

운동에 의한 열 스트레스하에서 흡한속건성 소재 운동복 착용시의 온열생리적 반응 및 주관적 감각

이소진 · 박신정
성균관대학교 의상학전공

Thermophysiological Responses and Subjective Sensations when Wearing Clothing with Quickly Water-Absorbent and Dry Properties Under Exercise-Induced Heat Strain

So-Jin Lee and Shin-Jung Park

Dept. of Fashion Design, Sungkyunkwan University, Seoul, Korea

Abstract : The purpose of this study was to compare the thermophysiological responses and subjective sensations of clothing materials with different water transfer property investigated in exercising and resting subjects at an ambient temperature of 20°C and a relative humidity of 40%. Two kinds of clothing ensemble were tested: 100% cotton with highly water-absorbent but slowly dry properties(C) and 100% polyester with quickly water-absorbent and dry properties by four capillary channels(QADP). Seven apparently healthy male participants each undertook two series of experiments comprised 10-min of rest, 20-min of exercise with 70% of VO_{2max} on a treadmill and 20-min of recovery. Mean skin temperature was significantly lower in QADP than in C during exercise and recovery. Clothing microclimate temperature was significantly lower in QADP during exercise and clothing surface temperature was also lower in QADP especially during recovery. Also, clothing surface humidity was significantly higher in QADP after the later half of exercise. The concentration of blood lactic acid tended to decrease to a lower level at recovery 3 minutes when wearing QADP rather than C clothing ensemble. Metabolic energy was marginally significantly less during the second half of exercise in QADP. Body mass loss tended to be greater in C than in QADP. The participants had better scores in thermal sensation, comfortable sensation and wetness in QADP during exercise and recovery. These results show that functional materials with quickly water-absorbent and dry properties can alleviate heat strain and induce more comfortable clothing microclimates and subjective sensations in the exercise-induced hyperthermia.

Key words : functional materials, quickly water-absorbent and dry properties, heat strain, body temperature, subjective sensations

1. 서 론

레저 스포츠용 뿐만 아니라 경기용 스포츠웨어는 환경조건이나 운동부하에 따른 인체의 생리적 특성을 충분히 고려하여 열평형을 이룰 수 있고 인체의 움직임에 효과적으로 대응할 수 있는 기능적인 특성이 요구된다.

최근 개발된 기능성 스포츠웨어는 소재의 물리적 특성에 따라 크게 투습성, 방수·방풍성, 흡한속건성, 보온성, 스트레칭성 소재로 나눌 수 있으며 그 외 자외선 차단성, 냉각성, 항균·항박테리아성 및 구김회복성 등의 성능을 복합적으로 가지고 있는 기능성 제품들이 상용화되고 있다. 또한 이들 소재의 의복이 이용되는 실제 환경에서의 그 기능을 확인하기 위한 연구도 활발히 진행되고 있다(조지현·류덕환 1999; Purvis·

Cable, 2000; Chung·Cho, 2004; 최정화 외, 2005).

한편 인체가 외부적으로 서열환경에 노출되거나 운동에 의한 내부적인 열생산으로 인하여 고체온(Hyperthermia)에 도달하게 되었을 때 인체의 열부담을 줄이기 위하여 의복은 무엇보다도 인체내부에서 외부환경으로의 열이동에 효과적으로 작용할 수 있어야 한다. 특히 운동에 의해 형성된 대사열은 전도, 대류, 복사에 의한 건열손실만으로는 열평형에 충분히 대응할 수 없고 열 방산의 90% 이상은 수분증발에 따른 잠열손실에 의해 이루어진다(中山·入來, 1987; Case·Waterhouse, 1994).

그러나 이러한 수분이동에 의한 열방산이 충분하지 못하고 무효발한이 증가하여 고체온 현상이 지속될 경우 체액의 손실이 가중되고 혈장량이 현저히 감소되어 운동능력을 발휘하는데 장애요인으로 작용할 수 있다(Edwards et al., 1972; Macdougall et al., 1974; Adams et al., 1975; 김유진·김기진, 2002). 따라서 많은 양의 발한이 동반되는 운동하에서 필수적으로 요구되는 스포츠웨어의 성능은 수분 흡수가 뛰어나고 흡수된 수분을 빠르게 속도로 방출시켜 열방산을 촉진시킴으로서 인체내부의

Corresponding author; Shin-Jung Park
Tel. +82-2-760-0515, Fax. +82-2-760-0514
E-mail: sjpark@skku.edu

열축적을 감소시키고 피부 및 의복내 기후를 건조하게 유지하여 열적 쾌적감을 부여할 수 있어야 한다.

쾌적감은 온열감 보다는 습윤감과 더 밀접한 관계가 있는 것으로 보고되고 있다(Gwosdow et al. 1985; Scheurell et al. 1985). 그러나 흡습성이 뛰어난 친수성 면소재는 수분전달 속도가 느려 발한으로 인한 고습하에서 섬유내부의 수분으로 인하여 축축한 느낌을 주게 되며, 움직임에 따라 감기는 현상이 발생하여 불쾌감을 유발하게 된다.

이러한 문제를 해결하기 위하여 가공처리에 의한 친수화나 섬유구조의 변형에 의한 흡한속건성 소재가 개발되었으며 특히 여러개의 모세관으로 이루어져 표면적을 증가시킨 소재는 수분전달 기능이 매우 우수한 것으로 보고되고 있다(김태규 외, 2002). 그러나 이들 제품에 대한 인체적용실험을 통하여 그들의 기능적 특성을 구체적으로 제시한 연구는 아직 충분히 이루어지고 있지 않다.

따라서 본 연구의 목적은 운동에 의한 열적 긴장상태에서 흡한속건성 폴리에스테르 소재의 운동복이 인체의 생리적 반응 및 온열 감각에 미치는 영향을 검토하여 인체의 열부담을 줄이고 운동수행능력을 향상시키기 위한 운동복 개발에 필요한 구체적인 데이터를 제공하는데 있다.

2. 실험

2.1. 피험자

7명의 성인 남자가 본 연구의 피험자로 참가하였으며 그들의 신체적인 특징은 평균연령 22.57(SEM 1.21)세, 키 176.42(SEM 1.67)cm, 몸무게 69.80(SEM 4.53)kg, Du Bois(1916)의 방정식에 의해 산출한 체표면적은 1.849(SEM 0.06)m²였다. 피험자 모두 장기간의 약물복용이나 의학적인 질환이 없고 야간 활동을 하지 않는 규칙적인 생활습관을 갖고 있으며 특별한 신체적응 훈련을 받지 않은 대학생이었다.

실험참가 전 피험자에게 실험내용과 목적에 대해 충분히 설명하였고 자발참여에 대한 서면동의를 받았으며 실험에 참가하

기 일주일 전부터 격한 운동이나 알코올 섭취 등은 삼가 하도록 하였다. 모든 피험자에 대하여 의복종류에 따라 2차례의 실험이 이루어졌으며 체온 등의 생리적 반응에 미치는 일주일의 영향을 배제하기 위하여 2차례의 실험은 각 피험자별로 하루의 같은 시간대에 이루어졌다. 또한 의복소재의 사전정보가 주관적 감각 평가에 미치는 영향을 줄이기 위하여 피험자에게 그에대한 구체적인 정보는 제공되지 않았다.

2.2. 실험의복

실험의복은 의복의 소재에 따라 2종류로 이루어졌으며 각각 팬티, 반소매셔츠, 긴바지와 긴소매점퍼로 구성되었다. 실험복은 같은 색, 같은 형태로 피험자 각각의 신체 사이즈에 따라 같은 여유량을 같도록 제작되었다. 의복소재는 수분전달이 느리고 낮은 공기투과도를 가진 100%의 면(C)과 수분전달이 빠르고 공기투과도가 높은 100% 폴리에스테르(QADP)의 2종류이며 QADP는 국내 V사에서 제작한 4개의 모세관으로 이루어진 네잎 클로버의 단면을 가진 흡한속건성 소재이다. 2종류의 의복은 수분전달도, 흡습성, 공기투과도에서 차이를 보이며 그 외의 물리적 특성은 가능한 비슷한 조건으로 제작되었다. 각 실험복 소재의 구체적인 물리적 특성은 Table 1과 같다.

실험시작 전 모든 실험의복은 세제를 사용하지 않고 찬물에서 세탁한 후 실험조건과 같은 20°C, 40% RH의 환경에서 자연 건조시켰다.

2.3. 실험방법

실험은 온도 20±0.5°C, 상대습도 40±3%로 조절된 인공기후실에서 이루어졌다. 적어도 실험시작 5일전까지 Bruce의 Protocol(1972)에 따라 트레이드밀을 이용하여 각 피험자별 최대산소소비량(VO_{2max})을 측정하였다. 또한 피험자는 실험시작 2시간 전부터 음식물 섭취를 삼가하였다. 피험자는 준비실에서 30분간 안정을 취한 후 실험실에 입실하여 나체상태의 체중을 측정하고 직장은 측정용 Thermistor와 피부온 측정용 Thermistor, 심박수 측정용 전극과 모니터를 착용하고 의복내

Table 1. Physical properties of experimental clothing materials

	C	QADP
Fiber contents	cotton 100%	polyester 100%
Fiber cross section	ribbon shape	4-leaves clover shape
Yarn count	40.1(NEC)	40.7(NEC)/130.5(D)
Fabric construction	interlock stitch	interlock stitch
Thickness (mm)	0.67	0.59
Weight (g·m ⁻²)	220	180
Air permeability (cm ³ ·cm ⁻² ·sec ⁻¹)	124.8	186.6
Moisture regain (%) at 20°C, 65% RH	8.41	0.47
Water vapor transfer (gm ² ·h ⁻¹)	94	102
Wickability (%)	89.6	90.9
Water absorbency (sec)	155	3
Thermal conductivity (W·m ⁻² ·°C ⁻¹)	0.027	0.020

기후 및 의복표면의 온·습도 측정을 위한 Hygrothermometer를 가슴부위에 부착하고 대사량 측정을 위한 마스크를 착용 한 후 의자에 앉아 10분간의 안정을 취하였다. 2종류의 의복에 대한 실험은 랜덤한 순서로 이루어졌으며 피험자는 실험의복 외에 100% 면 양말과 조깅화를 착용하고 실험에 임하였다. 10분간의 안정을 취한 후(안정기) 각 피험자의 VO_{2max} 70%에 해당하는 운동강도로 트레이드밀에서 20분간 달리는 운동을 실시하였으며(운동기) 그 후 의자에 앉아 20분간 회복하였다(회복기). 총 50분간의 실험시간 경과 후 나체상태의 체중을 측정하고 실험을 종료하였다.

2.4. 측정항목

직장온은 Thermistor(YSI Precision 4000A, USA, 감도; $\pm 0.02^{\circ}C$)에 의해 1분 간격으로 측정되었으며, 이마, 가슴, 윗팔, 넓적다리, 종아리의 5부위 국소 피부온은 피부온 측정용 Thermistor(D621-ID61, Yamakoshi Seisakusho, Japan, 감도; $\pm 0.1^{\circ}C$)에 의해 2분 간격으로 측정되었다. 평균피부온은 倉田의 방정식(장지혜, 1992)에 의해, 평균체온은 다음 식에 의해 산출되었다 : $\bar{T}_b = 0.65T_{re} + 0.35\bar{T}_{sk}$ (T_{re} , 직장온; \bar{T}_{sk} , 평균피부온). 심박수는 pulse watch(Sport Tester PE-2000, Polar Electroky, Finland)에 의해, 에너지 대사량은 Areomonotor (Quinton System, USA)에 의해 1분 간격으로 연속 측정되었다. 내의와 피부 사이의 의복최내층의 온도와 습도 및 외의 표면의 온·습도는 Hygrothermometer(TRH-CZ, Shinyei, Japan)를 이용하여 2분 간격으로 측정되었다.

온열감, 쾌적감, 습윤감에 대한 주관적 감각은 Table 2와 같이 각각 7척도, 5척도, 5척도에 의해 5분 간격으로 평가되었다. 혈중 젖산농도는 안정시, 운동직후, 회복 3분, 5분, 15분 20분의 총 6회에 걸쳐 왼손 중지 끝에서 Haematocrit-capillaries tubes를 이용하여 채혈한 후 Automatic lactate analyzer(1500YSI Sport, USA)에 의해 분석되었다. 실험전후의 체중은 정밀인체천칭(Braun AG Frankfurt/m Type 4243 감도; ± 1 g)에 의해 측정되었으며 그 감소량을 구하였다.

2.5. 데이터 분석

의복소재에 따른 생리적 반응을 비교하기 위하여 직장온, 평균체온, 피부온, 심박수에 대해서는 SPSS 통계 Package(ver. 11)를 사용하여 반복이 있는 2요인 분산분석을 실시하였으며

Table 2. Scales of subjective sensation

Thermal sensation	Comfort sensation	Wetness sensation
1 cold	1 very comfortable	1 dry
2 cool	2 comfortable	2 sweat onset
3 slightly cool	3 slightly uncomfortable	3 damp
4 neutral	4 uncomfortable	4 wet
5 slightly warm	5 very uncomfortable	5 soaking wet
6 warm	6 unbearable	
7 hot		

시간의 경과와 의복소재간에 유의한 교호작용이 인정되었을 경우 t-test에 의해 각 시점에서의 소재간 차이를 검증하였다. 에너지 대사량, 혈중 젖산농도, 체중감소량의 의복소재간 차이는 paired t-test에 의해 비교 분석되었으며 온열감, 쾌적감과 습윤감에 대한 주관적 감각은 Wilcoxon의 signed-ranks test에 의해 검증되었다.

3. 결 과

3.1. 체온

Fig. 1(a, b)은 C와 QADP의 두 의복소재간의 직장온과 평균체온의 경시적 변화를 비교한 것이다. 제시된 값은 기술적인 문제로 인하여 한 피험자의 직장온 데이터를 저장하는데 실패하여 6명의 피험자로부터 얻어진 데이터를 평균한 것이다. 직장온은 운동시작과 함께 급격히 상승하고 회복기에 서서히 하강하는 경향을 보였으나 두 의복소재간의 통계학적 유의차는 인정되지 않았다. 평균체온은 직장온과 비슷한 거동을 보이며 C 의복에 비해 QADP 의복 착용시 낮은 값을 유지하였다. 그 경향은 통계학적 유의수준에 접근하고 있다($F_{1,5}=6.551$, $p=0.051$).

각 부위의 피부온과 평균피부온은 Fig. 2에서 보여준 바와 같이 운동기의 상승과 회복기의 하강을 보이며 평균체온과 비슷한 거동을 나타내었다. 평균피부온은 시간의 경과에 따라 두 의복소재간의 유의한 차이를 보였으며($F_{25,150}=1.573$, $p<0.05$)

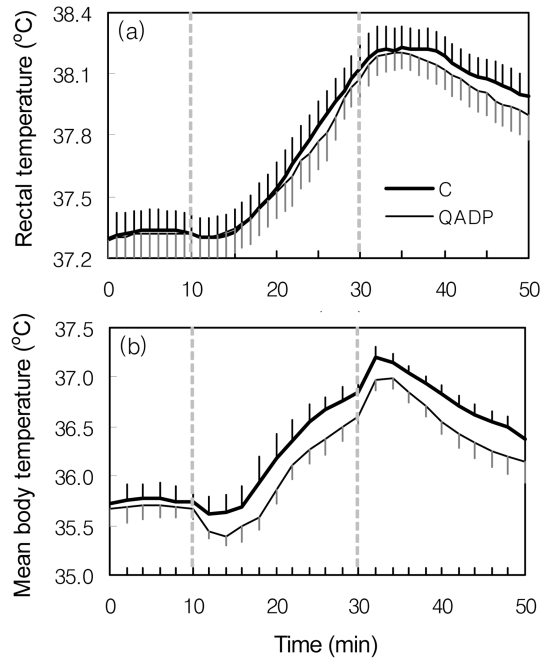


Fig. 1. Temporal changes of rectal temperature(a) and mean body temperature(b) in the two kinds of clothing. Thick line, C; Thin line, QADP.

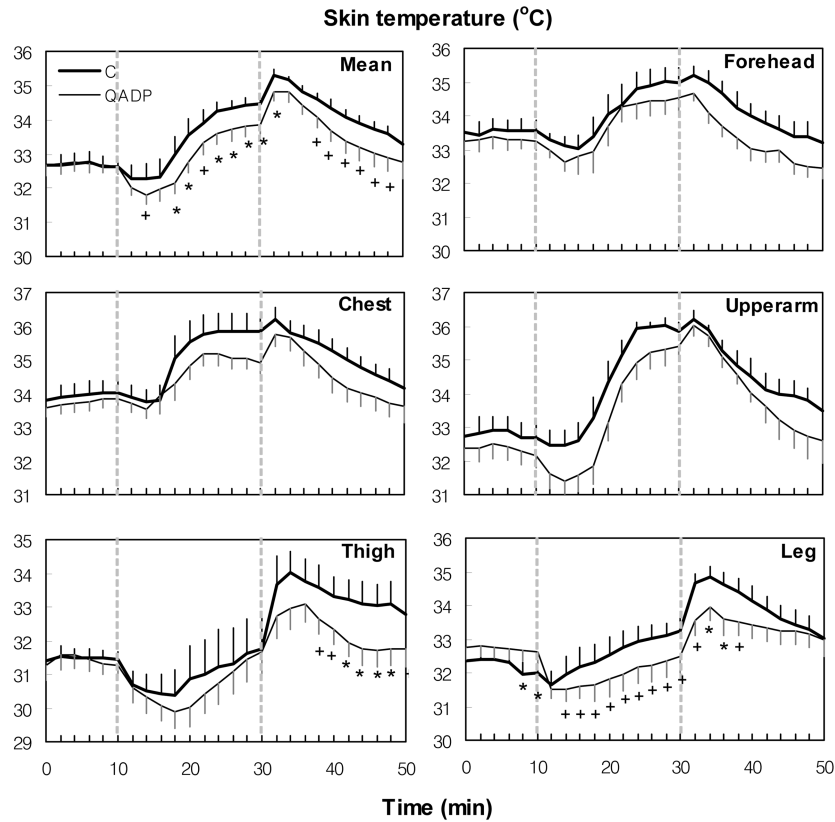


Fig. 2. Temporal changes of mean skin temperature and local skin temperatures at chest, upperarm, thigh, leg and foot in the two kinds of clothing. **, * and + indicate that the corresponding values differed significantly at 1%, 5% and 10% levels, respectively when the clothing and time interaction was significantly different.

운동기와 회복기에 있어서 QADP의 경우 유의하게 낮게 유지되었다. 이마와 윗팔의 피부온은 C에 비해 QADP 의복 착용시 낮은 경향을 보였으며(이마, $F_{1,6}=5.709$, $p=0.051$; 윗팔, $F_{1,6}=4.106$, $p<0.1$), 가슴부위 피부온은 두 의복소재간의 유의한 차이가 인정되지 않았으나 운동후반기부터 회복기에 이르기까지 7명의 피험자 중 5명에서 QADP의 경우 더 낮은 값을 보였다. 넓적다리와 종아리 피부온은 시간의 경과와 의복소재간의 교호작용에서 유의한 차이가 인정되었으며(넓적다리, $F_{25,150}=1.955$, $p<0.01$; 종아리 $F_{25,150}=3.318$, $p<0.01$) 넓적다리 피부온은 회복기에, 종아리 피부온은 운동기와 회복초기에 QADP의 경우 C보다 유의하게 낮은 경향을 보였다.

3.2. 의복최내층 및 의복표면의 온도와 습도

Fig 3(a, b)는 의복내 온도 및 최외층 의복의 표면온도에 대한 경시적 변화를 나타낸 것이다. 가슴부위에서의 의복최내층의 온도는 시간의 경과와 의복종류에 의한 교호작용에서 유의한 차이를 보였으며($F_{25,150}=2.479$, $p<0.01$) 운동기에서 QADP의 경우 C보다 유의하게 낮은 경향을 나타내었다. 그러나 의복의 표면온도는 전체적으로 QADP의 경우 유의하게 낮았으며 특히 그 차이는 회복기에서 더 크게 나타났다(의복의 주효과,

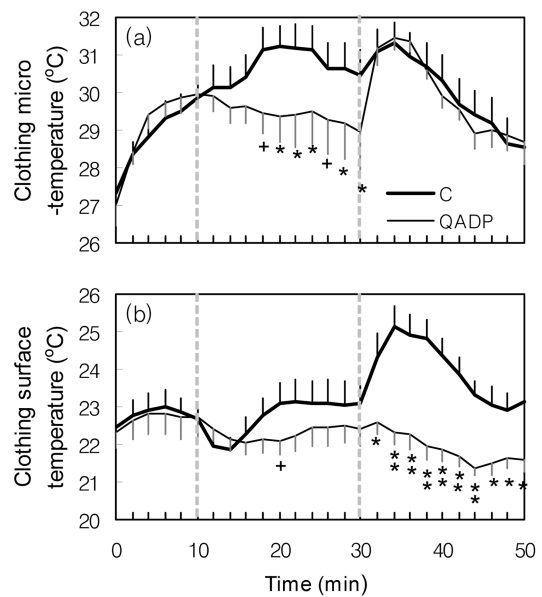


Fig. 3. A comparison of clothing microclimate temperature(a) and clothing surface temperature(b) between C(thick line) and QADP(thin line). Statistical significance indicated as in Fig. 2.

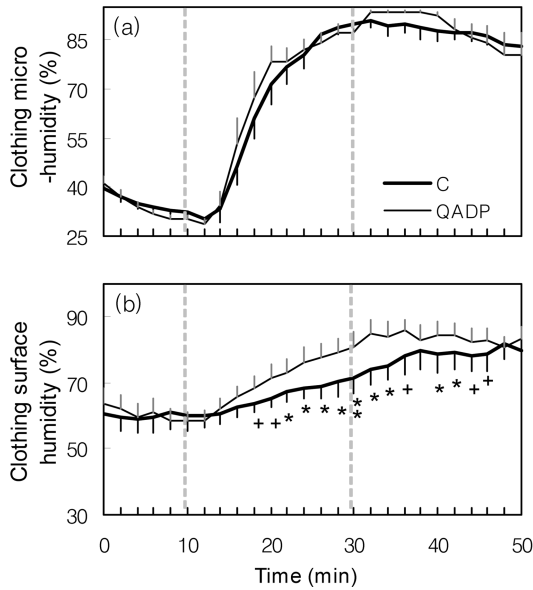


Fig. 4. A comparison of clothing microclimate humidity(a) and clothing surface humidity(b) between C(thick line) and QADP(thin line). Statistical significance indicated as in Fig. 2.

$F_{1,6}=11.410, p<0.05$; 교호작용, $F_{25,150}=3.357, p<0.01$).

Fig. 4에서 보여진 바와 같이 피부와 의복최내층간에 형성된 의복내 습도는 운동시작 약 6분 후부터 상승하기 시작하여 회복초기까지 지속되다가 회복후반기에 서서히 하강하는 경향을 보였으나 두 의복소재간의 통계학적 유의차는 인정되지 않았다. 또한 의복표면의 습도는 운동과 함께 증가하여 회복기까지 그 경향은 지속되었으며 QADP의 경우 회복후반기부터 서서히 감소하기 시작하였다. 의복표면의 습도는 시간의 경과에 따라 두 의복소재간의 유의한 차이를 보였으며($F_{25,150}=3.594, p<0.01$) 운동후반기부터 회복 16분까지 C보다 QADP의 경우 유의하게 높은 경향을 보였다.

3.3. 심박수와 대사율

심박수와 에너지 대사율은 운동시작과 함께 급격히 상승하고 회복기에 감소하는 거동을 보였으나(심박수 데이터 미제시) 두 생리적 인자 모두 의복소재간의 유의한 차이는 인정되지 않았다. 그러나 에너지 대사율(Fig. 5)은 운동후반기($p=0.051$)와 회복후반기에 7명의 피험자 중 5명에 있어서 QADP 의복을 착용한 경우 더 낮은 경향을 보였다.

3.4. 혈중 젖산농도

Fig. 6(a, b)는 혈중 젖산농도 및 그 변화율에 대한 두 소재간의 차이를 비교하고 있다. 운동시에 젖산농도는 급격히 상승하고 운동정지와 함께 감소하는 경향을 보이고 있다. 젖산농도는 두 의복소재간의 유의한 차이를 보이지 않았으나 회복기 3분(33분)에는 7명의 피험자 중 5명에서 QADP를 착용한 경우

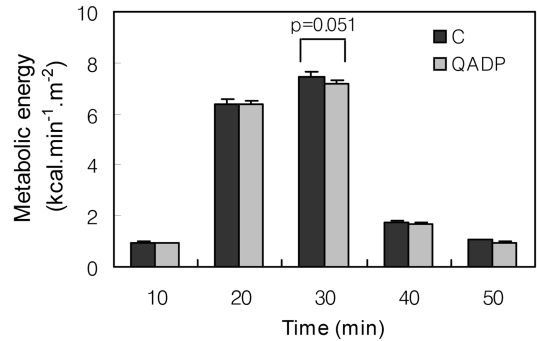


Fig. 5. Time course of metabolic energy in the two kinds of clothing. Black bar, C; Grey bar, QADP.

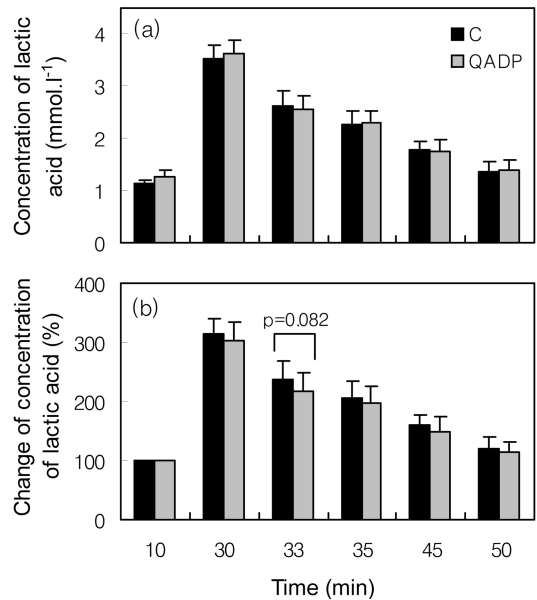


Fig. 6. A comparison of concentration of blood lactic acid(a) and the change of concentration of blood lactic acid(b) between C(Black bar) and QADP(Grey bar).

더 낮은 값을 보였으며 그 변화율도 낮은 경향을 나타내었다($p=0.082$).

3.5. 주관적 감각

Fig. 7(a, b, c)은 온열감, 쾌적감, 습윤감의 주관적 감각에 대한 두 의복소재간의 차이를 나타낸 것으로 데이터는 10분 단위의 평균값을 나타낸 것이다. 피험자는 QADP보다는 C 의복을 착용할 경우 운동후반기와 회복전반기에서 유의하게 덥게 느꼈으며, Fig. 7(b)에서 보인 바와 같이 QADP 의복 착용시 운동기와 회복후반기에서 더 쾌적하게 느낀 것으로 응답하였다. 또한 습윤감에 대한 주관적 평가는 C 의복 착용시 운동후반기와 회복전반기에서 유의하게 더 습하게 느낀 것으로 나타났다.

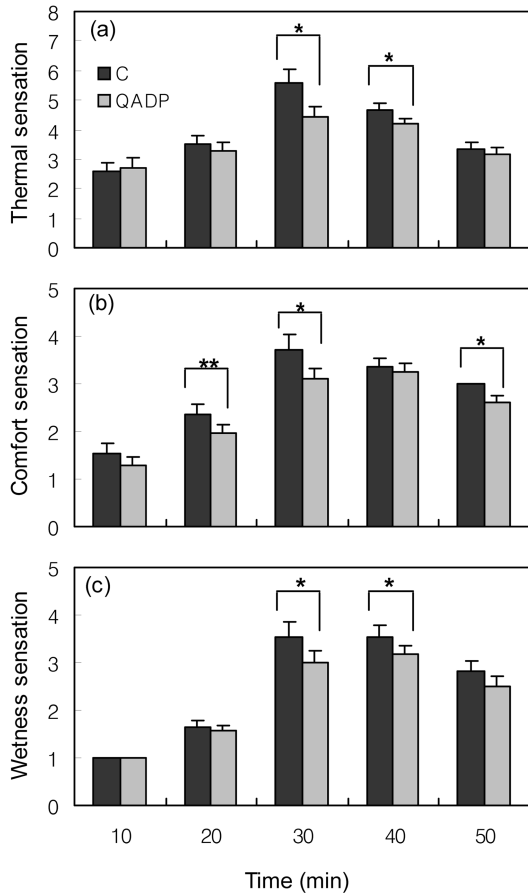


Fig. 7. A comparison of thermal sensation(a), comfort sensation(b) and wetness sensation(c) between the two kinds of clothing. Black bar, C; Grey bar, QADP. **p<0.01, *p<0.05.

3.6. 체중감소량

전 실험기간을 통한 체중감소량은 C 의복 착용시 404.5 (SEM 0.03)g, QADP 의복 착용시 370.0(SEM 0.02)g으로 나타났으며 그 차이는 통계학적으로 유의하지 않았지만 p<0.1에서 C의 경우 더 많은 감소량을 보였다.

4. 고 찰

운동에 의한 열 스트레스 하에서 면(C)과 흡한속건성 폴리에스테르(QADP) 소재로 제작된 의복을 착용하였을 때 직장온과 심박수는 소재간의 유의한 차이를 보이지 않았으나 평균체온 및 피부온은 운동기와 회복기에서 QADP 의복을 착용한 경우 유의하게 낮은 경향을 나타내었다(Fig. 1, 2). 운동에 의한 피부온의 상승은 인체 내부에 형성된 대사열의 방산을 위한 피부혈류량의 증가에 의한 것으로 작업근로의 혈액이동을 제한하여 운동수행능력의 저하를 초래할 수 있다(Malcom et al., 2000). 본 연구에서 C 의복 착용시에 평균체온 및 피부온이 더 높았던 것은 QADP 의복보다 열방산이 효과적으로 이루어지지 못

하고 체내에 축적되었음을 의미한다.

또한 QADP 의복 착용시 운동종료 후 3분이 경과되었을 때의 혈중 젖산 농도가 더 낮은 값으로 회복되는 것을 확인할 수 있었다(Fig. 6). 체내에 축적된 젖산은 피로의 지표로 사용되고 있으며(Tesch et al., 1978; Gonzalez-Alonso et al., 1999), 근육에서 피부로의 혈액 재분배에 의한 작업근 내에서의 무산소 대사의 증가에 따른 것이다(Bell et al., 1983; Olschewski · Bruck, 1988). 따라서 수분전달속도 및 통기성이 높은 QADP의 의복소재는 면소재에 비해 운동으로 인해 생성된 에너지를 더 빠른 속도로 외부환경으로 전달함으로써 인체의 열부담을 줄이고 피부온의 상승을 억제하여 피로의 누적을 감소시킬 수 있었던 것으로 사료된다.

Park et al.(2006)은 아마추어 야구선수들에 있어서 운동복의 열·수분전달속도가 빠른 경우 타액중의 젖산농도가 낮았으며 투구속도를 균일하게 제어할 수 있었다고 보고하였다. 비록 본 연구에서는 피험자들의 운동수행능력을 측정하지는 않았지만 QADP 의복 착용시 젖산농도가 낮았던 것은 C 의복 보다 운동수행능력을 향상시킬 수 있음을 시사한다.

운동에 의한 피로는 근육의 온도상승에 의하여 근수축·이완시간이 단축됨에 따라 나타난 현상이며 결과적으로 대사의 증가를 가속화시키는 것으로 보고되고 있다(Edwards et al., 1972; Ftaiti et al., 2001). 따라서 QADP 의복을 착용한 경우 비록 유의한 차이는 인정되지 않았지만 운동후반기 및 회복후반기에 에너지 대사량이 낮은 경향을 보였던 것은(Fig. 5) 근육의 피로를 경감시켜 적은 양의 에너지만으로 주어진 운동을 수행할 수 있었을 뿐만 아니라 운동이 완료된 후 작업근육은 긴장으로부터 빨리 회복되었음을 의미한다.

또한 체중감소량으로 추정되는 발한량이 C의 경우 더 많았던 것을 고려할 때 QADP 의복표면의 습도가 운동기부터 유의하게 더 높았으며 회복기에 서서히 감소하는 경향을 보였으나 C 의복의 경우는 회복기에도 지속적으로 증가하는 현상을 나타내었다(Fig. 4). 이는 QADP 의복을 착용한 경우 의복내에서 의복표면으로 수분의 이동이 빨리 진행되었음을 의미하며 의복표면으로 이동된 수분은 증발과 함께 열전달이 쉽게 이루어져 의복의 표면온도를 낮게 유지할 수 있었던 것으로 사료된다(Fig. 3). 또한 수분전달속도 뿐만 아니라 상대적으로 통기성과 투습성이 큰 QADP의 경우 운동이 유발하는 대류에 의해 더 효과적으로 열전달이 일어나 운동중 의복내 온도가 유의하게 낮았던 것으로 여겨진다(Lotens, 1993; Ha et al., 1999).

많은 학자들의 연구에 의하면(Nielsen·Nielsen, 1984; Gavhed·Holmér, 1996; Bulcao et al., 2000; 이대택, 2002), 주위환경이나 내부로부터의 산열에 의한 열부하가 인체의 온열감각에 미치는 영향은 피부온과 심부온이 비례적으로 관련되어 있다고 한다. 또한 Bulcao et al.(2000)은 심부온과 피부온이 온열쾌적감에 미치는 상대적 영향력에 대해 연구한 결과, 생리적 반응은 근본적으로 심부온의 변화와 관련되어 있고 온열쾌적감은 피부온에 의해 더 큰 영향을 받는다고 보고하였다. 따라서 본

연구에서 직장은 온 회복기에 QADP에서 약간 낮은 경향을 보이는 하였지만 두 의복간에 유의한 차이가 발견되지 않아 관련 생리적 변수인 심박수나 혈중 젖산농도, 에너지 대사량에서 QADP와 C 의복간의 통계학적 유의차를 유도해 내지 못한 것으로 사료된다. 그러나 QADP 착용시 피험자들의 주관적인 온열감이 더 낮았던 것은 평균피부온이 낮았기 때문으로 여겨진다. 즉, 흡한속건성 소재 의복은 발한에 의한 수분을 빠른 속도로 흡수하여 외부환경으로 전달하여 증발과 함께 열방산을 촉진함으로써 인체내의 열축적을 감소시켜 평균체온 및 평균피부온의 상승을 억제하여 온열 부담을 줄여준 것으로 여겨지며, 그 결과 Fig 7에서와 같이 의복 착용자에게 면소재 의복 착용시 보다는 피부의 습윤감을 줄이고 온열적으로 덜 덥고 쾌적한 느낌을 부여한 것으로 사료된다.

5. 결 론

본 연구는 수분전달속도가 다른 두 종류의 의복이 운동에 의한 열적 긴장상태에서의 생리적 반응 및 주관적 감각에 미치는 영향을 검토하기 위한 목적으로 이루어진 것이다. 실험의복은 상대적으로 수분의 흡수와 건조속도가 느린 100% 면(C)과 흡한속건성 100% 폴리에스테르(QADP) 소재로 제작된 팬티, 반소매셔츠, 긴바지, 긴소매점퍼로 구성되었으며 의복소재의 종류에 따른 2차례의 실험이 이루어졌다.

실험은 온도 20±0.5°C, 상대습도 40±3%로 제어된 인공기후실에서 10분간의 안정기, VO_{2max} 70% 강도에 의한 20분간의 운동기, 20분간의 회복기로 총 50분 동안 이루어졌다. 열 스트레스에 대한 생리적 반응으로서 직장은, 피부온, 심박수와 에너지 대사량, 혈중 젖산농도, 체중감소량이 측정되었으며 온열감, 쾌적감, 습윤감에 대한 주관적 감각을 평가하고 그 결과를 비교 분석하였다. 직장과 심박수는 두 의복소재간의 유의한 차이는 없었지만 평균체온과 각 부위 피부온 및 평균피부온은 운동기와 회복기에서 QADP 의복 착용시 더 낮게 유지되었다.

C 보다는 QADP 의복 착용시 의복최내층의 온도 및 의복표면 온도는 유의하게 낮았으며 의복표면습도는 더 높은 경향을 보였다. QADP 의복을 착용한 경우 에너지 대사량은 운동후반기에 낮은 경향을 보였으며, 운동에 의해 증가되었던 혈중 젖산농도는 운동종료 3분 후에 큰 변화량을 보이며 빠르게 감소되었다. 또한 피험자는 QADP 소재로 제작된 의복을 착용한 경우 C 의복에 비해 체중감소량을 줄이고 더 쾌적하게 느꼈으며 온열감과 의복 습윤감도 더 낮은 것으로 평가하였다.

이러한 연구결과로부터 운동으로 인한 고체온하에서 발한반응이 일어났을 때 수분전달속도가 빠른 흡한속건성 기능성 소재는 인체내부에서 생성된 대사열을 외부환경으로 빨리 전달하여 인체의 열부담과 피로를 줄이고 의복내 환경을 쾌적하게 유지시켜줌으로써 주관적으로 쾌적한 감각을 부여하는 효과적인 스포츠웨어 소재로 여겨진다.

그러나 본 연구에서 관찰된 혈중 젖산농도, 대사량의 생리적

인자에 있어서 통계학적 근거에 의한 확실한 결론을 얻기 위해서는 피험자 수를 증가시켜 재확인할 필요가 있을 것이며 다양한 환경에서 기능성 소재의 의복이 운동수행능력을 어느 정도 향상시킬 수 있을 것인지에 대한 후속연구가 이루어져야 할 것이다.

참고문헌

김유진 · 김기진 (2002) 비만인의 60분간 최대하운동시 기온차에 따른 심박수, 체온 및 혈중 젖산농도의 변화. *한국생활환경학회지*, **9**(4), 314-320.

김태규 · 서영성 · 권오경 · 고재운 (2002) 스포츠웨어용 고흡한 · 속건성 의류소재 개발. *한국의류산업학회지*, **4**(5), 487-498.

이태택 (2002) 인체의 피부 열감각 능력과 운동 중 열에 대한 감각. *한국생활환경학회지*, **9**(3), 215-220.

장지혜 (1992) “피복위생학”. 신광출판사, 서울, pp.39-47.

조지현 · 류덕환 (1999) 유산소 운동시 투습방수소재 스포츠 웨어의 소재별 인체생리반응과 쾌적감. *한국생활환경학회지*, **6**(2), 36-44.

최정화 · 김소영 · 전태일 (2005) 축구복 소재와 디자인이 인체생리 반응과 주관적 감각에 미치는 영향. *한국의류학회지*, **29**(1), 35-45.

中山昭雄 · 入來正躬 (1987) “エネルギー代謝・体温調節の生理学”. 醫學書院, 東京, pp.309-316.

Adams, W.C., Fox, R.H., Fry, A.J. and McDonald, I.C. (1975) Thermoregulation during marathon running in cool, moderate and hot environments. *J. Appl. Physiol.*, **38**, 1030-1037.

Bell, A.W., Hales, J.R.S., King, R.B. and Fawcett, A.A. (1983) Influence of heat stress on exercise-induced changes in regional blood flow in sheep. *J. Appl. Physiol.*, **55**, 1916-1923.

Bruce, R.A. (1972) Multi-stage treadmill test of submaximal and maximal exercise. In: American Heart Association. “Exercise testing and training of apparently healthy individuals: A handbook for physicians”. AHA, New York, pp.32-34.

Bulcao, C.F., Frank, S.M., Raja, S.N., Tran, K.M. and Goldstein, D.S. (2000) Relative contribution of core and skin temperature to thermal comfort in humans. *J. Therm. Biol.*, **25**, 147-150.

Case, R.M. and Waterhouse, J.M. (1994) “Human Physiology: Age, Stress, and the Environment”. Oxford University Press, Oxford, pp.127-154.

Chung, H. and Cho, G. (2004) Thermal properties and physiological responses of vapor-permeable water-repellent fabrics treated with microcapsule-containing PCMs. *Textile Res. J.*, **74**, 571-575.

Du Bois, D. and Du Bois, E.F. (1916) A formula to estimate the appropriate surface area if height and weight be known. *Archiv. Intern. Med.*, **17**, 863-871.

Edwards, R.H.T., Harris, R.C., Hultman, E., Kaijser, L., Koh, D. and Nordesjo, L.O. (1972) Effects of temperature on muscle energy metabolism and endurance during successive isometric contraction sustained to fatigue of the quadriceps muscle in man. *J. Physiol. London*, **220**, 335-352.

Ftaiti, F., Grelot, L., Coudreuse, J.M. and Nicol, C. (2001) Combined effect of heat stress, dehydration and exercise on neuromuscular function in humans. *Eur. J. Appl. Physiol.*, **84**, 87-94.

Gavhed, D.C.E. and Holmér, I. (1996) Physiological and subjective responses to thermal transients of exercising subjects dressed in

- cold-protective clothing, *Eur. J. Appl. Physiol.*, **73**, 573-581.
- Gonzalez-Alonso, J., Teller, C., Andersen, S., Jensen, F.B., Hyldig, T. and Nielsen, B. (1999) Influence of body temperature on the development of fatigue during prolonged exercise in the heat. *J. Appl. Physiol.*, **86**, 1032-1039.
- Gwosdow, A.R., Stevens, J.C., Berglund, L.G. and Stolwijk, J.A.J. (1985) Skin friction and fabric sensation in neutral and warm environments. *Textile Res. J.*, **55**, 574-580.
- Ha, M., Tokura, H., Yanai Y., Moriyama T. and Tsuchiya N. (1999) Combined effects of fabric air permeability and moisture absorption on clothing microclimate and subjective sensation during intermittent exercise at 27°C. *Ergonomics*, **42**, 964-979.
- Lotens, W.A. (1993) "Heat Transfer from Humans Wearing Clothing". TNO Institute for perception, Soesterberg, pp.84-105.
- Macdougall, J.D., Reddam, W.G. Layton, C.R. and Dempsey, J.A. (1974) Effects of metabolic hyperthermia on performance during prolonged exercise. *J. Appl. Physiol.*, **36**, 538-544.
- Malcom, S., Armstrong, R., Michaliades, M. and Green R. (2000) A thermal assessment of army wet weather jackets. *Int. J. Indust. Erg.*, **26**, 417-424.
- Nielsen, R. and Nielsen, B. (1984) Influence of skin temperature distribution on thermal sensation in a cool environment. *Eur. J. Appl. Physiol.*, **53**, 225-230.
- Olschewski, H. and Bruck, K. (1988) Thermoregulatory, cardiovascular, and muscular factors related to exercise after precooling. *J. Appl. Physiol.*, **64**, 803-811.
- Park, S.J., Tokura, H. and Sobajima, M. (2006) Effects of clothing materials on pitching speed in baseball players in hot environmental conditions. *Textile Res. J.*, **76**, 383-387.
- Purvis, A.J. and Cable, N.T. (2000) The effects of phase control materials on hand skin temperature within gloves of soccer goalkeepers. *Ergonomics*, **43**, 1480-1488.
- Scheurell, D.M., Spivak, S.M. and Hollies, N.R.S. (1985) Dynamic surface wetness of fabrics in relation to clothing comfort. *Textile Res. J.*, **55**, 394-399.
- Tesch, P., Sjodin, B., Thorstensson, A. and Karlsson, J. (1978) Muscle fatigue and its relation to lactate accumulation and LDH activity in man. *Acta. Physiol. Scand.*, **103**, 413-420.

(2006년 1월 8일 접수)
