

‘발열내복’이라 광고되는 시판 기능성 보온내복의 씨멀 마네킹과 인체 착용 실험을 통한 체온조절 성능 평가

이호현¹⁾ · 이영란²⁾ · 김지은²⁾ · 김시연²⁾ · 이주영^{1,2)†}

¹⁾서울대학교 생활과학연구소

²⁾서울대학교 의류학과

Evaluation of Thermoregulatory Properties of Thermal Underwear Named as ‘Heating Underwear’ using Thermal Manikin and Human Performance Test

Hyo-Hyun Lee¹⁾, Young-Ran Lee²⁾, Ji-Eun Kim²⁾, Siyeon Kim²⁾, and Joo-Young Lee^{1,2)†}

¹⁾Research Institute of Human Ecology, Seoul National University; Seoul, Korea

²⁾Dept. of Textiles, Merchandising and Fashion Design, Seoul National University; Seoul, Korea

Abstract : This study evaluated the thermoregulatory properties of functional thermal underwear (‘heating underwear’) in markets using a thermal manikin and human wear trials. One ordinary thermal underwear (ORD) and two functional thermal underwear (HEAT1 and HEAT2; manufactured goods, HEAT1: moisture absorbing heat release mechanism, HEAT2: heat storage, release mechanism) were chosen. Thermo-physiological and subjective responses were evaluated at an air temperature of $5.0 \pm 0.5^\circ\text{C}$ and air humidity of $30 \pm 5\% \text{RH}$ with five male subjects ($21.6 \pm 1.3 \text{yr}$ in age, $178.0 \pm 5.9 \text{cm}$ in height, $68.2 \pm 5.9 \text{kg}$ in body mass). Experimental conditions consisted of four ensembles that included winter clothes (Control: no underwear, ORD, HEAT1, HEAT2). Water-vapor resistance was greater in fabric of HEAT1 than others. The results were: 1) Total thermal insulation (IT) using a thermal manikin were not greater for HEAT1 (0.860clo) and HEAT 2 (0.873clo) than for ORD (0.886clo). 2) There were no significant differences in rectal temperature, mean skin temperature, heart rate and total body mass loss between the four conditions. Microclimate clothing temperature on the back was greater for ORD than for HEAT1 and HEAT2. Subjects felt more comfortable with HEAT1 than for others at rest. HEAT2 was higher in microclimate humidity when compared to other conditions. The results suggest that thermoregulatory properties of ‘heating underwear’ in market did not differ from those of ordinary thermal underwear in terms of total thermal insulation and thermoregulatory responses in a cold environment.

Key words : thermal underwear(내복), thermal manikin(씨멀 마네킹), thermal insulation(보온력), thermal comfort(쾌적성), physiological responses(생리적 반응)

1. 서 론

국내 내복 시장 규모는 해마다 10% 성장하며 1조 원대에 진입하였고, 그 중 기능성으로 분류되는 발열내복의 7천억 원 이상을 차지한다(Park, 2014). 현재 일본과 한국에서 시판되는 기능성 보온내복에 사용되는 직물로는 흡습 발열소재, 적외선 발열소재 등이 있다. 흡습 발열소재는 친수성이 뛰어난 양모섬유가 수분 흡수 시 발생하는 수화열 때문에 보온성이 우수한 것에 착안하여 이를 응용하여 개발된 소재이다. 적외선 발열소재는 금속 산화물의 초미립자를 이용해 원단이 적외선에 반응해 열을 내도록 한 소재이다. 그 외, 원적외선을 방출하는 미립자를 함유한 원사를 사용한 직물(Huh et al., 2010)이나 캡사 이신을 함유한 직물 등이 기능성 보온내복에 사용되고 있다. 이

러한 기능성 보온내복의 소재 중 흡습 발열소재와 적외선 발열소재는 능동적 발열 기능을 가진다기보다 땀이나 체열에 의존하는 이차적, 수동적 발열 성능을 가진다고 볼 수 있다. 본래 ‘발열의복(Heating underwear)’은 열선이나, 입자상/면상 발열체, 고온의 액체 순환 튜브 등을 적용해 직접적, 능동적으로 열을 내는 기능을 가진 의복을 의미한다. 즉, 발열체를 부착하거나 삽입한 형태 혹은 발열체의 열을 전도성 고분자를 내장하고 있는 섬유에 전달하여 인체를 보온하는 경우 등이 발열의복의 예라 할 수 있을 것이다. 시판되고 있는 ‘발열내복’은 수동적 메커니즘을 통해 열을 발생하므로 ‘발열’이라는 용어보다는 ‘보온’이라는 용어가 더 적합하지만 현재 대중적으로 널리 사용되는 용어이므로, 본 연구에서는 발열내복이라는 용어를 기능성 보온내복이라는 의미로 사용하기로 한다.

내복용 소재의 보온 특성을 살펴본 연구들은 다수 존재하는데, Kim and Han(1991)은 다양한 내의용 편성물의 보온 및 수분전달 특성을 비교하였고 그 결과 내의용 편성물의 두께와

†Corresponding author; Joo-Young Lee
Tel. +82-2-880-8746, Fax. +82-2-885-8759
E-mail: leex3140@snu.ac.kr

중량이 증가할수록 보온성이 증가하였고, 수분전달특성은 편성물을 구성하는 섬유와 직물의 두께, 기공도에 영향을 받았다고 보고하였다. 내복 소재가 킨팅일 경우 보온력은 직물의 두께와 함기율에 큰 영향을 받았고, 직물의 열저항성은 킨팅 내이가 가장 크고 다음 울 내의, 면 내의 순이었다(Sung et al., 1993). 그러나 이를 사람이 직접 착용한 경우 결과는 달라지는데, Kwon et al.(1992)은 저온 환경에서 전통적인 내복 소재인 면 100%, 킨팅 100%, 울 100% 소재의 내복을 착용한 경우 면이나 킨팅 소재보다 울 소재로 된 내복 착용 시 피부온도가 더 높았으나, 주관적으로는 면 소재 내복 착용 시 가장 쾌적하다는 응답을 얻었다. Park et al.(2005)의 연구에서도 울 내복을 착용하고 가벼운 운동을 했을 때, 면 내복보다 의복 내 습도가 더 높았으며, 이에 울 내복은 운동으로 인해 발생된 체열을 외기로 전달하는 데는 비효율적이라 결론지었다. Park and Choi(2009)의 연구에서도 발열섬유 언더웨어와 면섬유 언더웨어 입고 안정, 운동, 휴식 시 생리반응을 살펴본 결과, 발열섬유 언더웨어 착용 시 직장온의 변동폭이 적었으나 운동이 끝난 후 휴식 시 의복내 온도가 초기 상승 후 급격히 하강하였고, 피부온의 냉감이 유발되어 체열 보온에 불리한 경향을 보였다.

최근 발열내복 착용에 대한 관심은 다양한 제품 개발로 인해 내복 선택의 폭이 넓어진 것 이전에, 90년대 말 이후 겨울철 실내 난방에너지 절약을 위해 꾸준히 전개되어 온 온맵시 캠페인과 관련이 깊다. 겨울철 실내에서 가벼운 옷(0.6clo)을 착용하고 있을 때 쾌적하게 느끼는 온도는 일반적으로 약 24~26°C(Tanabe, 1990)이나, 정부에서는 실내 난방 에너지 절약을 위해 약 18~20°C의 겨울철 실내온도를 권장하고 있다. 그러나, 정부에서 권장하는 이 온도 범위가 겨울철 실내온도로 적정하다고 생각하는 시민들의 비율이 48%에 불과(Baek et al., 2014)할 정도로 두 명 중 한 명은 겨울철 실내온도 18~20°C에서 춥다고 느끼기 때문에 이를 해결할 수 있는 가장 간단한 방법 중 하나가 내복을 추가로 착용하는 일일 것이다. 19°C 실내에서 내복을 착용할 경우 약 1~4°C의 실내온도 상승 효과를 얻을 수 있음이 보고된 바도 있다(Na & Lee, 2011).

또한, 2011년 공무원들을 대상으로 한 조사(Na & Son, 2012)에서는 '내복은 활동하기 불편하고 답답하여 겉옷 맵시가 나지 않아 잘 입지 않게 된다'는 응답이 많았으나, 최근 수년간 전개된 겨울철 내복 입기 캠페인과 가볍고 얇은 발열내복의 판매량 급증으로 인해 내복 착용에 대한 인식이 크게 바뀌어, 2014년 571명의 한국인 성인남녀를 대상으로 한 설문조사에서는 응답자의 40%가 겨울철 서늘한 실내에서 내복을 착용한다고 응답하였다(Baek et al., 2014). 그러나 시판 '발열내복'이 일반 기존 내복보다 더 따뜻하다고 응답한 경우는 응답자의 16%에 불과하여(Baek et al., 2014), 시판 '발열내복'의 보온 효과에 대해서는 소비자들도 다소 의문을 품고 있음을 확인할 수 있었다. 이러한 의문은, 인체에서 발생한 수분이나 습기를 흡수하여 열을 발생시키는 발열내복은 소재의 특성상, 더운 외기에 노출되거나 실외에서 운동이나 활동을 하여, 의복내 습도

가 높아지거나 땀을 흘리는 경우에 보온효과가 높아진다. 그러나 실내 서늘한 사무실 환경에서 정적인 작업을 하는 동안 발열내복을 착용한다면, 소비자들은 발열내복과 일반 내복 간 보온성의 차이를 잘 감지하지 못할 것이다. 다시 말해, 본래 발열내복의 효과를 기대할 수 없는 환경에서 발열내복을 착용하고 있기 때문에 그 발열내복의 추가적 보온 효과가 미미하다고 인식되었을 가능성이 있다.

그럼에도 최근 수년 동안 발열내복이라 불리는 기능성 보온내복에 대한 광고들은 실내의 혹은 착용자의 활동량에 상관없이 어느 환경에서건 착용하기만 하면 발열 효과를 기대할 수 있는 것으로 소비자들에게 잘못된 정보를 제공해 오고 있다. 더욱이 현재 다양한 기능성 보온내복 제품군이 존재하고 있음에도 불구하고, 그 발열성능을 입증할 수 있는 검증 기준이나 기능성 보온 섬유를 이용한 의류제품군에 대한 표준 기준안이 없다. 이러한 배경을 바탕으로 본 연구에서는 발열내복이라 불리며 시판되고 있는 기능성 보온내복의 보온력을 기존 내복의 보온력과 비교하여 얼마나 우수한지 살펴보기 위해 셔털 마네킹을 이용하여 측정하였다. 그리고 실제 저온환경에서 사람이 착용하고 휴식과 운동을 취하는 경우 기존 내복의 체온유지 성능과 비교 평가하기 위해 실험실 환경에서 인체 착용 평가를 수행하였다. 본 연구의 가설은 다음과 같다. 첫째, 셔털 마네킹 평가 시 발열내복이라 불리는 기능성 보온내복의 보온력이 일반 내복의 보온력보다 클 것이다. 둘째, 인체 착용평가 시 일반내복보다 기능성 보온내복을 착용한 경우 생리적, 주관적으로 더 우수한 체온조절 반응을 보일 것이다.

2. 연구 방법

2.1. 실험용 내복 원단의 물리적 특성 측정

실험내복은 일반적으로 착용되는 시판 중인 기존 내복(Ordinary thermal underwear, ORD) 1종과 착용률, 판매량, 브랜드 인지도가 높으면서 발열 메커니즘이 다른 2종의 기능성 보온내복(Functional thermal underwear: HEAT1, HEAT2)을 선정하였다. 기능성 보온내복 HEAT1은 신체의 수분을 흡수하여 열을 내는 흡습 발열원리를 이용하였다. 기능성 보온내복 HEAT2에는 섬유에 결합되어 있는 특수한 입자가 열을 저장하고 있다가 외부의 온도가 내려가면 열을 방출하는 축열 방열원리가 적용되었다. 각 실험내복의 원단의 물리적 특성으로는 두께, 단위 중량, 습윤 상태 직물의 열저항을 측정하였다. 실험내복 3종 및 인체착용 실험 시 피험자가 착용한 의복에 대한 물리적 특성은 Table 1에 제시하였다.

2.2. 셔털 마네킹 실험

본 연구에서 선정한 세 종류 내복의 보온력은 ISO 9920(2007)에 따라 셔털 마네킹(Newton, Measurement Technology NORTHWEST, USA, 1.7m² of BSA)으로 3회 반복 측정되었다. 정지 상태에서 실험 의복의 건조 단열력을 측정하였다. 보

온력 측정 시 써멀 마네킹의 평균피부온도는 33.0°C였고 측정이 이루어진 인공기후실의 환경 조건은 보온력 측정 표준에 근거하여(ISO 9920, 2007), 기온 20.0±0.5°C, 습도 50.0±0.5%RH, 기류 0.1 ms⁻¹로 조성되었다. 실험용 내복의 총 보온력(I_T)과 유효 보온력(I_{cle})을 구하기 위한 Eq. (1)과 Eq. (2)는 아래와 같다(ISO 9920, 2007).

$$I_T = 6.45(\bar{T}_{sk} - \bar{T}_{air}) / (Q/A) \tag{1}$$

$$I_{cis} = I_T - I_a \tag{2}$$

- I_T : Total clothing insulation (clo)
- \bar{T}_{sk} : 20 zones average temperature (°C)
- A : Body surface area (m²)
- I_a : Thermal insulation of ambient air (clo)
- 6.45: Constant for converting unit from °C·m²/W⁻¹ to clo
- \bar{T}_{air} : Ambient average temperature (°C)

Q : Area weighted heat flux (W)

2.3. 인체착용평가

실험의복은 겨울용 외출복(팬티, 긴팔 티셔츠, 긴 바지, 재킷, 양말, 운동화)을 동일하게 착용한 상태에서 내복을 입지 않은 조건(Control)과 겨울용 외출복 내에 각각 세 종류의 내복을 착용한(ORD, HEAT1, HEAT2) 총 네 조건으로 구성하였다 (Table 1). 건강한 남성 피험자 다섯 명(나이 21.6±1.34세, 키 178.0±5.9 cm, 몸무게 68.2±7.6 kg, 체표면적 1.88±0.14m²)이 실험에 참여하였다. 인공기후실의 환경온도와 습도는 5.0±0.5°C 와 30±5%RH로 유지되었다. 이 온도와 습도는 내복을 착용하기 시작하는 향하기부터 겨울철 주간 월평균 기온과 습도를 참고하여 설정되었다. 인체착용평가는 2013년 2월 20일~3월 30일에 걸쳐 수행되었다. 착의량과 착의매수는 Choi et al.(2006)과 Hwang et al.(1999)의 연구결과를 토대로 실험환경에 적절한 수준으로 설정하였다. 1회 실험은 총 60분(20분간 안정, 30

Table 1. Characteristics of experimental garments and ensembles

| Clothing item (mass) | Ensembles | | | | |
|----------------------|--|---------|-------|-------|-------|
| | Material | Control | ORD | HEAT1 | HEAT2 |
| Shorts (30g) | Cotton 100% | √ | √ | √ | √ |
| Thermal underwear | | | | | |
| ORD (424g) |  Cotton 100% | | √ | | |
| HEAT1 (301g) |  Polyester 34%, Rayon 33%, Acrylic 27%, Polyurethane 6% | | | √ | |
| HEAT2 (385g) |  Nylon 92%, Polyurethane 8% | | | | √ |
| T-shirts (239g) | Cotton 70%, Polyester 30% | √ | √ | √ | √ |
| Long pants (469g) | Cotton 70%, Polyester 30% | √ | √ | √ | √ |
| Jackets (1,151g) | Cotton 75%, Nylon 25% | √ | √ | √ | √ |
| Socks (54g) | Cotton 100% | √ | √ | √ | √ |
| Total mass (g) | | 1,943 | 2,367 | 2,244 | 2,328 |

Table 2. Scales of subjective sensations (ISO 10551, 1995)

| | Thermal sensation | Thermal comfort | Humidity sensation |
|----|-------------------|------------------------|--------------------|
| 4 | very hot | | |
| 3 | hot | very comfortable | very humid |
| 2 | warm | comfortable | humid |
| 1 | slightly warm | a little comfortable | slightly humid |
| 0 | neutral | not both | neutral |
| -1 | slightly cool | slightly uncomfortable | slightly dry |
| -2 | cool | uncomfortable | dry |
| -3 | cold | very uncomfortable | very dry |
| -4 | very cold | | |

분간 트레드밀에서 4 km·hr⁻¹로 걷기, 10분간 의자에 앉은 자세로 회복) 동안 진행되었다. 인체 착용실험 동안 피험자의 직장온(Sensor: TNI-ST08-11, Gram Corp, Japan)은 12 cm 깊이에서 5초 간격으로 측정하였으며, 8부위(이마, 가슴, 아래팔, 손등, 왼손 중지, 넓적다리, 종아리, 발등 부위)의 피부온(LT 8A, Gram Corp, Japan)을 5초 간격으로 측정하였다. 평균 피부온은 Hardy와 Du Bois의 7점법(Eq. 3)으로 계산하였다.

$$\text{Mean } T_{sk} = 0.07T_{head} + 0.14T_{arm} + 0.05T_{hand} + 0.07T_{foot} + 0.13T_{leg} + 0.19T_{thigh} + 0.35T_{trunk} \quad (3)$$

심박수는 30초 간격으로 자동 기록하였고(Polar, Polar Electro Inc., USA), 산소섭취량 (VO₂)은 안정, 운동, 회복기 각 마지막 5분 동안 연속 측정하여 평균하였다(Quark b², COSMED Company, Italy, breath by breath법). 총발한량은 인체전평(Satorius Company, Germany, Sensitivity 1g)을 이용하여 실험 전후 체중의 차이를 통해 추정되었다. 의복기후는 등 부위에 센서를 인체와 최 내층 의복간 사이에 위치하도록 한 후 의복 내의 온도와 습도를 5초 간격으로 측정하였다(Thermo Recorder TR-72U, T&D Corp., Japan). 주관적 반응으로는 전신의 한서감과 온열쾌적감, 습윤감을 6분 간격으로 피험자 스스로 측정 차트에 기록하도록 하였다(Table 2).

Table 3. Physical characteristics of fabrics and ensembles

| | Ordinary thermal underwear (ORD, 424g) | Functional thermal underwear 1 (HEAT1, 301g) | Functional thermal underwear 2 (HEAT2, 385g) | Test method |
|---|--|--|--|----------------------|
| Thickness (mm) | 244.4 | 0.56 | 0.86 | KS K ISO 5084 (2011) |
| Mass (g/m ²) | 0.0196 | 177.8 | 211.1 | KS K 0514 (2011) |
| Water vapour resistance (R _{clo} : m ² ·°C/W) | | 0.0218 | 0.0153 | ISO 11092 Rct (2014) |
| Ensemble | 0.886 | | | |
| Total thermal insulation, I _T (clo) | 0.122 | 0.860 | 0.873 | ISO 9920 (2007) |
| Effective thermal insulation, I _{cle} (clo) | 2.09 | 0.097 | 0.110 | ISO 9920 (2007) |
| Total thermal insulation per mass, (clo/kg) | | 2.86 | 2.28 | |

2.4. 데이터 분석 및 통계

의복 조건 간 안정, 운동, 회복 시 값을 비교하기 위해, 안정, 운동, 회복 상태의 마지막 5분 동안 평균값을 통계 분석에 이용하였다. SPSS 18.0의 반복측정 분산분석법으로 분석하였고, 유의한 항목에 대해서는 Duncan's post hoc test를 수행하였다. 주관적 감각 측정 데이터는 프리드만 검정으로 분석하였다. 주관적 감각 분석 시 안정 상태 데이터는 실험 경과 18분 시점의 데이터를 사용하였고, 운동 상태의 값으로는 실험 경과 48분 시점의 데이터를 사용하였으며, 회복 상태의 값으로는 실험 경과 60분 시점의 데이터를 분석에 사용하였다. 통계적 유의수준은 p<.05로 하였다.

3. 결과 및 논의

3.1. 원단 상태의 물성 평가

세 종류의 내복 원단의 두께, 중량, 습윤 상태 직물의 열저항을 측정된 결과, 기능성 내복 HEAT1의 원단이 HEAT2나 기존 내복 원단보다 더 얇고 더 가벼웠다(Table 3). 습윤 상태 직물의 열저항은 내복 HEAT1 원단이 가장 컸고, 그 다음으로 기존내복 ORD 원단, 기능성 내복 HEAT2 원단 순이었다.

3.2. 셔말 마네킹을 이용한 내복의 보온력

셔말 마네킹에 내복 ORD, HEAT1, HEAT2를 착용시키고, 보온력을 측정된 결과, 총보온력(I_T)은 각각 0.886, 0.860, 0.873clo였으며, 셔말 마네킹 표면 공기층의 보온력(I_{cl})은 0.763clo였다(Table 3). 이에 따라 실험 내복의 유효보온력(I_{cle})은 ORD, HEAT1, HEAT2 각각 0.122, 0.097, 0.110로, 기존 내복의 보온력이 기능성 보온내복의 보온력보다 높았다. 그러나 ORD, HEAT1, HEAT2 각 내복의 중량당 보온력을 비교해보면, 세 조건 각각 2.09, 2.86, 2.27clo·kg⁻¹로 의복의 단위중량당 보온력은 HEAT1이 가장 높은 값을 보였고, 다음 HEAT2, ORD 순이었다.

3.3. 인체착용실험

3.3.1. 직장온

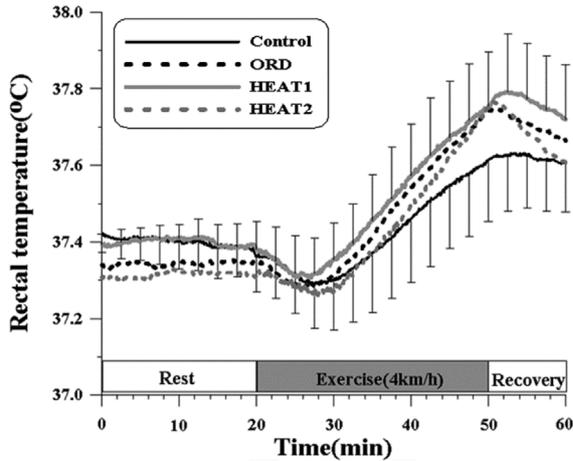


Fig. 1. Time courses of rectal temperature.

시간에 따른 직장온의 변화는 Fig. 1과 같다. 안정 마지막 5분 동안의 직장온은 Control, ORD, HEAT1, HEAT2에서 각각 37.4 ± 0.1 , 37.4 ± 0.1 , 37.4 ± 0.1 , $37.3 \pm 0.1^\circ\text{C}$ 로 네 조건 간 통계적 유의차가 없었다. 운동 마지막 5분 동안 직장온의 경우에도 Control, ORD, HEAT1, HEAT2에서 각각 37.5 ± 0.1 , 37.7 ± 0.2 , 37.8 ± 0.2 , $37.7 \pm 0.1^\circ\text{C}$ 로 내복을 착용하지 않은 조건에서 가장 낮은 값을 보였으나 통계적 유의차는 발견할 수 없었다. 회복 마지막 5분 동안 직장온의 경우에도 Control, ORD, HEAT1, HEAT2에서 각각 37.6 ± 0.1 , 37.7 ± 0.2 , 37.8 ± 0.1 , $37.7 \pm 0.1^\circ\text{C}$ 로 내복을 입지 않은 경우 가장 낮은 값을 보였으나 통계적으로 유의한 차이는 발견되지 않았다.

3.3.2. 피부온

시간에 따른 평균 피부온의 변화는 Fig. 2와 같다. 안정 마지막 5분 동안의 평균 피부온은 Control, ORD, HEAT1, HEAT2에서 각각 31.5 ± 0.2 , 31.5 ± 0.5 , 31.1 ± 0.6 , $31.5 \pm 0.3^\circ\text{C}$ 로 의복 조건 간 통계적 유의차가 없었다. 운동 마지막 5분 동안 평균 피부온의 경우에도 Control, ORD, HEAT1, HEAT2 각각 31.2 ± 0.6 , 31.6 ± 0.9 , 31.5 ± 0.7 , $31.4 \pm 0.7^\circ\text{C}$ 로 네 조건 간 유의한 차이를 발견할 수 없었다. 회복기 마지막 5분 동안 평균 피부온의 경우 Control, ORD, HEAT1, HEAT2에서 각각 31.4 ± 0.7 , 31.7 ± 0.7 , 31.4 ± 0.8 , $31.4 \pm 0.2^\circ\text{C}$ 로, 의복 조건 간 통계적 유의차는 없었다.

측정된 여넉 부위 피부온의 경우, 운동 중 종아리 부위에서 유의한 차이를 보여 내복을 착용하지 않은 경우 내복을 착용한 다른 세 조건에 비해 약 $1\sim 2^\circ\text{C}$ 유의하게 낮은 온도를 보여주었다(Control 31.0 ± 0.5 , ORD 33.0 ± 0.8 , HEAT1 32.6 ± 0.8 , HEAT2 32.2 ± 0.9 ; $p < .001$). 이외의 다른 부위에서는 안정, 운동, 회복 상태 모두에서 의복 조건 간 통계적인 차이를 발견할 수 없었다.

3.3.3. 산소섭취량(VO_2)과 심박수

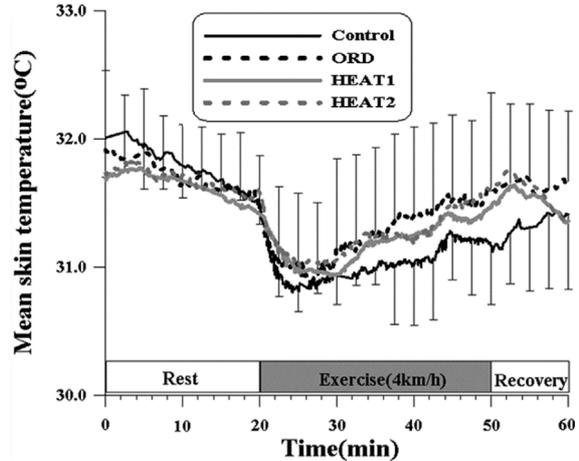


Fig. 2. Time courses of mean skin temperatures.

산소섭취량의 경우 운동과 회복기 모두 의복 조건 간 통계적 유의차는 발견되지 않았다. 심박수의 경우 안정 시 Control, ORD, HEAT1, HEAT2에서 각각 78 ± 7 , 77 ± 9 , 74 ± 5 , 80 ± 4 bpm으로 의복 조건 간 통계적인 유의차는 없었다. 운동 마지막 5분간 Control, ORD, HEAT1, HEAT2에서 심박수는 각각 116 ± 8 , 116 ± 9 , 114 ± 8 , 116 ± 6 bpm으로 의복 조건 통계적인 유의차는 없었다. 회복기 심박수도 Control, ORD, HEAT1, HEAT2 각각 81 ± 8 , 78 ± 10 , 80 ± 7 , 79 ± 9 bpm으로 네 가지 의복 조건 간 통계적인 유의차가 발견되지 않았다.

3.3.4. 총발한량

Control, ORD, HEAT1, HEAT2에서의 총발한량은 각각 89.8 ± 27.5 , 111.0 ± 12.7 , 113.7 ± 32.8 , $87.7 \pm 44.8 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ 로 조건 ORD와 HEAT1에서 상대적으로 많았고, 조건 Control과 HEAT2에서 적은 편이었으나 네 조건 간 통계적인 유의차는 없었다.

3.3.5. 의복기후

등 부위 의복 내 온도의 경우, 내복을 착용하지 않은 경우 유의하게 낮은 온도를 보여주었고, 내복을 착용한 세 가지 조건 중에서는 안정 시와 운동 시 조건 ORD의 의복내 온도가 조건 HEAT2보다 높았으며, 네 의복 조건 간 차이는 통계적으로 유의하였다($p < .05$, Table 4). 등 부위 의복 내 습도는 안정 · 운동 마지막 5분 동안 조건 HEAT2에서 유의하게 높았다 (Table 4).

3.3.6. 주관적 반응

전신 한서감의 경우 안정, 운동, 회복 상태에서 의복 조건 간 통계적인 유의차가 없었다 (Table 5). 습윤감은 안정과 운동 상태에서 의복 조건 간 유의차가 발견되어, 안정 시에는 네 조건들 중 HEAT2에서 가장 건조하게 느꼈으나 운동 시에는 가장 습하다고 응답하였다 (Table 5). 온열쾌적감의 경우 안정 시

Table 4. Summary of microclimate temperature and humidity on the back during wear trials

| Variable | Phase | Experimental condition | | | | p-value |
|-------------------------------|----------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|---------|
| | | Control | ORD | HEAT1 | HEAT2 | |
| Microclimate temperature (°C) | Rest | 31.5 ^b ±0.7 | 32.5 ^a ±0.3 | 31.9 ^{ab} ±0.7 | 31.6 ^b ±0.5 | 0.031 |
| | Exercise | 33.3 ^b ±0.6 | 34.1 ^a ±0.3 | 33.5 ^{ab} ±0.7 | 33.2 ^b ±0.7 | 0.043 |
| | Recovery | 31.8 ^b ±0.4 | 33.9 ^a ±1.1 | 32.7 ^{ab} ±0.9 | 32.8 ^{ab} ±0.9 | 0.035 |
| Microclimate humidity (%RH) | Rest | 11.0 ^{bc} ±5.0 | 12.0 ^b ±5.0 | 11.0 ^c ±5.0 | 15.0 ^a ±6.0 | 0.024 |
| | Exercise | 38.0 ^b ±37.0 | 34.0 ^c ±30.0 | 38.0 ^b ±36.0 | 48.0 ^a ±35.0 | 0.017 |
| | Recovery | 79.0 ^a ±36.0 | 65.0 ^b ±31.0 | 67.0 ^b ±36.0 | 80.0 ^a ±27.0 | 0.033 |

ORD represents ordinary thermal underwear; HEAT1, functional heating underwear 1; HEAT2, functional heating underwear 2; Control, no thermal underwear; Values are mean±SD; Duncan post hoc test, a>b>c.

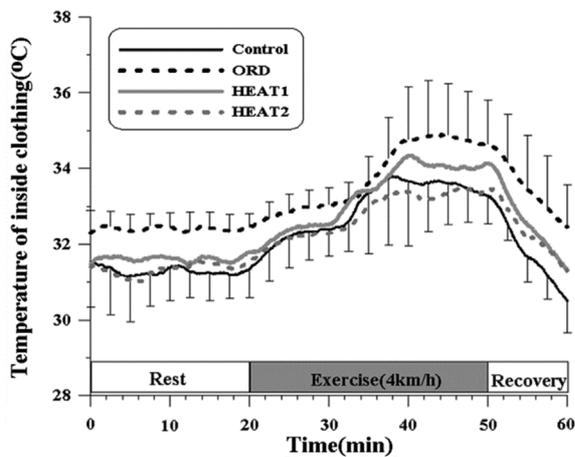


Fig. 3. Time courses of microclimate temperature on the back.

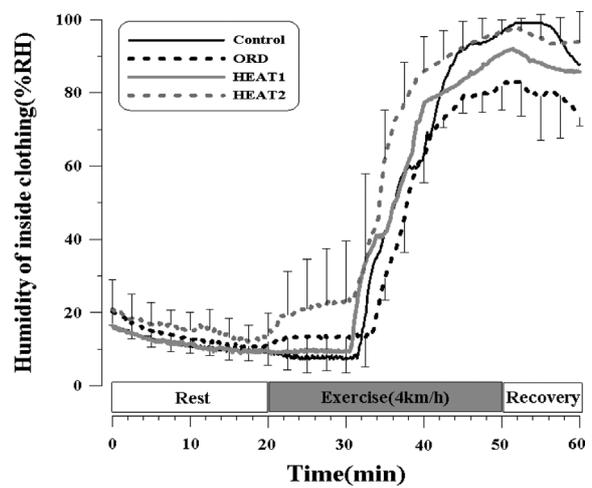


Fig. 4. Time courses of microclimate humidity on the back.

에는 HEAT1에서 가장 쾌적하게 느끼는 경향을 보였고, 운동과 회복기에는 HEAT2에서 가장 불쾌하게 느끼는 경향을 보였으나 네 가지 의복 조건 간 차이는 통계적으로 유의하지 않았다(Table 5).

3.3.7. 연구결과 종합

본 연구에서는 ‘발열내복’으로 시판되고 있는 기능성 보온내복과 기존 일반 내복과의 체온조절 성능 비교를 위해 셔멀 마네킹을 이용한 보온력 테스트와와 인체착용평가를 실시하였

Table 5. Summary of subjective perceptions

| Variable | Phase | Experimental condition | | | | p-value |
|--------------------|----------|------------------------|----------|----------|----------|---------|
| | | Control | ORD | HEAT1 | HEAT2 | |
| Thermal sensation | Rest | -1.0±0.9 | -1.0±0.7 | -1.0±1.1 | -1.2±1.0 | 0.896 |
| | Exercise | 0.3±1.0 | 0.3±1.2 | 0.3±1.3 | 0.1±1.4 | 0.185 |
| | Recovery | 0.3±0.5 | 0.6±0.7 | 0.6±0.7 | 0.4±0.8 | 0.553 |
| Humidity sensation | Rest | 0.2±0.6 | -0.2±0.4 | -0.2±0.4 | -0.8±0.8 | 0.031 |
| | Exercise | 0.2±0.6 | 0.3±0.7 | 0.3±0.9 | 0.6±0.8 | 0.017 |
| | Recovery | 0.6±0.5 | 0.6±0.5 | 0.8±0.4 | 0.9±0.5 | 0.392 |
| Thermal comfort | Rest | 0.1±0.6 | 0.1±0.5 | 0.6±0.7 | 0.1±0.9 | 0.049 |
| | Exercise | -0.2±0.7 | 0.0±0.7 | -0.1±0.9 | -0.3±1.0 | 0.077 |
| | Recovery | -0.1±0.3 | -0.1±0.9 | 0.3±0.8 | -0.3±0.8 | 0.099 |

ORD represents ordinary thermal underwear; HEAT1, functional heating underwear 1; HEAT2, functional heating underwear 2; Control, no thermal underwear; Values are mean±SD.

다. 실험 결과 본 연구의 첫 번째 가설인 ‘기능성 보온 내복의 보온력이 일반 내복의 보온력보다 클 것이다’ 이었다. 썬멜 마네킹으로 측정된 내복의 보온력은 기존내복이 기능성 보온 내복보다 보온력이 더 큰 것으로 나타났다. 그러나 총 중량은 HEAT1의 경우 가장 가벼웠기 때문에 단위중량당으로 환산한 내복의 총 보온력은 HEAT1 > HEAT2 > ORD의 순이었다. 즉, 단위중량당 보온력으로 환산한 경우 발열내복의 보온력이 일반 내복보다 컸다. 실제 내복 착용 시 사람들은 단위중량당으로 내복을 착용하는 것이 아니라 자신의 사이즈에 맞는 하나의 완제품을 구입하여 착용하기 때문에 일상생활 중 내복 착용자는 경량화된 발열내복보다 일반 내복 착용 시 더 따뜻하게 느낄 것이다.

두 번째 가설인 ‘인체 착용평가 시 일반 내복보다 기능성 보온내복을 착용한 경우 생리적, 주관적으로 더 우수한 체온조절 반응을 보일 것이다’ 라는 가설도 기각되었다. 심부온도인 직장온과 평균피부온도, 총발한량, 심박수, 산소섭취량 등과 같은 생리적 체온조절 반응 변수들에서 네 가지 의복조건 간 유의한 차이가 발견되지 않았다. 더욱이 최 내층 의복내 온도의 경우 발열내복보다 일반 내복을 착용한 경우 더 높아 의복내 온도 변수에서도 발열내복의 우수성을 발견할 수 없었다. 최내층 의복내 습도에서는 발열내복인 HEAT2를 착용한 경우 가장 습한 수준을 보여주었고 주관적으로도 피험자들은 기존 내복이나 HEAT1보다 HEAT2조건에서 가장 습하게 느꼈으나 동시에 온열적으로도 가장 불쾌하다고 응답하였기 때문에 두 번째 가설은 기각되었다. 원단의 물리적 특성과 썬멜 마네킹 테스트, 인체착용 실험 결과에 대한 구체적인 논의는 아래와 같다.

첫째, 원단의 물리적 특성과 썬멜 마네킹 측정 결과를 함께 살펴보면 흡습발열 보온내복 HEAT1원단은 가장 가볍고 얇으면서 습윤 상태에서 열을 가장 많이 발생되었으며, 중량당 보온력이 가장 컸고, 습윤감에 있어서도 불쾌한 수준이 아니었다. 즉, 보온력이 가장 높은 편은 아니지만 가볍고 과도하게 습한 의복기후를 조성하지 않기 때문에 항상 착용하면서 외기온에 따라 걸옷을 입고 벗는 전략에 적합하다. 일반 내복의 경우 보온력이 상대적으로 우수하였지만 상대적으로 무거운 중량으로 활동성이 다소 저하될 수도 있다. 종합적으로, 내복 원단 종류에 큰 상관없이 어떠한 내복을 착용하건 내복을 입지 않은 경우보다 우수한 체온조절 반응을 보이기 때문에 착용자의 활동 수준과 노출 환경에 맞게 내복을 항상 착용하는 것이 중요할 것이다. 단, 발열내복이라 시판되는 내복 중 하나인 HEAT2의 원단은 기존 일반 내복의 원단보다 가볍고 얇았으나, 습윤 상태에서 보온력이 가장 낮았고, 일정 수준의 활동을 하는 경우 의복 내 환경을 상대적으로 가장 습하게 조성하였으며, 이는 온열적 불쾌감으로 이어졌다. 이를 좀 더 명확하게 규명하기 위해서는 습윤 상태 내복의 열저항을 측정하는 것뿐만 아니라 운동 강도를 다양하게 조성하여 발한량 증가에 따른 보온성과 습도 조절 기능을 살펴볼 필요가 있다.

둘째, 인체 착용평가를 위해 항한기에서 겨울철 주간 실외

환경으로 조절된 인공기후실 조건에서 안정, 운동, 회복의 3단계로 활동 수준을 달리하였고, 운동은 가벼운 걷기 수준 ($4 \text{ km}\cdot\text{hr}^{-1}$)으로 설정하였다. 저온 환경에서 가벼운 활동 시 내복 착용에 의해 체온이 얼마나 잘 유지되는가를 비교하기 위해 직장온과 피부온을 측정하였고 그 결과 의복 조건 간 유의한 차이가 없음을 발견하였다. 세 가지 내복 종류 간 차이보다, 내복을 입지 않은 Control 조건과 내복을 입은 조건 간의 인체생리반응 차이가 두드러지는 경향을 보였다. 즉, 내복을 착용한 경우에 입지 않은 경우보다 직장온을 더 높게 유지하는 경향을 보여 내복의 종류보다는 내복 착용 유무가 체온 유지 측면에서 더 중요한 인자로 보여진다. Lee et al.(2008)의 연구에서도 중등 정도의 추위 조건에서 내복 착용이 젊은 여성 그룹의 손 피부온도와 온열쾌적감을 높일 수 있음이 확인되었다. Kim and Lee(2003)의 연구도 19°C 실내 환경에서 내복을 입었을 때, 24°C 에서 내복을 입지 않고 생활하는 것과 비슷한 수준의 의복기후 및 온열쾌적감을 유지할 수 있었다고 보고하였다. 본 연구에서도 이와 유사한 결과를 살펴볼 수 있었는데, 운동 후 회복기에 내복을 착용하지 않았을 때보다 내복을 착용한 경우 의복내 온도의 하강도가 낮은 경향을 확인할 수 있었다. 이러한 결과들은 일반 내복이건 발열내복이건 큰 차이 없이 저온 환경에서 내복을 착용하는 것 자체가 체온을 더 안정적으로 유지하는데 도움이 될 수 있음을 시사한다.

셋째, HEAT2의 경우 운동과 회복 상태에서 의복 내 습도가 의복 조건 중 가장 높았고, 진신 습윤감도 다른 조건에서보다 유의하게 높았다. HEAT2의 경우 인체착용 평가 시 발한량이 다른 내복보다 적었음에도 불구하고, 운동 중 의복 내 습도와 습윤감이 높아 활동량 변화 시 체온유지 측면에 불리할 수 있다. 운동 직후 회복기 의복 내 습도는 점점 증가하여 HEAT2의 경우 평균 80%RH에 이른 반면 ORD나 HEAT1의 경우 평균 65%RH와 67%RH를 보여 주어, HEAT2의 수분흡수능력이 상대적으로 부족함을 확인할 수 있었다. 이는 내복을 착용하지 않은 Control 조건에서도 운동 후 회복기에 평균 79%RH에 도달했음을 볼 때 HEAT2의 피부수분흡수 능력이 부족함을 확인할 수 있다. 본 실험 조건보다 저온의 환경에서 보다 강한 강도의 운동 수행으로 발한량이 증가할 경우 피부 수분이 내복에 충분히 흡수되지 못한 상태에서 의복 내 온도가 급감하게 될 경우 체온 저하의 위험성을 배제할 수 없다. 겨울철 실외 스포츠 활동이나 영하의 환경에서의 작업 시 발생하는 발한을 충분히 흡수, 배출시키지 못하면, 수증기가 의복 내에서 응축되어 절연을 저하시키고 보온성이 감소되며 습윤감에 의해 불쾌감을 유발할 수 있다(Kwon et al., 1999).

넷째, 기존 일반 내복의 경우 가장 높은 보온력과 높은 의복내 온도를 보여주어 체온조절 측면에서 겨울철 일상 생활 중 착용에 가장 효과적으로 판단되었다. HEAT1은 원단과 썬멜 마네킹 보온력에서 상대적으로 우수한 성능을 보였으나, 전술한 바와 같이 HEAT2는 수분전달 능력에서 상대적으로 부족한 성능을 보여주어 기능성 보온내복의 성능이 반드시 우수한 것은

아님을 확인할 수 있었다. 즉, 현재 시판되는 내복들 간의 기능성 차이는 실제 착용 시 인체가 체감할 만큼 크지는 않았다고 판단되며, 내복의 종류보다는 오히려 내복의 착용 유무가 체온 조절 면에서 더 큰 영향을 미칠 수 있을 것으로 판단된다.

4. 결 론

본 연구는 현재 발열의복이라 명명되어 판매되는 기능성 보온내복의 체온조절 성능을 검증하기 위해 인지도와 판매도가 높은 시판 일반 내복 1종(ORD)과 발열내복 2종(HEAT1 and 2)을 선정한 후 썬멜 마네킹 테스트와 인체착용평가를 수행하였다. 기능성 보온내복은 흡습 발열 원리를 이용한 보온내복(HEAT1)과 축열 방열 원리를 이용한 보온내복(HEAT2)이었다. 세 가지 내복 원단의 물리적 특성과 습윤 상태 직물의 열저항을 측정하고 썬멜 마네킹으로 내복의 보온력을 측정하였다. 그 결과, HEAT1이 가장 얇고 가벼우며 습윤 상태에서 열을 가장 많이 발생하였고, 내복의 단위중량당 보온력도 가장 컸으나 의복 자체의 총 보온력은 가장 낮았다. 기존 일반 내복인 ORD는 다른 내복 원단에 비해 두껍고 무거웠으나 보온력은 가장 컸으며, HEAT2는 습윤 상태 직물의 열저항이 가장 낮아 세 종류 내복 원단 간 통계적으로 유의한 차이를 보였다. 인체 착용평가를 통해 검증한 결과 세 가지 내복 조건 간 차이보다는 내복을 입은 경우와 안 입은 경우의 차이가 보다 현저하였다. 즉, 원단 비교 실험에서 발견된 기존 내복과 기능성 보온내복 원단의 물리적 특성 차이들은 인체 착용 시 착용자가 체감할 정도의 체온조절 성능 차이로 이어지는 않았다. 따라서 발열 내복이라 광고되며 고가에 판매되는 기능성 원단의 내복을 구입하는 것보다, 기존 일반 내복이더라도 착용자 스스로 장기간 착용할 수 있는 종류의 내복을 구입하는 것이 겨울철 체온조절 면에서 유리하다 볼 수 있다. 그러나 본 연구의 경우 피험자 수가 적고 연구에서 선정한 시판 보온 내복의 종류는 세 가지로 많지 않아 현재 발열내복이라는 이름 아래 시판 중인 기능성 보온내복의 체온조절 성능을 일반화하는 데에는 한계가 있다. 따라서 보다 충분한 피험자와 다각화된 기능성 보온내복을 대상으로 흡습발열소재, 혹은 축열발열소재의 기능을 최대화 할 수 있는 환경 조건 및 활동 조건들을 찾아 이를 겨울철 의생활 지침에 반영할 필요가 있다.

References

- Baek, Y. J., Shin, S. R., & Lee, J. Y. (2014). Preference for clothing habits and its relationships with thermal tolerance in indoor temperatures recommended in summer and winter. *The Korean Society of Living Environmental System*, 21(5), 706-721.
- Choi, J. W., Lee, J. Y., Ko, E. S., Lee, H. H., & Kim, J. Y. (2006). Daily clothing worn by Korean women both outdoors and at home by season. *Journal of Society of Living Environmental System*, 13(1), 8-17.
- Huh, J. H., Han, J. K., & Lee, D. H. (2010). The effect of wearing diet slim and correction wear made of far infrared radiation heating yarn treated by nano-titanium on women's physiological and psycho-emotional factors. *The Korean Journal of Physical Education*, 49(6), 127-137.
- Hwang, S. K., Seung, W. K., & Choi, J. W. (1999). The clothing weight of Korean adults by month and season. *Journal of the Korean Society of Clothing and Textiles*, 23(4), 517-528.
- International Organization for Standardization. (1995). *ISO 10551 Ergonomics of the thermal environment - Assessment of the influence of the thermal environment using subjective judgement scales*. Geneva: ISO.
- International Organization for Standardization. (2007). *ISO 9920 Ergonomics of the thermal environment - Estimation of thermal insulation and water vapour resistance of a clothing ensemble*. Geneva: ISO.
- International Organization for Standardization. (2014). *ISO 11092 Textiles - Physiological effects - Measurement of thermal and water-vapour resistance under steady-state conditions (sweating guarded-hotplate test)*. Geneva: ISO.
- Kim, E. A., & Han, E. K. (1991). Heat and moisture transport properties of knitted underwear fabrics. *Yonsei Journal of Euthenics*, 5, 31-42.
- Kim, M. J., & Lee, J. Y. (2003). Clothing microclimate and subjective sensations by wearing long johns in mildly cold air. *Journal of the Korean Home Economics Association*, 42(10), 91-104.
- Korean Agency for Technology and Standards. (2011). *KS K ISO 5084 Textiles - Determination of thickness of textiles and textile products*. Seoul: The Korean standards association.
- Korean Agency for Technology and Standards. (2011). *KS K 0514 Measuring method for weight of cloth: small specimen method*. Seoul: The Korean standards association.
- Kwon, O. K., Kim, T. K., Son, B. H., & Park, S. H. (1999). Physiological effect of different underwear materials thermoregulatory response during exercise at cold environments. *Fashion and Textile Research Journal*, 1(1), 43-49.
- Kwon, O. K., Sung, S. K., & Son, B. H. (1992). The effects of underwear materials on the human body physiological in a low temperature. *The Journal of the Research Institute of Industrial Technology*, 2, 171-180.
- Lee, J. Y., Kim, M. J., Choi, J. W., Stone, E. A., & Hauver, R. A. (2008). Does wearing thermal underwear in mild cold affect skin temperatures and perceived thermal sensation on the hands and feet for the elderly? *Journal of Physiological Anthropology*, 27(6), 301-308. doi:http://doi.org/10.2114/jpa2.27.301.
- Na, Y. J., & Lee, J. Y. (2011). Physiological responses and subjective sensation of human body wearing onmapsi in heating environment. *Journal of the Korean Society of Clothing and Textiles*, 35(1), 1-12.
- Na, Y. J., & Son, M. Y. (2012). Research on the actual conditions of the Onmapsi campaign and its satisfaction of government officers. *Journal of the Korean Society of Clothing and Textiles*, 36(9), 991-999. doi:10.5850/JKSCT.2012.36.9.991
- Park, J. H., & Choi, J. W. (2009). Effect of wearing thermal underwear on physiological responses during exercise and rest. *Proceedings of the Korean Society and Textiles, Fall(or Spring) Conference, Korea*, pp. 168.

Park, M. J. (2014, November 10). 달아오른 ‘패션 내복’; 전쟁...시장 규모 1조원대 진입 [A fierce ‘Fashion underwear’ war ; Entry 1 trillion won market scale], *NEWS Today, MBC*. Retrieved May 22, 2015, from http://imnews.imbc.com/replay/2014/nwtoday/article/3555008_13495.html

Park, S. J., Chang, J. H., & Tokura, H. (2005). Thermo-physiological responses to the alternation of exercise and rest at 20°C when wearing underwear made of cotton or wool. *International Journal of Human Ecology*, 6(2), 1-9.

Sung, S. K., Kim, Y. H., & Park, M. A. (1993). Studies on the heat-keeping property and the warm/cool feeling of quilting underwears. *The Journal of the Applied Science Research Institute*, 2, 103-113.

Tanabe, S. (1990). Thermal comfort requirements of sedentary college-age subjects during the winter season in Japan. *Journal of Home Economics*, 41(5), 437-445. doi:10.11428/jhej1987.41.437.

(Received 2 June 2015; 1st Revised 3 July 2015;
2nd Revised 27 July 2015; Accepted 5 August 2015)

© 2015 (by) the authors. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution license (<http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.
