

운동시 피부온의 변화에 대한 서모그래피 활용 분석

김희은 · 이아람

경북대학교 의류학과/장수생활과학연구소

Analysis of Thermography on Skin Temperature during Exercise

Hee-Eun Kim and Ah-Ram Lee

Dept of Clothing & Textiles, Kyungpook National University/Center for Beautiful Aging; Daegu, Korea

Abstract : The purpose of this study was to investigate the variation of regional skin temperature with thermography during exercise. Seven men completed 82-min trials which consisted of rest, exercise of VO_2 max 60% and recovery period at $30\pm 0.5^\circ C$ and $60\pm 5\%RH$. Changes in skin temperature due to physical activity varied, depending region of the body. The skin temperature of the chest was significantly lowered and that of the back was significantly increased after exercise period ($p < 0.05$). There were significant negative relationship between the skin temperature of the chest and thermal comfort sensation, and positive relationship between skin temperature of the back and thermal comfort sensation ($p < 0.05$). It would be better to keep the chest warm, and the back cool during exercise. The skin temperature changed differently on body site due to exercise, and it was influenced by blood flow, sweating and air movement. This study would be meaningful in that the change of regional skin temperature during exercise was investigated consecutively with thermography. In further study, it would be more realistic to measure physiological response with functional sportswear which applies different functional fabric based on skin temperature.

Key words: thermography, skin temperature, exercise, sportswear

1. 서 론

인간은 항온동물로서 자율성 체온조절반응과 행동성 체온조절반응으로 열생성과 열손실의 균형을 이루면서 체온을 일정하게 유지하려고 한다. 심부온은 $37^\circ C$ 내외로 아주 좁은 범위를 유지하고 있는 반면, 피부온은 심부온의 이러한 항상성 유지를 위해 비교적 넓은 범위로 변화하고 있다.

우리 몸이 더운 환경에 노출 되었을 때는 피부온이 대체적으로 고른 분포를 보이지만(Olesen, 1982), 운동시에는 발한의 분포가 부위별로 다르게 나타나므로 이에 따른 피부온 변화에도 적절하게 대처하여 효율적인 온도유지를 하여야 할 것이다. 운동시에는 근수축에 의해 열이 생성되며 운동시의 에너지 대사는 평소의 10~20배로 상승하게 되며, 이중 실제 운동에너지로 쓰이는 열은 30%이하에 불과하며 나머지 열은 체외로 방사되거나 또는 체내에 축적되어 고체온증을 유발할 수도 있다(Sawka & Wenger, 1988).

운동에 의해 발생된 열을 방출시키기 위해 우리의 인체는 피부혈류량을 증가시키며 이로 인해 피부온이 상승하여 더위를

느끼게 되고, 혈류량 상승만으로 방열이 어려울 때는 땀을 흘리게 된다. 따라서 운동시에 피부를 통한 체내와 환경사이의 열 이동 매커니즘을 파악하는 것은 체온조절 측면에서 매우 중요하므로 피부온의 변화에 대한 분석이 필요하다고 할 수 있다.

현재 피부생리학 연구분야에서 피부온의 측정은 주로 서모커플(thermo-couple)이나 서미스터(thermistor)를 사용하고 있는데 이러한 방법들은 피부에 직접 부착하여 측정하므로 피부온에 영향을 줄 우려가 있고 센서와 측정기기 사이에 연결된 선으로 인해 피험자의 활동에 제약을 주며, 신체부위를 세분화하여 온도를 측정하는 데에는 한계가 있다. 그러나 서모그래피(thermography)는 피부표면에서 방출되는 적외선 에너지를 활용하여 온도정보를 수집하여 나타내는 것으로, 이것을 활용한 피부온의 측정은 피험자의 신체에 센서를 부착하지 않으므로 피부에 영향을 주지 않고 피부온을 측정 할 수 있으며 피험자의 활동을 제약하지 않으며 한 번의 촬영으로 다량의 데이터 획득이 가능하다. 서모그래피는 적외선 이미지를 촬영하는 방식으로 가시광선대역을 촬영하는 일반 카메라와는 달리 외부의 광원 없이도 물체 표면의 온도정보를 수집하여 화면상에 나타낼 수 있어 생리학 분야에서는 피부온 변화 관찰시에 유용하게 사용될 수 있다.

서모그래피를 사용하여 피부온을 관찰한 연구로는 Hunold et al.(1992)의 운동후 피부온의 서모그래피 분포, Clark et al.

Corresponding author; Hee-Eun Kim
Tel. +82-53-950-6224, Fax. +82-53-950-6219
E-mail: hekim@knu.ac.kr

	Rest				Exercise (5min Exercise, 2min Thermography×6)											Recovery						
	(min)	0	5	10	15	20	25	27	32	34	39	41	46	48	53	55	60	62	67	72	77	82
Thermography		①	②	③	④	⑤	⑥		⑦		⑧		⑨		⑩		⑪		⑫	⑬	⑭	⑮
Thermal Sensation		●	●	●	●	●	●		●		●		●		●		●		●	●	●	●

Fig. 1. Experimental protocol.

(1977)의 서모비전을 통한 피부온 분포 및 평균피부온 산출, Kim et al.(1995)의 등속성 운동시의 대퇴부 온도변화, Sung (1989)의 22°C에서의 성인여성의 피부온도 분포변화에 관한 연구 등이 있다. 그러나 이러한 연구들은 피부온의 변화를 일시적인 시점에서 관찰한 것으로, 연속적인 운동시의 피부온을 신체구간별로 비교 관찰한 연구는 부족하며 부위별 피부온과 쾌적감 사이의 상관관계를 규명한 연구 역시 미흡하다.

따라서 본 연구에서는 운동시의 피부온 변화를 서모그래피를 사용하여 관찰하고 쾌적감과 상관관계를 규명하여 체온을 효율적으로 유지할 수 있는 쾌적한 스포츠웨어 제작시의 기초 자료로 삼고자 한다.

2. 방 법

2.1. 피험자 및 실험조건

피험자는 신체 건강한 20대 남성 7명으로 서모그래피 촬영의 용이성을 위해 짧은 바지, 양말, 운동화만을 착용하고 실험에 참여하였다. 실험 진행 전 모든 피험자에게 실험방법에 대한 설명을 충분히 하였고 실험참가에 대한 서면동의서를 작성한 후 실험에 참가하도록 하였으며, 실험전 1주일동안 술, 담

배 등은 금하고 매일 규칙적인 생활을 하도록 하였다.

피험자는 전실에서 심부온과 피부온의 안정을 위해 충분히 휴식을 취한 후 30±0.5°C, 60±5%RH로 설정된 인공기후실에 입실하여 20분의 안정기(REST), 42분의 운동기(EXERCISE), 20분의 휴식기(RECOVERY)로 이루어진 실험프로토콜을 수행하였다(Fig. 1). 운동기 동안에는 5분 운동 후 정지하여 서모그래피 촬영을 실시하였으며 이러한 형식으로 운동기간 중 총 6회 서모그래피 촬영을 하였으며 서모그래피 촬영을 위해 정지한 시간을 포함하여 총 42분이 소요되었다. 운동은 VO₂ max 60%의 강도로 트레드밀운동을 실시하였고 안정기와 휴식기에는 의자에 앉은 자세로 휴식을 취하였다.

2.2. 측정항목

2.2.1. 서모그래피를 활용한 피부온 측정

시간의 경과에 따른 피부온의 변화를 서모그래피를 통해 관찰하기 위하여 서모그래피 카메라인 T-200(FLIR System, Sweden)을 활용하여 5분 간격으로 총 15회 촬영하였다. 각 회차 촬영시에 동일한 자세를 취할 수 있도록 피험자에게 촬영 위치 및 자세에 관한 설명을 충분히 하였다. 촬영된 이미지에서 피부온을 분석하기 위해 피부온 측정 대표점을 설정하였으

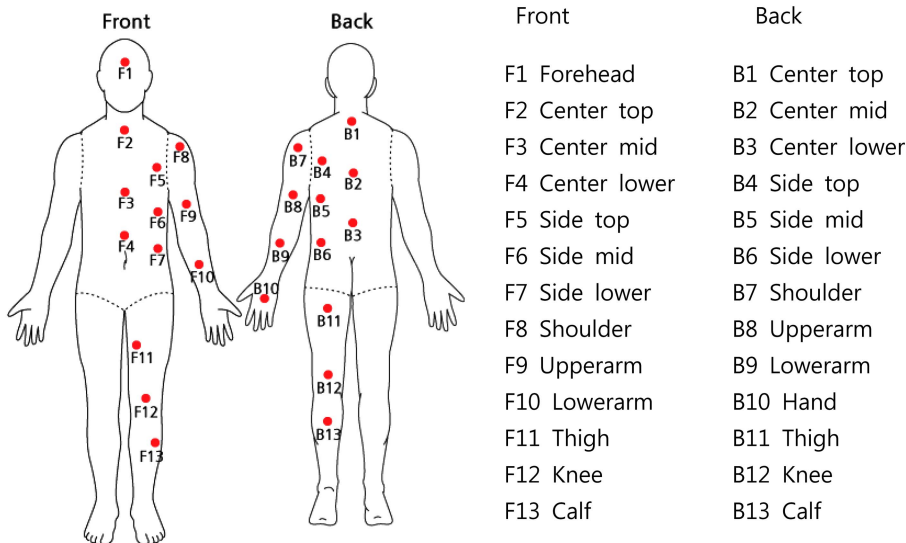


Fig. 2. Representative measuring point of regional skin temperature.

Table 1. Scale of subjective sensations

Temperature sensation ¹⁾		Wetness sensation ¹⁾		Thermal comfort ¹⁾		Perceived exertion ²⁾	
4	very hot	3	very wet	1	comfortable	6	no exertion at all
3	hot	2	wet	2	slightly uncomfortable	7	
2	warm	1	slightly wet	3	uncomfortable	8	
1	slightly warm	0	neutral	4	very uncomfortable	9	very light
0	neutral	-1	slightly dry			10	
-1	slightly cool	-2	dry			11	light
-2	cool	-3	very dry			12	
-3	cold					13	somewhat hard
-4	very cold					14	
						15	hard(heavy)
						16	
						17	very hard
						18	
						19	extremely hard
						20	maximal exertion

¹⁾ Nakahashi & Yoshida(1998), ²⁾ Brog(1982)

며 서모그래피 분석 프로그램인 Quick Report Software(FLIR System, Sweden)를 사용하여 수치화하였다. 피부온 측정 대표 점은 체간 13점, 상지 7점, 하지 6점으로 총 26점으로 설정하여 Fig. 2에 나타내었으며 전면 13점(F1~F13), 후면 13점(B1~B13)으로 분포되어 있다.

2.2.2. 주관적감각 평가

주관적감각은 온열감(temperature sensation), 습윤감(wetness sensation), 쾌적감(thermal comfort), 피로도(perceived exertion)를 측정하였으며 Nakahashi & Yoshida(1998)와 Brog(1982)가 제시한 척도를 참고하였다(Table 1). 피험자는 서모그래피 카메라 촬영 후 즉시 주관적감각에 응답하도록 하였으며 총 15회 응답하였다.

2.2.3. 통계처리 분석

자료의 처리는 SPSS 14.0 version을 이용하여 각 변인들에 대한 평균 및 표준편차를 산출하였으며 운동전, 운동후, 휴식후의 부위별 피부온의 관계를 검증하기 위하여 두 그룹씩 묶어 대응표본 t-test를 실시하였다. 안정기(1~5회차), 운동기(6~11회차), 휴식기(12~15회차) 각 구간별 부위별 피부온과 쾌적감 사이의 상관관계를 Pearson의 상관계수를 적용하여 분석하였고 통계적 유의수준은 5%미만으로 설정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 서모그래피를 활용한 피부온 측정

서모그래피 카메라를 활용하여 촬영한 운동후(11회차)의 피

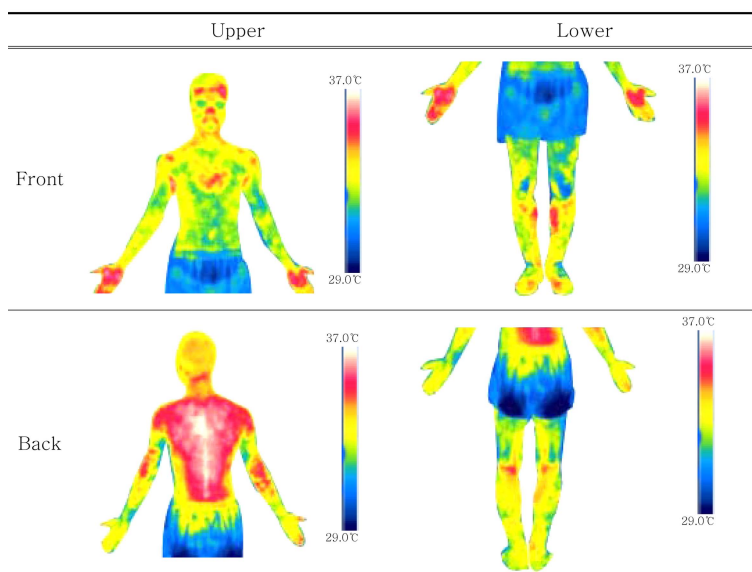


Fig. 3. Typical example of skin temperature during the last exercise period (at the 11st time).

부은 분포 예를 Fig. 3에 제시하였다. 상체의 전면은 후면보다 전반적으로 낮은 온도를 나타내었고 신체부위별로 피부온의 차이를 보였으며, 후면은 전면보다 전반적으로 높은 온도를 나타내 척추를 중심으로 고온인 현상을 띄는 것이 관찰되었다.

운동에 따른 피부온 변화를 심층적으로 분석하기 위해 운동전(5회차), 운동후(11회차), 휴식후(15회차) 세 시점에서의 피부온의 변화를 부위별로 비교하여 Fig. 4에 나타내었으며 대응표본 t-test를 사용하여 운동전과 운동후, 운동후와 휴식후, 운동전과 휴식후로 대응시켜 검정하였다.

운동전과 운동후의 부위별 피부온을 비교하였을 때, 운동후 이마를 비롯한 체간 전면(F1, F2~F7)쪽의 피부온이 운동전의 피부온에 비해 낮아지는 양상을 보였으며 특히 F4, F6, F7은 유의하게 피부온이 하강한 것으로 관찰되었다($p < 0.01$). 이러한 현상은 운동시에 발생한 강제대류현상으로 인한 것으로 설명할 수 있는데, Arens & Zhang(2006)은 몸이 움직이게 되면 강제대류가 일어나게 되고 이것은 피부근처의 정지공기층을 제거해 피부와 환경사이의 열교환을 증가시켜 피부온을 하강하게 한다고 그의 연구에서 밝히고 있다. 반면 체간 후면(B1~B6)의 피

부온 변화를 관찰한 결과 운동전에 비해 운동후에는 B1을 제외한 모든 부위의 피부온이 상승하였으며, 특히 B2와 B3은 다른 부위보다 유의하게 높은 온도를 나타내었다($p < 0.05$). 운동시에 발생하는 발한과 그에 따른 증발로 인해 피부온이 하강할 것이라는 예상과는 달리 피부온의 상승이 나타난 것은 운동시에 발생한 혈류량의 증가로 인하여 방열량이 상승하였으며 이러한 상승이 더 큰 기전으로 작용하였기 때문으로 판단된다. 상지 전면(F8~F10)은 운동전에 비해 운동후에 온도가 하강하는 것이 관찰되었으며 변화에 따른 주관적감각 측정에서 F9와 F10은 유의하게 온열감이 낮은쪽의 척도로 하강한 것으로 나타났는데($p < 0.01$), 이는 운동 시 발생한 땀 상지의 움직임에 따른 강제대류로 빠르게 증발하여 온열감이 더 추운쪽으로 이동하여 나타난 결과로 보인다. 또 상지 후면(B7~B10)은 운동후 피부온이 상승하였으며 하지는 운동후 전반적으로 온도가 하강하였다. 손등(B10)의 온도는 운동전에 비해 운동후 유의하게 2.0 하강하여 다른 부위에 비해 온도변화가 큰 것으로 나타났다($p < 0.01$).

운동후와 휴식후의 부위별 피부온을 비교하였을 때, 휴식후 체간 전면은 부위별로 상승과 하강이 다양하게 나타나 일정한 경향을 보이지는 않았다. F1, F2, F3, F5는 하강하였고 F4, F6, F7은 상승하며 특히 F3은 유의하게 하강하였으며($p < 0.05$) F7은 유의하게 상승하였다($p < 0.01$). 체간 후면의 온도는 전반적으로 하강하였으며 특히 B2, B3, B4는 유의하게 하강하였다($p < 0.05$). 손등(B10)의 온도는 휴식후 1.8 상승을 하였으며 이는 운동전에 비해 운동후 약 2 하강한 현상과 함께 살펴보면 다른 부위의 온도변화량보다 큰 폭으로 변화하였다는 것을 알 수 있다. 이는 손의 체표면적이 넓어 외부 환경과의 열교환을 위한 혈관 조절 반응이 활발하게 일어난 것으로 설명할 수 있다(Arens & Zhang, 2006).

운동전과 휴식후의 부위별 피부온을 비교하였을 때, 휴식후 체간 전면의 피부온은 운동전에 비해 전반적으로 유의차를 보이며 하강하였으며($p < 0.05$), 체간 후면의 피부온은 운동후 B2와 B3에서 상승이 관찰되었으며 특히 B3의 경우 유의차를 보이며 상승하였다($p < 0.05$). 체간 전면의 경우 운동시 발생하였던 땀이 휴식기에 증발하여 잠열의 발생으로 인해 운동전보다 낮은 수준까지 피부온이 하강하였으나, 체간 후면의 경우 휴식후 체표면에서의 땀 증발이 충분히 이루어 지지 않아 운동전보다 낮은 수준까지는 피부온이 하강하지 않았다. 따라서 체간 후면, 특히 척추를 중심으로 한 부분은 운동시 추가적으로 체표면의 온도를 낮추어 주는 것이 체온 조절에 유리할 것으로 판단된다.

3.2. 주관적감각 평가

시간의 변화에 따른 주관적감각 평가 결과를 Fig. 5에 나타내었다. 온열감, 습윤감, 쾌적감, 피로도 모두 운동 시작 후에 더 덥게, 더 습하게, 더 불쾌하게, 더 피로하게 느끼는 쪽으로 응답하여 주관적감각 척도상에서 상승을 보였고 운동 종료 후

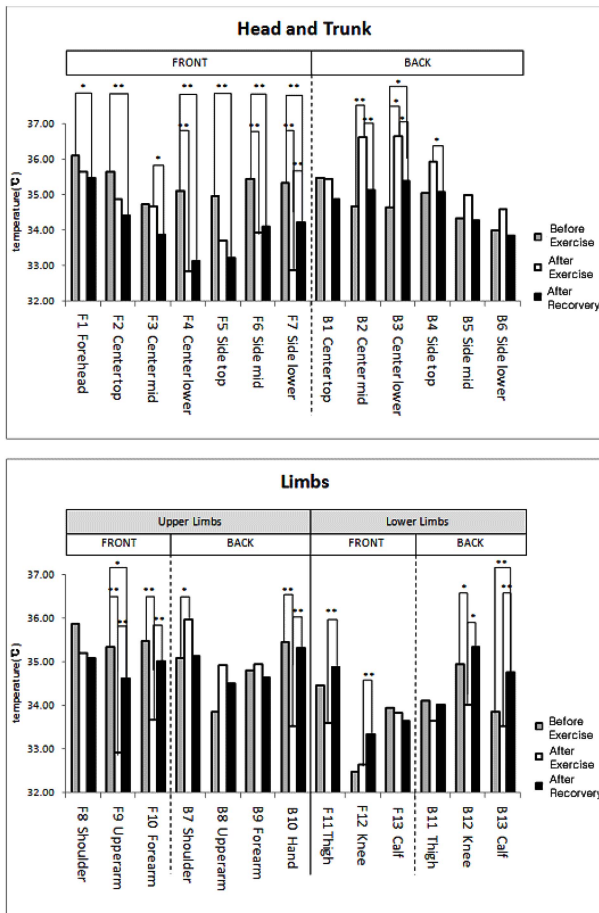


Fig. 4. Regional skin temperature at 'Before Exercise','After Exercise' and 'After Recovery' (Top: Head and Trunk, Bottom: Limbs; ** $p < .01$, * $p < .05$).

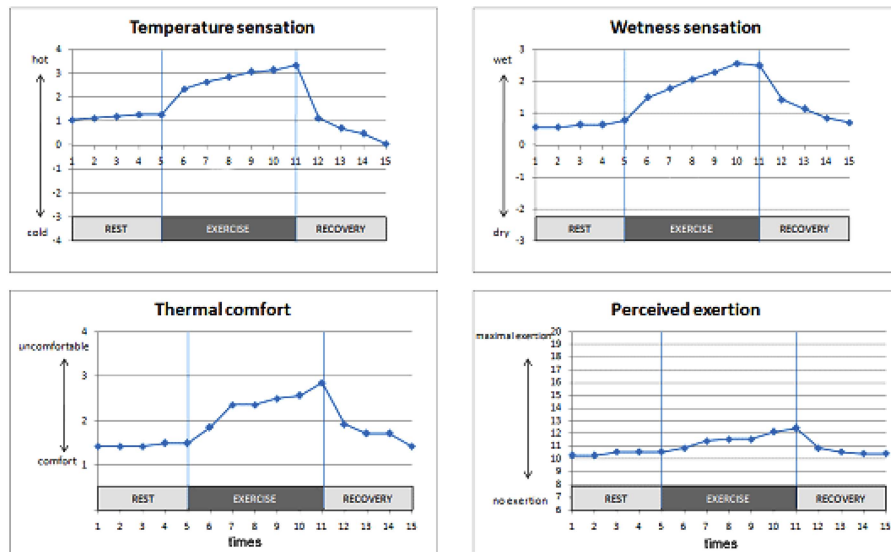


Fig. 5. Change of subjective sensations across times.

휴식기 중에는 하강하는 양상이 나타났다. 이는 운동 부하로 인해 피험자의 체온이 상승하게 되고, 발汗을 하게 되어 운동을 하기 전보다 불쾌하게 느꼈고 피곤하게 느꼈기 때문으로 판단된다.

주관적감각 중 쾌적감과 피부온의 상관관계를 살펴보기 위하여 안정기(1~5회차), 운동기(6~11회차), 휴식기(12~15회차) 각 구간별 쾌적감과 피부온을 Pearson 상관계수로 분석하여 Table 2에 나타내었다. Bulcao et al.(2000)의 연구에 의하면 생리적 반응은 심부온의 변화와 관련이 있고 쾌적감과 같은 주관적 반응은 피부 온의 변화에 영향을 받는다고 하였는데, 본 연구에서도 구간별로 피부온이 전체쾌적감과 높은 상관관계를 보이는 것으로 나타났다. 안정기, 운동기, 휴식기의 세 구간 중 안정기에서의 쾌적감은 피부온과 가장 많은 부위에서 0.9 이상의 높은 상관관계를 보였다. 그러나 운동기의 쾌적감과 피부온 사이의 상관관계에서는 F4와 F7과 같은 복부 부위와 상지전면부위 F9에서 부(-)적인 상관관계를 보였고, B2, B3, B4와 같은 척추를 중심으로 한 부위와 B7, B9와 같은 상지후면은 정(+)적인 상관관계를 보였다($p < 0.05$). 본 연구에서 사용한 쾌적감 척도에서 부적인 상관관계를 나타낸다는 것은 피부온이 높아질수록 쾌적감 척도가 1에 가까워지면서 쾌적하게 느낀다는 것으로 판단할 수 있으며, 이와 반대로 정적인 상관관계는 피부온이 높아질수록 불쾌하게 느낀다는 것으로 판단할 수 있다. 따라서 운동시 쾌적감을 유지하기 위해서는 복부 및 사지부의 피부온은 따뜻하게 유지될 수 있도록 하고 척추를 중심으로 한 체간 후면의 피부온은 시원하게 하는 것이 효율적이라는 것을 알 수 있었다. 휴식기의 피부온과 쾌적감과의 상관관계는 다른 구간에 비해 나타나지 않았는데 이는 운동으로 인해 상승된 피부온과 쾌적감이 20분간의 휴식기동안에 회복이 충분히 이루어지지 않아 일정한 경향성을 파악하기 어려웠던 것으로 판단된다.

Table 2. Correlation between thermal comfort and skin temperature (Pearson's correlation coefficient)

Skin Region		Rest	Exercise	Recovery	
Head	F1	0.970**	0.868*	0.948	
	F2	0.902*	-0.034	0.497	
	F3	-0.047	0.724	0.899	
	Trunk (front)	F4	0.946*	-0.817*	0.876
		F5	0.908*	-0.219	0.867
		F6	0.931*	-0.702	0.183
		F7	0.958*	-0.964**	-0.754
Trunk (back)	B1	0.988**	0.420	0.834	
	B2	0.953*	0.965**	0.907	
	B3	0.303	0.987**	0.815	
	B4	0.959**	0.980**	0.875	
	B5	0.946*	0.805	0.931	
	B6	0.751	0.786	0.932	
Upper Limbs (front)	F8	0.962**	0.454	0.135	
	F9	0.976**	-0.872*	-0.876	
	F10	0.921*	-0.185	-0.694	
Upper Limbs (back)	B7	0.974**	0.916*	0.949	
	B8	0.965**	0.802	0.895	
	B9	0.943*	0.820*	0.996**	
	B10	0.953*	-0.524	-0.471	
Lower Limbs (front)	F11	0.942*	-0.695	-0.656	
	F12	0.991**	0.553	0.622	
	F13	0.990**	-0.817*	0.984*	
Lower Limbs (back)	B11	0.939*	0.374	0.628	
	B12	0.914*	-0.886*	-0.913	
B13	0.991**	-0.517	-0.566		

** $p < .01$, * $p < .05$

4. 결 론

본 연구는 피부온에 영향을 주지 않고 간접촬영이 가능한 서모그래피를 활용하여 운동시 피부온의 변화를 분석하였으며 이에 따른 주관적감각의 변화를 고찰하여 스포츠웨어 제작시의 기초자료를 제공하고자 하였다. 본 연구에서 사용한 서모그래피는 한 번의 촬영으로 다량의 데이터를 획득할 수 있으며 실험 특성에 맞게 구간별로 피부온의 변화를 쉽게 구분하여 파악할 수 있어 사용적합성이 높다고 할 수 있다.

본 연구에서 실시한 피부온 분석에서 체간 전면의 피부온은 강제대류로 인한 발한 증발 등으로 인해 운동시에도 상대적으로 낮은 피부온을 유지하였지만, 체간 후면의 피부온은 상대적으로 높은 피부온을 나타내는 것으로 관찰되었다. 그러나 운동시의 쾌적감과 부위별 피부온 사이의 상관관계를 규명한 결과, 체간 전면 및 사지부는 피부온이 높을수록 쾌적감을 느끼고 체간 후면의 피부온은 낮을수록 쾌적감을 느끼는 것으로 나타났다. 따라서 운동시의 효율적인 체온 관리를 위해서는 체간 전면의 피부온은 지나치게 하강하지 않도록 따뜻하게 유지시켜주는 것이 중요하고 체간 후면의 피부온은 발한을 효율적으로 증발시키는 등의 방법을 통해 온도를 낮추는 것이 중요하다는 것을 알 수 있었다.

본 연구에서는 기존의 단편적인 시점에서 서모그래피 이미지 결과를 분석한 연구들과는 달리 운동 전후 피험자를 연속적으로 촬영하여 부위별 피부온을 수치화하여 분석하였다는 점에서 그 의미를 찾을 수 있으며, 이러한 분석 결과는 부위별 피부온의 조절을 통해 쾌적감을 유지할 수 있는 의복을 제작하는데 있어 기초자료가 될 수 있을 것이다.

또한 피부온의 변화에 대응할 수 있는 부위별 보온 및 흡한 성능을 달리하는 재료를 적용한 의복을 제작하여 다양한 환경에서의 착용실험을 통해 그 효과를 검증하는 등의 후속연구가 이어진다면, 기능성 스포츠웨어의 개발에 긍정적 영향을 미칠 수 있을 것이며 스포츠 기록의 단축 등에 기여하여 스포츠웨어 시장 활성화를 가능하게 할 것이다.

감사의 글

이 논문은 2008년도 정부재원(교육인적자원부 학술연구조성사업비)으로 학술진흥재단의 지원을 받아 연구되었음(KRF-2008-313-C00996)

참고문헌

- Arens, E., & Zhang, H. (2006). *The skin's role in human thermoregulation and comfort: Thermal and moisture transport in fibrous materials*. Cambridge : Woodhead Publishing Limited.
- Brog, G. (1982). Psychophysical bases of perceived exertion. *Medical & Science in Sports & Exercise*, 14(5), 377-381.
- Bulcao, C. F., Frank, S. M., Raja, S. N., Tran, K. M. & Goldstein, D. S. (2000). Relative contribution of core and skin temperatures to thermal comfort in humans. *Journal of Thermal Biology*, 25(1-2), 147-150.
- Clark, R. P., Mullan, B. J., & Pugh, L. G. C. (1977). Skin temperature during running- a study using infra-red colour thermography. *Journal of Physiology*, 267(1), 53-62.
- Hunold, S., Mietzsch, E., & Werner, J. (1992). Thermographic studies on patterns of skin temperature after exercise. *European Journal of Applied Physiology*, 65(6), 550-554.
- Kim S. M., Oh Y. S., Lee J. E., & Kwon H. C., (1995). Bilateral skin Temperature Change of the Anterior Thigh Following Unilateral Isokinetic Exercise. *KAUTPT*, 2(1), 14-20.
- Nakahashi, M., & Yoshida K.(1998). *新しい衣服衛生*. Physiology of Clothing Tokyo: Nankodo.
- Olesen, B. W. (1982) Technical Review-Thermal Comfort, Briel & Kjaer Press, Denmark.
- Sawka, M. N., & Wenger, C. B. (1988). Physiologic response to acute exercise heat stress. In K. B. Pandolf (Ed.). *Human Performance Physiology and Environmental Medicine at Terrestrial Extremes*. NSW: Benchmark Press.
- Sung, S. K. (1989). Distribution of Skin Temperature in Female at Ambient Temperature of 22, *HSJBS*, 3, 91-96

(2011년 5월 11일 접수/2012년 1월 24일 1차 수정/2012년 1월 24일 게재확정)