국소 부위 고온 및 저온 스트레스가 안정 시 및 운동 시 온냉감 민감도 및 중성역에 미치는 영향

김대환¹ BS, 한진희² BS, 장민혁¹ BS, 김정현^{2,3} PhD

¹경희대학교 일반대학원 체육학과, ²경희대학교 체육대학원 스포츠의학과, ³경희대학교 스포츠의학과

Effects of Local Cold and Heat Stimuli on Cutaneous Thermal Sensitivity and Inter-Threshold Zone at Rest and During Exercise

Dae-Hwan Kim¹ BS, Jean-Hee Han² BS, Min-Hyeok Jang¹ BS, Jung-Hyun Kim^{2,3} PhD

¹Department of Physical Education, General Graduate School, Kyung-Hee University, Yongin; ²Department of Sports Medicine & Science, Graduate School of Physical Education, Kyung-Hee University, Yongin; ³Department of Sports Medicine, Kyung-Hee University, Yongin, Korea

PURPOSE: The primary objective of this study was to investigate the effects of local cold and heat stimuli on cutaneous thermal sensitivity and inter-threshold zone at rest and during exercise.

METHODS: Cutaneous warm and cold thresholds were measured on two body regions (forehead and hand) in three types of local thermal stress environments (neutral, heat, cold) using a method of limit in sixteen young, healthy male subjects (25.44 ± 2.28 years) at rest and during exercise.

RESULTS: The results showed that the thermal inter-threshold zone was wider on the hand than on the forehead under thermal stress conditions at rest and during exercise. The thermal inter-threshold zone on both body regions widened with exercise ($p < .05$). Exercise significantly blunted both the warm and cold sensitivity in the forehead ($p < .05$), but only cold sensitivity in the hand ($p < .05$). Moreover, the thermal inter-threshold zone on both the forehead and hand became significantly wider when heat or cold stress was applied to the local body region ($p < .001$). In the forehead, warm and cold sensitivity were significantly blunted in both heat and cold stress environments ($p < .05$), whereas in the hand they were significantly blunted only in the heat stress environment ($p < .01$).

CONCLUSIONS: In conclusion, the present study showed that the forehead is more sensitive to both warm and cold stimuli than the hand, regardless of thermal stress or exercise. Furthermore, the thermal inter-threshold zone on both the forehead and the hand widened with exercise and local thermal stimuli.

Key words: Thermal sensitivity, Inter-threshold zone, Thermoception, Local thermal stress, Exercise analgesia

서론

인간은 주위 환경온도의 폭넓은 변화에도 상당히 좁은 범위 내에서 체온을 유지해야 한다[1]. 인간의 체온 조절 기전은 생리적 조절과 행동적 조절 두 가지로 나누어지며 이는 피부 및 심부에 존재하는 온도

수용체로부터 전해지는 온도 감각 정보를 감지하는 것부터 시작된다 [2]. 신체의 각 부위에 존재하는 온도 수용체로부터 수집되는 구심성 온도 감각 정보들은 중추 신경계에 전달되어 시상하부의 기준온도점 (Reference point)과 비교되고 이 둘의 차이를 통해 열생산 또는 열발산과 같은 생리적 체온 조절 작용이 유발된다[3]. 또한 온도수용기에서

Corresponding author: Jung-Hyun Kim Tel +82-31-201-2739 Fax +82-31-204-8117 E-mail junghyun.kim@khu.ac.kr

Keywords 온냉감 민감도, 온냉감 중성역, 국소부위 온도 스트레스, 온도 감각, 운동 무통증

Received 2 Aug 2021 Revised 9 Sep 2021 Accepted 14 Sep 2021

© This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

전달되는 온도 감각(Thermal sensation)에 대한 주관적 해석과 관련된 온열 불쾌감은 체온 변화에 일차적 방어선 역할을 하는 행동적 조절 작용을 유발하는 결정적 요인으로 작용한다[4,5].

온열 생리학적 관점에서, 온냉감 민감도(Thermal sensitivity)는 다양한 방법으로 측정 및 평가가 가능하나 일반적으로 온냉감 민감도는 피부에 전해지는 특정온도 혹은 온도 변화를 얼마나 민감하게 감지할 수 있는지를 나타낸다. 선행연구 결과에 따르면, 첫째, 온냉감 민감도는 머리와 몸통 쪽에서 가장 높고 말초 부위로 갈수록 낮아진다[6,7]. 둘째, 온냉감 민감도는 남성이 여성보다 낮다. 셋째, 연령이 증가할수록 온냉감 민감도는 감소한다[6,8,9]. 마지막으로, 인간은 온자극보다 냉자극을 더 민감하게 감지하며, 운동 중 온냉감 민감도는 안정 시 보다 낮아진다[4,6,7,9].

하지만 인간의 더위 및 추위와 같은 외부 환경 노출은 피할 수 없고 이러한 상황에서 온도 감지 민감성의 작은 변화는 체온 조절 측면에서 상당히 상이한 결과를 초래할 수 있다. 그럼에도 불구하고, 국소 부위가 외부 온도 스트레스에 노출된 상황을 가정한 환경에서 온냉감 민감도의 변화에 대해 살펴본 연구는 드물다. 예를 들어 야외에서 훈련이나 운동을 주로 하는 대다수의 운동선수나 실외 스포츠를 즐기는 일반인들은 겨울에 손발이 추위에 노출된 상태로 운동을 지속하며, 어부들이나 냉동 창고 작업자들 그리고 소방관이나 요리사와 같은 직업군들은 작업 여건상 국소 부위에 추위 혹은 더위 스트레스가 가해지는 상태로 작업을 지속하는 경우가 많다[10]. 이러한 환경에서 외부 온도 변화에 둔감한 것은 적절한 체온조절성 행동을 유발하지 못해 냉·온열성 부상의 가능성을 높일 수 있다. 이처럼 외부 환경적 스트레스가 체온에 영향을 미칠 수 있고, 온도를 민감하게 감지하는 것이 외부 환경에 대항하여 체온 항상성 유지의 시작점이 될 수 있다는 점에서 국소 부위가 고온 및 저온 스트레스에 노출되었을 때 온냉감 민감도의 변화에 대한 연구는 필요하다. 따라서 본 연구는 신체 국소 부위에 가해지는 대류성 고온 및 저온 스트레스가 안정 시 및 운동 시 온냉감 민감도에 미치는 영향 및 이에 따른 피부면의 냉감역치와 온감역치 사이 영역인 온냉감중성역(thermal neutral zone) [10]의 변화 패턴을 밝히는 것을 목표로 하였다.

연구 방법

1. 연구 대상자

연구 대상자는 피부 감각 수용기에 병리학적 이상이 없는 성인 남성 16명을 모집하였으며, 성별과 연령 차이가 온냉감 민감도에 미치는 영향을 배제하고자 성별은 남성으로, 연령은 20대로 제한하였다(연령: 25.4 ± 2.3 years; 신장: 174.4 ± 6.4 cm; 체중: 75.7 ± 10.5 kg). 피험자의 신장 및 체중은 각각 무선 초음파 신장계(Ultrasonic Body Height Meter,

Hubdic Co., Anyang, Korea) 및 디지털 저울(Digital Floor Scale, 349KLX, Health O meter Co., Illinois, USA)을 사용하여 측정하였다. 본 연구는 경희대학교 생명윤리심의위원회 승인 후 수행하였으며(KHIRB-21-171), 연구에 참여하는 모든 대상자들은 실험 참여 전 연구의 목적, 연구 절차, 연구 참여에 따른 위험 요인에 대해 충분한 설명을 제공받고 자발적으로 서면동의서를 작성한 후 실험에 참여하였다.

2. 연구 절차

1) 연구설계 및 절차

본 연구는 총 3회의 실험실 방문에 걸쳐 진행되었다. 1회 방문 시에는 온냉감 민감도 측정 방식 설명 및 연습, 신체 정보 및 운동 강도 측정, 그리고 연구 동의 절차가 이루어졌다. 2회 방문 시에는 안정 시 온냉감 민감도 측정이 이루어졌으며, 마지막 방문 시에는 운동 시 온냉감 민감도 측정이 이루어졌다. 각각의 방문 및 실험 참여는 1주일 간격을 두고 이루어졌다. 온냉감 민감도는 온열자극기(Intercross-210, Intercross Co., Tokyo, Japan)를 사용하여 피험자의 이마 정중앙(Middle of forehead)과 우세 손의 손등(Back of the dominant side hand) 총 두 부위를 측정하였다. 안정 시와 운동 시 온냉감 민감도 측정은 피험자에게 어떠한 중재도 가하지 않은 '정상 환경' 과 국소 부위에 고온 및 저온 스트레스를 가하는 '냉·온 스트레스 환경' 총 세 가지 유형의 환경에서 이루어졌으며, 측정 순서는 '정상 환경', '1차 스트레스 환경', '2차 스트레스 환경' 순으로 이루어졌다. 국소 부위 고온 및 저온 스트레스는 항온 순환 수조(RW3-3035, JEIO TECH Co., Daejeon, Korea)에 의해 일정 온도(각각 45°C , 10°C)가 유지되는 물에 피험자의 비우세손(Non-dominant side hand)을 손목 바로 아래까지 넣는 방식으로 이루어졌다.

안정 시 온냉감 민감도 측정 과정은 다음과 같다. 피험자가 실험실에 도착 후 10분간 편하게 앉은 상태에서 휴식을 취하게 하였고, 이후 정상 환경에서 온냉감 민감도 측정을 진행하였다. 정상 환경 온냉감 민감도 측정 후 피험자의 비우세손을 고온 혹은 저온의 물에 넣게 하였으며, 2분 후 1차 스트레스 환경에서 온냉감 민감도 측정을 진행하였다. 측정이 끝난 후 피험자는 평균 온도 $30 \pm 2^{\circ}\text{C}$ 의 표피온도와 비슷한 미지근한 물에 비우세손을 5분간 담가 표피온도를 정상화하였다. 표피온도 정상화 이후 2차 스트레스 환경에서 측정을 진행하였다. 국소 부위에 고온 및 저온 스트레스 부하는 역균형화(Counterbalancing) 방식을 적용하여 피험자마다 가해지는 스트레스 순서를 달리하였다.

운동 시 온냉감 민감도 측정은 안정 시와 동일한 방식으로 진행되었다. 다만 각 환경에서 온냉감 민감도 측정 시 사이클 에르고미터를 사용하여 최대 심박수 40%에 해당하는 강도로 측정 종료 시까지 약 10분간 운동을 수행하였고 측정 종료 시 심박수 안정화를 위해 5분간 휴식 시간을 제공하였다. 실험 중 피험자의 심박수는 무선 생체신호 측정 시스템(Zephyr, Mettronic Co., Minnesota, USA)을 사용하여 지속

적으로 측정하였으며, 피험자의 심박수가 목표심박수보다 5% 이상 증가할 경우 10 W씩 운동 강도를 낮추어 다시 목표 심박수까지 낮아지도록 하였다(Fig. 1).

2) 체온(표피온도 & 심부온도)

표피온도는 데이터 로거(NT Logger N543, Nikkiso-Therm Co., Tokyo, Japan)를 사용하여 (가슴, 어깨, 허벅지 앞쪽, 종아리 그리고 비우세손 손등) 총 5부위를 연속적으로 측정하였으며, 평균표피온도는 비우세손 손등을 제외한 총 4부위의 평균 측정값에 다음과 같은 공식을 적용하여 산출하였다.

평균표피온도

$$= (0.2 \times \text{가슴}) + (0.2 \times \text{어깨}) + (0.3 \times \text{앞쪽 허벅지}) + (0.3 \times \text{종아리})$$

심부온도는 귀 적외선 체온계(IRT6030, BRAUN Co., Kronburg, Germany)를 사용하여 고막의 온도를 측정하여 구하였다. 심부온도 측정은 실험실에 도착하여 10분간 안정 후 1회, 1차 스트레스 부하 1분 후 1회 그리고 2차 스트레스 부하 1분 후 1회로 총 3회 이루어졌다. 각 측정마다 고막온도 측정은 2번씩 이루어졌으며 데이터는 평균값을 사용하였다.

3) 운동 부하

본 연구에서 운동 부하는 최대심박수의 $40 \pm 5\%$ 로 사이클 에르고미터(Aerobike 75XL 2, COMBI Co., Tokyo, Japan)를 사용하여 수행하였다. 최대심박수의 약 40%에 해당하는 운동 강도를 측정하기 위해 피험자에게 60 rpm의 속도로 사이클 에르고미터를 타도록 지시하였고, 운

동 부하는 50 W부터 시작하여 2분마다 10 W 만큼의 강도를 높여 피험자의 심박수가 목표심박수에 도달하도록 하였다. 심박수가 목표 심박수에 도달한 경우 운동 부하를 5-8 W 정도 낮추어 심박수가 항정상 태에 이르도록 하였으며 이를 본 연구의 운동 강도로 사용하였다. 안정 시 심박수는 앉은 상태로 5분간 휴식 후 1분간 측정한 데이터의 평균값을 사용하였으며, 피험자의 목표 심박수는 Karvonen [11]의 공식을 적용하여 산출하였다.

4) 온냉감 민감도

온냉감 민감도 측정은 대상자의 피부 온도와 동일하게 유지되는 프로브를 피부에 접촉 후 대상자가 온도변화를 자각할 때까지 가온 또는 냉각을 실시하는 Method of limit [5]의 방법으로 진행하였다. 프로브를 피부면에 접촉하고 열 흐름이 75 W/m^2 이하로 유지되는 시점을 대상자의 피부면 온도와 프로브의 온도가 동일한 것으로 간주하였고, 온도가 동일한 상태에 이르면 프로브를 초당 0.3°C 씩 냉각 또는 가온하여 대상자가 온도 변화를 느끼도록 하였다. 측정 시 대상자에게 온도 자각 스위치를 주어 프로브의 온도 변화가 인식되는 시점에 스위치를 누르도록 지시하였다.

온냉감 민감도는 열 유동량(Heat flux)을 통해 분석하였다. 이는 표피와 온열자극기의 프로브 사이에 이동한 열 에너지 양을 수치화하여 평방미터 당 와트(W/m^2)로 나타낸 것이다. 이를 통해 대상자의 온도감각역치에 이르기까지 표피에서 프로브로 혹은 프로브에서 표피로 이동하는 총 열유동량을 측정하였다. 따라서, 열 유동량 절댓값이 작을수록 '온냉감에 민감하다'고 판단하며, 클수록 '온냉감에 둔하다'고 판단하였다. 온냉감 민감도 측정은 피험자가 편하게 앉은 자세에서 눈을 감고 시각 자극에 의한 간섭을 배제한 상태로 진행되었다. 또한 모든

Resting Condition

Exercise Condition

Fig. 1. Study procedure.

측정은 대기온도 25°C, 상대 습도 30% 정도로 유지되는 환경에서 진행되었으며, 각 피험자의 실험실 방문 시간을 최대한 동일하게 맞춰 하루 주기(Circadian rhythm)에 따른 체온변화가 실험에 미치는 간섭을 최소화하였다. 마지막으로 온냉감 민감도 측정 데이터는 부위별 2회 측정으로 얻어진 데이터의 평균값을 분석에 사용하였다.

5) 온냉감 중성역

온냉감 중성역이란 피부 면에서 ‘차가움’으로 인식되는 가장 높은 온도인 냉감역치와 ‘따뜻함’으로 인식되는 가장 낮은 온도인 온감역치 간의 영역을 의미한다[5]. 온냉감 중성역은 섭씨온도(°C)를 통해 분석하였으며, 이는 피험자의 초기 표피온도부터 냉감역치와 온감역치까지 온도 차의 절댓값의 합으로 나타냈다. 그러므로 값이 클수록 ‘온냉감 중성역이 넓다’고 판단하였으며, 작을수록 ‘온냉감 중성역이 좁다’고 판단하였다.

3. 자료처리

본 연구의 모든 결과 값은 평균과 표준편차(mean ± SD)로 나타냈다. 안정 시 및 운동 조건에서 국소 부위 스트레스에 따른 온냉감 중성역의 차이는 Two-way repeated measures ANOVA with Greenhouse-Gessier correction을 사용하여 분석하였고, 유의한 주 효과 혹은 상호작용에 대하여 Bonferroni 교정을 통한 Pairwise comparison을 사용하여 사후 검증을 하였다. 모든 통계 처리의 유의 수준은 $\alpha = .05$ 로 설정하였고 IBM SPSS Statistics (version 25)를 사용하여 분석하였다.

연구 결과

1. 평균체온

피험자의 평균체온은 안정 시와 운동 시를 비교했을 때 유의미한 차이가 없었으며($F = .020, p = .888$), 고온 및 저온 스트레스 환경에서 유의하게 증가하였다($F = 33.490, p < .001$). 사후 검정 결과, 안정 시에는 고온 스트레스 환경에서만 평균체온이 유의하게 증가했으며, 운동 시에는 스트레스 유형에 상관없이 유의하게 증가하였다. 평균체온에서 운동과 온도 스트레스 사이에 상호작용은 없었다($F = .994, p = .377$) (Table 1).

2. 온냉감 민감도

1) 이마 온감 민감도

이마는 고온 및 저온 스트레스 환경 모두에서 온감역치가 유의하게 높아져 온자극에 더 둔감해졌다(Neutral: 572.23 vs. Heat: 750.21 vs. Cold: 700.60 W/m², $F = 12.08, p < .001$). 안정 시와 운동 시로 나누어서 사후 검정 한 결과, 안정 시에 이마의 온감역치는 정상 환경과 비교하여 고온 및 저온 스트레스 환경에서 유의하게 달라지지 않았지만, 운동 시에는 고온 및 저온 스트레스 환경 모두에서 유의하게 높아졌다(Heat: $p = .002$, Cold: $p = .001$). 안정 시와 운동 시를 비교했을 때, 이마의 온감역치는 운동 시에 유의하게 높아졌다(639.05 vs. 709.65 W/m², $F = 6.58, p = .022$). 특히 저온 스트레스 환경에서 운동 시 이마의 온감역치가 안정 시 보다 유의하게 더 높았고($p = .001$), 그 외 두 환경에서는 유의한 차이를 찾을 수 없었다. 마지막으로 이마의 온감역치에서 운동과 국소 부위 온도 스트레스 사이에 유의한 상호작용은 없었다($F = 3.36, p = .067$) (Fig. 2).

2) 이마 냉감 민감도

이마는 고온 및 저온 스트레스 환경 모두에서 냉감역치가 유의하게 낮아져 냉자극에 더 둔감해졌다(Neutral: 371.39 vs. Heat: 454.97 vs. Cold: 444.12 W/m², $F = 6.504, p = .010$). 안정 시와 운동 시로 나누어서 사후 검정을 한 결과, 안정 시 이마의 냉감역치는 정상 환경과 비교하여 고온 및 저온 스트레스 환경에서 유의한 차이는 없었다. 하지만 운동 시에는 고온 스트레스 환경에서 이마의 냉감역치가 유의하게 낮아졌으며($p = .006$), 저온 스트레스 환경에서는 유의한 차이는 없었지만 상당히 낮아지는 경향이 보였다($p = .053$). 안정 시와 운동 시를 비교했을 때, 이마는 안정 시 보다 운동 시에 냉감역치가 유의하게 낮아져 냉감에 더 둔감해졌다(381.18 vs. 465.80 W/m², $F = 10.36, p = .006$). 정상 환경에서는 유의한 차이가 없었지만, 고온과 저온 스트레스 환경에서는 운동 시에 유의하게 더 낮아졌다(Heat: $p = .001$, Cold: $p = .011$). 즉, 운동 수행과 동시에 국소 부위에 고온 및 저온 스트레스가 가해졌을 때 이마는 냉감에 더 둔감해졌다. 마지막으로, 이마의 냉감역치는 운동과 국소 부위 온도 스트레스 사이에 유의한 상호작용이 있었다($F = 6.963, p = .003$) (Fig. 2).

Table 1. Mean body temperature during rest and exercise (°C) (N=16)

Variable	Rest			Exercise		
	Neutral	Heat	Cold	Neutral	Heat	Cold
Tb (°C)	35.59 ± 0.38	35.80 ± 0.34*	35.65 ± 0.40	35.54 ± 0.35	35.83 ± 0.31*	35.70 ± 0.29*

Values are means and SD.

Tb, Mean body temperature.

*Significantly different from Neutral stress group in same condition using the Bonferroni pairwise comparisons.

Fig. 2. Changes in cold and warm sensitivity on forehead and hand under three local conditions during rest and exercise. † $p < .05$; ‡ $p < .06$ vs. neutral environment; * $p < .05$ vs. neutral environment; ** $p < .01$ vs. neutral environment.

3) 손등 온감 민감도

손등은 고온 스트레스 환경에서만 온감역치가 유의하게 높아졌다 ($F=19.660, p<.001$). 안정 시와 운동 시로 나누어서 사후 검정한 결과, 안정 시 손등의 온감역치는 정상 환경보다 고온 스트레스 환경에서 유의하게 높아졌으나($p=.006$), 저온 스트레스 환경에서는 유의한 차이가 없었다. 이와 비슷하게 운동 시 손등의 온감역치 또한 고온 스트레스 환경에서만 유의하게 높아졌다($p=.001$). 안정 시와 운동 시를 비교했을 때, 유의한 차이는 보이지 않았다(749.32 vs. 730.41 W/m², $F=.384, p=.545$). 즉, 운동 시 손등의 온감역치는 안정 시와 비교하여 어떠한 환경에서도 유의한 차이를 보여주지 않았다. 마지막으로 손등의 온감역치에서 운동과 국소 부위 온도 스트레스 사이에 유의한 상호작용은 없었다($F=1.021, p=.364$) (Fig. 2).

4) 손등 냉감 민감도

손등의 냉감역치는 고온 스트레스 환경에서만 유의하게 낮아졌다 ($F=11.482, p=.001$). 안정 시와 운동 시로 나누어 사후 검정한 결과, 안

정 시 손등의 냉감역치는 정상 환경과 비교하여 저온 및 고온 스트레스 환경에서 유의한 차이가 없었다. 하지만 고온 스트레스 환경에서는 다소 낮아지는 경향이 보였으며($p=.059$), 이와 비슷하게 운동 시 손등의 냉감역치는 고온 스트레스 환경에서만 유의하게 낮아졌다($p=.010$). 안정 시와 운동 시를 비교했을 때, 손등은 운동 시에 냉감역치가 유의하게 낮아져 냉감에 더 둔감해졌다(529.92 vs. 607.37 W/m², $F=6.238, p=.025$). 정상 환경에서 유의한 차이가 없었지만, 고온 및 저온 스트레스 환경에서는 안정 시보다 운동 시 냉감역치가 유의하게 낮아졌다 (Heat: $p=.049$, Cold: $p=.014$). 마지막으로 손등의 냉감역치에서 운동과 국소 부위 온도 스트레스 사이에 유의한 상호작용은 없었다($F=1.789, p=.196$) (Fig. 2).

3. 온냉감 중성역

1) 이마 온냉감 중성역

이마의 온냉감 중성역은 고온 및 저온 스트레스 환경 모두에서 유의하게 넓어졌다(Neutral: 3.045 vs. Heat: 4.342 vs. Cold: 3.882°C , $F=11.49$,

Table 2. Inter-threshold zone of the forehead (°C) (N=16)

Condition	Stress	Mean $\pm$ SD	F	p
Rest	Neutral	2.86 $\pm$ 1.31	9.75 ^a	<.01
	Heat	3.95 $\pm$ 1.88*		
	Cold	3.41 $\pm$ 1.92		
Exercise	Neutral	3.23 $\pm$ 1.51	1.45 ^c	.25
	Heat	4.73 $\pm$ 1.96* [†]		
	Cold	4.35 $\pm$ 1.76* [†]		

^aCondition, ^bStress, ^cCondition*stress.[†]Significantly different from Rest condition using the Paired t-test.

*Significantly different from Neutral stress group in same condition using the Bonferroni pairwise comparisons.

Table 3. Inter-threshold zone of the hand (°C) (N=16)

Condition	Stress	Mean $\pm$ SD	F	p
Rest	Neutral	4.17 $\pm$ 1.23	8.33 ^a	.01
	Heat	6.06 $\pm$ 2.35*		
	Cold	4.63 $\pm$ 1.85		
Exercise	Neutral	5.05 $\pm$ 1.65 [†]	1.35 ^c	.27
	Heat	6.36 $\pm$ 2.06*		
	Cold	5.58 $\pm$ 1.99 [†]		

^aCondition, ^bStress, ^cCondition*stress.[†]Significantly different from Rest condition using the Paired t-test.

*Significantly different from Neutral stress group in same condition using the Bonferroni pairwise comparisons.

$p < .001$). 안정 시와 운동 시로 나누어서 사후 검정한 결과, 안정 시 이마의 온냉감 중성역은 정상 환경보다 고온 스트레스 환경에서 유의미하게 넓어졌지만($p = .009$), 저온 스트레스 환경에서는 유의미한 차이가 없었다($p = .104$). 이와 다르게, 운동 시에는 고온 및 저온 스트레스 환경 모두에서 유의하게 넓어졌다(Heat: $p = .001$, Cold: $p = .006$). 안정 시와 운동 시 이마의 온냉감 중성역을 비교했을 때, 이마의 온냉감 중성역은 운동 시 유의하게 넓어졌다(3.407 vs. 4.105°C , $F = 9.75$, $p = .007$). 정상 환경에서 안정 시와 운동 시 유의한 차이가 없었지만($p = .017$), 고온 및 저온 스트레스 환경에서는 운동 시 이마의 온냉감 중성역이 안정 시보다 유의하게 넓었다(Heat: $p = .001$, Cold: $p < .001$). 운동과 국소 부위 온도 스트레스 사이에 유의한 상호작용은 없었다($F = 1.45$, $p = .252$) (Table 2).

2) 손등 온냉감 중성역

손등의 온냉감 중성역은 고온 및 저온 스트레스 환경 모두에서 유의하게 넓어졌다(Neutral: 4.613 vs. Heat: 6.210 vs. Cold: 5.104°C , $F = 23.97$, $p < .001$). 안정 시와 운동 시로 나누어서 사후 검정한 결과, 안정 시 손등의 온냉감 중성역은 고온 스트레스 환경에서 유의하게 넓어졌으나($p = .001$), 저온 스트레스 환경에서는 유의한 차이를 보여주지 못하였다($p = .115$). 운동 시 또한 고온 스트레스 환경에서는 온냉감 중성역이 유의하게 넓어졌으나($p < .001$), 저온 스트레스 환경에서는 유의한 차이를 보여주지 못하였다($p = .065$). 즉 손등의 온냉감 중성역은 안정

시와 운동 시 모두 고온 환경에서만 유의하게 넓어졌고, 저온 환경에서는 유의한 차이를 보여주지 못하였다. 안정 시와 운동 시 손등의 온냉감 중성역을 비교한 결과, 손등의 온냉감 중성역은 운동 시에 유의하게 넓어졌다(4.95 vs. 5.67°C , $F = 8.33$, $p = .011$). 정상 및 저온 스트레스 환경에서 운동 시 손등의 온냉감 중성역이 안정 시 보다 유의하게 넓었지만(Neutral: $p = .019$, Cold: $p = .008$), 고온 스트레스 환경에서는 유의한 차이가 없었다($p = .486$). 마지막으로 운동과 국소 부위 온도 스트레스 사이에 유의한 상호작용은 없었다($F = 1.35$, $p = .272$) (Table 3).

논 의

본 연구는 국소 부위에 가해지는 고온 및 저온 스트레스가 안정 시와 운동 시 온냉감 민감도 및 중성역에 미치는 영향을 비교 분석하고자 수행하였다. 본 연구의 주된 결과로서: 첫째, 운동 유무와 상관없이 모든 환경에서 손등의 온냉감 민감도는 이마보다 낮았고 이에 따라 손등의 온냉감 중성역이 이마보다 유의하게 넓었다. 둘째, 운동 시 이마의 온냉감 민감도와 손등의 냉감 민감도는 유의하게 낮아져, 두 부위의 온냉감 중성역은 운동 시에 유의하게 넓어졌다. 셋째, 국소 부위에 가해지는 고온 및 저온 스트레스는 이마와 손등의 온냉감 민감도를 변화시키고 이에 따라 두 부위의 온냉감 중성역이 고온 및 저온 환경에서 유의하게 넓어졌다.

1. 부위별 차이

온냉감 민감도의 부위별 차이는 다수의 선행연구에 의해 밝혀졌으며, 일반적으로 온냉감 민감도는 얼굴 및 이마가 가장 민감하고 몸통의 중심부에서 멀어질수록 둔감하다[12,13]. 본 연구에서도 손등이 이마보다 온냉감에 둔하고 이에 따라 손등의 온냉감 중성역이 이마보다 더 넓은 것을 확인하였다. 또한 이러한 양상이 국소 부위에 가해지는 고온 및 저온 스트레스 그리고 운동 유무에 관계없이 여전히 동일하게 나타난다는 것을 확인하였다. 이러한 결과를 가져오는 주요 요인은 신체 부위별 온도 수용체 밀집도 차이와 중추신경계에 의해 할당된 가중치 차이로 보인다[14]. 온도 감각은 신체의 각 부위에 존재하는 온도 수용체로부터 구심성 온도 감각 정보들을 수집함으로써 시작된다. 때문에 온도 수용체의 밀도가 높으면 말초에서 중추 신경계로 전달되는 온도 감각 정보의 양이 많아지고 온냉감 민감도는 높아진다[15]. 이는 표피 내 신경섬유(Intra epidermal nerve fiber)의 수가 감소한 신경병증 환자들이 건강한 사람과 비교해서 온냉감 민감도가 유의하게 감소했다는 Shun et al. [16]의 연구 결과에 의해 뒷받침된다. 온도 수용체의 밀집도 차이와는 별개로, 중추 신경계가 신체 부위별로 체온 조절에 대해 부여한 가중치의 차이에 따라 민감도는 달라질 수 있다. 이는 얼굴이나 몸통의 체온 유지가 뇌를 포함한 생명유지에 필수적인 장기들의 손상을 예방하는 데 있어 팔다리보다 중요하기 때문일 것이라고 추측된다[6]. 하지만 신체 부위별 온냉감 민감도 차이에 있어 중추신경계의 개입은 아직 명확하지 않아 이에 대한 후속 연구가 필요하다.

2. 운동 여부에 따른 차이

운동 유무에 따른 온냉감 민감도의 차이는 다수의 선행연구에 의해 밝혀졌다[4,7,18]. Ouzzahra et al. [7]의 연구에서는 사이클 에르고미터를 통해 최대심박수의 약 30%의 강도로 운동 시 온냉감 민감도가 더 감소하였으며, Kempainen et al. [18]의 연구에서는 운동강도가 증가함에 따라(50 w, 100 w, 150 w 그리고 200 w) 온냉감 민감도가 더욱 감소하였다. 본 연구에서도 이마와 손등의 종합적인 온냉감 중성역은 안정 시보다 사이클 에르고미터를 통해 최대심박수의 약 40%의 강도로 운동 시 유의하게 넓어진다는 것을 확인하였다. 운동 시에 이마는 온감과 냉감 민감도 모두 유의하게 감소한 반면, 손등은 냉감 민감도만 유의하게 감소하였다. 운동 시 이마의 온냉감 중성역 변화는 온감 및 냉감 민감도 감소에 의한 것이었고, 손등의 변화는 주로 냉감 민감도 감소에 의한 것이었다.

Gerrett et al. [4]은 이러한 현상의 주된 요인 중 하나로 운동 유발성 무통증(Exercis induced analgesia)을 제시하였다. 이는 신경계 기전 혹은 호르몬 분비에 영향을 받아 유발될 수 있다[19]. 신경계 측면에서, Ouzzahra et al. [7]은 움직임 그 자체가 시상하부와 체성감각피질(Somatosensory cortex)로 전달되는 감각 정보의 감소를 유발할 수 있다고

하였다. 이는 운동 수행 시 중추신경계가 움직임 통제에 필요한 정보에 집중하기 위해 다양한 감각 기관에서 전해지는 구심성 정보들 중 움직임 통제와 관련 없는 정보들의 흐름을 막거나 약화시키기 때문으로 추측된다[20].

호르몬 분비와 관련해서, Kempainen et al. [18]은 운동 시 인체의 온냉감 민감도 감소는 운동에 의해 유발되는 성장호르몬(Growth hormone)의 분비나 엔케팔린(Enkephalin), β -엔도르핀(β -endorphin)과 같은 내인성 오피오이드 펩타이드(Opioid peptide)의 분비가 체성 민감도(Somatic sensitivity)의 감소를 야기하는 역할을 하기 때문이라고 밝혔으며, Janal et al. [21]은 달리기 운동 이후 혈장의 β -엔도르핀(β -endorphin)수치 증가와 함께 열 통증 역치(Heat pain threshold)가 높아진 것을 확인하면서 이를 뒷받침하였다. 오피오이드 호르몬 외에도 운동 중 노르아드레날린(Noradrenaline) 호르몬의 분비는 냉감 민감도 감소를 유발할 수 있다. Folars et al. [22]은 운동이 노르아드레날린의 분비를 증가시킨다고 밝혔는데, Heroux [23]는 노르아드레날린에 대한 민감성이 높아진 쥐일수록 추위에 대한 내성이 높아진 것을 확인하였고 Kozzyreva [15]는 이온 도입법(Iontophoresis)을 통한 노르아드레날린 도입이 냉감 민감도의 감소를 야기하는 것을 확인하였다. Ouzzahra et al. [7]은 이를 종합하여 운동 시 온냉감 민감도의 감소는 운동 시 유발되는 호르몬 수준과 관련이 있다고 해석하였다.

이외에 운동에 따른 표피 온도 변화가 온냉감 민감도에 영향을 미칠 수 있다는 견해가 존재한다. Hirose et al. [24]은 건강한 남성들을 대상으로 외부 환경의 온도 변화가 온냉감 민감도에 미치는 영향에 대하여 표피 온도가 증가함에 따라 냉감 및 온감역치가 높아지고 이에 따라 온냉감 중성역의 넓이는 외부의 온도나 표피 온도에 상관없이 일정하다는 것을 확인하였다. 하지만 많은 선행 연구에서 운동은 온감 민감도뿐만 아니라 냉감 민감도의 감소 또한 야기하며, 이에 따라 온냉감 중성역의 넓이가 변화한다는 것을 확인하였다[4,7,18]. 본 연구에서도 안정 시와 운동 시 유의한 체온 차이가 없었음에도 불구하고, 운동 시 손등의 온냉감 중성역은 정상 환경과 저온 환경에서 안정 시 보다 유의하게 더 넓었으며, 이마의 온냉감 중성역은 운동 시에 고온 및 저온 환경에서 유의하게 더 넓은 것을 확인할 수 있었다. 따라서 운동에 의한 온냉감 민감도의 변화는 표피온도 변화 이외에 다른 생리학적인 요인에 의한 결과라고 추측할 수 있다.

3. 국소 부위 온도 스트레스 여부에 따른 차이

본 연구 결과는 국소 부위에 가해지는 저온 및 고온의 스트레스가 인체 온감 및 냉감역치를 변화시킴으로서 온냉감 중성역의 넓이가 변한다는 것을 확인하였다. 안정 시 이마의 온냉감 중성역은 고온 자극 환경에서만 유의하게 넓어졌으며, 운동 시 이마의 온냉감 중성역은 고온과 저온 자극 환경 모두에서 유의하게 넓어졌다. 손등은 안정 시와

운동 시 모두 고온 자극 환경에서만 유의하게 넓어졌다.

고온 및 저온 자극 시 냉감역치가 낮아지는 이유 중 하나는 교감신경계의 영향으로 보인다. 앞서 논의된 것과 같이 노르아드레날린 호르몬 분비는 냉감 민감도 감소를 야기한다[15,23]. 인체는 고온 자극에 노출되어 심부온도가 증가하면 교감신경계 활동을 촉진하여 심박출량 증가, 피부 혈관확장 등을 통해 대류(Convection)에 의한 열손실량을 높여 체온을 조절한다[25,26]. 반대로 강한 저온 자극에 노출 또한 교감신경계 활동을 촉진하고 이에 따라 노르아드레날린 호르몬 분비량이 증가한다[27]. 그러므로 국소 부위에 강한 고온 및 저온 자극에 노출되었을 때 교감신경계 활동이 촉진되고 이에 따라 증가한 노르아드레날린 분비량은 냉감 민감도 감소를 야기한다고 추측할 수 있다.

온도 스트레스에 따른 온냉감 민감도의 변화에 대해 생각해 볼 수 있는 다른 요인은 심리학적 요소 중 하나인 주의(Attention)이다. 다중자원 이론(Multiple-resource theory)에 따르면 주의를 수행되는 업무들에 할당될 수 있는 인지적 용량 혹은 자원처럼 비유되는데, 통증은 이러한 주의를 요구하고 다른 정보에 대한 주의를 방해할 수 있다[28]. 실제로 Walker [29]는 통증 유발 시 업무수행능력이 감소하는 것을 확인하였으며, Johnson et al. [30]의 연구에서는 통증이 유발될 때 온감을 감지하는 능력이 약화되는 것으로 나타났다. 이와 비슷한 맥락에서, Bushnell et al. [31]은 통증 외에도 시각 정보를 통한 주의 방해(Attention distraction)가 온열 자극에 대한 감지 능력을 낮출 수 있다는 것을 확인하였다. 따라서 본 연구에서 국소 부위에 가해진 고온 및 저온 스트레스는 각각 10°C와 45°C로, 강한 자극과 동시에 통증을 유발할 수 있으며, 이러한 높은 강도의 자극들이 온냉감 감지에 대한 주의를 방해하여 온냉감 민감도의 감소를 야기했다고 추측해 볼 수 있다.

결론

본 연구는 인체 부위, 국소 부위 온도 스트레스 그리고 운동 유무에 따른 온냉감 민감도 및 중성역의 유의미한 차이를 발견하였다. 손등과 이마의 온냉감 중성역은 국소 부위에 고온 및 저온 스트레스가 가해졌을 시 그리고 운동 수행 시 유의하게 더 넓어져, 손이나 발이 추위나 더위에 노출되는 상황에서의 신체 활동은 행동성 체온조절의 민감도를 낮추고 궁극적으로 냉·온열성 부상의 가능성이 높아질 수 있음을 시사한다. 그러나 국소 부위 온도 스트레스가 온냉감 민감도에 미치는 영향에 대해 명확히 결론짓기 위해서는 많은 후속연구가 필요하다. 후속연구에서는 본 연구에서 선정한 측정 부위 외에 다양한 부위를 선정하여 고온 및 저온 스트레스에 따른 인체 부위별 혹은 인체 부위 내 차이를 살펴볼 필요가 있다. 또한 심박변이도 및 혈중 노르아드레날린 농도 측정을 포함하여 교감신경계 활성에 따른 온냉감 민감도 차이를 살펴보고 Method of level 방법 채택을 포함한 다양한 방법론적 접근

을 통한 연구가 필요할 것으로 사료된다.

CONFLICT OF INTEREST

이 논문 작성에 있어서 어떠한 조직으로부터 재정을 포함한 일체의 지원을 받지 않았으며, 논문에 영향을 미칠 수 있는 어떠한 관계도 없음을 밝힌다.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Conceptualization: D Kim, J Kim; Data curation: D Kim, J Han, M Jang, J Kim; Formal analysis: D Kim, J Kim; Methodology: D Kim, J Han, M Jang, J Kim; Project administration: D Kim, J Han, M Jang, J Kim; Visualization: D Kim, J Kim; Writing-original draft: D Kim, J Kim; Writing-review&editing: D Kim, J Han, M Jang, J Kim.

ORCID

Dae-Hwan Kim	https://orcid.org/0000-0001-8650-3247
Jean-Hee Han	https://orcid.org/0000-0002-1238-107X
Min-Hyeok Jang	https://orcid.org/0000-0002-9851-2500
Jung-Hyun Kim	https://orcid.org/0000-0002-5422-8452

REFERENCES

1. Lee DT. Cutaneous thermal sensitivity and thermal sensation during exercise in human. *J KELES*. 2002;9(3):215-20.
2. Werner J, Reents T. A contribution to the topography of temperature regulation in man. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 1980;45(1):87-94.
3. Hammel HT, Pierce JB. Regulation of internal body temperature. *Annu Rev Physiol*. 1968;30(1):641-710.
4. Gerrett N, Ouzzahra Y, Redortier B, Voelcker T, Havenith G. Female thermal sensitivity to hot and cold during rest and exercise. *Physiol Behav*. 2015;152:11-9.
5. Ouzzahra Y. Regional thermal sensitivity to cold at rest and during exercise [dissertation]. Leicestershire county: Loughborough University 2012.
6. Gerrett N, Ouzzahra Y, Coleby S, Hobbs S, Redortier B, et al. Thermal sensitivity to warmth during rest and exercise: a sex comparison. *Eur J Appl Physiol*. 2014;114(7):1451-62.

7. Ouzzahra Y, Havenith G, Redortier B. Regional distribution of thermal sensitivity to cold at rest and during mild exercise in males. *J Therm Biol.* 2012;37(7):517-23.
8. Averbeck B, Seitz L, Kolb FP, Kutz DF. Sex differences in thermal detection and thermal pain threshold and the thermal grill illusion: a psychophysical study in young volunteers. *Biol Sex Differ.* 2017;8(1):1-3.
9. Inoue Y, Gerrett N, Ichinose-Kuwahara T, Umino Y, Kiuchi S, et al. Sex differences in age-related changes on peripheral warm and cold innocuous thermal sensitivity. *Physiol Behav.* 2016;164:86-920.
10. Kim SY, Park JH, Lee JY. Cutaneous warm and cool sensation thresholds and inter-threshold sensory zone of male fire fighters in Korea. *J KSLES.* 2014; 21(6):965-75.
11. Karvonen MJ. The effects of training on heart rate: a longitudinal study. *Ann Med Exp Biol Fenn.* 1957;35:307-15.
12. Choi JW, Seol H. Distributions of skin thermoreceptors and clothing weights of Korean urbanites and farmers. *J Physiol Anthropol Appl Human Sci.* 2001;20(6):375-7.
13. Stevens JC, Choo KK. Temperature sensitivity of the body surface over the life span. *Somatosens Mot Res.* 1998;15(1):13-28.
14. Burke WE, Mekjavic IB. Estimation of regional cutaneous cold sensitivity by analysis of the gasping response. *J Appl Physiol.* 1991;71(5):1933-40.
15. Kozyreva TV. Adaptive changes in temperature sensitivity in humans under the conditions of cold, heat, and prolonged exercise. *Hum Physiol.* 2006;32(6):721-5.
16. Shun CT, Chang YC, Wu HP, Hsieh SC, Lin WM, et al. Skin denervation in type 2 diabetes: correlations with diabetic duration and functional impairments. *Brain.* 2004;127(7):1593-605.
17. Cotter JD, Taylor NA. The distribution of cutaneous sudomotor and alliesthesial thermosensitivity in mildly heat-stressed humans: an open-loop approach. *J Physiol.* 2005;565(1):335-45.
18. Kemppainen P, Pertovaara A, Huopaniemi T, Johansson G, Karonen SL. Modification of dental pain and cutaneous thermal sensitivity by physical exercise in man. *Brain Res.* 1985;360(1-2):33-40.
19. Koltyn KF. Analgesia following exercise. *Sports Med.* 2000;29(2):85-98.
20. Rushton DN, Rughwell JC, Craggs MD. Gating of somatosensory evoked potentials during different kinds of movement in man. *Brain.* 1981;104(3):465-91.
21. Janal MN, Colt EW, Clark WC, Glusman M. Pain sensitivity, mood and plasma endocrine levels in man following long-distance running: effects of naloxone. *Pain.* 1984;19(1):13-25.
22. Floras JO, Vann Jones J, Hassan MO, Osikowska BA, Sever PS, et al. Failure of plasma norepinephrine to consistently reflect sympathetic activity in humans. *Hypertension.* 1986;8(8):641-9.
23. Heroux O. Comparison between seasonal and thermal acclimation in white rats: V. Metabolic and cardiovascular response to noradrenaline. *Can J Biochem Physiol.* 1961;39(12):1829-36.
24. Hirokawa TI, Dodo H, Hosokawa M, Watanabe S, Nishiyama K, et al. Physiological variations of warm and cool sense with shift of environmental. *Int J Neurosci.* 1984;24(3-4):281-8.
25. Gagnon D, Schlader ZJ, Crandall CG. Sympathetic activity during passive heat stress in healthy aged humans. *J Physiol.* 2015;593(9):2225-35.
26. Niimi Y, Matsukawa T, Sugiyama Y, Shamsuzzaman AS, Ito H, et al. Effect of heat stress on muscle sympathetic nerve activity in humans. *J Auton Nerv Syst.* 1997;63(1-2):61-7.
27. Victor RG, Leimbach Jr WN, Seals DR, Wallin BG, Mark AL. Effects of the cold pressor test on muscle sympathetic nerve activity in humans. *Hypertension.* 1987;9(5):429-36.
28. Eccleston C, Crombez G. Pain demands attention: a cognitive-affective model of the interruptive function of pain. *Psychol Bull.* 1999;125(3):356.
29. Walker J. Pain and distraction in athletes and non-athletes. *Percept Motor Skills.* 1971;33(3):1187-90.
30. Johnson MH, Breakwell G, Douglas W, Humphries S. The effects of imagery and sensory detection distractors on different measures of pain: how does distraction work? *Br J Clin Psychol.* 1998;37(2):141-54.
31. Bushnell MC, Duncan GH, Dubner RO, Jones RL, Maixner WI. Attentional influences on noxious and innocuous cutaneous heat detection in humans and monkeys. *J Neurosci.* 1985;5(5):1103-10.