〔보 문〕

Journal of the Korean Society
of Clothing and Textiles
Vol. 33, No. 10 (2009) p.1665~1672

아웃도어웨어의 착용 쾌적성 평가를 위한 심전도 및 뇌파 분석

정정림 · 김희은*†
경북대학교 의류학과, *경북대학교 의류학과/경북대학교 장수생활과학연구소

Assessment of the Wear Comfort of Outdoorwear by ECG and EEG Analyses

Jeong-Rim Jeong · Hee-Eun Kim*†
Dept. of Clothing & Textiles, Kyungpook National University
*Dept. of Clothing & Textiles, Kyungpook National University/
Center for Beautiful Aging, Kyungpook National University
접수일(2009년 7월 14일), 수정일(1차 : 2009년 8월 10일, 완료일 : 2009년 8월 13일), 게재확정일(2009년 8월 17일)

Abstract

This study examines the comfort of outdoorwear by electrocardiogram (ECG) and electroencephalogram (EEG) analyses. An experiment that consisted of rest (30 min), exercise (30 min), and recovery (20 min) periods was administered in a climate chamber with 10 healthy male participants. Two kinds of outdoorwear made of 100% cotton fabrics ('Control') and specially engineered fabrics having the feature of quick sweat absorbency and high speed drying fabric ('Functional') are evaluated in the experiment. ECG and EEG signals were obtained during the rest and recovery periods for the two outdoorwear conditions. The ECG analysis identified a smaller decrement of high frequency (HF) power for the 'Functional' when compared with the 'Control' during the recovery period. Next, the EEG analysis showed that the relative band powers of slow α and mid α increased for the 'Functional' while they decreased for the 'Control' and that the ratio of α power to high β power was higher for the 'Functional'. The evaluation results indicate that the participants could remain relaxed more with less stress while wearing the functional outdoorwear that demonstrated the positive effects on autonomic nervous system (ANS) activities. The present study is significant in regard that use of ECG and EEG for the assessment of wear comfort is the first in the field of clothing and textile.

Key words: Wear comfort, Outdoorwear, ECG, EEG, ANS; 착용 쾌적성, 아웃도어웨어, 심전도, 뇌파, 자율신경계

I. 서 론

국민소득의 증가로 인한 삶의 질 향상으로 스포츠레저에 대한 관심과 취미가 증가하여, 의복에 적극적인 인체보호를 위한 기능성 부여에 관심이 고조되고 있다. 등산복, 낚시복 등 스포츠레저용 아웃도어웨어(outdoorwear)에 요구되는 기본 성능으로는 흡한속건성, 신축성, 투습방수성 등이 있으며 특히, 운동 시 발생하는 땀을 신속히 흡수한 후 외부 환경으로 발산하여 착용자에게 쾌적성을 제공하는 흡한속건 기능에 대한 소비자들의 수요가 지속적으로 증가하고 있다.

쾌적성의 평가방법으로는 직장온, 피부온, 의복내기후 등의 인체생리반응 평가와 온열감, 습윤감, 쾌적성, 피로도 등의 주관적 감각 평가 등이 있는데, 열 스트레스가 높은 환경에서는 인체생리반응에 대한 결과가 명확하게 나타날 수 있지만 쾌적 영역의 범위에서

†Corresponding author
E-mail: hekim@knu.ac.kr

는 인체의 변화가 작고 미묘하기 때문에 이러한 작은 변화를 포착할 수 있는 정밀도가 높은 장비와 평가방법, 해석 기술이 필요하다(홍경희, 홍성애, 1998). 최근에는 생체반응을 새롭게 해석하여 쾌적 지표로 활용하는 평가법이 대두되고 있는데, 그 예가 심전도(ECG; Electrocardiogram)를 측정하여 자율신경계(ANS; Autonomic Nervous System) 반응에 대해 연구하고, 뇌파(EEG; Electroencephalogram)를 측정하여 중추신경계(CNS; Central Nervous System)의 반응을 연구하는 것이다. 심전도는 심장의 전기적 활동이 반영된 신호로서 스트레스에 가장 민감하게 반응하는 자율신경활동을 교감신경계와 부교감신경계로 분리하여 평가할 수 있는 유용한 방법이며(Huszar, 2005), 뇌파는 인간의 사고와 행동을 조절하는 대뇌의 뇌신경활동으로, 객관적·비침습적·연속적으로 대뇌의 기능을 간단하고 실시간으로 조사하는데 유용한 신경과학적 연구방법(김대식, 최장욱, 2001; 심준영, 2004; 조동진, 심준영, 2005)으로 뇌파 리듬의 분석을 통해 스트레스에 대한 각성, 심리적 안정 등을 쾌적성 평가에 활용할 수 있다.

스포츠활동을 위한 아웃도어웨어의 쾌적성 평가를 위해 인체생리반응, 주관적 감각 평가 등에 관한 연구가 이루어졌는데, Laing et al.(2008)은 심박수, 의복내 기후, 직장온 등의 생리변화를 측정함으로써 아웃도어활동을 위한 의복의 운동기능성에 대해 평가하였고, 김태규, 성수광(2006)은 스포츠웨어 착용에 따른 운동시 평균피부온, 직장온, 의복내 기후, 전신 온냉감의 온열생리반응에 미치는 영향을 조사하였다. 선우섭, 김준동(2006)은 발열성 섬유 스포츠웨어의 착용이 운동 시 피부온, 직장온, 에너지 소비량에 미치는 영향을 평가하였다. 스포츠활동을 위한 아웃도어웨어의 쾌적성 평가를 위해 인체생리반응과 주관적 감각 평가에 대한 조사는 많이 이루어졌으나, 심전도나 뇌파 등을 이용한 연구는 미흡한 실정이다.

본 연구에서는 흡한속건성을 지닌 아웃도어웨어 착용시의 심전도와 뇌파를 측정하여 자율신경계와 중추신경계의 변화를 파악하고 신체의 스트레스나 안정 등의 분석을 통해 의복 착용시의 쾌적성을 평가하고자 한다.

II. 연구방법

1. 피험자 및 실험조건

건강한 20대 남성 10명이 피험자로 참가하였고, 피험자의 신체적 특징은 <Table 1>에 나타내었다. 실험에 참가하기 전, 모든 피험자에게 실험참가에 대한 동의서를 받았으며, 피험자는 실험 전 24시간 동안 높은 강도의 운동을 삼가도록 하였고 알코올 섭취와 흡연, 약의 복용을 금하도록 하였으며 규칙적인 수면시간을 유지하도록 하였다. 피험자는 공기온도 17±1°C, 상대습도 50±5%의 인공기후실에서 티셔츠, 바지, 팬

Table 1. Physical characteristics of subjects

Subjects	Height (cm)	Weight (kg)	BMI	BSA (m^2)	Age (years)
S1	177.0	74.9	23.9	1.91	25
S2	176.0	67.1	21.7	1.82	25
S3	177.0	72.8	23.2	1.89	20
S4	175.0	74.5	24.3	1.89	24
S5	181.0	70.5	21.5	1.90	20
S6	180.0	70.4	21.7	1.89	25
S7	178.0	73.1	23.1	1.92	28
S8	179.0	73.7	23.0	1.92	26
S9	174.5	79.4	26.1	1.94	26
S10	177.0	69.4	22.2	1.85	25
Mean	177.45	72.58	23.07	1.89	24.4
SD	2.09	3.44	1.43	0.04	2.55

BMI=Weight(kg)/Height^2(cm)10^4
BSA(Body Surface Area) = Height$^{0.725}$(cm)Weight$^{0.425}$(kg)0.007184 (Dubois)

티로 구성되어 있는 실험복을 착용하였고, 실험복은 흡한속건 기능성 소재로 된 'Functional'과 기능성이 부여되지 않은 면 100% 소재로 된 'Control'로 이루어져 있으며 'Functional'과 'Control'은 <Fig. 1>에 제시한 실험복의 도식화처럼 동일한 피트성과 디자인으로 설계되었다. 실험복 소재의 구체적 특징은 <Table 2>에 나타내었다.

실험복의 보온성은 의복 총중량을 사용한 中橋美智子, 吉田敬一(1998)의 식을 사용하여 계산하였으며, 인공기후실의 환경은 1 clo 보온성의 기준(田村照子, 2004)에 맞추어 설정하였다. 실험은 30분간의 휴식기(Rest)와 30분간의 운동기(Exercise), 20분간의 회복기(Recovery)로 구성되어 있고, 피험자는 Rest 동안 기좌위 자세에서 휴식을 취하였으며, Exercise에서는 VO_{2max}의 50%의 강도로 트레드밀 운동을 실시하였고, Recovery 동안 다시 기좌위 자세로 휴식을 취하였다. 실험의 구체적인 프로토콜을 <Fig. 2>에 나타내었다.

2. 측정항목

1) 심전도

심전도는 심전도와 뇌파가 하나로 통합된 PolyG-I(LAXTHA Inc., Korea) 기기를 이용하여 동시에 측정하였다. 심전도는 양쪽 손목에 측정 전극을 부착하여 Rest 30분과 Rcovery 20분 동안 연속 측정하였다.

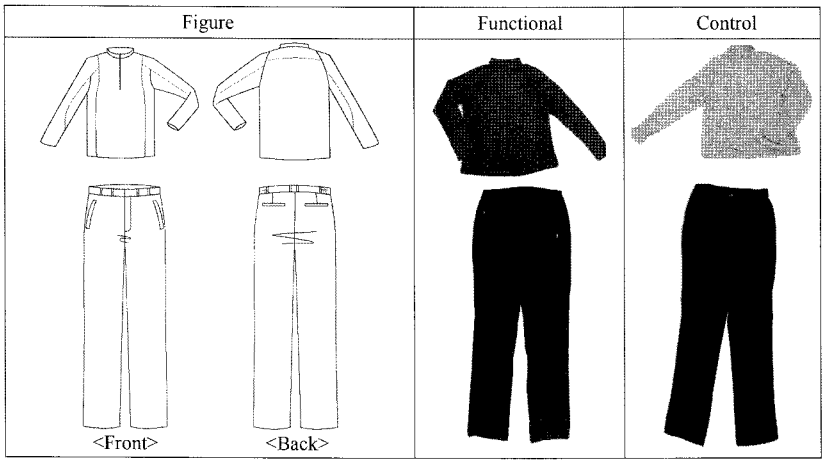

Fig. 1. Experimental clothing.

Table 2. Characteristics of the experimental garment

Garment	Functional			Control		Insulation (clo)*
	Composition	Features	Weight (g)	Composition	Weight (g)	
T-shirts	polyester 92% polyurethane 8%	moisture sensing (quick sweat absorbency) quick dry	217.4±0.5	Cotton 100%	209.5±0.5	-
Pants	nylon 88% polyurethane 12%	water vapour & air permeability stretchable	368.6±0.5	Cotton 100%	371.2±0.5	-
Socks	bamboo 65% cotton 10% polyester 17% nylon 5% lycra 3%	hygroscoptility (60% improvement in comparison with cotton products)	56.6±0.5	Cotton 100%	55.3±0.5	-
Total			642.6±0.5		636.0±0.5	1.07

*0.755+0.465W(中橋美智子, 吉田敬一, 1998), W: 의복 총중량(kg)

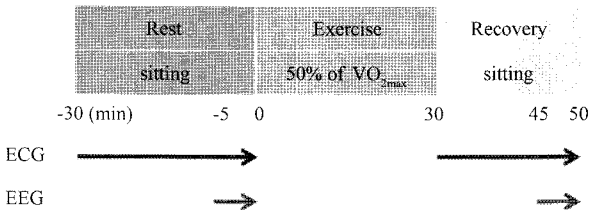

Fig. 2. Experimental protocol.

2) 뇌파

뇌파 또한 PolyG-I(LAXTHA Inc., Korea) 기기를 이용하여 측정하였다. 뇌파는 Rest와 Recovery의 마지막 5분 동안 측정하였고, 10-20 국제표준 전극 부착법에 따라 머리의 8부위(Fp1, Fp2, F3, F4, T3, T4, P3, P4)에 전극을 부착하여 측정하였고, 뇌파의 측정 부위는 <Fig. 3>에 나타내었다. 참조 전극 A1은 우측 귓불 뒤, 접지 전극 A2는 좌측 귓불 뒤에 부착하였다. 사용된 전극은 금으로 도포된 접시형태의 디스크 전극이며, 뇌파 전용 전극풀(ElefixZ-401CE, Japan)을 접시전극에 묻혀 부착하였다. 또한 부착된 접시 전극 위에 거즈를 덮어줌으로써 전극풀이 빨리 굳지 않고 머리 표면에 잘 고정되도록 처치하였다. 뇌파의 주파수 대역은 α파는 8~13Hz, β파는 13~30Hz로 나누고, α파는 다시 slow α파 8~9Hz, mid α파 9~11Hz, fast α파 12~13Hz로 분류하며, β파는 low β파 13~18Hz, high β파 19~28Hz로 분류한다.

심전도와 뇌파는 센서의 민감도로 인하여 운동 중에는 신체 및 센서의 움직임으로 측정할 수 없으므로 Rest에 대한 Recovery의 변화를 중심으로 분석하였다.

3. 자료분석

심전도의 측정된 자료는 TeleScan(Ver. 2.8) 소프트웨어를 이용하여 데이터를 수집하고, 수집된 데이터는 파워스펙트럼 분석을 통해 교감신경과 부교감신경 활성도의 변수를 추출하였다. R-R interval 변화 패턴으로부터 느리게 진동하는 성분의 파워(LF; Low Frequency)와 빠르게 진동하는 성분의 파워(HF; High

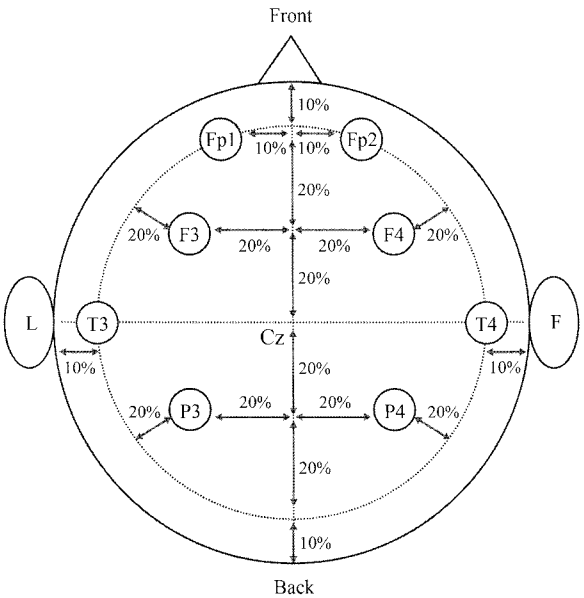

Fig. 3. The region for measuring EEG (International 10-20 Electroade System).

Frequency)의 정량적 변수를 통해 각각 교감신경(LF)과 부교감신경(HF)의 활성도를 분석하였으며, 심전도의 주파수 대역은 LF 0.04~0.15Hz, HF 0.15~0.4Hz로 설정되어있다. 뇌파 데이터 수집은 TeleScan(Ver. 2.8) 소프트웨어를 이용하여 데이터를 수집하고, 수집된 데이터는 Fast Fourier Transform(FFT; 퓨리에변환)를 이용하여 4Hz 이하, 50Hz 이상의 파형을 여과하여 제거한 후, 각 주파수 영역대별로 파워스펙트럼화하여 전체 주파수 영역대(4~50Hz)에 대한 slow α파, mid α파의 상대값과 high β파에 대한 α파의 비를 분석하였다.

본 연구에서 얻어진 자료들은 통계분석 프로그램인 SPSS 10.1을 이용하여 전산처리하였으며, 모든 자료에 대해 평균과 표준편차를 산출하였다. 심전도와 뇌파의 운동 전·후 변화에 대하여 'Functional'과 'Control' 실험의복간의 유의차 검증은 paired t-test를 사용하였고, 유의수준은 5% 이내로 하였다.

III. 결과 및 고찰

1) 심전도

심전도는 심장의 전기적 활동이 반영된 신호로서, <Fig. 4>와 같이 P-Q-R-S-T파에 해당하는 연속된 여러 피크들의 형태로 나타나는데 이 중 연속된 R 피크들 간의 시간간격(R-R interval) 정보는 스트레스에 민감하게 반응하는 자율신경계를 교감신경과 부교감신경으로 분리하여 평가할 수 있다(Huszar, 2005). 교감과 부교감신경에 자극이 가해졌을 때 교감신경의 반응시간은 부교감신경에 비해 5초 정도 지연되어 느리게 나타나므로, 교감신경의 활성화는 R-R interval의 느린 변화 패턴을 유도하고 부교감신경(미주신경, vagus nerve)은 상대적으로 빠른 변화 패턴을 유도하게 된다.

<Table 3>에 심전도의 R-R interval 파워스펙트럼 분석결과를 나타내었는데, Exercise 후 'Control'과 'Functional' 착용시의 부교감신경성분인 HF의 절대값

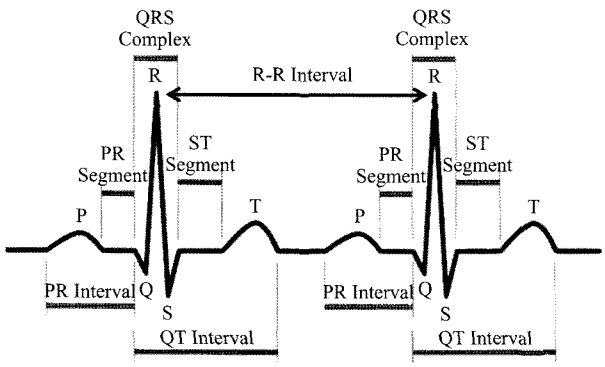

Fig. 4. The various peaks of ECG.

Table 3. Power spectrum analysis of electrocardiogram (ECG)

		Control		Functional	
		mean	SD	mean	SD
Absolute Band Power of HF ($m \cdot s^2$)	rest	394.447	572.443	408.552	441.421
	recovery	88.757	95.252	311.851	558.684
	difference	-290.711	491.316	-25.629	190.922
HF/LF+HF	rest	0.303	0.185	0.330	0.161
	recovery	0.188	0.119	0.261	0.155
	difference*	-0.112	0.096	-0.042	0.053
LF/HF	rest	3.315	2.095	2.542	1.221
	recovery	9.213	12.015	3.915	2.304
	difference	6.653	12.550	0.850	1.493

*'Control'과 'Functional' 사이의 유의차, $p<.05$

이 모두 감소되고 있는 것으로 나타났으나, 'Functional'의 경우 Rest 구간에 비해 Recovery 구간에서 약 6% 감소하였고 'Control'의 경우 약 74% 정도 감소하여 비록 유의차는 나타나지 않았지만 'Functional'의 감소량이 'Control'에 비해 현저히 적은 것을 알 수 있었다. 또한 교감과 부교감신경성분(LF+HF)에 대한 부교감신경성분의 값도 Exercise 후 'Functional'의 경우 약 13% 감소, 'Control'의 경우 약 37% 정도 감소가 나타나 'Functional'의 감소량이 'Control'에 비해 적은 것을 알 수 있었고, 'Functional' 착용시와 'Control' 착용시 간에 유의차가 나타났다. 교감신경성분의 파워는 교감신경과 부교감신경의 양자 모두가 관여하기 때문에 부교감신경성분에 대한 교감신경성분의 값인 LF/HF ratio는 상대적인 교감신경의 활동지표로 해석할 수 있는데(Arai et al., 1989; Yamamoto et al., 1991), 운동 후 LF/HF ratio의 값이 'Functional' 착용시 'Control' 착용시에 비해 작게 나타났으므로, 'Functional' 아웃도어웨어 착용시 교감신경의 활동이 낮은 수준을 유지하는 것을 알 수 있다.

인체의 자율신경계는 호흡·소화·흡수·분비·생식 등 사람의 생명 유지에 직접 필요한 기능을 무의식적 또는 반사적으로 교감신경과 부교감신경이 서로 길항작용(antagonism)을 함으로써 균형을 이루며 조절하는 시스템이다(Kleiger et al., 1987). 교감신경부는 슬픔, 정신적 스트레스, 도피, 격투, 추위, 더위 등 신체의 비상시나 긴장 상태, 즉 갑작스런 심한 운동, 공포 및 분노 상태에서 활성화되어 눈의 동공 확장이나 땀의 분비 촉진, 심장 박동수의 증가 등의 현상이 발생하고, 부교감신경부는 사람이 안정하고 편히 쉬고 있을 때, 즉 휴식 중이나 수면시에 활성화되어 눈의 동공 수축, 타액의 분비 증가, 눈물의 분비 촉진 등의 현상이 발생한다(이인모, 이상목, 1992). 'Functional' 아웃도어웨어를 착용하고 운동할 경우, Recovery에서 부교감신경성분의 상대값인 HF/LF+HF의 감소량이 'Control'에 비해 유의하게 적은 것으로 보아 신체가 더욱 안정적인 상태로 유지됨을 알 수 있다.

2) 뇌파

뇌파의 주파수 영역대 중 α파는 뇌의 휴식능력을 파악하는 중요한 신호로, 그 출현량이 적을 경우 뇌가 휴식을 취하지 못해 정신적으로 긴장이나 불안, 스트레스 상태라는 것을 보여준다고 할 수 있다(윤중수, 1999). 또한 α파는 신경생리학적으로 두뇌의 안정 상태를 반영하는 기본파이며 인간의 정신적 과정은 α파가 나타날 때 가장 효율적이고(Ray & Cole, 1985), α파의 상대 파워값은 두뇌의 기능이 이완되고 안정적일 때 높아지고 과제가 복잡하고 어려울수록 감소량이 크게 나타난다(Fink et al., 2005; Sauseng et al., 2005). 그러므로 α파의 출현은 스트레스와 불안이 감소한 쾌적한 두뇌 상태를 의미하므로 정서적 안정을 나타내는 척도로 활용되고 있다. 일반적으로 α파는 slow (7~8Hz), mid(9~11Hz), fast(12~13Hz)의 세 유형으로 구분하는데, slow α파는 휴식기와 잠들기 전에 나타나고 mid α파는 명상을 하거나 정신 상태가 맑을 때 나타난다(유성종, 구교만, 2008). 특히 뇌의 효율적인 학습활동을 위해서는 mid α파 상태가 적합하다는 연구결과가 있다(재클린, 프리실라, 1984/1997). 뇌파의 상대 파워스펙트럼 분석의 결과를 <Table 4>에 나타내었는데,

Table 4. Power spectrum analysis of electroencephalogram (EEG)

		Control		Functional	
		mean	SD	mean	SD
Relative Band Power of slow α	rest	0.054	0.009	0.055	0.013
	recovery	0.047	0.009	0.057	0.012
	difference**	-0.008	0.002	0.002	0.004
Relative Band Power of mid α	rest	0.158	0.055	0.111	0.035
	recovery	0.109	0.044	0.129	0.043
	difference	-0.049	0.013	0.019	0.009
a/high β	rest	3.393	0.475	2.588	0.535
	recovery	3.611	0.598	3.080	0.214
	difference	0.218	0.439	0.492	0.407

**'Control'과 'Functional' 사이의 유의차, $p<.01$

slow α파의 상대 파워값의 경우, 운동 후 'Functional' 착용시 약 4% 정도 증가하였고 'Control' 착용시에는 약 14.8% 정도 감소하였고 'Functional' 착용시와 'Control' 착용시 간에 유의차가 나타났다. Mid α파의 상대 파워값의 경우에는 운동 후 'Functional' 착용시 약 17% 정도 증가하였고 'Control' 착용시에는 약 31% 정도 감소하였다. 결과적으로 'Functional' 아웃도어웨어 착용 시 slow α파의 상대 파워값이 'Control'에 비해 유의하게 증가되었고 mid α파의 상대값은 유의차는 나타나지 않았으나 'Control'에 비해 증가되었으므로 뇌가 안정적인 상태를 유지하는 것을 알 수 있다.

β파는 뇌신경이 많은 에너지를 소비하는 경우에 나타나며 이 상태가 계속되면 뇌는 혼돈에 이르고 초조해지며(조동진, 심준영, 2005), β파의 상대 파워값은 안정 시보다 업무 수행시에 두정엽에서 증가하는 경향이 있다(권용주 외, 2006; Fairclough et al., 2005). High β파는 과활성 상태를 나타내는 것으로, 긴장과 각성이 증가할 때 high β파의 출현이 증가하며(오현숙 외, 2008) α파에 대한 high β파의 비율이 높아지면 스트레스 정도가 높은 것으로 판단하고 이를 스트레스 지수(ST; Stress)라고 한다(박병운, 2004). 그러므로 본 연구에서는 스트레스 지수의 역개념인 high β파에 대한 α파의 비율을 분석하고 이를 뇌의 안정의 정도를 나타내는 지수로 사용하였다. 본 연구에서 비록 유의차는 나타나지 않았지만 운동 후의 high β파에 대한 α파의 비율이 'Functional' 착용시에 'Control' 착용시보다 높게 나타났으므로, 'Functional' 아웃도어웨어 착용 시 뇌가 안정적으로 유지되는 것을 알 수 있다.

IV. 결 론

본 연구에서는 운동시 발생하는 땀을 신속히 흡수한 후 외부 환경으로 발산하여 착용자에게 쾌적성을 제공하는 흡한속건 기능성을 지닌 아웃도어웨어 착용시의 심전도와 뇌파를 측정하여 자율신경계와 중추신경계의 변화를 파악하고 신체의 스트레스나 안정 등의 분석을 통해 의복 착용시의 쾌적성을 평가하였다.

흡한속건 기능을 가진 아웃도어웨어의 착용 시에 운동 후 회복기 동안, 심전도의 부교감신경성분 상대값인 HF/LF+HF 값이 'Functional'과 'Control'에서 모두 감소하였으나 'Functional'의 경우 감소량이 'Control'에 비해 현저히 적게 나타났으며, 뇌파는 slow α파 상대값이 'Control' 착용시 감소하고 'Functional' 착용시 증가하였다. 이러한 결과를 통해 흡한속건 기능성 소재로 제작된 'Functional' 아웃도어웨어 착용시 부교감신경성분의 상대값이 증가하고 휴식기와 잠들기 전에 나타나는 slow α파 상대값이 높게 나타났으므로 신체가 스트레스가 없는 안정적인 상태를 나타내는 것을 알 수 있다.

본 연구는 흡한속건 기능성 소재를 사용한 아웃도어웨어의 착용 쾌적성을 의류학 분야에서 그동안 많이 시도되지 않았던 뇌파 및 심전도 분석을 통하여 평가한 점에서 독창성이 있고 그 의의가 크다고 할 수 있다. 그러나 심전도와 뇌파의 데이터 분석시 TeleScan 소프트웨어를 사용하여 컴퓨터 자동화 시스템으로 분석하였으므로 아날로그로 분석하는 것보다 잡파의 제거나 정확도 측면 등에서 기계적 오류가 나타날 수 있고 뇌파의 측정시간이 짧은 경향이 있으므로, 추후 연구에서는 디지털 방식의 분석과 아날로그 방식의 분석을 결합하고, 명확하고 안정적인 데이터 수집을 위해 측정시간을 연장하는 것이 필요하다.

본 연구의 결과를 바탕으로 다양한 환경조건 및 의복 조합을 사용하여 심전도 및 뇌파를 측정한다면 아웃도어웨어의 착용 쾌적성 평가를 위한 평가체계를 확립할 수 있을 것이며, 이 평가체계를 발전시켜 아웃도어웨어의 흡한속건 기능성 외 중요한 기능성 평가에 적용할 수 있을 것이다.

참고문헌

권용주, 박지영, 신동훈, 정진수, 박국태. (2006). 가설생성 학습 후에 나타난 초등학생의 두뇌 활성 변화. *한국생물교육학회지, 34*(1), 72–80.

김대식, 최장욱. (2001). *뇌파검사학*. 서울: 고려의학.

김태규, 성수광. (2006). 스포츠웨어 착용에 따른 운동시 온열생리반응에 미치는 영향. *한국의류산업학회지, 8*(1), 123–128.

박병운. (2004). 뇌파 밴드별 상호 연관성에 따른 뇌기능 최적화 연구. *한국정신과학학회 추계학술대회 논문집*, 103–108.

선우섭, 김준동. (2006). 발열성 섬유 스포츠웨어 착용이 운동시 피부 및 직장온도와 에너지 소비량에 미치는 영향. *한국발육발달학회지, 14*(4), 121–132.

심준영. (2004). 뇌파 바이오피드백 훈련에 따른 사격선수의 경쟁상태불안과 경기력 및 전두부의 뇌파 변화. *한국스포츠심리학회지, 15*(2), 75–92.

오현숙, 김상규, 김기현, 정구인. (2008). e-Sports 게임 수행

능력에 따른 뇌파 변화 비교. *한국체육학회지, 47*(5), 175–182.

유성종, 구교만. (2008). 감각운동 프로그램이 자폐성장애아동의 상동행동 지속시간과 뇌파 변화에 미치는 영향. *한국특수체육학회지, 16*(1), 151–173.

윤중수. (1999). *뇌파학 개론*. 서울: 고려의학.

이인모, 이상목. (1992). *인체생리학*. 서울: 형설출판사.

재클린 윈더, 프리실라 도노반. (1984). *당신의 양쪽 뇌를 사용하라, 학교와 직장에서 성공하려면*. 고영희 역 (1997). 서울: 양서원.

조동진, 심준영. (2005). 10주간의 EEG Biofeedback 훈련에 따른 뇌파 영역별 상대적 활성도 비교. *한국스포츠리서치, 16*(2), 421–430.

홍경희, 홍성애. (1998). 쾌적성의 측정과 응용. *섬유기술과 산업, 2*(4), 451–469.

田村照子. (2004). *衣の科学シリズ-衣環境の科学*. 東京: 建帛社.

中橋美智子, 吉田敬一. (1998). *新しい衣服衛生*. 東京: 南江堂.

Arai, Y., Saul, J. P., Albrecht, P., Hartley, L. H., Lilly, L. S., Cphen, R. J., & Colucci, W. S. (1989). Modulation of cardiac autonomic activity during and immediately after exercise. *American Journal of Physiology Heart and Circulatory Physiology, 256*(1), H132–H141.

Fairclough, S. H., Venables, L., & Tattersall, A. (2005). The influence of task demand and learning on the psychophysiological response. *International Journal of Psychophysiology, 56*(2), 171–184.

Fink, A., Grabner, R. H., Neuper, C., & Neubauer, A. C. (2005). EEG alpha band dissociation with increasing task demands. *Cognitive Brain Research, 24*(2), 252–259.

Huszar, R. J. (2005). *Basic dysrhythmias: Interpretation & management*. St. Louis: Mosby.

Kleiger, R. E., Miller, J. P., Bigger, J. T., & Moss, A. J. (1987). Decreased heart rate variability and its association with increased mortality after acute myocardial infarction. *The American Journal of Cardiology. 59*(4), 256–262.

Laing, R. M., Sims, S. T., Wilson, C. A., Niven, B. E., & Cruthers, N. M. (2008). Differences in wearer response to garments for outdoor activity. *Ergonomics, 51*(4), 492–510.

Ray, W. J., & Cole, H. W. (1985). EEG alpha activity reflects attentional demands, and beta activity reflects emotional and cognitive processes. *Science, 228*(4700), 750–752.

Sauseng, P., Klimesch, W., Schabus, M., & Doppelmayr, M. (2005). Fronto-parietal EEG coherence in theta and upper alpha reflect central executive functions of working memory. *International Journal of Psychophysiology, 57*(2), 97–103.

Yamamoto, Y., Hughson, R. L., & Peterson, J. C. (1991). Autonomic control of heart rate during exercise studied by heart rate variability spectral analysis. *Journal of Applied Physiology, 71*(3), 1136–1142.