계온도로 선정하였다.

11) 넓적다리 냉각

17°C의 냉각온도일 때 심박수가 다른 두 온도에 비해 유의하게 낮았지만 실험 후반부로 갈수록 직장온이 저하하였다. 따라서 약간 상승하였지만 실험 종료시의 직장온이 37.15°C 정도로 비교적 쾌적한 범위수준이었으며 심박수의 범위도 80bpm 수준을 크게 벗어나지 않았던 20°C의 냉각온도를 허벅지의 한계허용온도로 선정하였다. 23°C의 냉각온도인 경우에는 20°C일 때와 직장온 수준이 비슷하지만, 심박수가 유의하게 높았다. 다른 부위와 비교할 때 냉각온도 차에 의한 온냉감의 변화가 적었으며, 발한량과 의복내습도의 유의차도 없었다. 이는 몸통 부위를 냉각시키면 넓적다리의 냉각여부가 냉각효율에 큰 영향을 미치지 않는다는 결과처럼 넓적다리가 피부면적이 넓음에도 불구하고 다른 부위에 비해 냉각의 민감성이 떨어지기 때문인 것으로 사료된다(Cotter et al., 2001).

12) 종아리 냉각

20°C의 피부온일 때 다른 두 냉각온도에 비해 유의하게 직장온이 낮았으며 실험 후반부에 직장온 값이 점차 안정되어 37.1°C 수준의 쾌적한 범위를 유지하였다. 17°C의 냉각온도에서는 실험 후반부에 약간 직장온이 하강하여 허용한계온도로 규정짓기에는 무리가 있었다. 심박수는 세 냉각온도 모두 쾌적한 범위에서 유지되었으며 유의차는 보이지 않았으나, 23°C로 냉각하였을 때의 값이 다른 두 냉각온도에 비해 약간 높았다. 따라서 20°C를 종아리의 냉각허용한계온도로 선정하였다.

13) 발 냉각

20°C로 발의 피부를 냉각시키면 직장온은 하강한 후 실험 중반부 이후 다시 증가하였으며, 심박수는 지속적으로 점차 증가하였다. 또한 피험자들은 주관적으로 매우 차다고 하며 발의 통증을 호소하였다. 23°C의 피부온일 때 처음에 상승하였던 직장온은 약간씩 하강하여 실험 종료시에 37.2°C 수준으로 거의 변화가 없었고 심박수는 75bpm 정도로 유지되어 유의하게 낮았다. 따라서 직장온, 심박수 모두 실험 후반부에 안정값을 지속적으로 유지하였던 23°C의 냉각온도를 발의 한계허용온도로 선정하였다. 손과 발의 냉각허용한계온도의 값이 23°C로 같게 예측된 결과는 본 연구와 같은 방법으로 손과 발의 피부온을 상승 또는 하강시켰을 때 두 부위간에 역치값의 차이가 없었다는 선행연구와 같았다(Hagander et al., 2000).

2. 4시간 냉각에 의한 각 부위 냉각허용한계 피부 온도(2차 실험)

2차 실험에서는 머리, 목, 가슴, 배, 등, 허리, 위팔, 아래팔, 손, 허벅지, 종아리, 발등 등 12부위에 1차 실험에서 선정된 냉각허용한계온도로 맞추어진 냉각팩을 세 명의 피험자를 대상으로 4시간 부착시켜 냉각허용한계온도를 유지하였다. 이 때 인체에 건강상의 위험을 주지 않는지를 검토하기 위해 4시간 동안의 직장온과 심박수를 측정하여 <Fig. 7>, <Fig. 8>에 제시하였다.

1) 머리 및 목 냉각시 직장온 및 심박수의 변화

<Fig. 7>, <Fig. 8>에 따르면, 머리를 4시간 동안 25°C로 냉각하였을 때, 직장온의 범위는 37.1~37.4°C였으며, 심박수는 71.5~84.1bpm 범위였다. 직장온과 심박수 모두 안정적인 범위에 있었다. 실험 초기에 저하하였던 직장온은 실험이 진행되면서 점차 상승하다가 다시 약간 하강하는, 하강과 상승을 반복하였다. 그러나 실험 종료시에는 안정시보다 약 0.3°C 높았다. 심박수는 실험 초기에 유의하게 낮았던 값이 점차 상승하여 중반 이후부터는 80bpm 이상의 값을 보였다. 목 냉각시 직장온의 범위는 37.2~37.4°C였으며, 심박수는 73.5~90.3bpm 범위였다. 목을 냉각한 경우는 직장온의 상승폭이 다른 부위를 냉각한 경우보다 매우 작았다. 또한 심박수도 실험 후반부터 유의하게 낮아지는 것을 <Fig. 8>에서 확인할 수 있었다.

2) 몸통 부위(가슴, 배, 등, 허리) 냉각시 직장온 및 심박수의 변화

가슴은 심장에 가까운 부위이므로 1차 실험결과 27°C의 냉각온도가 안전하다고 판단되었으나, 3명의 피험자 중 1명의 직장온이 27°C로 가슴을 냉각하였을 때 3시간 경과 후부터 급속하게 떨어졌다. 또한 심박수도 1분 간격으로 측정하여 5분 동안의 평균값을 제시한 것임에도 불구하고 27°C 냉각온도일 때 심박수의 동요도 심하였다. 따라서 1차 실험의 결과에서 선정된 27°C의 가슴부위 냉각온도는 4시간 연속냉각

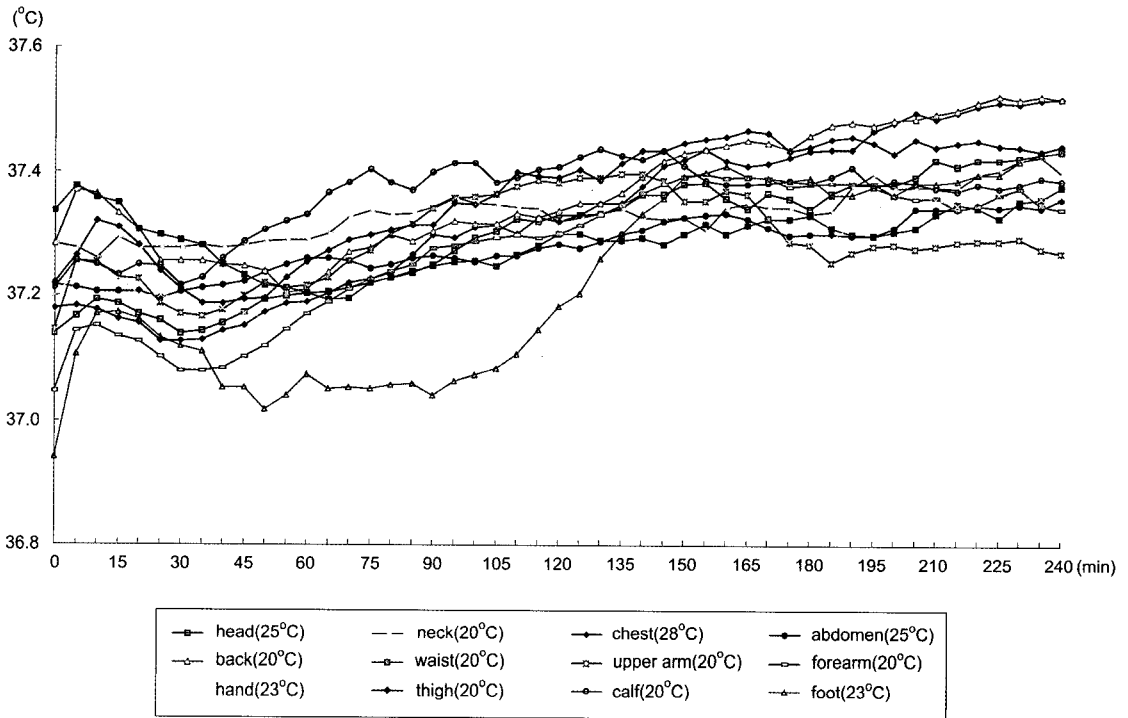


Fig. 7. Rectal temperature during local cooling.

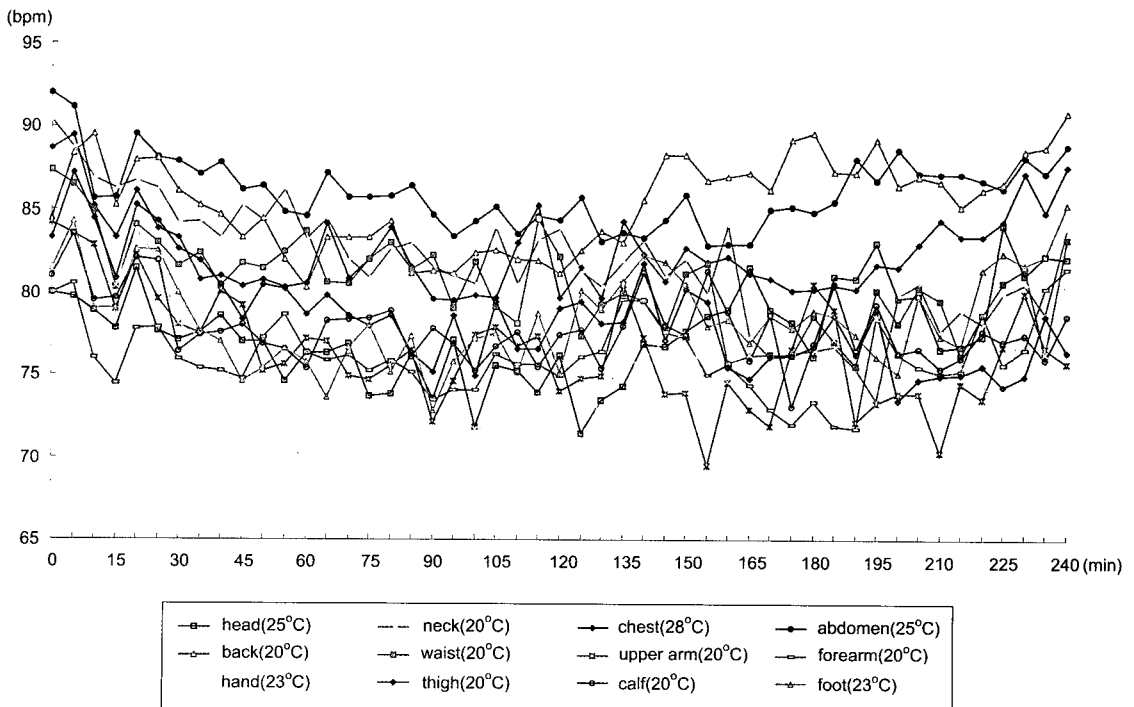


Fig. 8. Heart rate during local cooling.

실험결과 냉각허용한계온도로 제시할 수 없었으므로 1°C를 올려 28°C로 다시 냉각하였다. 그 결과 28°C의 냉각온도에서는 3명의 피험자 모두 직장온(37.1~37.5°C)과 심박수(79.5~89.4bpm) 모두 안정적인 값을 보여 가슴부위의 냉각허용한계온도를 28°C로 제시하였다.

1차 실험결과에서 몸통 중 배를 냉각시켰을 때 다른 부위와 달리 모든 냉각온도에서 직장온과 심박수가 상승하였다. 25°C로 4시간 냉각한 2차 실험의 결과에서도 직장온의 지속적인 상승이 있었으나 상승폭이 매우 적어 37.2~37.4°C의 안정적인 범위에서 실험을 완료하였다. 그러나 심박수는 82.9~92.0bpm 범위로 다른 부위를 냉각시킨 경우와 비교하여 유의하게 실험 4시간 동안 계속 높은 값을 유지하였다. 주관적 한서감각 중 온열감과 쾌적감이 모든 냉각부위 중 가장 유의하게 불쾌한 것으로 평가되었다.

세 명의 피험자 모두 공통적으로 등 냉각이 몸통의 냉각부위 중 실험 초기와 후기의 직장온 변동폭이 가장 작았다. 따라서 1차 실험의 결과에서 보여진 건강에 끼칠 수 있는 위험성이 적다는 결과와 일치하였다. 그러나 <Fig. 7>에 의한 평균값으로는 직장온의 범위가 37.2~37.5°C로 가슴, 배, 허리 등 다른 몸통 부위와 큰 차이가 없었다. 심박수의 범위는 80.3~90.8bpm으로 가슴 부위를 냉각한 경우와 함께 몸통 부위의 냉각부위 중 심박수의 변동폭이 가장 적었다.

허리를 20°C로 4시간 냉각하였을 때, 직장온의 범위는 37.2~37.4°C였으며, 심박수의 범위는 75.5~87.3 bpm이었다. 실험 중 직장온이 유의하게 낮았으며 그 상승정도도 작았다. 그러나 심박수의 동요가 크고 1차 실험결과와 마찬가지로 몸통부위 중 가장 발한량이 많았으며, 의복내 습도도 높았다.

4시간 연속냉각 실험을 수행한 결과, 몸통의 네 부위간에 직장온은 유의차를 보이지 않았다. 그러나, 심박수 항목에서는 배를 냉각시킨 경우가 다른 세 부위를 냉각시켰을 때보다 유의하게 높은 값을 나타냈다 ($p < .001$). 따라서 배의 냉각은 몸통 부위 중 다른 부위를 냉각하였을 때보다 심박수를 증가시키는 경향을 나타내었다. 즉 소화기관의 활동을 저해하지 않도록 혈액의 흐름을 빨리 하려고 심박수를 증가시키는 일종의 보호기능이 있는 것으로 사료된다(김병훈, 2003).

3) 팔 부위(위팔, 아래팔, 손) 냉각시 직장온 및 심박수의 변화

<Fig. 7>에서 알 수 있듯이 위팔을 20°C로 4시간

냉각하였을 때 실험 초기에 급속하게 직장온이 상승하다가 후반부에 접어들면서 점차 하강하여 실험 종료시에 37.4°C의 값으로 유지되었고, <Fig. 8>의 심박수는 80bpm 이하의 값으로 실험을 종료하였다. 각각의 범위는 직장온이 37.1~37.4°C, 심박수가 69.5~84.2 bpm이었다. 모든 부위 중 직장온과 심박수 값이 실험 종료시에 가장 낮아서 37°C 고온환경에서 위팔을 20°C로 냉각하는 것이 가장 우수한 냉각효과를 갖는 것으로 나타났다.

아래팔 냉각시 직장온의 범위는 37.0~37.4°C, 심박수는 71.7~81.4bpm이었다. <Fig. 7>에 의하면 아래팔의 냉각은 위팔 냉각과 달리 실험이 진행됨에 따라 직장온의 지속적인 상승을 유발하는 것으로 나타났다. 심박수는 실험 후반부에 약간의 상승이 있었으나 매우 미세하여 생리반응의 큰 변화를 의미하지는 않았다.

손을 23°C로 냉각하면 실험 초반에 급격하게 직장온의 하강이 보이다가 후반부터 약간씩 상승하기 시작한다. 따라서 손의 냉각이 신체 heat stress를 감소시키는데 매우 효과적인 부위이며, 심박수의 변화폭도 매우 작고 발한량과 주관감 등에서도 시원하다고 평가되었다. <Fig. 7>에 의하면, 손 냉각시 직장온의 범위는 37.1~37.4°C로 실험 초기에 급격히 저하하다가 실험 후반부부터 점차 상승하기 시작하여 37.4°C의 값에서 실험을 종료하였다. <Fig. 8>의 심박수는 69.5~83.7bpm의 범위에 있었다.

2차 실험에서는 손을 한계허용온도로 냉각하였을 때 발한량이 가장 적었다. 세 명의 피험자 모두 세 부위 중 손을 냉각하였을 때 직장온이 가장 낮았고 A의 경우 심박수도 유의하게 낮았으며 다른 두 명의 심박수는 부위 간 큰 차이를 보이지 않았다.

신체를 부위별로 독립적인 냉각을 할 수 있는 시스템 개발의 중요성을 강조한 Giesbrecht et al.(1995)의 연구에 의하면 전신이 가온 또는 냉각된 상태에서 팔을 가온 및 냉각시키는 것은 작업수행력에 유의한 차이를 발생시킨다고 하였다. 즉 전신이 춥더라도 팔을 가온시키면 작업수행력의 저하가 적으나 전신을 가온시켜도 팔을 냉각시키면 작업수행력이 크게 저하한다고 하였다. 전자의 경우 식도온이 35.8°C이고 팔의 근육온도는 34.5°C였으며, 후자에서는 각각 37.1°C, 18.1°C였다. 이러한 결과는 18.1°C라는 팔의 냉각허용한계온도 이하의 냉각이 심부온의 수준과 상관없이 작업도를 결정하였다는 것을 보여주는 연구로, 국소 부위의 과냉에 의한 심각한 영향을 알려준다.

4) 다리 부위(허벅지, 종아리, 발) 냉각시 직장온 및 심박수의 변화

<Fig. 7>에서 알 수 있듯이, 허벅지를 20°C로 4시간 냉각하였을 때 실험 초기에 급격하게 직장온이 하강하여 냉각에 의한 효과가 크게 생리반응에 반영되었다. 그러나 중반 이후부터는 직장온의 완만한 상승을 보이다가 후반에 약간 저하하여 약 37.4°C의 값에서 실험을 종료하였다. 직장온의 범위는 37.2~37.5°C였다. <Fig. 8>의 심박수는 73.5~87.1bpm의 범위였으며, 오히려 실험 후반부로 갈수록 저하하였다.

종아리의 냉각은 다리부위 중 직장온과 심박수의 변화폭이 가장 작았으며, 수준도 낮은 편이어서, 직장온은 37.2~37.4°C, 심박수는 73.1~83.5bpm 수준의 안정적인 범위였다. 발을 23°C로 냉각하면 팔의 손부위를 냉각하였을 때와 동일하게 피험자가 주관적으로 시원함을 신속하게 보고하였고, 직장온의 실험 초반 하강폭도 컸다. 실험이 중반에 이르면 직장온의 상승이 보이고 심박수도 약간 상승하였다. 각각의 범위는 36.9~37.4°C, 72.8~85.3bpm였다. 따라서 발은 냉각효과도 좋고 냉각에 의한 영향도 신속하게 나타나므로 발동작이 거의 없는 작업자에게는 건강에도 무리가 없는 효율적인 냉각부위라고 판단된다.

이상의 실험결과, 가슴 부위를 제외하고 세 명의 피험자 모두 직장온(36.6~38.0°C)이나 심박수(50~110bpm)의 선행연구(ACGIH, 2002; Hancock & Vasmatazidis, 2003; Malchaire et al., 2000; Nag et al., 1997)에서 제시한 허용한계 이하의 수준에서 실험을 완료하였다.

IV. 요약 및 결론

서열 환경에서 작업능률을 향상시키고 더위로 인한 신체부담을 경감시키기 위하여 인체를 냉각하고자 할 때, 주로 주관적 쾌적감을 기준으로 한다. 그러나 지나친 냉각으로 인한 건강상의 위험이나 지속적인 과냉으로 인한 건강장해를 막기 위해서는 허용한계를 알 수 있는 객관적 지표가 필요하다. 따라서 본 연구에서는 냉각에 의해 가장 영향 받기 쉬운 신체부위별 피부온의 냉각허용한계온도를 제시하고자 한다. 이를 위하여 건강한 20대 남자 대학생 8명을 대상으로 1시간 동안 고온환경(37±1°C, 50±5%RH)에서 각 부위별(머리, 목, 가슴, 배, 등, 허리, 엉덩이, 위팔, 아래팔, 손, 허벅지, 종아리, 발등)로 각각 냉각시켰을 때, 직장온과 피부온, 심박수, 총발한량과 국

소발한량, 의복내 온습도, 주관적 한서감각 등을 측정하여 냉각허용한계피부온도를 신체부위별로 제시하였다. 또한 이 온도가 실제 작업시간인 4시간동안 유지되었을 때도 신체에 무리를 주지 않는지 검증하기 위해 3명의 남자 대학생을 대상으로 각 신체부위를 냉각허용한계온도로 4시간 냉각시켜 건강상의 유해성이 없는 한계온도임을 확인하였다. 얻어진 결과는 다음과 같다.

1. 신체부위별로 1시간 동안 냉각하였을 때 머리 25°C, 목 20°C, 가슴 27°C, 배 25°C, 등 20°C, 허리 20°C, 위팔 20°C, 아래팔 20°C, 손 23°C, 허벅지 20°C, 종아리 20°C, 발은 23°C의 냉각피부온이 직장온, 심박수 등의 생리반응에 무리가 없는 냉각허용한계온도로 선정되었다. 엉덩이부위의 냉각허용한계온도는 본 연구에서는 제시할 수 없었다.

2. 같은 환경에서 인체를 부위별로 예측된 냉각허용한계온도로 4시간 동안 냉각하고 그 때의 생리반응을 분석한 결과, 인체를 한 부위씩만 냉각한다면, 머리는 25°C, 목 20°C, 가슴 28°C, 배 25°C, 등 20°C, 허리 20°C, 위팔 20°C, 아래팔 20°C, 손 23°C, 허벅지 20°C, 종아리 20°C, 발은 23°C의 온도를 4시간 냉각허용한계온도로 활용가능함이 확인되었다.

이상의 연구결과로부터 다음을 제언하고자 한다. 본 연구는 심부온의 지표로 직장온을 측정하였기 때문에 엉덩이 부위의 냉각허용한계온도를 찾을 수 없었다. 따라서 추후 직장온이 엉덩이에서 가까운 부위이기 때문에 하강을 보였는지를 평가하기 위해 고막온이나 식도온으로 심부온을 측정하여 엉덩이 부위의 냉각허용한계온도를 선정할 필요가 있다. 또한 건강한 20대 성인 남자를 대상으로 하였기 때문에 여성이나 노약자인 경우 냉각에 대한 생리반응이 다르므로 건강수준에 맞추어 냉각허용한계온도를 설정하여야 하며, 2 부위 이상을 복합적으로 냉각하고자 할 때에도 1 부위만을 냉각하여 얻은 본 연구의 결과와 매우 다를 것이다. 따라서 신체의 여러 부위를 한꺼번에 냉각시키고자 할 경우에는 특히 지나친 냉각으로 건강을 해치지 않도록 하며, 성별, 연령, 건강 수준, 냉각면적, 안전성 등을 고려하여야 한다.

참고문헌

- 김병훈. (2003, 6. 9). 한국 과학 문화 재단 자료검색일 2003, 7. 25, 자료출처 <http://www.kr.ks.yahoo.com>

- 김수영, 손장렬, 백용규. (1993). 인체의 국부온열감에 따른 전신온열감의 변화특성에 관한 연구. *대한건축학회논문집*, 9(7), 93-99.
- 이영숙. (1988). 체표 각 부위의 냉점분포 및 냉감각에 관한 연구. *한국의류학회지*, 12(2), 189-200.
- 최정화, 황경숙. (2001). 더운 환경에서의 냉각조끼의 착용 효과에 관한 연구. *한국의류학회지*, 25(1), 83-90.
- 최정화, 황경숙. (2002). 냉각복 개발을 위한 효율적 냉각부 위 규명에 관한 연구. *한국의류학회지*, 26(6), 771-778.
- American Conference of Industrial Hygienists(ACGIH). (2002). TLVs and BEIs: Based on the documentation of the threshold limit values for chemical substances and physical agents & biological exposure indices. *Cincinnati. ACGIH*, 161-178.
- Castellani, J. W., Young, A. J., Sawka, M. N., & Pandolf, K. B. (1998). Human thermoregulatory responses during serial cold-water immersions. *J. Appl Physiol*, 85(1), 204-209.
- Chen, Y. T., Constable, S. H., & Bomalaski, S. H. (1997). A lightweight ambient air-cooling unit for use in hazardous environments. *AIHA Journal*, 58(1), 10-14.
- Choi, J. W. & Seol, H. (2001). Distributions of skin thermoreceptors and clothing weights of Korean urbanites and farmers. *J. Physiol Anthropol*, 20(6), 375-377.
- Cotter J. D., Sleivert G. G., Roberts W. S., & Febbraio M.A. (2001). Effect of pre-cooling, with and without thigh cooling, on strain and endurance exercise performance in the heat. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A*, 128, 667-677.
- Hagander, L. G., Midani, H. A., Kuskowski, M. A., & Parry, G. J. G. (2000). Quantitative sensory testing: Effect of site and skin temperature on thermal thresholds. *Clinical Neurophysiology*, 111, 17-22.
- Hancock, P. A. & Vasmatazidis, I. (2003). Effects of heat stress on cognitive performance: The current state of knowledge. *Int. J. Hyperthermia*, 19(3), 355-372.
- Hilz, M. J., Stemper, B., Axelrod, F. B., Kolodny, H., & Neundorfer, B. (1999). Quantitative thermal perception testing in adults. *Clin Neurophysiol*, 16(5), 462-471.
- Giesbrecht, G. G., Wu, M. P., White, M. D., Johnston, C. E., & Bristow, G. K. (1995). Isolated effects of peripheral arm and central body cooling on arm performance. *Aviat Space Environ Med*, 66(10), 968-975.
- Lee, U. J. & Tamura, T. (1995). Distribution of cold sensitivity over human skin. *Journal of Home Economics of Japan*, 46(11), 1081-1090.
- Malchaire, J., Kampmann, B., Havenith, G., Mehnert, P., & Gebhardt, H. (2000). Criteria for estimating acceptable exposure times in hot working environments: A review. *Int Arch Occup Environ Health*, 73, 215-220.
- Moran, D. S., Castellani, J. W., O'Brien, C., Young, A. J., & Pandolf, K. B. (1999). Evaluating physiology strain during cold exposure using a new cold strain index. *Am. J. Physiol*, 277(Regulatory Integrative Comp. Physiol. 46), R556-564.
- Nakai, S., Itoh, T., & Morimoto, T. (1999). Deaths from heat-stroke in Japan: 1986-1994. *Int. J. Biometeorol*, 43(3), 124-127.
- Nag, P. K., Ashtekar, S. P., Nag, A., Kothari, D., Bandyopadhyay, P., & Desai, H. (1997). Human heat tolerance in simulated environment. *Indian J. Med. Res*, 105, 226-234.
- Nishihara, N. & Hasebe, Y. (2003). The regional differences of human responses to local cooling stimulation. *Jpn. J. Biometeor*, 39(4), 107-120.
- Nishihara, N., Tanabe, S., Hayama, H., & Komatsu, M. (2002). A cooling vest for working comfortably in a moderately hot environment. *J. Physiol. Anthropol Appl Human Sci*, 21(1), 75-82.
- Occupational Safety and Health Administration. (2005, September). *Protecting workers from effects of heat*. Retrieved November 1, 2006, from http://www.osha.gov/OshDoc/data/Hurricane_Facts/heat_stress.pdf
- Pertovaara, A. & Kojo, I. (1985). Influence of the rate of temperature change on thermal thresholds in man. *Exp Neurol*, 87(3), 439-445.
- Shvartz, E., Shibolet, S., Meroz, A., Magazanik, A., & Shapiro, Y. (1977). Prediction of heat tolerance from heart rate and rectal temperature in a temperate environment. *J. Appl. Physiol*, 43(4), 684-688.
- Tell, R. A. & Harlen, F. (1979). A review of selected biological effects and dosimetric data useful for development of radiofrequency safety standards for human exposure. *J. Micro. Power*, 14(4), 405-424.