Journal of the Ergonomics Society of Korea
Vol. 26, No. 1 pp.11-18, February 2007

생활 스트레스에 대한 인간의 생리적 반응과 타액 코티졸과의 관계

박 세 권[1] · 김 동 수[2]

[1]공군사관학교 산업공학과 / [2]공군사관학교 화학과

Relationship between Physiological Response and Salivary Cortisol Level to Life Stress

Seikwon Park[1], Dongsoo Kim[2]

[1]Department of Industrial Engineering, Korea Air Force Academy, Chungbuk, 363-849
[2]Department of Chemistry, Korea Air Force Academy, Chungbuk, 363-849

ABSTRACT

The physiological and biochemical responses of healthy men and women to life stress were measured in order to investigate the correlation between these two responses under the normal situation. Heart rate variability (HRV), skin temperature, blood pressure (BP), heart rate (HR) and galvanic skin response (GSR) were selected as physiological stress indices and salivary cortisol level was used as a biochemical stress biomarker. Twenty six (male 14 and female 13) college students were participated in the experiment. Female showed the significant higher value of salivary cortisol level (p<0.01), diastolic BP (p<0.01), and HR (p<0.01) than male. The difference of skin temperature between forehead and fingertip correlated significantly with salivary cortisol level (p<0.01). The LF(low frequency)/HF(high frequency) ratio of HRV also correlated significantly with salivary cortisol level (p<0.01). However, BP, HR and GSR correlated insignificantly with salivary cortisol level. We suggest that LF/HF ratio of HRV and skin temperature may be good indices for the assessment of life stress, and may apply to measure the stress level of individual in real time.

Keyword: Life stress, Physiological response, Salivary cortisol, HRV

1. 서 론

스트레스는 인간의 사회활동에서 다양하게 발생하는 유기체의 반응 현상을 설명하는 말로 Selye(1979)는 스트레스를 일으키는 외부적인 자극을 스트레스인자(stressor)라 부르고, 스트레스인자에 의한 유기체의 비특이 반응을 스트레스라 정의하였다. 일상생활에서 경험하는 다양한 사건은 스트레스인자로 작용하며 이에 대한 대처가 부적절하면 인체의 항상성(homeostasis)이 파괴되어 정신 및 신체 질환의 발생에 영향을 주며, 인체의 면역반응에 부정적인 영향을 주어 질병에 대한 대처능력을 떨어뜨려 다양한 만성 질환에 대한 감수성을 높일 수 있다(Lipowski, 1985). 그러나 같은 상황에서도 스트레스에 대한 반응은 개인에 따라 차이가 있을 수 있고, 스트레스 개념 그 자체가 가지고 있는 모호성 때문에 적절히 대처하기가 어려운 것도 사실이다(Lazarus

*본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(R01-2002-000-00567-0) 지원으로 수행되었음.
교신저자: 박세권
주 소: 363-849 충북 청원군 남일면 사서함 335-2호, 전화: 043-290-6494, E-mail: parksk@afa.ac.kr

and Folkman, 1984). 하지만 인간은 적절한 스트레스가 있을 때 생산성이 최적이 된다는 연구 결과들을 볼 때 스트레스가 인체에 항상 부정적인 것은 아니다(Welford, 1973). 즉, 스트레스라고 해서 반드시 우리에게 해로운 것만은 아니며 적당한 스트레스는 오히려 적절한 긴장감을 유지시켜 더 나은 삶을 만들어 가는 원동력이 될 수 있다. 따라서 스트레스란 그 자체에 의해 결정되는 것이 아니라, 어떻게 받아들여지고 조절되는가에 의해 결정된다.

스트레스는 정도의 문제로 그 강도가 높을 때, 혹은 너무 오래 지속되면 개인의 능력을 감소시킬 뿐 아니라 건강에 유해한 결과를 초래하게 되며 그로 인해 일에 대한 의욕 및 성과, 생활태도 등이 영향을 받는다(NIOSH, 1999). 실제로 스트레스가 높은 경우 산업현장에서 스트레스 관련 건강상의 다양한 문제가 발생하여 근로자에 대한 의료비용이 급증하고(Cooper, 1996; Manning, et al., 1996), 인간의 정보처리에 부정적인 영향을 주어 기업의 생산성이 저하되며(Driskell and Salas, 1996), 안전사고가 일어날 가능성이 높음을 보여주고 있다(Bowles, et al., 2000; Quick 1998). 우리나라도 산업현장에서 스트레스의 영향으로 각종 질병에 시달리는 근로자가 급증하고 있다. 2005년 한 해 동안 업무상 질병으로 인한 사망자가 1,095명이었는데, 이 중 뇌혈관 및 심장 질환에 의한 과로사가 608명으로 55.5%에 이르는 것으로 나타났는데(노동부, 2005), 이러한 뇌혈관 및 심장 질환 원인의 75%는 스트레스와 관련이 있는 것으로 알려져 있다(Belkic, et al., 2004). 2001년 우리나라 245개 사업장의 근로자 6,977명을 대상으로 스트레스 수준을 조사한 보고에 따르면 건강군 331명(5%), 잠재 스트레스군 4,541명(73%), 고위험 스트레스군이 1,346명(22%)으로 조사대상자 중 약 22% 가량은 극도의 스트레스를 받고 있어 장기화될 경우 심혈관계 질환이나 과로사로 진행될 위험성을 갖고 있는 것으로 나타났다(하미나 등, 2001). 미국의 한 조사 연구에서는 전체 직장인의 약 40%가 업무로 인해 스트레스를 겪고(NIOSH, 1999), 근로자의 75%가 이전 세대보다 업무상 스트레스가 크다고 인식하고 있으며 스트레스가 높다고 보고한 근로자들에게서 의료비가 거의 50% 더 지출되었음을 보고하였다(Goetzel, et al., 1998). 이처럼 스트레스로 인해 파생되는 결과가 크기 때문에 구미 선진국에서는 정부차원의 가이드라인을 작성하여 사업장내의 예방관리 시스템을 마련하고 있으며 개인이나 조직 모두에서 스트레스 정도를 정확히 측정하여, 이를 바탕으로 스트레스의 부작용을 줄이고 예방할 수 있는 효과적인 스트레스 관리 기술을 개발하고 있다.

인간의 스트레스 반응은 광범위하고 종합적으로 나타나는 현상이지만 일반적으로 심리적(perceptual response), 행동적(behavioral response), 그리고 신체적(physical response)인 스트레스 반응으로 나누어서 측정 및 평가한다(Cohen, et al., 1997). 스트레스인자에 노출되면 인체는 이에 저항 혹은 적응하기 위한 힘과 에너지를 마련하기 위해 교감신경계를 활성화 시키고 부교감신경계의 작용을 억제함으로써 심장박동 증가, 혈압 증가, 발한, 근육 긴장, 위와 장의 운동 감소, 면역반응 억제 등과 같은 다양한 생리적 변화를 보인다(Hancock, 2001).

스트레스는 본질적으로 광범위하고 추상적이며 매우 주관적인 내용들을 포함하고 있어서 그 측정이 매우 어려운 특징이 있지만 다양한 형태의 스트레스인자에 대한 스트레스 수준을 평가하기 위해 여러 가지 방법이 사용되고 있다. 심리적 스트레스 반응에 대한 평가는 스트레스인자에 대한 주관적인 평가나 지각을 측정함으로써 이루어지는 데 개인의 인지적 상태가 근간이 되며 자기보고식 설문지 형태를 통하여 점수를 만들어 개인 스트레스의 척도로 사용하게 된다(Cohen, et al., 1997). 설문지를 사용하는 검사는 개인의 스트레스 수준을 임상적으로 측정하고 평가하기 위하여 정신 · 심리 전문가가 가장 많이 사용하는 방법으로 표준화된 설문지를 이용함으로써 결과의 비교 가능성을 높일 수 있고 비교적 객관적이고, 솔직하고, 정확한 정보를 입수할 수 있는 장점이 있으나 수검시간이 길고 결과 해석 및 분석에 상당한 전문성이 요구되며 개인의 주관이 크게 반영되어 임상 척도의 신뢰성과 타당성이 부족하고 수검자의 응답 편이(response bias)가 발생할 수 있는 단점이 있다(Andre and Wickens, 1995; Quick, 1998). 행동적 스트레스 반응은 집중력 및 정보처리 능력의 저하 등을 들 수 있는데 performance test 등을 통해 측정할 수 있다(Hancock and Vasmatzidis, 1998). 신체적 스트레스 반응은 자율신경 활동 등의 생리적 스트레스 반응과 내분비학적 및 면역학적 변화를 포함하는 생화학적 스트레스 반응으로 구분하여 측정할 수 있다(Cohen, et al., 1997). 생리적 스트레스 반응은 스트레스인자에 대한 여러 가지 생리적 변화를 측정하여 스트레스의 척도로 사용한다. 이런 생리적 측정치들을 얻기 위해서는 특정한 장치가 필요하고 측정 센서를 신체에 부착하고 측정함으로써 행동에 제약을 주는 단점은 있으나 비교적 일관적이고 신뢰성 있는 측정 방법이다(Tsang and Wilson, 1997; Kramer, 1991). 생화학적 스트레스 반응은 혈청(serum), 타액(saliva), 소변(urine) 등에서 측정할 수 있는 호르몬이나 신경전달물질의 양을 측정하는 것으로 이 중 코티졸(cortisol)이 인간의 스트레스 정도를 정확히 나타내는 신뢰성 있는 생체지표로 사용된다(김동수 등, 2004; McEwen, et al., 1997).

스트레스로 인하여 유발되는 각종 유해 현상들을 방지하기 위해서는 효과적인 스트레스 관리 프로그램 구축이 필요하다. 이를 위해서 조직 내 스트레스 수준을 정확히 측정, 분

석하고 스트레스 수준이 높은 개인 혹은 작업군을 대상으로 이 스트레스를 유발하는 스트레스인자를 파악하여 이를 개선할 수 있는 방안을 강구하여 실행하고 이의 효과를 평가하여 환류하는 순환 과정을 거치게 된다(NIOSH, 1999). 따라서 성공적인 스트레스 관리 프로그램의 관문은 개인의 스트레스 수준을 정확히 진단하고 이해하는데 있고 이를 위해 위에서 언급한 여러 가지 방법을 통해 측정한 연구들이 많이 있지만, 인간의 경우는 그 반응이 단순하지 않아 개인의 문화적, 사회적 경험 등에 의해 다르게 나타날 수도 있어 인체의 복잡성 만큼이나 그 결과가 다양하여 각각의 독립적인 측정으로는 측정과 평가의 신뢰도를 높이는데 한계가 있다(Hancock, 2001). 복잡화된 현대사회의 일상생활은 스트레스와 깊이 연결될 수밖에 없으며 그것이 신체건강과 밀접히 연관되어 있음을 인식함에도 불구하고 현재는 정량화되고 신뢰성 있는 측정 방법이 없으며 단지 전문의에 의한 심리사회적, 정성적 측정과 판단에 그치고 있는 실정이다. 따라서 각각의 반응 차원에서 독립적으로 평가되는 스트레스 반응 측정의 상관성을 고려하여 스트레스를 정량적으로 평가할 수 있는 모형을 개발하여 작업자 개인의 스트레스 수준을 정확히 평가하고 스트레스를 유발하는 요인을 파악하여 개선함으로써 작업장 혹은 일상생활 중 스트레스로 인하여 발생되는 여러 가지 부작용을 예방할 필요가 있다.

이를 위해 스트레스에 대한 심리적 반응과 생화학적 반응과의 관계에 대한 연구(김동수 등, 2004)를 수행한 바 있다. 이 연구에서는 정상인에 있어 생화학적 지표와 자기보고식 심리적 지표들과의 상관성은 유의하지 않으나, 상대적으로 높은 생활 스트레스를 경험하는 조건에서는 상관성이 유의미하게 높아서 두 도구가 상호 변환될 수 있고 이 경우 개인간 편차가 상대적으로 큰 자기보고식 심리적 지표보다는 생화학적 신호인 코티졸이 정량적으로 스트레스의 수준을 더 정확히 나타낼 수 있다고 보고하였다. 이에 연속하여 본 연구에서는 일상적인 생활을 하는 피실험자 집단을 대상으로 스트레스의 생화학적 반응으로서 스트레스 호르몬인 타액 코티졸 수준과 생리적인 스트레스 반응과의 상관관계를 비교 분석하고자 한다.

2. 실 험

2.1 피실험자

개인차에서 발생하는 스트레스 반응의 편차를 최소화하고 객관적인 비교 분석을 위해 건강한 젊은 남녀 집단인 공군사관학교 생도 중에서 단순랜덤추출 방법으로 27명을 추출하였으며 남자가 14명 여자는 13명이고 평균 연령은 남자가 20.9±1.7세, 여자가 20.2±1.3세 이었다.

2.2 실험 절차

피실험자들에게는 실험 전날 실험 목적 및 실험 과정에 대한 설명을 한 후 수면 상태가 스트레스에 많은 영향을 주므로 피실험자 개인당 8시간의 순수한 수면시간 확보를 위해 오후 9시 30분부터 수면을 준비하여 적어도 오후 10시부터 잠이 들어 다음 날 오전 6시까지 수면을 취하도록 하였다. 스테로이드 호르몬은 일일 변화가 심하므로 동일 시간대에 샘플을 얻어야 하기 때문에 실험 당일 기상 1시간 경과 후에 타액 내 코티졸의 측정을 위해 타액 샘플을 채취하였다. 심박수 역시 일중 변동(circadian rhythm)을 보이므로 이 영향을 통제하기 위하여 심박수를 포함한 모든 생리적 반응 측정은 오전 8시에서 12사이에 실시하였으며 피실험자 개인별로 측정에 필요한 전극 부착 및 교정(calibration)이 20분간 진행되었고, 침대에 누운 이완 상태에서 5분간 측정하였다.

2.3 타액 코티졸 측정

스트레스 호르몬인 코티졸 측정을 위해 일시적으로 스트레스를 유발할 수 있고 개인차를 증폭시킬 가능성이 있는 혈액 채취에 의한 검사 대신에 타액 코티졸을 Enzyme-linked immunoassay(EIA)를 통하여 분석하였다. 타액 시료는 오전 7시경에 흡수용 면봉을 포함하는 salivette을 이용하여 약 2ml의 타액을 피실험자의 혀 밑에서 채취하였다. 면봉에 흡수된 타액 시료는 원심 분리되어 차후 EIA 실험을 위하여 −20℃에서 냉동보관 되었다. 코티졸 EIA는 Salivary cortisol EIA kit를 구입하여 사용하였다(Salimetrics, PA, USA). EIA 프로토콜은 Salimetrics에서 제공한 절차를 따랐으며, 표준물질의 범위는 0.07ng/ml에서 18ng/ml 이었다. 정량은 ThermoLab system사의 Multiskan을 이용하여 450 nm에서 측정된 후 변환하여 얻어졌다.

2.4 생리신호 측정

스트레스에 대한 생리적인 반응을 측정하기 위한 생리신호는 심전도(electrocardiogram; ECG), 혈압(blood pressure; BP), 심박수(heart rate; HR), 피부온도(skin temperature) 그리고 피부전도도(galvanic skin resistance; GSR)이었으며 이 중에서 혈압을 제외한 나머지는 MP150 시스템(Biopac systems, CA, USA)을 베이스로 하여 심전도와 심박수 측정을 위해 ECG100C, 피부온도 측정을 위해 SKT100C, 그리고 피부전도도 측정을 위해 GSR100C를

각각 이용하였다. 심전도는 lead II를, 피부온도는 피실험자의 오른쪽 검지 끝과 관자놀이에 온도 센서를 각각 부착하여 온도를 섭씨(℃)로 측정한 값이고, 피부전도도는 피실험자의 왼쪽 손 검지와 중지 끝부분에 전극을 각각 부착하여 측정한 값이다. 신호의 샘플링 주파수는 250samples/sec로 설정하였다. 혈압은 전자혈압계(Tensoval, 독일 Hartmann)를 이용 좌측 상완에서 앉은 자세로 수축기 혈압과 이완기 혈압을 측정하였다.

2.5 생리신호 분석 방법

Biopac 시스템을 통하여 수집된 자료는 자체 분석 시스템인 AcqKnowledge(version 3.7.3)을 사용하여 분석하였다. 심전도는 심박수 변이(heart rate variability; HRV)를 추출하기 위하여 측정하였다. 심박수 변이는 교감신경과 부교감신경의 활동성을 나타내는 지표로 심장박동 간의 변화를 의미하며 안정 상태일수록 더 크고 복잡한 형태를 나타내며, 운동을 하거나 스트레스 상태일 때에는 규칙적이고 일정한 형태를 나타내기 때문에 심장의 자율신경 조절 상태를 객관적이고 신뢰성 있게 평가할 수 있다(Task Force, 1996). 교감과 부교감신경 출력의 변이는 심박수의 박동간 변동을 유발하고 이러한 심박수 변동성은 시간 및 주파수 영역으로 평가하며, 특히 주파수 영역에 대한 분석은 부교감신경과 교감신경의 심장조절을 분리하여 파악할 수 있다. 고주파 영역 0.15~0.4Hz(HF; high frequency)의 심박수 변동이 커지면 부교감신경의 활동성이 증가하고, 저주파 영역 0.04~0.15Hz(LF; low frequency)의 심박수 변동성이 커지면 교감신경의 활동성이 증가하거나, 교감신경과 부교감신경의 활동성 조절능력이 커진다(Task Force, 1996). 이 연구에서는 심박수 변이 지표 중 교감신경의 활동성을 나타내는 지표로 LF/HF ratio를 활용하였다.

말초 피부온도는 일반적으로 교감신경계와 내분비계가 활성화되었을 때 혈관의 평활근을 수축시켜 손과 발의 혈관 수축을 일으키고 결과적으로 온도가 낮아지는 경향을 나타내므로 낮을수록 교감신경계의 활성화를 의미하고 스트레스 수준이 높은 것을 나타내고 이마온도는 신체 부위 중 직장과 함께 체온을 가장 잘 반영하는 측두동맥(관자놀이)이 이마 밑에 분포하고 있어 스트레스에 관계없이 체온과 거의 같다. 따라서 이마보다도 손가락 끝의 온도가 극단적으로 낮으면 스트레스가 있다고 해석할 수 있으므로 개인별 차이가 심한 이마와 손가락 끝의 절대온도 보다는 이의 상대적인 온도차를 측정하여 지표로 사용한다. 즉, 이마와 손가락 끝의 온도차이가 클수록 스트레스에 노출되어 있다고 판단할 수 있다. 피부전도도는 피부전기반응의 전반적인 변화 추세를 나타내는 것으로 교감신경계의 수준을 나타내는 지표로 이용되며, 시간 영역에서 전체적인 추세를 관할함으로써 분석할 수 있는데 전반적으로 수치가 높을수록 스트레스 반응이 높은 것을 의미한다.

3. 결 과

전체 피실험자 및 남녀 집단별 평균 및 표준편차, 그리고 남녀 집단 간의 차이를 보기 위한 t-검정을 실시하였다(표 1). 분석은 SAS프로그램(ver. 8.02)을 이용하였으며 유의수준은 0.05를 적용하였다. 표본 추출된 실험 대상군 27명의 타액에서 측정된 코티졸의 양은 평균 7.55ng/ml 이었으며 최저 0.33ng/ml부터 최고 18.9ng/ml의 분포를 나타내었고 여자가 남자보다 코티졸 양이 유의하게 많았다(p<0.01). 생리신호의 하나인 혈압의 경우 수축기 혈압은 남녀 차이가 없으나 확장기 혈압은 여자가 남자보다 유의하게 높았으며(p<0.01), 심박수의 경우도 여자가 남자에 비해 유의하게 높았다(p<0.01). 피부전도도, 이마와 손가락 끝의 피부온도의 차이(이하 온도차이라 함), 그리고 HRV 지표 중 교감신경 활동을 보여주는 LF/HF ratio도 여자가 남자보다 크나 그 차이는 통계적으로 유의하지 않았다.

표 1. 실험변수의 평균값과 t-test 결과

(mean(SD), ns=not significant)

	All subject	Male	Female	t-test
Cortisol (ng/ml)	7.55 (5.59)	4.13 (2.72)	11.23 (5.60)	p<0.01
BP_sys[1]	122.0 (13.3)	123.6 (7.4)	120.2 (17.9)	ns
BP_dia[2]	72.4 (8.9)	68.2 (5.4)	76.9 (9.8)	p<0.01
HR[3]	57.4 (11.1)	51.5 (6.2)	63.8 (11.9)	p<0.01
GSR[4]	2.31 (2.24)	1.80 (0.72)	2.85 (3.1)	ns
Temp_diff[5]	0.55 (0.38)	0.45 (0.35)	0.66 (0.40)	ns
HRV index[6]	0.61 (0.61)	0.49 (0.32)	0.75 (0.82)	Ns

[1] BP_sys: systolic blood pressure
[2] BP_dia: diastolic blood pressure
[3] HR: heart rate
[4] GSR: galvanic skin resistance
[5] Temp_diff: 이마와 손가락 끝과의 온도차이
[6] HRV index: 심박수 변이를 나타내는 지표 중 LF/HF ratio

스트레스 호르몬과 생리적 스트레스 반응에서의 개인차와의 상관관계를 피실험자 전체, 남자, 여자로 구분하여 이들

변수 간의 Pearson 상관계수를 구하였다. 전체 피실험자를 대상으로 한 경우에 코티졸 양과 온도차이의 상관계수는 0.57(p<0.01), 코티졸 양과 LF/HF ratio의 상관계수는 0.54(p<0.01)이고 나머지 생리신호(혈압, 심박수, 피부전도도)들의 경우 코티졸 양과의 상관관계는 통계적으로 유의성이 없었다. 이를 남녀 집단으로 분리하여 분석하여 보면 남자 피실험자의 경우는 코티졸 양과 온도차이의 상관계수는 0.32(p=0.26), 코티졸 양과 LF/HF ratio의 상관계수는 0.40(p=0.16)으로 각각 약간의 상관관계를 보이나 통계적으로 유의하지는 않았고 나머지 생리신호(혈압, 심박수, 피부전도도)들과의 상관관계는 거의 없었다. 여자 피실험자의 경우 코티졸 양과 온도차이의 상관계수는 0.65(p<0.05), 코티졸 양과 LF/HF ratio의 상관계수는 0.56(p<0.05)이었고 전체 피실험자를 대상으로 한 경우와 마찬가지로 나머지 생리신호(혈압, 심박수, 피부전도도)들의 경우 코티졸 양과의 상관관계는 통계적으로 유의하지 않았다. 그림 1은 코티졸 양과 온도차이와의 상관관계를 그림 2는 코티졸 양과 LF/HF ratio와의 상관관계를 나타내고 있다.

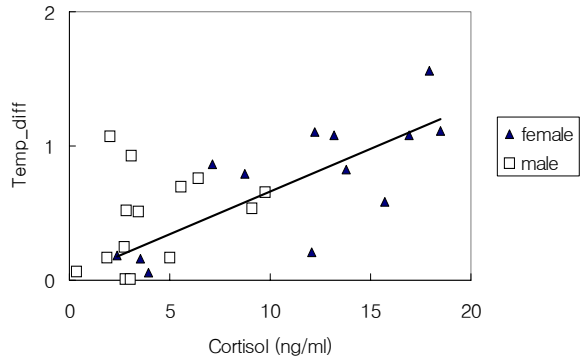

그림 1. 코티졸과 피부온도 간의 상관관계

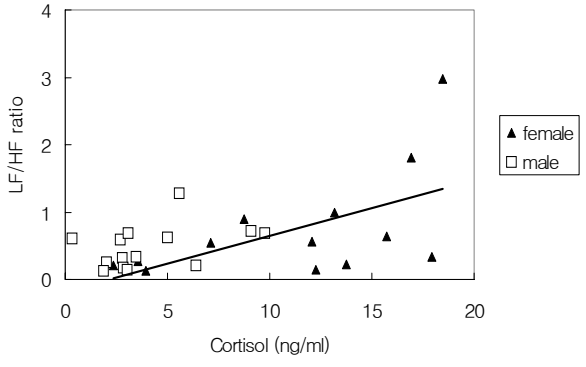

그림 2. 코티졸과 LF/HF ration 간의 상관관계

상관관계 분석 결과 코티졸 양과 관계가 있는 생리신호(온도차이, LH/HF ratio)들을 대상으로 코티졸 농도를 8.5 ng/ml를 기준으로 하여 이보다 높은 경우와 낮은 경우 각각에 있어서 코티졸의 양에 따라 생리신호들과의 상관관계가 변하는지 분석해 보기 위해 상관계수를 구하였다(표 2). 8.5 ng/ml 농도 기준은 김동수 등(2004)의 연구에서 코티졸 양이 이 기준보다 높을 경우 자기보고식 심리적 반응과 코티졸 양은 상호 변환될 수 있으므로 코티졸을 사용하여 개인의 생활 스트레스 수준을 평가하려면 이 기준보다는 높은 경우에 사용할 수 있다고 보고된 바 있다. 전체 피실험자를 대상으로 한 경우 이들의 상관관계는 위에서 살펴본 바와 같이 통계적으로 유의하였으나 표 2에서 보는 바와 같이 코티졸 농도를 높고 낮게 구분하는 경우 이들 모두는 정적인 상관관계를 나타내긴 하지만 통계적으로 유의하지는 않았다. 이는 코티졸 농도에 관계없이 표 2의 두 가지 생리신호들은 코티졸 양과의 상관관계가 일관된 경향을 보임을 의미한다.

표 2. 코티졸 양에 따른 상관관계 변화

	Temp_diff	LF/HF ratio
Cortisol(total)	0.57*	0.54*
Cortisol(>8.5ng/ml)	0.30	0.46
Cortisol(<8.5ng/ml)	0.40	0.28

(*p<0.05)

4. 토 론

작업현장에서 작업자의 근로 의욕을 떨어뜨리고 실수와 사고를 유발함으로써 작업자 개인의 건강 및 기업의 생산성에 영향을 주는 작업 및 일상생활 관련 생활 스트레스를 효과적으로 관리하기 위한 스트레스 관리 프로그램 구축을 위해 우선적으로 필요한 작업자 개인의 스트레스 수준을 정량적으로 측정하기 위해서는 스트레스에 반응하는 인간의 여러 가지 현상들을 종합적으로 분석할 필요가 있다. 세 가지 형태로 나타나는 스트레스 반응 중에서 본 연구에서는 생리적인 반응과 생화학적인 반응 간의 관계를 알아보기 위해 신체건강한 남녀 학생들을 대상으로 스트레스에 대한 인체의 반응 중에서 생화학적 반응으로서 타액에서 측정한 스트레스 호르몬인 코티졸과 생리적인 반응으로서 혈압, 심박수, 피부전도도, 피부온도, 그리고 심전도로부터 추출한 HRV 지표들과의 상관성을 추출하여 분석하였다.

스트레스에 대한 인체의 반응은 이 연구에서 측정하고자 하였던 생화학적 반응과 생리적인 반응 외에 심리적 반응으로도 나타나는데 생화학적 반응과 심리적 반응과의 관계는 김동수 등(2004)이 '타액 코티졸과 스트레스에 대한 심리적

반응으로서 자기보고식 스트레스 척도 사이의 관계' 연구에서 정상인에 있어 생화학적 지표들과 자기보고식 정신건강 지표들과의 상관계수는 0.32로 미약하나, 코티졸 농도가 8.5ng/ml 를 기준으로 이 보다 높은 경우에는 상관계수가 0.63(p<0.05)으로 유의하게 상승하여 상대적으로 높은 생활 스트레스 상황에서는 보다 전문적인 지식이 필요하고 개인 간 편차도 상대적으로 큰 자기보고식 심리적 척도보다는 코티졸이 스트레스 수준을 정량적으로 나타낼 수 있다고 보고하였다.

코티졸은 스트레스 상황에서 분비가 증가하는 호르몬으로 알려져 있어 개인의 스트레스 상태를 평가하기 위해 가장 흔히 이용되는 생화학적 지표 중의 하나로서 일반적으로는 혈액을 채취하여 코티졸을 분리해서 그 양을 측정하나 본 연구에서는 혈액 채취에 의한 검사를 지양하고 타액 코티졸을 사용함으로써 혈액 채취로 인하여 유발될 수 있는 급성 스트레스의 영향을 차단하여 분석 대상인 생활 스트레스로 인하여 발생한 코티졸의 양만을 추출하고자 하였다. 여자의 타액 코티졸 양이 남자보다 통계적으로 유의하게 많은 것으로 보아 전반적으로 일반 대학생의 생활보다는 심리적으로 또한 신체적으로 다소 많은 스트레스인자에 노출되어 있다고 볼 수 있는 사관생도 생활에서 경험하게 되는 스트레스에 남성보다는 여성이 더 노출되어 있음을 알 수 있다. 이는 일반적으로 여성이 남성과 비교하여 다양한 스트레스인자에 대해 더 많은 코티졸 반응을 보인다는 Greenspan 등(1993)과 Born 등(1995)의 연구와 같은 결과이며 정신건강 연구에서 여자가 남자보다 더욱 정신건강의 문제를 갖고 있어 여성이 남성보다 스트레스 수준이 높았으며(Lam, 1987), 남자와 비교하여 여자의 스트레스 변화량에 가장 많은 기여를 한 직무관련 변수는 직장 내에서의 동료와 상사의 사회적 지지라고 보고한 장세진 등(2005)의 연구에서와 같이 대부분 남자들로 이루어진 학교의 특성상 소수 인원인 여자들이 주변 동료와 상사들과의 관계에서 어려움을 겪고 있음을 알 수 있다.

스트레스에 대한 자율신경을 통한 인체의 반응을 보기 위하여 측정한 생리적 신호의 하나인 혈압의 경우 수축기 혈압은 남녀 차이가 없으나 확장기 혈압은 여자가 남자보다 유의하게 높았으며 심박수의 경우도 여자가 남자에 비해 유의하게 높았는데 이는 일반적으로 여성의 경우 남성보다 신체의 체지방 비율이 높고, 높은 체지방율 만큼 심장에 부담이 가해지기 때문이며 여자는 심장 크기가 상대적으로 작아 심박출량이 적기 때문에 이를 보정하기 위해 심박수가 더 많이 증가하는 것으로 보인다(Stein, et al., 1997). 이마와 손가락 끝의 피부온도의 차이는 유의한 차이는 아니지만 역시 여자가 남자보다 컸으며 이마의 온도는 스트레스에 관계없이 체온과 거의 같기 때문에 이마보다도 손가락 끝의 온도가 낮으면 스트레스 수준이 높다고 해석할 수 있으므로 이 역시 코티졸 측정 결과와 동일함을 알 수 있다. HRV 지표 중 교감신경 활동을 보여주는 LF/HF ratio는 그 차이가 통계적으로 유의하지는 않지만 여자가 남자보다 값이 큰 걸로 보아 자율신경을 통한 인체의 생리적인 스트레스 반응은 여러 가지 생리신호에서 모두 동일한 즉, 여성이 남성보다 스트레스 수준이 더 높은 경향을 보이고 있다. 이는 남녀의 신체적 · 생리적인 차이로 인한 스트레스 반응의 차이라고 볼 수도 있는데 해부학적으로 좌뇌와 우뇌를 연결하는 신경섬유 다발인 뇌량(corpus callosum)이 여자가 남자보다 크기 때문에 여성이 언어 및 감정 중추를 잘 종합하여 스트레스에 더 민감하게 반응하는 경향이 있다(Lacoste-Utamsing and Holloway, 1982).

일반적으로 스트레스 반응을 측정하기 위한 대부분의 연구는 스트레스의 효과를 극대화하기 위하여 다양한 형태의 스트레스인자를 극심하게 혹은 급성으로 피실험자에게 부여하게 되며 부여하기 전의 baseline 측정치와 부여한 후 변동치를 가지고 분석하게 된다(Hancock, 2001). 스트레스인자에 의해 유발되는 신체의 각종 스트레스 반응들은 이러한 경우 유의미하게 측정되는 생리신호들이다. 본 연구에서는 생활 스트레스 상태에서의 생리적인 스트레스 반응과 생화학적인 스트레스 반응 간의 상관관계를 보기 위한 목적이었기 때문에 어떠한 형태의 스트레스인자도 부여하지 않고 피실험자가 완전히 이완된 상태에서 측정하였으므로 일반적인 연구들에서 볼 수 있는 결과와는 약간 다른 결과를 보였다. 즉, 타액 코티졸과 이마와 손가락 끝 온도차이, 그리고 LF/HF ratio는 서로 통계적으로 유의한 정적인 상관관계를 보였으나 실험의 측정변수로 사용된 다른 생리신호(혈압, 심박수, 그리고 피부전도도)들과는 상관관계가 없었으며 남녀를 구분할 경우에는 남자는 상관관계가 있지만 통계적으로 유의하지 않은 반면 여자는 통계적으로 유의한 상관관계를 보였다. 이는 급성(acute) 스트레스와 만성(chronic) 스트레스에 대한 인간의 반응에 차이가 있다는 점을 시사한다. 장세진 등(2002)은 만성적이고 누적적인 스트레스라 볼 수 있는 직무 스트레스 및 생활 스트레스와 인체의 면역을 담당하는 T세포의 활성도를 통한 면역기능 간에 유의한 관련성을 발견하지 못하였다. 즉 급성 스트레스의 경우 자율신경계가 빠르게 반응을 보이는 것과 마찬가지로 면역체계도 면역방어기제를 동원하게 되어 면역수치가 증가하는 반면 이러한 스트레스가 만성화 될 경우 가용 자원을 이미 소진한 상태가 되어 그 결과 면역수치의 증가는 발견되지 않는다는 것이다(Theorell, et al., 1990).

코티졸과 자기보고식 스트레스 척도 사이의 관계 연구에서 김 등(2004)은 심리적 반응을 나타내는 자기보고식 스트레스 척도 보다는 코티졸이 스트레스 수준을 나타내는데

더 효과적이라고 보고한 바 있으나 이는 코티졸 농도가 어느 기준보다 높은 경우 즉, 상대적으로 높은 생활 스트레스 상황에서만 해당된다. 그러나 생리신호들의 경우에는 표 2에서 보는 바와 같이 코티졸 농도에 관계없이 상관관계가 일정하게 나타나므로 스트레스 수준에 관계없이 평가 척도로서 사용될 수 있음을 알 수 있다. 또한 코티졸은 측정시간에 따라 일중 변화가 심하며 성별 그리고 나이별 차이도 있기 때문에 일정한 기준을 적용하기 어려운 단점이 있고 여성의 경우 생리 주기에 따라서도 변동폭이 심하다(Kirschbaum, et al., 1999). 또한 신경전달물질이나 호르몬과 같은 생체내 생화학적 지표들은 실험적 상황이나 극심한 물리적, 감성적 스트레스 상황에서 하나의 객관적 지표로 사용될 수 있으나 일상생활 스트레스의 경우에는 tolerance 작용 때문에 객관적 지표로 사용하기 어려운 것도 문제이다. 따라서 만성적 생활 스트레스의 경우에는 코티졸 보다는 이 연구 결과에 의한 피부온도(특히, 이마와 말초기관인 손가락 끝 부분의 상대적인 온도차이)와 심전도(특히, HRV의 LF/HF ratio)의 두 가지 생리신호가 개인의 스트레스 수준을 평가하는 데 있어서 매우 간단하면서도 효과적인 측정 도구가 될 수 있을 것으로 판단된다.

5. 결 론

생활 혹은 직무 스트레스에 노출되어 있는 경우 이의 스트레스 수준을 정량적으로 평가하기 위해서는 심리적, 행동적, 그리고 신체적인 스트레스 반응들을 모두 측정하여 종합적으로 분석하여야 하나 이를 현장에서 적용하기에는 현실적인 제약이나 어려움이 많다. 따라서 스트레스 반응의 원천지인 자율신경계의 기능을 간편하게 피부온도와 심전도를 통하여 검사함으로써 스트레스를 정량적으로 평가하는 것이 가능하므로 향후 연구를 통해 평가 자료를 바탕으로 스트레스를 유발하는 스트레스인자를 파악하여 개선해 나가는 스트레스 관리 프로그램을 구축한다면 작업장 혹은 일상생활 중 스트레스로 인하여 발생되는 부작용들을 예방할 수 있을 것으로 생각한다.

참고 문헌

김동수, 정연수, 박세권, 스트레스 호르몬인 타액 코티졸과 자기보고식 스트레스 척도 점수 사이의 관계, *한국심리학회지: 건강*, 9(3), 633-645, 2004.

노동부, *2005년 산업재해 현황*, 2005.

장세진, 고상백, 박종구, 차봉석, 사회적 지지가 만성적 스트레스와 면역체계에 미치는 영향, *예방의학회지*, 35(4), 287-294, 2002.

장세진, 고상백, 강명근, 차봉석, 박종구, 현숙정, 박준호, 김성아, 강동묵, 장성실, 이경재, 하은희, 하미나, 우종민, 조정진, 김형수, 박정선, 우리나라 직장인 스트레스의 역학적 특성, *예방의학회지*, 38(10), 25-37, 2005.

하미나, 장세진, 조정진, 주영수, 정진주, 장성실, 김성아, 임상혁, 김재용, 우종민, 하은희, *한국인 직무스트레스와 건강영향에 관한 기획연구*, 한국산업안전공단 산업안전보건연구원, 2001.

Andre, A. and Wickens, C., When users want what's not best for them, *Ergonomics in Design*, October, 10-14, 1995.

Belkic, K., Landsbergis, P., Schnall, P. and Baker D., Is job strain a major source of cardiovascular disease risk?, *Scandinavian Journal of Work Environment and Health*, 30(2), 85-128, 2004.

Born, J., Ditschuneit, I., Schreiber, M., Dodt, C. and Fehm, H., Effects of age and gender on pituitary-adrenocortical responsiveness in humans, *European Journal of Endocrinology*, 132, 705-711, 1995.

Bowles, S., Ursin, H. and Picano, J., Aircrew perceived stress: Examining crew performance, crew position and captains personality, *Aviation Space and Environmental Medicine*, 71, 1093-1097, 2000.

Cohen, S., Kessler, R. and Gordon L., *Measuring stress - A Guide for Health and Social Scientists*, Oxford University Press, 1997.

Cooper, C., Stress in the workplace, *British Journal of Hospital Medicine*, 55, 559-563, 1996.

Driskell, K. and Salas, E., *Stress and human performance*, Lawrence Erlbaum, 1996.

Goetzel, R., Jacobson, B., Aldana, S., Vardell, K. and Yee, L., Health care costs of worksite health promotion participants and non-participants, *Journal of Occupational and Environmental Medicine*, 40(4), 341-346, 1998.

Greenspan, S., Rowe, J., Maitland, L., McAloon-Dyke, M. and Elahi, D., The pituitary-adrenal glucocorticoid response is altered by gender and disease, *Journal of Gerontology*, 48, M72-M77, 1993.

Hancock, P., *Stress, workload and fatigue*, Lawrence Erlbaum, 2001.

Hancock, P. and Vasmatzidis, I., Human occupational and performance limits under stress: the thermal environment as a prototypical example, *Ergonomics*, 41(8), 1169-1191, 1998.

Kirschbaum, C., Kudielka, B., Gaab, J., Schommer, N. C. and Hellhammer, D. H., Impact of gender, menstrual cycle phase and oral contraceptives on the activity of the hypothalamus-pituitary-adrenal axis, *Psychosomatic Medicine*, 61(2), 154-162, 1999.

Kramer, A., Physiological metrics of mental workload: A review of recent progress, In D. Damos(ed.), *Multiple task performance*, Taylor & Francis, 1991.

de Lacoste-Utamsing, C. and Holloway, R., Sexual dimorphism in the human corpus callosum, *Science*, 216, 1431-1432, 1982.

Lam, T., Mental health and work stress: a comparison of response patterns in executives and clerical workers in Hong Kong, *Journal of Occupational Medicine*, 29, 892-897, 1987.

Lazarus, R. and Folkman, S., *Stress, appraisal, and coping*, Springer Publishing Co., 1984.

Lipowski, Z., *Psychosomatic medicine liaison psychiatry*, Plenum Medical Book Co., 1985.

McEwen, B. S., Biron, C. A., Brunson, K. W., Bulloch, K., Chambes, W. H., Shabhar, F. S., Goldfarb, R. H., Kitson, R. P., Miller, A. H., Spencer, R. L. and Weiss, J. M., The role of adrenocorticoids as modulators of immune function in health and disease: Neural, endocrine and immune interactions, *Brain Research Review*, 23, 79-133, 1997.

Manning, M., Jackson, C. and Fusilier, M., Occupational stress, social support, and the costs of health care, *Academy of Management Journal*, 39, 738-750, 1996.

NIOSH, *Stress at work*, NIOSH Publication Number 99-101, 1999.

Quick, J., Introduction to the measurement of stress at work, *Journal of Occupational Health Psychology*, 3, 291-293, 1998.

Selye, H., *The stress of life*, Van Nostrand Reinhold, 1979.

Stein, P., Kleiger, R. and Rottman, N., Differing effects of age on heart rate variability in men and women, *American Journal of Cardiology*, 80, 302-305, 1997.

Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology, Heart rate variability: standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use, *Circulation*, 93, 1043-65, 1996.

Theorell, T., Orth-Gomer, K. and Eneroth, P., Slow reacting immuno-globlin in relation to social support and changes in job strain: A preliminary note, *Psychosomatic Medicine*, 52, 511-516, 1990.

Tsang, P. and Wilson, G., Mental workload, In G. Salvendy(ed.), *Handbook of human factors and ergonomics*, 2nd ed., Wiley, 1997.

Welford, A., Stress and Performance, *Ergonomics*, 16(5), 567-580, 1973.

◐ 저자 소개 ◑

❖ 박 세 권 ❖ parksk@afa.ac.kr

Pennsylvania State University 산업공학과 박사
현 재: 공군사관학교 산업공학과 교수
관심분야: Human Factors in Aerospace, Fatigue/stress, WMSDs

❖ 김 동 수 ❖ kimd@afa.ac.kr

State University of New York at Albany 보건 및 독성학과 박사
현 재: 공군사관학교 화학과 교수
관심분야: Psychoneuroimmulogy, Toxicology, Fatigue/stress

논 문 접 수 일 (Date Received) : 2006년 10월 31일
논 문 수 정 일 (Date Revised) : 2006년 12월 18일
논문게재승인일 (Date Accepted) : 2007년 01월 07일