



ISSN 1229-8565 (print) ISSN 2287-5190 (on-line)
 한국지역사회생활과학회지 35(1): 17~30, 2024
 Korean J Community Living Sci 35(1): 17~30, 2024
<http://doi.org/10.7856/kjcls.2024.35.1.17>

손가락 한랭혈관 반응에 기초한 국소 내한성과 인체 형태학적 특성 간의 관련: 겨울철 작업자 보호를 목적으로

이 호 준 · 김 규 량¹⁾ · 이 범 휘²⁾ · 김 시 연³⁾ · 이 주 영^{†4)}

서울대학교 의류학과 석사과정생 · 국립기상과학원 연구관¹⁾ · 서울대학교 인류학과 학사과정생²⁾ ·

FITI시험연구원 신뢰성연구센터 선임연구원³⁾ ·

서울대학교 의류학과 교수, 서울대학교 생활과학연구소 연구원,

차세대융합과학기술원 그래핀융합기술연구센터 부센터장⁴⁾

Relationship between Peripheral Cold Tolerance and Morphological Characteristics Based on Cold-Induced Vasodilation in the Fingers: to Protect Workers in Cold Environments

Ho-Joon Lee · Kyu Rang Kim¹⁾ · Beom-Hui Lee²⁾ · Siyeon Kim³⁾ · Joo-Young Lee^{†4)}

Graduate Student, Dept. of Fashion and Textiles, Seoul National University, Seoul, Korea

Senior Scientist, Research Applications Department, National Institute of Meteorological Sciences, Seogwipo, Korea¹⁾

Undergraduate, Dept. of Department of Anthropology, Seoul National University, Seoul, Korea²⁾

Senior Researcher, Reliability Assessment Center, FITI Testing & Research Institute, Seoul, South Korea³⁾

Professor, Dept. of Fashion and Textiles, Seoul National University, Seoul, Korea,

Adjunct Professor, Research Institute of Human Ecology, Seoul National University, Seoul, Korea,

Vice Director, Graphene Research Center for Convergence Technology, Advanced Institute of Convergence Technology,
 Suwon, Korea⁴⁾

ABSTRACT

The present study aimed to investigate the relationship between morphological parameters and local cold tolerance in the fingers to improve cold-protective interventions for workers under cold stress. Nine males (24.3 ± 3.5 y in age, 177.3 ± 4.1 cm in height, 73.1 ± 10.4 kg in body weight, $14.0 \pm 3.4\%$ in total body fat, and body mass index [BMI] of 23.2 ± 2.9 kg/m²) participated in a cold-induced vasodilation test (CIVD), for evaluating local cold-tolerance. Subjects immersed the 3rd finger of one hand in water at a temperature of 4.5°C. The trial consisted of a 10-min rest, 30-min finger immersion into cold water, and a 10-min recovery at an air temperature of 25°C. The results showed that the minimum and maximum temperatures on the third finger (T_{\min} and T_{\max}), the onset time of CIVD, and the frequency of the CIVD waves were $5.7 \pm 1.7^\circ\text{C}$, $12.3 \pm 2.3^\circ\text{C}$, 3.8 ± 1.1 min, and 6.6

Received: 24 January, 2024 Revised: 11 February, 2024 Accepted: 28 February, 2024

[†]Corresponding Author: Joo-Young Lee Tel: 82-2-880-8746 E-mail: leex3140@snu.ac.kr

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

± 1.1 times, respectively. There were significant relationships between the CIVD parameters and total body fat (%BF), BMI, or body weight. Specifically, subjects with a greater %BF or BMI had higher T_{\min} ($r=0.624$ for %BF, $r=0.595$ for BMI) and T_{\max} ($r=0.700$ for %BF, $r=0.645$ for BMI). In addition, a higher CIVD frequency resulted in a higher finger temperature during recovery after the cold immersion ($r=0.698$, $p=0.037$). These results indicate that morphological parameters, such as total body fat and BMI, can reflect the local cold tolerance of the hands. Individuals who have bulkier body physiques can better tolerate cold in their hands.

Key words: cold stress, cold strain, cold resistance, physical fitness, body mass index, total body fat

I. 서론

우리나라 1월 평균 기온은 $-6\sim 3^{\circ}\text{C}$ 이며 국내 가장 추운 지역으로 알려진 강원도 철원 지방의 최저 기온 기록은 -29.2°C (Korea Meteorological Administration [KMA] 2023)로 극한 추위에 해당한다. 전 지구적 기후변화의 영향으로 지난 10여 년 동안 우리나라의 연평균기온은 상승하고 폭염 일수도 증가하였지만(KMA 2023), 동시에 겨울철 한파 발생 빈도도 증가하여(Jeon & Cho 2015) 기후의 극단적 현상이 점점 심화되고 있다. 겨울철 한파에 노출된 일반 시민들뿐만 아니라, 냉동창고 내 물류 작업자, 항만 작업자, 수산업 종사자, 교통경찰이나 해경들은 일반인들이 겨울철 일상 생활 중 체감하는 한랭 스트레스 이상의 강한 추위에 마주하게 된다. 휴전선 비무장지대 근처에서 복무하는 육군이나 해상 강풍에 노출되는 해군들도 겨울철 한파에 취약한 직업군으로 분류될 수 있다. 추위 스트레스에 노출된 작업자 안전을 위한 작업과 휴식 스케줄의 조정, 적정 수준의 방한복 보급, 따뜻한 음료 제공, 인체 말단 부위 동상을 막기 위한 보호복(모자, 귀마개, 장갑, 신발류)을 제공하는 등의 정책이 적용되고 있으나, 대다수의 직업군에서 인력 수급 및 인건비의 문제로 작업/휴식 스케줄 조정은 탄력적이지 않다. 극한 추위

속에서 충분한 보온력을 제공하는 방한복은 인체 동작을 방해하여 오히려 작업 수행 능력을 저하시킬 수 있다. 손이나 발과 같은 인체 말단 부위 보온을 위해 여러 겹의 두꺼운 장갑이나 신발류를 착용하는 것도 손이나 발의 기민성을 손상시켜 작업 효율이 저하된다. 이에 대한 보완책으로 전기적 발열 기능을 부가하여 레이어링의 두께가 줄어드는 조끼나 장갑 등이 개발되고 있으나, 정기적으로 충전을 해야 한다는 번거로움과 세탁이 어렵다는 점, 작업 현장 보급용으로 구입하기엔 고비용이라는 측면에서, 스마트 발열 의류보다 전통적인 방한복이 여전히 선호되고 있다.

이상에서 언급한 방한 대책들을 보다 효율적으로 활용할 수 있는 방법 중 하나로 작업자 개인의 내한성(cold tolerance, 또는 cold resistance)을 평가한 후 작업자 개별 맞춤형 전략을 개발하는 방법이 있다. 여기서 '내한성'이란 추위를 견디는 능력으로, 생리적 내한성과 심리적(자각적) 내한성으로, 또는 전신 내한성과 국소 내한성으로 나눌 수 있다. 전신 내한성은 추위 스트레스 노출 시 심부온, 피부온, 대사량, 한서감, 온열 쾌적감 등의 증감에 기반하여 평가된다. 국소 내한성은 손이나 발, 귀와 같은 인체 말단 부위의 내한성으로 해당 부위의 국소 피부온 또는 혈류량의 증감, 국소 한서감, 또는 국소 온열 쾌적감 등의 변화를 통해 평

가된다(Park et al. 2017). 정신·심리적 내한성인 ‘자각적 내한성(self-identified cold tolerance)’은 개인 스스로 인지하고 있는 수준의 내한성으로, 이 수준에 따라 방한복 착용이나 실내 난방 온도 설정과 같은 체온조절성 행동이 나타난다. 선행연구들에 따르면, 일반적으로 여성에 비해 남성이 스스로 추위에 강하다고 자각하는 비율이 높지만(Ju et al. 2022), 추운 겨울철에도 난방이 제공되는 실내 환경 속에서의 생활로 인해 우리나라 젊은 남성이나 여성 모두 스스로 추위에 강하다고 생각하는 비율이 스스로 추위에 약하다고 생각하는 비율보다 훨씬 낮았다(Kim et al. 2016; Ju et al. 2022). 고령자를 대상으로 한 연구 및 서울과 부산 거주자를 대상으로 한 연구에서도 유사한 결과가 발견되어, 스스로 추위에 약하다고 생각하는 비율이 추위에 강하다고 생각하는 비율보다 훨씬 높다(Park & Lee 2016; Hyun et al. 2018). 특히, 고령 남녀의 자각적 내한내열성을 조사한 Park et al.(2018)에 따르면, 스스로 추위에 강하다고 응답하는 비율보다 약하다고 응답한 비율이 현저하게 높았고, 스스로 추위에 약하다고 생각할수록 겨울철 외출 시 착용하는 의복의 매수도 유의하게 많아, 자각적 내한성 수준이 체온조절성 착의 행동을 주도하는 인자임이 확인되었다.

현재 인간의 내한성을 다룬 연구들은 주로 전신 내한성을 다루고 있으며, 손이나 발과 같이 특정 말단 부위에서의 국소 내한성을 보고한 연구들은 상대적으로 적다. 최근 의류 소재 및 생산 기술의 발달로 매우 우수한 보온력을 가지면서 경량화된 방한복 상의(예: 패딩류)가 생산되면서 민간 뿐만 아니라 군인이나 경찰의 유니폼에도 적용되고 있는 반면, 인체 말단 부위 보온을 위한 장갑류나 부츠류의 보온력은 손이나 발을 충분히 보호할 수 있는 수준에 미치지 못한다고 보고된다(Kwon et

al. 2020). 한편, 2019년 코로나 범유행이 시작된 이후 택배나 배달업 종사자들이 급격히 증가하였고 이로 인해 배달 작업자들의 전자 기기 터치스크린 작업이 보편화되었으나, 겨울철 두꺼운 장갑으로 인해 터치스크린 작업을 위해 손에서 장갑을 잠깐 벗어야 하는 불편함을 감수해야 한다. 때문에, 겨울철 동상 방지뿐만 아니라 손의 기민성을 유지하여 작업의 효율성을 최대화할 수 있는 최적의 장갑 개발 연구들(Kwon et al. 2020; Shin et al. 2020)도 보고되었다.

전술한 바와 같이 겨울철 추위에 노출된 작업자들의 안전을 위해 손이나 발과 같은 인체 말단 부위의 보온은 필수적이며, 여러 겹의 두꺼운 장갑 착용으로 인한 기민성 저하를 최소화하기 위한 방법 중 하나로 개별 맞춤형 장갑 적용 전략을 개발할 필요가 있다. 개별 맞춤형 전략 개발을 위해 무엇보다 먼저 손의 내한성 수준이 정확히 평가되어야 할 것이다. 일반적으로 손의 내한성은 손가락의 한랭혈관확장(cold-induced vasodilation, CIVD) 반응을 통해 평가되는데(Lee et al. 2017; Park et al. 2017; Ko et al. 2020), 여기서 CIVD 반응이란 추위 노출 시 발생하는 ‘피부혈관 수축’ 반응이 아니라, 동정맥문합의 개방에 의해 피부혈관이 일시적으로 확장되는 현상을 의미한다. 전통적으로, 손가락 찬물 침지 시 CIVD 반응의 빈도 및 강도를 바탕으로 국소 내한성 수준을 평가해 왔는데, 비해녀 집단에 비해 고령 해녀의 손가락에서 CIVD 반응이 더 활발히 발생하였으며 이로 인해 손가락 최저온과 회복기 손가락 온도 모두 고령 비해녀군 보다 고령 해녀군에서 유의하게 높았고, 손가락 통증감은 유의하게 더 낮았다고 보고된다(Lee et al. 2013; Lee et al. 2017; Park et al. 2017). 즉, 일상생활 중 추위 노출 경험이 적은 집단에 비해 추위에 노출된 경험이 풍부한 집단(해녀

집단)의 국소 내한성이 상대적으로 더 높다고 볼 수 있다. 또한, 자각성 내한성과 손가락의 CIVD 반응의 관계에 대한 연구들(Park & Lee 2016; Shin et al. 2020)에 따르면, 손가락 국소 내한성과 자각적 전신 내한성 간에 유의한 상관성이 발견되어 스스로 추위에 강하다고 자각(인식)하는 사람일수록 생리적 반응에 기초한 국소 내한성 점수도 실제로 높게 나타나 전신에 대한 자각적 내한성을 바탕으로 손가락과 같은 국소 부위의 내한성을 유추할 수 있음을 확인하였다.

한편, 체격이 클수록 추위에 강하다고 믿어지는데, 이는 근육량이 많을수록 활동 대사량이 높아 인체 산열량 수준이 높고, 체지방량이 많을수록 추운 외기로의 열 손실이 적기 때문이다. 키와 체중으로 계산되는 체질량지수(Body mass index, BMI)는 인체 근육량과 체지방량을 종합적으로 반영하는 지수이며, 체지방율(%)은 추위 노출 시 인체로부터의 열 손실을 줄여주는 피부 단열 수준을 가늠해 볼 수 있는 지표이기 때문에 체질량지수, 체지방률, 혹은 피하지방 두께와 전신/국소 내한성 간의 관련성을 탐구할 필요가 있다. 그러나, 현재 체질량지수나 체지방율과 같은 인체 형태학적

요소들과 내한성 간의 상관을 살펴본 연구는 드물며(Jung et al. 2016), 특히 전신의 형태학적 특성과 국소 내한성 간의 관련성을 보고한 연구는 거의 없는 실정이다. 전신의 형태학적 요소를 반영하는 단순 지표들을 이용하여 인체 말단 부위의 내한성을 추정할 수 있다면, 키나 체중, 혹은 체지방율 정보만으로도 겨울철 실외 작업자의 인체 말단 부위 저온 질환 예방 정책에 효과적으로 반영할 수 있을 것이다. 이에 본 연구에서는 체질량지수, 체지방률, 피하지방 두께와 같은 인체 형태학적인 요소와 손의 국소 내한성 반응 간 상관을 탐구하였다. 본 연구의 가설은 다음과 같다: 첫째, 전신의 형태학적 요소인 체질량지수가 클수록 손가락 국소 내한성이 높을 것이다. 둘째, 전신의 형태학적 요소인 체지방율이 클수록 손가락 국소 내한성이 높을 것이다.

II. 연구방법

1. 피험자

본 연구는 인체 형태적 요소와 국소 내한성 간의 상관성 조사를 목표로 하기 때문에, 다양한 체

Table 1. Demographic and anthropometric characteristics of the subjects in the present study

Subject	Age (y)	Height (cm)	Body weight (kg)	Total body fat (%)	BMI ¹⁾ (kg/m ²)	BSA ²⁾ (m ²)	Body type based on BMI	Body type based on body fat (%)
1	25	178.0	58.1	10.2	18.3	1.76	Lean	Lean
2	20	171.0	56.6	8.6	19.4	1.69	Normal	Lean
3	23	179.5	72.1	13.9	22.4	1.95	Normal	Normal
4	30	174.6	73.4	17.6	24.1	1.92	Normal	Normal
5	27	173.7	72.2	12.3	23.9	1.90	Normal	Normal
6	27	185.0	83.2	13.8	24.3	2.11	Normal	Normal
7	20	180.5	78.3	17.9	24.0	2.02	Normal	Normal
8	26	176.0	76.2	13.5	24.6	1.96	Normal	Normal
9	21	177.3	88.2	17.9	28.1	2.10	Overweight	Slightly overweight
Mean	24.3	177.3	73.1	14.0	23.2	1.93		
SD	3.5	4.1	10.4	3.4	2.9	0.14		

¹⁾BMI, Body mass index, ²⁾BSA, Body surface area.

형과 체격 범위에 있는 피험자를 모집하였으며, 최종적으로 건강한 남성 9인(24.3 ± 3.5 세)이 본 연구에 참여하였다(Table 1). 피험자들의 BMI는 18.3~28.1 kg/m², 체지방률은 8.6%~17.9%의 범위로 마른 사람부터 과체중인 사람까지 골고루 포함되었다. 총체지방률은 생체전기저항분석법에 기반하여 체지방량을 추정하는 체성분 분석기(InBody 970, InBody, Korea)를 이용하여 추정되었으며, 체표면적은 키와 체중을 이용하는 다음 식 [BSA (cm²) = 73.31 × Height (cm)^{0.725} × Weight (kg)^{0.425}]을 이용하여 계산하였다(Lee et al. 2008). 피험자는 고혈압이나 당뇨, 심장 질환과 같은 주요 질환이 없고, 과거 저온 관련 질환 경험도 없는 건강한 한국인 성인 남성으로 구성하였다. 실험 참여 전 실험의 내용 및 잠재적 위험에 대한 설명이 피험자들에게 고지되었으며 모든 피험자들의 자발적 동의 하에 실험이 진행되었다. 실험 프로토콜은 서울대학교 연구윤리위원회의 승인을 받았다(IRB No. 2308/003-003).

2. 실험 환경 및 과정

피험자들은 실험 준비실에 도착한 후 실험 중 탈수를 방지하기 위해 생수(330 ml)를 마셨고 최초의 옷(팬티, 실험 가운)만 착용한 후 인체 천칭(Satorius, Germany; 해상도 1 g) 위에서 체중을 3회 측정하였다. 이후 피부온도 센서를 부착하고, 실험 의복인 긴 팔 상의와 긴 바지, 팬티를 입고 양말과 슬리퍼를 신었다. 피험자들이 주관적으로 춥지도 덥지도 않은 상태임을 확인한 후, 기온 25°C, 습도 50%RH로 유지되는 인공기후실로 들어가 본 실험을 시작하였다. 국소 내한성 실험은 저온수조에 왼손 중지를 30분 침지하는 동안 나타나는 국소 한랭혈관확장(Cold-induced vasodilation, CIVD) 반응 분석을 통해 이루어졌다. 피험자들은 인공기

후실에서 의자에 앉은 자세를 유지하였으며, 1회 실험은 10분 휴식, 30분 동안 한 손의 가운데 손가락을 찬물에 침지, 손가락을 찬물에서 뺀 후 10분간 동일 자세로 회복하는 것(총 50분)으로 구성되었다. 액체 순환 수조(RW-0525G, JEIO TECH, Korea)의 물 온도는 4°C로 설정되었으며 실험 중 실제 측정된 수조 내 물의 온도는 4.5 ± 0.2°C였다. 본 실험 동안 피험자들은 10분 또는 5분 간격으로 범주형 척도로 구성된 한서감, 온열쾌적감, 손가락 통증감에 대해 응답하였으며, 찬물 침지 전후 오른팔에서 혈압을 측정하였다.

3. 측정항목

피부온은 인체 11 부위(이마, 가슴, 복부, 견갑 부위[윗등], 상완, 전완, 대퇴, 종아리, 발등, 손등, 중지)에서 5초 간격으로 측정되었다(LT-8A, Gram Corporation, Japan). 특히, 중지의 경우 피부온 센서와 피부면 간에 찬물이 새어 들어가지 않도록 의료용 서지컬 테이프를 추가 사용하여 부착하였다. 수정된 Hardy and Dubois의 식을 이용하여 평균피부온을 추정하였다(Hardy & Dubois 1938):

$$\bar{T}_{sk} = 0.07T_{head} + 0.35(T_{chest} + T_{abdomen} + T_{upper\ back})/3 + 0.14(T_{upper\ arm} + T_{forearm})/2 + 0.05T_{hand} + 0.19T_{thigh} + 0.13T_{calf} + 0.07T_{foot}$$

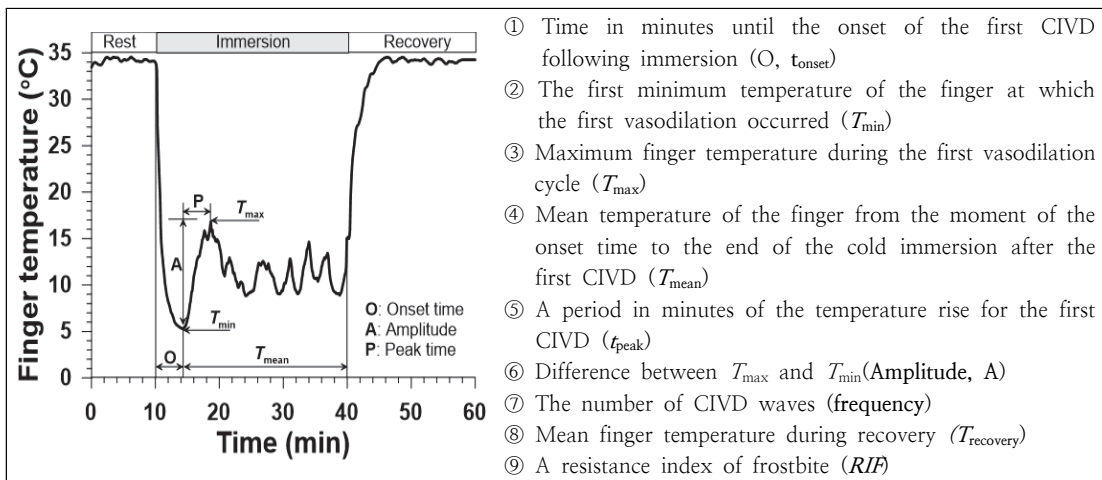
혈압은 디지털 혈압계(HEM-7200, Omron Healthcare, Japan)를 사용하여 실험 시작 직후와 실험 시작 40분 후 손가락 냉수 침지가 이루어지지 않는 반대 팔에서 각 3회씩 측정되었고, 3회 측정 평균값을 대푯값으로 사용하였다. 전신과 침지된 손가락의 한서감, 전신의 온열쾌적감, 침지된 손가락의 통증감은 다음 범주형 척도를 이용하여 10분(휴식 및 회복 중) 혹은 5분 간격(침지 중)으로 피험자에게 응답하게 하였다. 한서감은 9점 척도 [-4 매우 춥다, -3 춥다, -2 서늘(시원)하다, -1

약간 서늘(시원)하다, 0 보통이다, 1 약간 따뜻하다, 2 따뜻하다, 3 덥다, 4 매우 덥다 (ISO 10551, 2019), 온열 쾌적감은 7점 척도 [-3 매우 불쾌하다, -2 불쾌하다, -1 약간 불쾌하다, 0 보통이다, 1 약간 쾌적하다, 2 쾌적하다, 3 매우 쾌적하다], 통증감은 0부터 6까지 일곱 개의 숫자와 네 개의 문장이 복합된 범주형 척도 [0 전혀 아프지 않다, 2 약간 아프다, 4 아프다, 6 매우 아프다]를 사용하여 평가하였다.

4. 데이터 분석

결과는 SPSS 26 (SPSS, Inc., Chicago, IL)을 사용하여 분석하였다. 기본 통계량은 평균과 표준편차로 제시하였다. 변수들 간의 상관관계는 Pearson's correlation analysis를 이용하여 구하였다. 선행연구에서 보고된 CIVD 변수 값들과 본 연구 결과와의 집단 비교는 일원분산분석을 이용하였으며, 유의한 항목들에 대해 Tukey's HSD 사후분석을 실시하였다. 통계적 유의성은 $p < 0.05$ 수준으로 정하였다. 손가락의 국소한랭혈관반응에 기초한 국소 내한성은 다음 아홉 개 지표로 평가하였다: 찬물 침지 후 최초 CIVD가 발생하기까지

의 시간, 최초 CIVD 발생 시 손가락 최저온도 (T_{min}), 첫 번째 CIVD 발생 직후 손가락 최고온도 (T_{max}), 최초 CIVD 발생 시점부터 찬물 침지 종료 시까지 손가락 온도의 평균, 최초 CIVD 발생 직후 최고온 상승 시까지 소용된 시간, 손가락 최고온과 손가락 최저온 간의 차이, CIVD 발생 빈도, 손가락 침지 종료 후 회복기 동안 손가락 온도의 평균, 항동상지수(Fig. 1). CIVD의 발생 여부는 선행연구에 따라 손가락 온도가 1.0°C 이상 상승한 경우로 정의하였다(Cheung & Mekjavic 2007; Reynolds et al. 2007). 항동상지수(RIF)는 다음 세 가지 지표를 이용하여 계산되었다: T_{mean} (1점 ' $\leq 4.0^\circ\text{C}$ ', 2점 ' $4.1\sim 7.0^\circ\text{C}$ ', 3점 ' $\geq 7.1^\circ\text{C}$ '), T_{min} (1점 ' $< 1.5^\circ\text{C}$ ', 2점 ' $1.6\sim 4.0^\circ\text{C}$ ', 3점 ' $\geq 4.1^\circ\text{C}$ '), t_{onset} (1점 ' ≥ 12 분', 2점 ' $8\sim 11$ 분', 3점 ' ≤ 7 분'). 이때, 항동상지수는 최저 3점에서 최대 9점 사이로 추출되며, 점수가 낮을수록 국소 내한성이 낮다(약하다)고 평가된다(Yoshimura & Iida 1950).



- ① Time in minutes until the onset of the first CIVD following immersion (O, t_{onset})
- ② The first minimum temperature of the finger at which the first vasodilation occurred (T_{min})
- ③ Maximum finger temperature during the first vasodilation cycle (T_{max})
- ④ Mean temperature of the finger from the moment of the onset time to the end of the cold immersion after the first CIVD (T_{mean})
- ⑤ A period in minutes of the temperature rise for the first CIVD (t_{peak})
- ⑥ Difference between T_{max} and T_{min} (Amplitude, A)
- ⑦ The number of CIVD waves (frequency)
- ⑧ Mean finger temperature during recovery ($T_{recovery}$)
- ⑨ A resistance index of frostbite (RIF)

Fig. 1. Nine indexes for evaluating finger cold resistance using the cold-induced vasodilation test.

III. 결과

1. 손가락의 국소한랭혈관반응

피험자 9인의 국소한랭혈관반응 개별 데이터를 살펴보면, 중지 피부온은 찬물 침지와 함께 약 5°C 까지 빠르게 하강한 후, CIVD 반응이 주기적으로 발생하는 것이 관찰되며(Fig. 2A), 물에 직접 침지 되지 않은 손등 부위의 온도도 약간 하강함을 알 수 있다(Fig. 2B). 최저 손가락 온도(T_{min})는 5.7

$\pm 1.7^\circ\text{C}$, 최초 피부혈관확장 개시 시간은 3.8 ± 1.1 분, 손가락 최대온도는 $12.3 \pm 2.3^\circ\text{C}$, 회복기(10분) 평균 손가락 온도는 $29.2 \pm 2.2^\circ\text{C}$, 항동상 지수는 9.0 ± 0.0 점이였다(Table 2). 특히 30분 침지 후 10분의 회복만으로 초기 휴식기의 피부온 수준으로 회복가능함을 확인하였으며, 침지 전 안정 시 손가락 피부온이 30°C 이하였던 피험자 3인의 경우에도 회복기 10분 동안 30°C 이상까지 상승됨을 확인하였다.

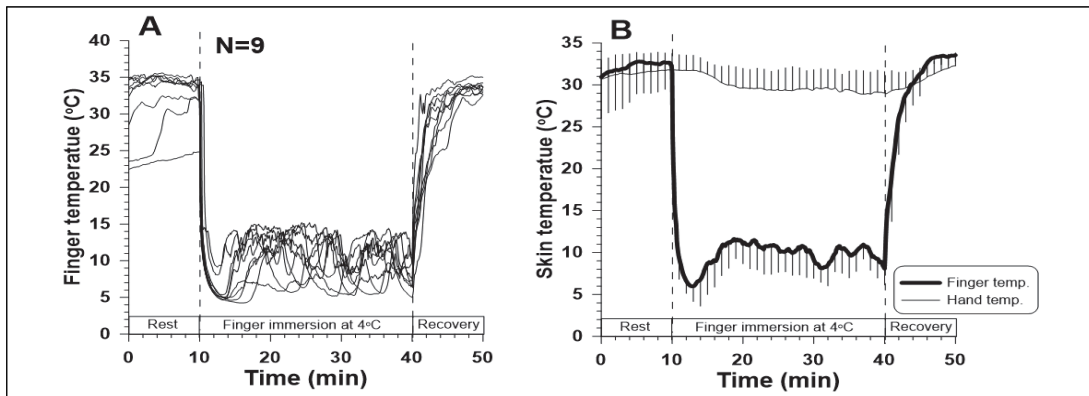


Fig. 2. Time courses of individual finger temperature (A) and average finger and hand temperatures (B) during the cold-induced vasodilation test in 4°C water.

Table 2. Cold-induced vasodilation (CIVD) parameters during the finger cold immersion test

	Young males in the present study (N=9)	Lee et al.(2017)			
		Older haenyeos (N=22)	Older non-diving females (N=25)	Young rural females (N=15)	Young urban females (N=51)
T_{min} (°C)	5.7 ± 1.7	7.6 ± 2.7^c	$6.4 \pm 2.2^b*$	$5.4 \pm 1.1^{ab*}$	$4.5 \pm 1.2^a*$
t_{onset} (min)	3.8 ± 1.1	4.2 ± 1.7	4.8 ± 1.5	4.4 ± 0.7	5.0 ± 1.1
T_{max} (°C)	12.3 ± 2.3	12.6 ± 3.0^b	12.9 ± 2.2^b	$16.6 \pm 1.9^c*$	$10.6 \pm 2.9^a*$
T_{mean} (°C)	10.3 ± 2.3	10.4 ± 2.5^b	10.9 ± 1.8^b	$13.4 \pm 1.6^c*$	$8.4 \pm 2.1^a*$
t_{peak} (min)	3.8 ± 1.4	12.6 ± 7.3	12.4 ± 4.5	11.0 ± 2.7	13.0 ± 3.7
$T_{max} - T_{min}$ (°C)	6.7 ± 2.5	5.0 ± 2.2^a	6.5 ± 2.6^a	$11.2 \pm 2.2^b*$	6.0 ± 2.7^a
Frequency of CIVD waves	6.6 ± 1.1	3.9 ± 2.2^a	2.9 ± 1.2^a	$5.5 \pm 2.5^b*$	2.8 ± 1.6^a
$T_{recovery}$ (°C)	29.2 ± 2.2 (recovery 10 min)	32.4 ± 0.8^b (recovery 20 min)	$31.3 \pm 1.6^a*$ (recovery 20 min)	32.8 ± 1.1^b (recovery 20 min)	31.9 ± 2.0^{ab} (recovery 20 min)
Resistance Index of Frostbite, <i>RIF</i>	9.0 ± 0.0	8.8 ± 0.4^b	8.8 ± 1.6^{ab}	9.0 ± 0.0^{ab}	$8.1 \pm 0.8^a*$

^{a,b,c}Group differences by Tukey's honest significance test (HSD); *post-hoc* test; *Significant difference from Haenyeos at $p < 0.05$.

2. 손가락의 국소냉혈관반응과 인체 형태학적 특징 간의 상관

체지방율(% BF)은 손가락 최저온, 최고온, 평균온과 유의한 양의 상관성을 보여 체지방율이 높을수록 손가락 최저온, 최고온, 평균온이 높았으며 (Table 3, Fig. 3), 체질량지수(BMI)와 CIVD 지표들 간에도 유사한 상관성이 발견되었다. 즉, 체격이 크거나 비만일수록 인체 말단 부위의 피부온이 높아 국소 내한성이 더 높다고 평가되었다. 한편, 체중이 많이 나갈수록 CIVD 최초 발현 시간이 길

었으며, CIVD 발현 빈도는 더 적었다. 즉, 찬물 침지 시 피험자의 체중은 손가락의 피부온보다는 CIVD의 발현 시간 및 빈도와 관련성을 보였다. 한편, 국소 내한성 지수들 간에도 상관성이 발견되어, 찬물 침지 시 손가락 최저온이 높을수록 CIVD 개시 시각은 늦었으나, 손가락 최대온에 도달하는 시간은 빨랐다(Table 3). 찬물 침지 시 손가락에서의 CIVD 발현 빈도가 많을수록 회복기에서의 손가락 피부온 평균값도 높았다(Table 3).

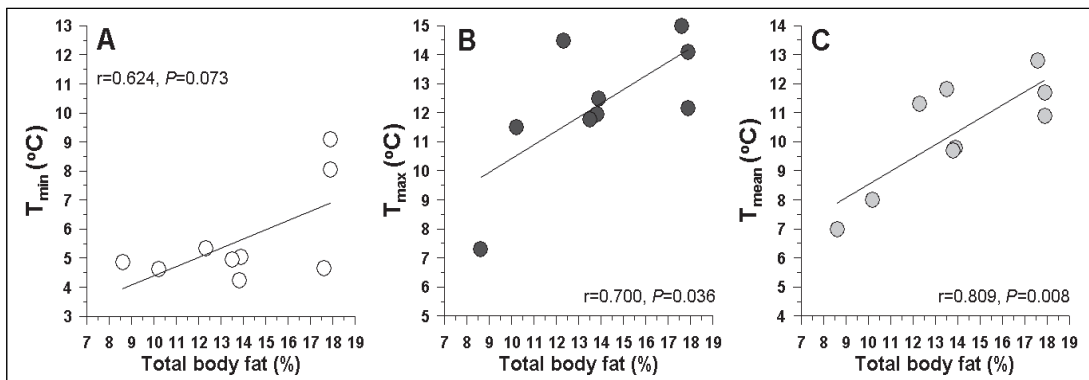


Fig. 3. Relationship between total body fat (%) and CIVD parameters: T_{min} (A), T_{max} (B) and T_{mean} (C) (N=9).

Table 3. Correlation coefficients between CIVD parameters and morphological factors

Relationships	r	P value
Total body fat (%) × T_{min}	0.624	0.073
Total body fat (%) × T_{max}	0.700	0.036
Total body fat (%) × T_{mean}	0.809	0.008
Body mass index × T_{min}	0.595	0.091
Body mass index × T_{max}	0.645	0.060
Body mass index × T_{mean}	0.739	0.023
Body weight × Onset time	0.717	0.030
Body weight × Frequency	-0.684	0.042
T_{min} × Onset time	-0.707	0.033
T_{min} × Peak time	-0.675	0.046
T_{max} × T_{mean}	0.798	0.010
Frequency × $T_{recovery}$	0.698	0.037

3. 평균피부온도 및 혈압

손가락 찬물 침지 동안 평균피부온도는 하강하지 않고 유지되거나 점점 증가하는 경향이 발견되었다(Fig. 4). 처음 10분 안정기에서 수축기 및 이완기 혈압은 119 ± 6 mmHg와 79 ± 6 mmHg였으며, 찬물 침지 종료 직후 혈압은 각각 117 ± 5 mmHg 와 79 ± 7 mmHg로, 침지 전후 혈압은 유의한 차이 없이 정상 범위를 유지하였다.

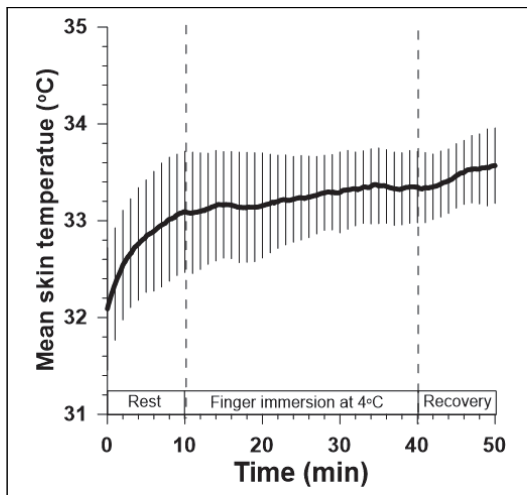


Fig. 4. Time courses of the mean skin temperature during the cold-induced vasodilation (CIVD) test (N=9).

4. 한서감, 온열쾌적감, 통증감

전신 한서감과 전신 온열 쾌적감은 30분 찬물 침지로 인한 큰 변화 없이 평균적으로 '1점: 약간 따뜻하다'와 '0.5점: 보통이다~약간 쾌적하다' 수준이 관찰되었다(Fig. 5). 침지된 손가락 한서감의 경우 침지와 함께 평균 -3점으로 '춥다' 수준까지 하강했으나, 침지 10분 후 1점 상승하여 '서늘하다' 수준을 유지하였고, 찬물 침지 종료 후 회복기에는 다시 춥지도 덥지도 않은 열중성 수준까지 회복되었다(Fig. 5). 손가락의 통증감은 손가락의 한서감과 유사한 변화를 보여, 침지 직후부터 5분

동안 "아프다"에서 "매우 아프다" 수준을 보여 주었으나, 침지 10분부터 통증감은 완화되어 "약간 아프다"와 "아프다" 수준이 유지되었다(Fig. 5).

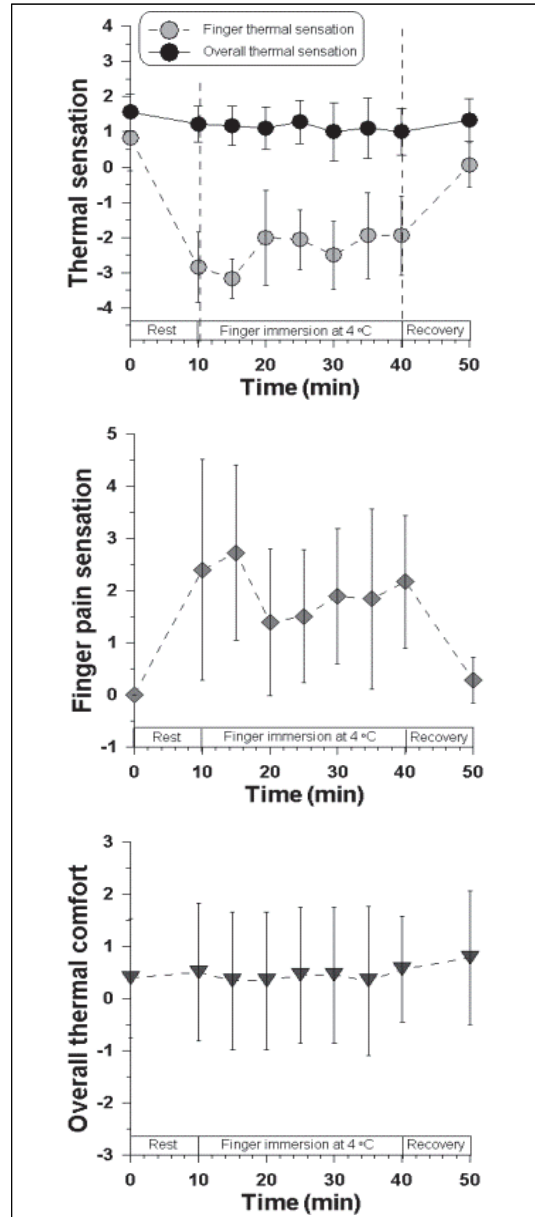


Fig. 5. Time courses of thermal sensation, pain sensation, and thermal comfort during the cold-induced vasodilation (CIVD) test.

IV. 고찰

본 연구의 첫 번째 가설인 '전신의 형태학적 요소인 체질량지수(BMI)가 클수록 손가락 국소 내한성이 높을 것이다'와 두 번째 가설인 '전신의 형태학적 요소인 체지방율이 높을수록 손가락 국소 내한성이 높을 것이다'는 모두 수용되었다. 손가락 국소 내한성 평가를 위해 사용되는 CIVD 반응 평가 결과, 체지방율과 체질량지수가 높을수록 침지 중 손가락의 최저온과 최고온, 평균온이 모두 높아 국소 내한성으로 높은 것으로 평가되었다.

전통적으로, CIVD 반응에 영향을 주는 환경적 혹은 실험적 요인으로 환경온도, 일일 시간대, 계절, 심부온 수준, 냉각 물질, 냉각되는 피부면적, 고도(저산소/저압) 등이 있으며, 개인적 요인으로는 연령, 성, 체력, 피로도, 정신적 스트레스, 추위 적응 정도, 식이, 음주, 흡연 등을 들 수 있다 (Daanen 2003). 실험이 이루어지는 환경온이 높다면 피험자의 심부온이 상대적으로 높기 때문에 CIVD 발생이 더 자주, 더 높은 손가락 피부온도에서 나타나는 경향이 있다(Daanen 2003). CIVD 개시 시각이나 빈도도 심부온과 관련이 있는데, 환경온이 높은 경우 또는 여름철, 또는 오후 시간대에 CIVD 반응이 더 빨리 나타난다(Kramer & Schulze 1948; Daanen 1997; Daanen & Ducharme 1999). 본 연구에서는 환경온의 영향을 최대한 배제하기 위해 심부온이 쾌적 수준으로 유지될 수 있는 환경(출지도 덥지도 않은 환경온과 쾌적 착의량)에서 실험을 수행하였다. 인체 말단 부위 국소한랭반응 유발을 위한 냉각제로 물, 공기, 또는 차가운 금속 표면이 이용되어 왔는데, 일반적으로 물의 열전도도가 공기에 비해 25배 정도 높고, 차가운 금속의 경우 대체로 피부의 한 측면만 접촉시킬 수 있기 때문에, 찬 공기나 차가운 금

속보다 찬 물이 선호된다. 찬 물을 사용할 때 어느 정도의 찬 물이 적정한가에 대한 동의는 없지만 15℃ 이상의 물에서는 CIVD가 발현되지 않았고, 0℃는 물이 어는 온도로 너무 낮기 때문에 5℃ 수준의 물이 CIVD 반응 유발에 적합한 온도로 권장되어 왔다(Hirai et al. 1970). 찬 물에 노출되는 피부 면적에 따라서도 다른 CIVD 반응이 발견되는데, 물의 온도와 침지 시간에 따라 손가락만 침지하거나, 한 손 전체 또는 아래팔까지 침지될 수 있다. Sendowski et al.(1997)에 따르면 5℃로 유지되는 찬 물에 손가락 침지, 손 침지, 손과 아래팔 침지 조건들을 비교한 결과 손가락 침지 시 CIVD 반응이 가장 잘 발현되었다고 보고하였다. 본 연구에서도 4.5℃ 물에 왼손 중지만을 침지하도록 하였기 때문에 CIVD 발현이 가장 잘 유발되는 실험 조건이 설정되었다고 볼 수 있다. 고산 지대에서는 저산소 대기로 인해 CIVD 발현이 상대적으로 지연된다는 보고도 있다(Mathew et al. 1977).

연령의 경우, 청년군에 비해 고령자의 CIVD 반응이 지연된다고 보고되는데 이는 고령화로 인해 교감신경성 혈관 수축 반응이 감소하고, 동시에 대사량 저하로 안정 시 심부온도 청년군에 비해 낮기 때문인 것으로 이해된다(Spurr et al. 1955; Sawada 1996). 한편, 안정 시 말단 부위 피부온과 혈류량은 남성이 여성보다 높다고 알려져 있으나(Cooke et al. 1990), CIVD 반응에서 성차 유무는 연구에 따라 다르다. 찬물 침지 시 CIVD 반응에서 성차는 유의미하지 않았다는 보고들이 있는 반면(Miller & Irving 1962; Tanaka 1971), Reading et al.(1997)은 여성보다 남자에게서 더 활발한 CIVD 반응을 보고했다. 본 연구에는 청년군 남자 만이 실험에 참여하여 성차를 비교할 수 없다. 이에 한국인 20대 여성들의 CIVD 결과를 보고한 Lee et al.(2017)의 결과와 본 연구 결과

를 비교해 보면, 본 연구에 참여한 남성들이 도시 거주 여성들에 비해 찬물 침지 시 손가락 최저온도는 평균 1.2°C 더 높고, CIVD 개시도 1.2초 빠르며, 손가락 최고온도 평균 1.7°C 더 높고, CIVD 발현 빈도도 평균 4회 더 많아 더 좋은 국소내한성을 가지고 있다고 평가할 수 있다(Table 2). 그러나 본 연구 결과를 농촌에 거주하는 20대 한국 여성들과 비교 시 유사한 수준 혹은 약간 취약한 수준의 국소 내한성이 관찰되었다(Table 2). 즉, Lee et al.(2017)의 연구 결과와 본 연구 결과를 비교할 경우, 도시에 거주하는 젊은 남성은 도시에 거주하는 젊은 여성에 비해 더 우수한 국소 내한성을 가지는 것으로 평가할 수 있다. CIVD 발현에 가장 유의미한 개인적 요소 중 하나가 추위 적응(cold acclimatisation)으로 평소 추위에 자주 노출되는 집단(예: 심해 잠수부, 극지방 에스키모, 일본 아이누인, 노르웨이 유목민, 노르웨이 어부, 극지 훈련받은 군인, 냉동창고 작업자 등)일수록 국소 내한성이 더 발달한 것으로 보고된다(Nelms & Soper 1962; Daanen 2003). 본 연구에 참여한 피험자 모두 한국에서 태어나 해외 거주 없이 한국에서 살아온 남자 대학(원)생으로 추위 적응 수준은 피험자 9인 간 서로 유사한 수준일 것이라 간주할 수 있다. 추가로, 단백질이나 소금, 비타민 C를 과다 섭취하는 경우 CIVD 반응이 활성화되며, 알코올 섭취 후 단기 혈관확장으로 CIVD 반응이 활성화되거나 혈관수축이 지연되어 결국 과다 열손실로 저체온증의 위험이 높아진다(Yoshimura & Iida 1952; Livingstone 1976; Granberg 1991).

즉, 이상에서 서술한 바와 같이 지난 70여 년간 CIVD에 영향을 미치는 다양한 환경적, 실험적, 개인적 요인들에 대한 연구들이 축적되어 왔으나, 개인의 체형적 또는 형태적 요인과의 관련성이 보

고된 바는 거의 없다. 이러한 점에서 본 연구의 의의가 매우 크다고 볼 수 있다.

한 가지 흥미로운 결과는, 체질량지수가 클수록 (혹은 체지방률이 높을수록), 찬물 침지 시 CIVD 시험 중 손가락 온도의 상승 반응이 더 활발하게 나타난 반면, 체중과 CIVD 반응(개시 시각 및 발생 빈도) 간 상관관계는 상반된 관련성을 보였다는 점이다(Table 3). 즉, 체질량지수가 클수록 (혹은 체지방률이 높을수록) 추위 노출 시 손가락의 최저온도나 최고온도, 평균온도 등이 유의하게 높았으나, CIVD 개시 시각이나 CIVD 발현 빈도와는 유의한 상관관계가 발견되지 않았다. 오히려, 체중이 많이 나갈수록 CIVD는 늦게 개시되고, CIVD 발현 빈도도 더 적어, 더 취약한 국소 내한성이 발견되었다(Table 3). 상반된 결과처럼 보이는 본 결과를 설명하기 위해 먼저 CIVD 변수들의 특성에 대한 이해가 필요하다. Fig. 1에 설명된 것처럼, CIVD 실험 결과 분석을 위한 여러 가지 변수들은 크게 온도와 관련된 변수, 혹은 시간/빈도와 관련된 변수로 구분된다. 본 연구 결과, 체질량지수나 체지방률은 온도 변수들과 상관성을 보인 반면, 체중은 시간 및 빈도 변수와 관련성을 보인 것으로 해석할 수도 있다. 그러나 Table 1에 제시된 피험자 9인의 체중과 체질량지수, 체지방률의 순서를 살펴보면 체중과 체질량지수 간의 순서가 크게 다르지 않음을 알 수 있다. 다만, 6번 피험자의 경우 체중은 많이 나가나 큰 키로 인해 체질량지수는 5번과 7번 피험자 수준에 위치한다. 이러한 불일치는 추후 더 다양한 체형의 피험자들을 대상으로 에너지 대사량, 심부온, 손가락 혈류량 등의 추가 측정을 통해 해석이 가능할 것이다.

본 연구 결과, CIVD 변수들 간에도 유의한 상관관계를 보여, 찬물 침지 동안 손가락의 최저온도가 높을수록 CIVD 개시 시각이 더 빠르고, 손가락 최

대문에 도달하는 시각도 더 빠르며, CIVD 발현 빈도가 많을수록 회복기 손가락 온도도 높았다 (Table 3). 체중이 많이 나갈수록 CIVD 발현 빈도가 적었고, CIVD 발현 빈도가 적을수록 회복기 손가락 온도도 낮았기 때문에 체중이 많이 나갈수록, 찬물 침지 종료 후 손가락 온도의 회복이 지연될 수도 있을 것이라 추측할 수 있다. 본 연구에서 통계적 유의성은 발견되지 않았지만 체질량지수가 큰 피험자들(침지 시 손가락 최저온도가 상대적으로 높은 피험자들)의 CIVD 개시 시각도 더 빠를 것이라 추측해 볼 수 있다. 그러나 이러한 추측은 보다 넓은 범위의 체형 특성을 가지는 피험자 추가 모집을 통해 검증 가능하며 본 실험 결과를 통해 단정할 수 있지는 않다.

하지만, 본 연구에서 얻어진 결과만으로도 체형(또는 체격)이 클수록 상대적으로 높은 손가락 피부온도로 인해 동상에 대한 취약성이 낮아질 것이라 예상할 수 있다. 이는 상대적으로 많은 근육량은 에너지 대사량과 산열량의 더 큰 증가를 유발함과 동시에, 더 큰 체지방율로 인해 인체 단열 효과가 증가하기 때문에 체격이 클 경우 겨울철 인체 열저장에 보다 유리하한데, 이러한 점이 찬물 침지 시 손가락 피부온도 유지에도 영향을 미친 것으로 추정해 볼 수 있다. 앞서 서술한 바와 같이, 심부온이 높은 경우 CIVD 반응이 보다 활성화되는 경향이 있으므로, 더 높은 산열량과 더 낮은 방열량의 조합으로 체내 열저장량은 상승하기 때문에 체격이 큰 경우 말단 부위 피부온도 더 높게 유지된 것으로 추측 가능하다. 추후 더 넓은 범위의 피험자들을 대상으로 에너지 대사량 및 심부온, 혈류량, 피부온 등의 동시 측정을 통해 이러한 해석에 대한 기전이 설명될 수 있을 것이다.

V. 요약 및 결론

본 연구에서는 겨울철 한파 등 극한 추위에 노출된 작업자나 경찰, 군인들의 인체 말단 부위 동상 및 저온 질환 예방을 위한 대책 개발 시 인체 형태학적 요소의 활용 가능성을 탐구하였다. 이를 위해 마른 체형부터 과체중에 해당하는 남성 피험자 9인이 손가락 찬물 침지 실험에 참여하였다. 본 연구의 새로운 발견은 개인의 체질량지수와 체지방율 모두 국소 내한성을 구성하는 특정 변수들과 유의한 상관을 보였다는 점으로, 체격이 크거나 체지방율이 높을수록 찬물 침지 동안 손가락의 최저온과 손가락 최고온이 높아, 체격이 작거나 체지방율이 낮은 피험자에 비해 겨울철 추위 노출 시 인체 말단 부위 동상에 대한 취약성이나 국소 부위 저온 질환에 대한 위험이 적을 것이라 예측되었다. 이는 겨울철 현장 작업자들의 국소 내한성을 직접 측정하지 않고도 체격 및 체형 요소만으로 국소 부위 동상 방지 대책을 시도할 수 있음을 시사한다. 다만, 체질량지수 및 체지방율은 피부온도와 관련된 변수들과 유의한 양의 상관을 보인 반면, 체중은 CIVD 개시 시각 및 CIVD 발현 빈도와 유의한 음의 상관을 보였으므로, 이를 정확히 해석하기 위해 추후 보다 넓은 체형(체격) 범위에서 피험자들을 선정한 후 심부온 및 대사량, 혈류량 등을 추가한 실험 분석이 필요하다. 또한 마른 체형 집단과 과체중 집단에 해당하는 피험자들을 충분히 확보하여 집단 간 비교 결과도 분석할 필요가 있다. 일련의 종합적 해석을 통해, 국소 부위 저온 질환 예방에 효과적인 개인 맞춤형 방한 대책이 개발될 수 있을 것이다.

감사의 말

본 연구는 기상청 국립기상과학원 생명기상 및 농림기상 기술개발(KMA2018-00626) 및 과학기술정보통신부의 한국연구재단기초연구사업(2022 R1A4A503404611)으로부터 지원받아 수행되었습니다. 연구 행정에 도움을 준 허윤정과 정호연, 영문 교정에 도움을 준 Andrew Gorski에게 감사드립니다.

References

- Cheung SS, Mekjavic IB(2007) Cold-induced vasodilatation is not homogenous or generalizable across the hand and feet. *Eur J Appl Physiol* 99(6), 701-705. doi:10.1007/s00421-006-0383-6
- Cooke JP, Mark A, Osmundson PJ, Shepherd JT (1990) Sex differences in control of cutaneous blood flow. *Circulation* 82(5), 1607-1615. doi:10.1161/01.cir.82.5.1607
- Daanen HAM(2003) Finger cold-induced vasodilation: a review. *Eur J Appl Physiol* 89, 411-426. doi:10.1007/s00421-003-0818-2
- Daanen HAM(1997) Central and peripheral control of finger blood flow in the cold. Thesis, Free University, Amsterdam, The Netherlands
- Daanen HAM, Ducharme MB(1999) Finger cold-induced vasodilation during mild hypothermia, hyperthermia and at thermoneutrality. *Aviat Space Environ Med* 70, 1206-1210
- Granberg PO(1991) Alcohol and cold. *Arct Med Res* 50(Suppl. 6), 43-47
- Hirai K, Horvath SM, Weinstein V(1970) Differences in the vascular hunting reaction between Caucasians and Japanese. *Angiol* 21, 502-510. doi:10.1177/000331977002100802
- Hyun CS, Roh SH, Kim DH, Son SY, Baek YJ, Kim KR, Lee JY(2018) Comparison of the perception of summer heat wave and thermoregulatory. *Korean J Community Living Sci* 29(1), 17-32. doi:10.7856/kjcls.2018.29.1.17
- ISO 10551(2019) Ergonomics of the physical environment: subjective judgement scales for assessing physical environments. International Organization for Standardization
- Jeon MJ, Cho YS(2015) An analysis of a winter-time temperature change and an extreme cold waves frequency in Korea. *J Climate Change Res* 6(2), 87-94. doi:10.15531/KSC CR.2015.6.2.87
- Ju HY, Kim KR, Gorski A, Lee JY(2022) Sex-related differences in cognitive heat stress and thermoregulatory behavior of adults in urban areas during summer. *Korean J Community Living Sci* 33(4), 589-605. doi:10.7856/kjcls.2022.33.4.589
- Jung DH, Kim D, Park J, Lee JY(2016) Greater body mass index is related to greater self-identified cold tolerance and greater insensible body mass loss. *J Physiol Anthropol* 35(1), 16. doi:10.1186/s40101-016-0105-7
- Kim DM, Jeong DH, Park JH, Lee JY(2016) Thermoregulatory behavior and self-identified thermal tolerance of young males residing in urban area. *Korean J Community Living Sci* 27(2), 245-263. doi:10.7856/kjcls.2016.27.2.245
- Ko YL, Seol SH, Kim GH, Yu HH, Lee JY(2020) Effects of cold exposure discontinuation on finger cold-induced vasodilation of older retired korean female divers 'haenyeos'. *J Therm Biol* 93, 102703. doi:10.1016/j.jtherbio.2020.102642
- Korea Meteorological Administration(2023) Domestic weather data. Korea Meteorological Administration. Available from https://devweather.kma.go.kr/weather/climate/average_regional.jsp [cited 2023 February 9]
- Kwon JY, Jung DH, Kim SY, Jeong WY, Lee JY (2020) Performance of conductive gloves when using electronic devices in a cold environment: manual dexterity, usability and thermoregulatory responses. *Fashion Text Res J* 22(5), 686-695. doi:10.5805/SFTI.2020.22.5.686
- Lee JY, Bakri I, Matsuo A, Tochiyara Y(2013) Cold-induced vasodilation and vasoconstriction in the finger of tropical and temperate indigenes. *J Therm Biol* 38(2), 70-78. doi:10.1016/j.jtherbio.2012.11.004
- Lee JY, Choi JW(2008) Determination of body surface area and formulas to estimate body surface area using the alginate method. *J*

- Physiol Anthropol 27(2), 71-82. doi:10.2114/jpa2.27.71
- Lee JY, Park JH, Koh ES, Cha SW(2017) Finger cold-induced vasodilation of older Korean female divers, haenyeo: effects of chronic cold exposure and aging. *Int J Biometeorol* 61, 1299-1306. doi:10.1007/s00484-017-1308-2
- Livingstone SD(1976) Effect of vitamin C on cold-induced vasodilation. *Lancet* 7, 319-320. doi:10.1016/s0140-6736(76)90778-9
- Mathew L, Purkayastha SS, Selvamurthy W, Malhotra MS(1977) Cold induced vasodilatation and peripheral blood flow under local cold stress in man at altitude. *Aviat Space Environ Med* 48(6), 497-500
- Miller LK, Irving L(1962) Local reactions to air cooling in an Eskimo population. *J Appl Physiol* 17, 449-455. doi:10.1152/jappl.1962.17.3.449
- Nelms JD, Soper DJG(1962) Cold vasodilation and cold acclimation in the hands of British fish filleters. *J Appl Physiol* 17, 444-448. doi:10.1152/jappl.1962.17.3.444
- Park JH, Lee JY(2016) Relationships of self-identified cold tolerance and cold-induced vasodilatation in the finger. *Int J Biometeorol* 60, 521-529. doi:10.1007/s00484-015-1048-0
- Park JH, Jang YJ, Lee JY(2017) Effects of contralateral hand immersion in hot water on physiological responses and subjective perceptions during finger cold-induced vasodilatation test, *J Korean Soc Living Environ Sys* 24(2), 216-220. doi:10.21086/ksles.2017.04.24.2.213
- Park JH, Baek YJ, Roh SH, Lee JY(2018) Comparison of self-identified thermal tolerance and wearing habits in winter between the elderly males and females. *J Korean Soc Cloth Text* 42(3), 530-543. doi:10.5850/JKSCT.2018.42.3.530
- Reynolds LF, Mekjavic IB, Cheung SS(2007) Cold-induced vasodilatation in the foot is not homogenous or trainable over repeated cold exposure. *Eur J Appl Physiol* 102(1), 73-78. doi:10.1007/s00421-007-0566-9
- Shin SR, Kwon JY, Lee JY(2020) Relationship between self-identified cold tolerance and local cold tolerance of the other hand which is evaluated by cold-induced vasodilation while wearing a protective glove in a cold environment. *J Korean Soc Living Environ Sys* 27(5), 573-585. doi:10.21086/ksles.2020.10.27.5.573
- Sawada S(1996) Cold-induced vasodilation response of finger skin blood vessels in older men observed by using a modified local cold tolerance test. *Ind Health* 34(1), 561-556. doi:10.2486/indhealth.34.51
- Sendowski I, Savourey G, Besnard Y, Bittel J(1997) Cold induced vasodilation and cardiovascular responses in humans during cold water immersion of various upper limb areas. *Eur J Appl Physiol* 75(6), 471-477. doi:10.1007/s004210050191
- Spurr GB, Hutt BK, Horvath SM(1955) The effects of age on finger temperature responses to local cooling. *Am Heart J* 50, 551-555. doi:10.1016/0002-8703(55)90300-8
- Tanaka M(1971) Experimental studies on human reaction to cold - differences in the vascular hunting reaction to cold according to sex, season and environmental temperature. *Bull Tokyo Med Dent Univ* 18, 269-280
- Yoshimura H, Iida T(1952) Studies on the reactivity of skin vessels to extreme cold. Part II. Factors governing the individual difference of the reactivity, or the resistance against frostbite. *Jpn J Physiol* 2(3), 177-185. doi:10.2170/jjphysiol.2.177
- Yoshimura H, Iida T(1950) Studies on the reactivity of skin vessels to extreme cold. Part I. A point test on the resistance against frostbite. *Jpn J Physiol* 1, 147-159. doi:10.2170/jjphysiol.1.147