

## 스트레스에 대한 심리 반응 유형과 심박변이도의 관련성

Relationships of Psychological Factors to Stress and Heart Rate Variability as  
Stress Responses Induced by Cognitive Stressors

장은혜\* · 김아영\* · 유한영\*†

Eun Hye Jang\* · Ah Young Kim\* · Han Young Yu\*†

\*한국전자통신연구원 바이오의료IT연구본부

\*Bio-Medical IT Convergence Research Division,  
Electronics and Telecommunications Research Institute

### Abstract

Stress involves changes in behavior, autonomic function and the secretion of hormones. Autonomic nervous system (ANS) contributes to physiological adaptive process in short durations. In particular, heart rate variability (HRV) analysis is commonly used as a quantitative marker depicting the ANS activity related to mental stress. The aim of this study is to investigate correlations between psychological responses to stress and HRV indices induced by the cognitive stressor. Thirty-three participants rated their mental and physical symptoms occurred during the past two weeks on Stress Response Inventory (SRI), which is composed of seven stress factors that may influence the status of mental stress levels. Then, they underwent the psychophysiological procedures, which are collected electrocardiogram (ECG) signals during a cognitive stress task. HRV indices, the standard deviation of R-R interval (SDNN), root mean square of successive R-R interval difference (RMSSD) and low frequency (LF)/high frequency (HF) ratio were extracted from ECG signals. Physiological responses were calculated stress responses by subtracting mean of the baseline from the mean of recovery. Stress factors such as tension, aggression, depression, fatigue, and frustration were positively correlated to HRV indices. In particular, aggression had significant positive correlations to SDNN, RMSSD and LF/HF ratio. Increased aggressive responses to stress correlated with the increases of all HRV indices. This means the increased autonomic coactivation. Additionally, tension, depression, fatigue, and frustration were positively associated with RMSSD reflecting increases in parasympathetic activation. The autonomic coactivation may represent an integrated response to specific cognitive reactions such as the orienting response.

**Key words:** Stress, Psychological Response, Autonomic Nervous System, Heart Rate Variability

---

※ 이 논문은 2015년도 미래창조과학부의 재원으로 정보통신기술진흥센터의 지원을 받아 수행된 연구임(No. B0132-15-1003, 정신 질환의 모니터링 및 징후 예측을 위한 피부 부착형 센서 모듈 개발).

† 교신저자 : 유한영 (한국전자통신연구원 바이오의료IT연구본부)

E-mail : uhan0@etri.re.kr

TEL : 042-860-5905

FAX : 042-860-6594

## 요 약

본 연구에서는 스트레스에 대한 심리 반응 요인과 인지 스트레스원에 의해 유발된 심박변이도의 변화와의 관계를 확인하고자 하였다. 33명의 실험참여자는 지난 2주 동안 경험한 스트레스에 대하여 정신적 신체적 증상들을 스트레스 반응 척도 상에 평가하였다. 또한 실험참여자가 인지 스트레스 과제를 수행하는 동안 심전도 신호가 기록되었다. 심박변이도 지표로서, R-R간격의 표준편차(SDNN), 연속한 R-R 간격 차이 값의 평균제곱근(RMSSD)과 심박변이도의 저주파 성분(LF)과 고주파 성분(HF)의 비율이 추출되었다. 스트레스 반응은 회복기 동안의 평균에서 기저선의 평균을 뺀 차이값으로 분석에 사용되었다. 분석 결과, 스트레스 요인과 심박변이도 지표들과의 유의한 정적 상관을 보였다. 특히 스트레스에 대한 공격 반응의 증가는 모든 심박변이도 지표의 증가와 연관이 있었다. 모든 심박변이도 지표의 증가는 자율신경계가 동시에 활성화됨을 의미한다. 즉, 공격 반응의 증가는 교감 및 부교감신경계의 활성화도의 증가와 관련이 있다. 또한 긴장, 우울, 피로와 좌절은 RMSSD와의 정적 상관이 있었다. RMSSD의 증가는 부교감신경계 활성화의 증가를 의미하는 것으로, 긴장, 우울, 피로, 좌절의 증가와 부교감 신경의 활성화도의 증가가 연관이 있었다. 이러한 자율신경의 공동 활성화는 주의 집중을 요하는 인지 스트레스원에 대한 통합된 반응으로 여겨진다.

**주제어:** 스트레스, 심리 반응, 자율신경계 반응, 심박변이도

## 1. 서론

스트레스(stress)는 한 개체가 직면한 문제들을 해결할 수 없을 때 생기는 일종의 불안이나 불쾌한 신체 감정 반응 또는 심리적·신체적 긴장 상태를 의미하며, 생화학적·생리학·심리학·행동학적 변화를 수반한다(Cho et al., 2001; Fink, 2010; Shin, 2014). 스트레스는 많은 학자들에 의해 다양하게 정의되고 있는데, 첫째, 스트레스는 어떤 반응을 일으키는 자극 즉, 적응하기 위한 노력을 기울이게 만드는 외부의 사건이나 자극이다. 자극으로서의 스트레스를 보는 관점에서 스트레스는 행동의 변화를 야기하는 위협적인 자극이고, 심리적인 항상성을 깨뜨려 변화를 일으키는 원인이다. Selye(1951)는 스트레스를 일으키는 외부로부터의 자극이나 원인을 스트레스원(stressor)으로 구분하면서 스트레스 반응과 구분하여 설명하였다.

둘째, 스트레스는 외부 자극에 대한 유기체의 반응 또는 반응으로 나타난 상태, 즉 외부의 위협을 극복하기 위한 일종의 적응 반응이다. Cannon(1929)은 스트레스의 개념을 내적 안정 상태인 항상성(homeostasis)을 유지하려는 신체의 특정 기전에 압력이 가해져 생기는 결과로 설명하였다. 또한 Selye (1951)는 스트레

스를 새로운 자극 형태가 나타났을 때 이에 대응하려는 신체적인 방어의 틀(일반 적응 증후군)로 정의하였다. 외부 자극이 오랫동안 지속되면 신체 반응이 세 가지 단계 - 위협을 지각하자마자 ‘투쟁-도피 반응(fight or flight response)’이 발생하는 경계 반응기, 스트레스 요인에 신체가 대처하는 저항기, 신체의 저항이 과부하되고 소진되는 탈진기 - 를 거치는데, 그 과정에서 적절한 중재가 이루어지지 않으면 심신의 불균형 상태가 계속되는 것이다.

셋째, 관계론적 관점에서는 스트레스를 단순히 자극과 반응으로 생각하는 것이 아니라 자극 및 환경, 유기체의 상호작용을 강조한다. 스트레스의 과정에 대한 통합적인 시각으로 스트레스원에 대한 평가, 대처할 수 있는 개인 자원에 대한 평가, 그리고 스트레스와 건강의 관계를 조절하는 매개변인 등의 포괄적 상호작용을 고려한다. 특히, Lazarus & Launier(1978)는 스트레스가 긍정적으로 작용하느냐, 부정적으로 작용하느냐는 사람의 인지적 평가에 따라 달라진다고 보고하였다.

한 때 스트레스 이론들은 상호작용 쪽으로 기울어 경향을 보였으나(Henry & Stephens, 1977; Kagen & Levi, 1974), 아직까지도 스트레스를 반응 측면에서 정의하고, 반응 양상이 기능장애와 질병을 일으키는

전단계로 보는 추세이다(Derogatis & Coons, 1993; Ko, Park, & Kim, 2000). 인간의 스트레스 반응은 광범위하고 종합적으로 나타나는 현상으로, 일반적으로 심리적, 행동적, 신체적인 반응으로 접근한다(Cohen et al., 1977; Shin, 2014). 스트레스에 대한 심리 반응으로, 개인의 인지적 평가, 대응능력, 질병행동의 특성 및 사회적 지지 여부와 같은 심리 요인들을 중요하게 여기며(Lazarus, 1978; Sarason et al., 1985), 인지과정(예, 평가, 대응 등) 및 감정상태(예, 불안, 우울 등)를 강조한다(Derogatis & Coons, 1993; Ko et al., 2000). 스트레스의 행동적 반응은 식욕 상실, 체중의 갑작스런 증감, 흡연 습관 변화, 호흡 곤란, 업무실적 저하, 사회적 관계 회피 등이다(Beery & Kaufer, 2015; Perkins et al., 1991; Torres & Nowson, 2007). 스트레스의 신체적 반응은 시상하부 앞쪽에서 부신피질 자극 호르몬 방출인자(corticotropin-releasing factor, CRF)를 방출하고, 이 때 뇌하수체에서 부신피질자극호르몬(adrenocortico-trophic hormone, ACTH)을 분비시켜 부신피질을 자극하면 부신피질에서 코티졸(cortisol)을 분비한다(Greenberg, 1990). 또한 교감신경계를 활성화시키고 부교감신경계의 자극을 억제함으로써 심장 박동 증가, 혈압 증가, 발한, 근육 긴장, 위장 운동 감소, 면역 억제 반응 등과 같은 다양한 생리적 변화가 나타난다(Hancock, 2001).

스트레스에 대한 이론은 반응의 이러한 모든 측면과 그 사이의 관계를 설명할 수 있어야 하는데, 실제로 이들 간의 일관성은 부족하다(Mordkoff, 1964). 예를 들어, 스트레스가 많은 자극에 대하여 정서적 각성이 거의 없거나 전혀 없다고 심리 반응을 구두 보고한 경우에도 높은 자율신경계 활동이 나타나는 현상은 드물지 않다. 스트레스에 대한 심리 반응과 생리 반응 사이의 불일치는 대부분 방어적으로 왜곡하려는 방어 성향 때문에 나타날 수 있다(Mordkoff, 1964). 따라서 스트레스에 대한 심리 반응과 생리 반응과의 관계를 검증하여 반응의 일관성을 검증하는 연구가 필요하다. 특히 스트레스는 심박율(heart rate, HR), 혈압(blood pressure, BP)의 증가와 같은 빠른 심혈관계의 활성화의 원인일 뿐 아니라 지각된 스트레스, 긍정 또는 부정적 심리 반응, 통제 불능감과 같은 주관적인

경험을 유발하기 때문에, 최근에는 심혈관계 반응(cardiovascular activity)을 측정하여 심리 반응과의 관련성을 밝히는 연구들이 수행되었다(Mordkoff, 1964; Kirschbaum et al., 1993; Penley & Tomaka, 2002; Salahuddin et al., 2007; Armbruster et al., 2012; Wirtz et al., 2007; Bibbey et al., 2013; Xin et al., 2017). 예를 들어, Salahuddin et al.(2007)은 스트레스 반응 척도를 이용하여 스트레스가 높은 집단과 낮은 집단을 분류하고 기저선 상태의 생리 반응을 비교한 결과, 스트레스가 높은 집단일수록 심박변이도 고주파수(high frequency, HF)는 낮아지고 심박변이도 저주파수(low frequency, LF)와 LF/HF는 높아짐을 확인하여 스트레스 수준이 심박변이도 지표와 관련되어 있음을 증명하였다. 그러나 기저선에서의 생리 반응을 측정하였기 때문에, 스트레스원에 대한 반응으로 생리 반응을 확인한 것은 아니다.

한편, 최근에는 스트레스 반응에 대한 개인차를 고려하여 성격과 생물학적 스트레스 반응과의 관계를 밝힌 연구들도 존재한다. Bibbey et al.(2013)은 성격 특성과 생물학적 스트레스 반응과의 관계를 검증하였다. 심혈관계 활동, 코티졸, 스트레스 과제에 대한 개인의 자기 보고 결과를 측정하여 성격 특성에 따른 스트레스 반응에 대한 심리 및 생리 반응의 차이를 확인하였다. Xin et al.(2017)은 성격 특성의 다른 차원이 스트레스 반응의 다른 양상과 관련됨을 밝히기 위하여 스트레스 자극에 대한 주관적 경험과 심박율(heart rate, HR)과 코티졸 반응을 측정하였다. 예를 들면, 더 높은 신경증이 낮은 심박율과 코티졸 반응을 예측하였고, 긍정 감성을 감소시켰다. 또한 외향성이 높은 사람들은 스트레스에 대한 코티졸 활성도가 적고 부정 감성이 낮았다.

실제로 스트레스에 대한 심리 반응은 다양하게 존재하지만(Derogatis & Coons, 1993; Ko et al., 2000), 이러한 심리 반응을 세분화하여 생리 반응과의 관계를 밝힌 연구는 없다. 본 연구에서는 스트레스에 대한 심리 반응 유형이 다른 생리 반응을 유발할 것으로 가정하고, 스트레스에 대한 심리 반응과 생리 반응과의 관계를 밝히고자 하였다. 스트레스 자극으로 선행 연구(Kirschbaum et al., 1993; Birkett, 2011)에서 사

용된 사회 스트레스 테스트(Trier Social Stress Test, TSST)의 일부인 영어 지문을 읽고 발표하는 인지 스트레스를 활용하였다. 또한 심리 요인으로 Koh et al.(2001)의 스트레스 반응 척도 7가지 요인들을 이용하였고, 스트레스 자극에 대한 생리 반응은 Pruneti et al.(2014)의 연구에서 사용한 스트레스 반응(stress response)을 활용하였다. 이들은 스트레스 반응을 기저선과 회복기에서의 생리 반응 차이로 조작적으로 정의하였고, 스트레스 자극의 제시가 끝난 후, 회복기의 마지막 생리 반응에서 자극이 제시되기 전 기저선의 반응의 차이를 분석하여 스트레스 자극에 의해 변화된 생리 반응으로 제안하였다. 또한 심혈관계 활동 지표로 사용되는 심박변이도 분석을 활용하였다. 시계열 분석(time domain methods)은 심장의 활동을 측정할 수 있는 가장 간단한 분석법으로 교감 또는 부교감신경계의 활성화와 같은 자율신경계 활동을 반영한다(Otzenberger et al., 1998). R-R 간격의 표준편차(SDNN)는 심박율의 단주기변동(short-term variation)을 나타내며 자율신경계의 활성도를 보여주는 유의한 지표인 반면, 연속한 R-R 간격 차이 값의 평균제곱근(RMSSD)은 심박율의 장기변동(long-term variation)을 나타내며 부교감신경계의 활동 정도를 측정하는 지표이다(Balocchi et al., 2006; Berntson et al., 2005; Sollers et al., 2007). 또한 주파수 계열 지표(frequency domain methods)의 하나인 LF/HF ratio는 심혈관계 자율신경의 조절을 나타내는 지표로 알려져 있다(Billman, 2013; Camm et al., 1996; Cowan, 1995; Kreibig, 2010). 본 연구에서는 이들 지표를 각각 교감신경계의 활성화도, 부교감신경의 활성화도, 자율신경 활성 비율을 확인하는 지표로 활용하였다.

## 2. 연구 방법

### 2.1. 실험 참여자

대전시 소재 연구원에 재직 중인 만 30-50대 성인 남녀 33명(평균 연령  $39.9 \pm 7.65$ 세)이 본 실험에 참여하였다. 이들은 모두 대학원 이상의 교육을 받은 자들

로, 정신과 또는 신경과적 병력이나 심혈관계 질환 관련 병력이 없는 자들이었다. 실험 참여에 앞서 이들은 실험의 내용과 지시사항에 대한 설명을 들은 후 실험 참여에 동의하였다. 실험 종료 후, 실험 참여자들에게 소정의 기념품을 제공하였다. 본 연구는 공용기관생명윤리위원회의 승인 하에 수행되었다(2017-1493-004).

### 2.2. 스트레스 반응 척도

스트레스에 대한 심리 반응을 측정하기 위하여 Koh et al.(2001)이 개발한 스트레스 반응 척도(Stress Response Inventory, SRI)를 이용하였다. 이 척도는 평소 일상 스트레스에 대한 개인의 감정적, 신체적, 인지적, 행동적 반응을 측정하기 위하여 개발된 것으로, 감정 반응 8 문항, 신체 반응 11 문항, 인지 반응 11 문항, 행동 반응 9 문항을 포함하여 총 39개의 문항으로 구성되어 있다. 이들 문항은 요인분석을 통해 7개의 요인, 긴장(tension), 공격성(aggression), 신체화(somatization), 분노(anger), 우울(depression), 피로(fatigue)와 좌절(frustration)으로 구분되었다. 본 척도는 검사-재검사를 통해 7개의 하위 척도 점수와 척도 전체 점수 간의 상관관계수 .69~.96의 유의한 상관관을 가지며, 7개 하위 척도의 내적 일치도는 Cronbach  $\alpha = .76 \sim .91$ , 척도 전체의 Cronbach  $\alpha = .97$ 이다. 본 연구에서는 스트레스에 대한 심리 반응을 의미하는 변인으로, 상기 7가지 세부 요인들을 활용하였다.

### 2.3. 스트레스 유발 자극

실험실 상황에서 스트레스를 유발하기 위하여 일반적으로 사회 스트레스 테스트(Trier Social Stress Test, TSST)가 사용된다. 본 테스트는 다수의 실험 참여자들의 신뢰로운 스트레스 반응을 유도하기 위해 설계된 절차로(Kirschbaum et al., 1993; Birkett, 2011), 스트레스 조건은 발표 준비(presentation, 5분), 준비한 내용 발표(speech, 5분), 암산 과제(mental arithmetic task, 5분)로 구성된다. 본 과제에서는 스트레스에 대한 생리 반응 측정을 위하여 테스트를 일부 수정하

여 활용하였다. 다수의 실험 참여자가 아닌 단독 실험으로 이루어지기 때문에, 주어진 시간 동안 영어 지문을 읽고 이해한 내용을 발표하도록 하였다. 제시된 영어 지문은 실험참여자들의 전공과는 무관한 현상학과 기술철학에 관한 내용으로, Heidegger(1977)의 에세이에서 “The Question Concerning Technology”의 일부를 발췌하였다. 또한 장시간 생리 반응 측정의 어려움으로 암산 과제는 구성에서 제외하였다. 스트레스 자극은 실험 참여자가 앉을 의자에서 2m 떨어진 위치에 놓인 40인치 LED TV로 제시되었다.

#### 2.4. 실험 절차

실험 참여자가 실험실에 입실하면, 의자에 앉아 실험 절차 및 안내사항을 듣고 실험 참여 여부를 결정하였다. 실험 참여를 동의한 실험 참여자는 스트레스 반응 척도 상에 지난 2주일 동안 일상생활에서 경험한 스트레스에 대하여 평가하였다. 스트레스 평가가 끝나고, 실험실 환경에 적응하기 위한 안정기 동안 실험자는 실험 참여자의 신체에 심전도 신호 측정을 위한 전극을 부착하였다. 실험이 시작되면, TV를 통해 검은색 바탕 화면이 제시되는 동안 기저선(baseline, 5분)을 측정하였고, 이후 화면에 스트레스 자극이 제시되면, 실험 참여자는 5분 동안 영어 지문을 읽고 내용을 파악한다. 자극 제시가 끝나면, 실험 참여자는 스스로 이해한 내용을 실험자에게 발표하고 본인이 경험한 스트레스를 평가하였다. 스트레스 평가는 자극이 제시되는 동안 실제 스트레스를 경험하였는지의 여부와 그 강도는 어느 정도이었던지(Likert 7점 척도)에 대한 질문으로 이루어졌다. 스트레스 평가가 종료되면, 5분 동안 회복기(recovery)를 가지도록 하였다.

#### 2.5. 측정 장비 및 특징 추출

심전도 신호는 Biopac Amplifier-System(MP150; Biopac, Goleta, CA, USA)을 이용하여 양쪽 손목과 왼쪽 발목에 장착한 전극을 통해 기록되었다. 샘플링 포인트는 250 samples/sec이었고, 증폭기를 통하여 증폭

된 신호는 MP150 (Biopac, CA, USA) A/D 변환기와 AcqKnowledge ver. 4.3.1(Biopac, CA, USA) 소프트웨어를 이용하여 컴퓨터에 저장되었다.

심박변이도 분석은 심혈관계 활동, 즉 심장의 자율 신경 조절 상태를 평가할 수 있다는 장점이 있기 때문에(Bos et al., 2013), 측정된 심전도 신호로부터 R-peak 간의 간격을 추출하여 심박변이도 지표들을 계산하였다. 스트레스에 대한 생리 반응 지표로서, R-R 간격의 표준편차(standard deviation of R-R interval, SDNN), 인접한 R-R 간격 간 차이값의 평균 제곱근(square root of the mean squared differences of successive normal to normal R-R interval, RMSSD), 심박변이도의 저주파성분(low frequency, LF)과 고주파성분(high frequency, HF)의 비율(LF/HF ratio)을 분석에 활용하였다.

#### 2.6. 분석 방법

모든 통계적 분석은 SPSS ver. 21.0(IBM, USA)을 이용하여 수행되었다. 스트레스 자극에 대한 심리 반응으로, 스트레스를 실제로 경험하였는지 여부에 대한 빈도 분석을 통해 스트레스 자극에 대한 적합성을 검증하고, 스트레스 경험 강도의 평균을 계산하여 스트레스 자극의 효과성을 검증하였다. 그리고 스트레스에 대한 심리 반응과 생리 반응과의 관계를 밝히기 위하여 이들 간의 상관 분석을 수행하였다. 일상생활에 대한 스트레스 반응 척도의 점수는 앞서 언급된 긴장, 공격성, 신체화, 분노, 우울, 피로, 좌절의 7가지 요인에 해당하는 문항들의 총점으로 계산되었고, 이들은 스트레스에 대한 심리 변인으로 사용되었다.

스트레스에 대한 생리 반응은 앞서 Pruneti et al. (2014)에 의해 제안된 스트레스 반응을 분석하였다. 이들은 회복기 마지막 1분의 평균에서 기저선 처음 1분의 평균을 뺀 값을 스트레스 반응(stress response)으로, 회복기 마지막 1분의 평균에서 스트레스 구간 전체의 평균을 뺀 값을 스트레스 회복(stress recovery)으로 활용하였다. 그러나 본 연구에서는 심박변이도 지표를 활용하였기 때문에, 각 구간별로 5분 동안의

평균을 구하였다. 일반적으로 심박변이도는 심박의 변이를 분석하기 때문에 결과의 안정성을 위하여 최소 5분 동안 기록된 심전도 신호를 필요로 한다(Bos et al., 2013).

### 3. 연구 결과

#### 3.1. 스트레스 반응 척도

스트레스 반응 척도에 대한 결과는 다음과 같다. 각 반응 요인의 평균과 표준편차는 긴장 8.9±3.30점(정상 범위 6~14점), 공격성 4.8±1.57점(정상 범위 4~8점), 신체화 4.0±1.79점(정상 범위 3~7점), 분노 9.8±4.25점(정상 범위 7~15점), 우울 12.5±4.91점(정상 범위 8~19점), 피로 9.8±3.01점(정상 범위 7~12점), 좌절 9.1±3.57점(정상 범위 8~19점)으로, 정상 범주에 포함되었다(Koh et al., 2001). 또한 Kolmogorov-Smirnov와 Shapiro-Wilk의 정규성 분포 검정을 수행한 결과, 피로( $p=.078$ ,  $p=.194$ )를 제외한 나머지 요인들은 정규성을 띠지 않았다.

#### 3.2. 스트레스 자극에 대한 심리 반응

스트레스 자극에 대한 심리 반응 결과는 다음과 같다. 실제로 스트레스를 경험하였다고 보고한 실험 참여자는 31명(96.7%)이었고, 2명(3.3%)은 스트레스를

경험하지 않았다고 보고하였다. 스트레스를 경험한 실험 참여자들이 경험한 스트레스의 강도는 평균 4.7(SD=1.24)점이었다.

#### 3.3. 스트레스에 대한 심리 반응과 생리 반응의 상관

스트레스 반응 척도에서 피로 요인을 제외한 여섯 가지 반응 요인이 정규 분포를 따르지 않은 이유로, 스트레스에 대한 심리 반응과 생리 반응 간의 관계는 Pearson 상관 분석(피로)과 비모수 통계기법인 Spearman 상관 분석(긴장, 공격성, 신체화, 분노, 우울, 좌절)을 함께 수행하였다. 그 결과, 신체화, 분노 반응은 심박변이도 변수와 유의한 상관이 없었다. 긴장은 RMSSD와 유의한 정적 상관을 보였고( $rs=.268$ ,  $p=.039$ ), 공격성은 모든 심박변이도 지표에서 유의한 정적 상관을 보였다(SDNN  $rs=.327$ ,  $p=.018$ ; RMSSD  $rs=.266$ ,  $p=.050$ ; LF/HF ratio,  $rs=.290$ ,  $p=.045$ ). 즉, 스트레스에 대한 공격성의 증가는 심박변이도 활동의 증가와 연관되어 있었다. 또한 우울은 RMSSD와 유의한 정적 상관을 보였는데( $rs=.356$ ,  $p=.005$ ), 이는 우울 반응과 RMSSD의 변화가 관련이 있음을 의미한다. 마지막으로 피로와 좌절 또한 RMSSD와 정적 상관을 가졌다(피로  $rs=.259$ ,  $p=.041$ ; 좌절  $rs=.304$ ,  $p=.018$ ). 즉, 피로와 좌절에서의 높은 점수는 RMSSD의 증가와 관련이 있었다(Table 1, Fig. 1).

Table 1. Correlation between psychological responses to stress and heart rate variability as stress responses

	SDNN		RMSSD		LF/HF ratio	
	rs	p	rs	p	rs	p
Tension	.11	.41	.27*	.04	.01	.95
Aggression	.33*	.02	.27*	.05	.29*	.05
Somatization	.08	.56	.20	.14	.04	.79
Anger	.06	.62	.09	.49	.03	.82
Depression	.02	.87	.36**	.01	-.13	.31
Fatigue	.04	.77	.26*	.04	.02	.86
Frustration	.04	.75	.30*	.02	-.03	.82

abbreviations: SDNN(standard deviation of R-R interval), RMSSD(square root of the mean squared differences of successive normal to normal R-R interval), LF/HF ratio(ratio of low frequency/high frequency)

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

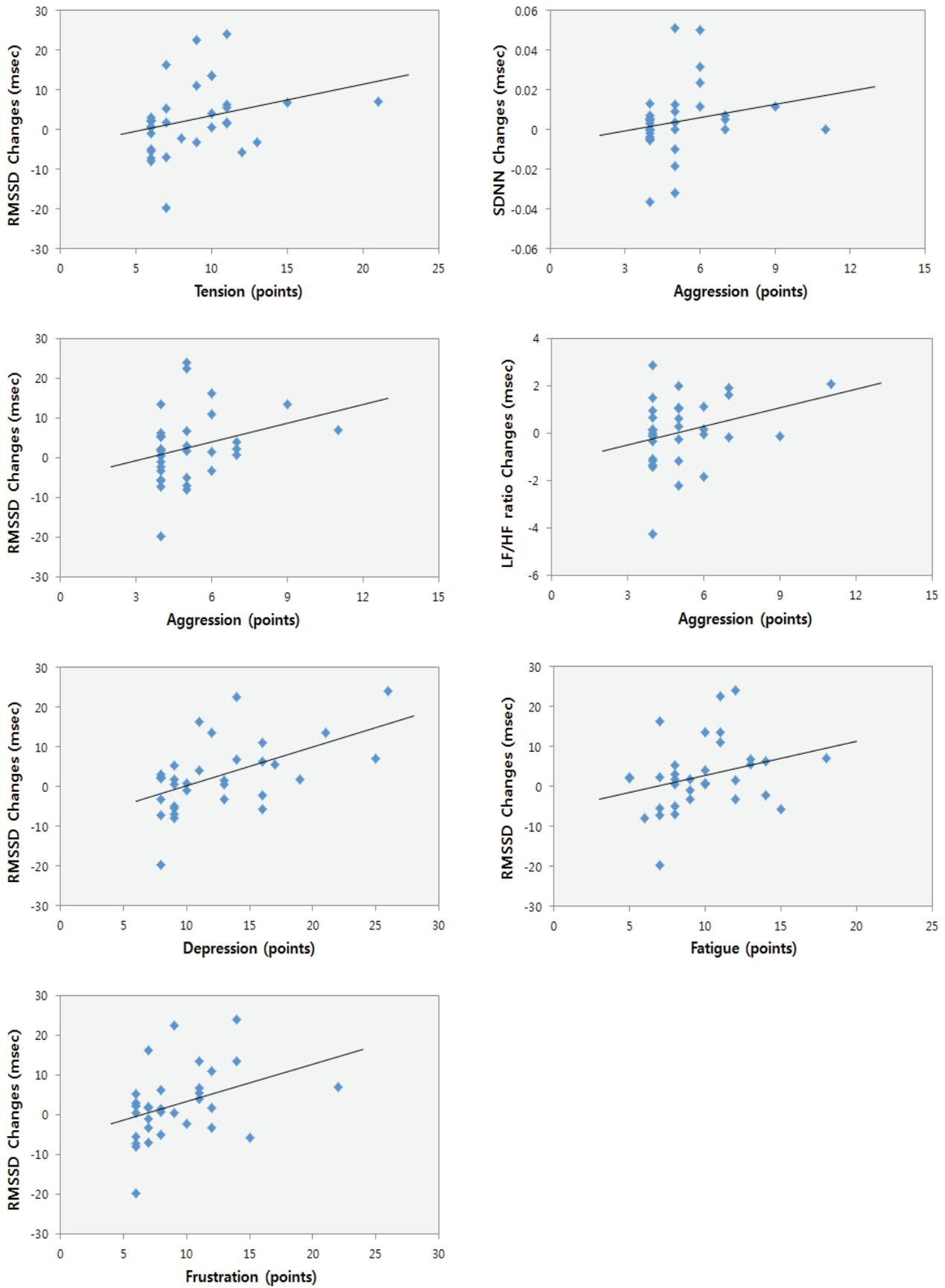


Fig. 1. Correlations between psychological response to stress and physiological responses induced by stress stimulus

#### 4. 결론 및 논의

본 연구에서는 스트레스에 대한 심리 반응과 생리 반응과의 관계를 확인하였다. 이를 위하여 일상 스트레스에 대한 개인의 심리 반응을 측정하였고, 스트레스 자극에 의해 유발된 심박변이도의 변화를 측정하였다. 스트레스 반응 척도를 이용한 세부 스트레스 반응 요인들을 분석하였을 때, 실험참여자들은 모두 정상 범주에 속하였다. 또한 사용된 스트레스 자극은 90% 이상의 적합성을 가졌고, 경험한 스트레스의 강도는 7점 척도에서 4.7점 이상으로 나타났다. 이는 스트레스 자극이 실험참여자들에게 실제 스트레스를 유발하였음을 의미한다.

스트레스에 대한 심리 반응과 생리 반응과의 관계를 확인하기 위하여 심박변이도의 시간 영역(time domain)과 주파수 영역(frequency domain)의 지표로서, SDNN, RMSSD와 LF/HF ratio를 추출하였다. SDNN은 단기간(최소 5분)의 심박변이도 분석에서 심박율의 단주기변동(short-term variation)을 나타내는 유의한 지표로서, 자율신경계가 신체에 대한 제어능력을 갖고 있는지 보여준다. 반면, RMSSD는 심박변이도 분석에서 심박율의 장기변동(long-term variation)을 나타내고, 부교감신경계의 활동 정도를 측정하기 때문에 부교감신경의 조절 능력을 평가할 수 있다(Balocchi et al., 2006; Berntson, Lozano, & Chen, 2005; Sollers et al., 2007). 한편, Wang & Huang(2012)의 연구에 따르면, SDNN은 저주파수 영역(LF power)과 RMSSD는 고주파수 영역(HF power)과 상관이 있으므로 SDNN/RMSSD가 LF/HF를 대신할 수 있다고 보고한 바 있다. 또한 LF/HF ratio는 심혈관계 자율신경의 조절을 나타내는 지표로 알려져 있다. 일반적으로 LF는 교감신경 활성화 혹은 교감-부교감신경 균형에 대한 지표로, HF는 부교감신경에 대한 지표로 활용되고 있다. 즉, LF/HF ratio는 교감신경과 부교감신경의 비율을 나타내는 지표로, 증가된 LF/HF ratio는 교감신경계의 우세를 의미하고, 감소는 부교감신경계의 우세를 의미한다(Billman, 2013; Camm et al., 1996; Cowan, 1995; Kreibig, 2010). 따라서 본

연구에서는 SDNN, RMSSD, LF/HF ratio를 각각 교감신경계의 활성화도, 부교감신경의 활성화도, 자율신경 활성화 비율을 확인하는 지표로 활용하였다.

일반적으로 심리 또는 인지적 스트레스원(예, 스트레스 테스트, 암산, 발표 과제 등)에 의한 급성 스트레스의 생리 반응은 교감신경의 활성화(LF의 증가), 부교감신경 활성화도의 감소(HF의 감소)에 따른 자율신경 활성화 비율의 증가(LF/HF ratio의 증가)로 알려져 있다(Berntson et al., 1994; Friedman et al., 1996; Delaney & Brodie, 2000; Hughes & Stoney 2000; Jain et al., 2001). 그러나 가벼운 스트레스 반응(Friedman et al., 1996), 또는 일부 주의 집중 과제에서 HF의 증가가 나타나는데(Berntson et al., 1996), 이러한 자율신경이 동시에 활성화되는 것은 지향 반응(orienting response)과 같은 특정 인지 자극에 대한 자율신경계의 통합된 반응을 나타내는 것일 수 있다(Quigley & Berntson 1990). 즉, 주의 과제와 같이 어떠한 자극에 주의를 기울이게 되면서 나타나는 급성 스트레스원에 의해 교감신경 및 부교감신경의 활성화도는 모두 증가하지만, 상대적으로 교감신경활성도가 더 상승하기 때문에 자율신경의 활성화 비율이 높게 형성될 수 있다.

본 연구 결과에서, 공격성과 심박변이도와의 관계는 이러한 인지 스트레스원에 의한 급성 스트레스에 대한 생리적 현상을 지지한다. 스트레스에 대한 반응으로 공격성과 SDNN, RMSSD, LF/HF ratio의 유의한 정적 상관을 보였는데, 이는 스트레스에 대한 반응으로 교감(SDNN) 및 부교감 활성화도(RMSSD) 모두가 상승하고, 특히 교감신경의 활성화도가 더 상승하여 자율신경의 활성화 비율(LF/HF ratio)이 높은 결과와 일치한다(Quigley & Berntson, 1990). 또한 긴장, 우울, 피로, 좌절 요인은 RMSSD와 유의한 정적 상관을 가졌다. RMSSD의 증가는 특히 미주신경의 조절에 의한 부교감신경 활성화도의 증가를 의미하는데(Camm et al., 1996), 즉, 스트레스에 대한 반응으로 긴장, 우울, 피로, 좌절의 증가와 부교감신경의 활성화도의 관련성을 확인할 수 있었다. 이는 주의 집중 과제에 의한 스트레스 반응으로 부교감신경의 활성화(HF의 증가)를 보고한 기존의 연구 결과들과 일치한다(Quigley &

Berntson 1990; Berntson et al., 1996). 우울은 심박변이도의 감소와 관련되어 있고(Agelink et al., 2002; Imaoka et al., 1985; Rechlin et al., 1994; Licht et al., 2009), 스트레스 누적으로 인해 일어나는 육체와 뇌의 탈진 상태인 알로스타틱 부하(allostatic load)와 같은 스트레스와 관련된 피로는 대개 심박변이도의 감소와도 관련되어 있다(Appels & Mulder, 1988; Rozanski et al., 1999; Schatzkin et al., 1984). 그러나 본 연구에서 신체화와 분노 요인은 심박변이도와 유의한 관계를 확인하지 못하였다.

본 연구에서는 단순히 스트레스원에 대한 생리반응의 변화를 검증한 기존 연구들과 달리, 스트레스에 대한 심리 반응을 세분화하였고, 스트레스에 대한 생리 반응으로서 스트레스 자극이 제시되는 구간이 아닌 기저선과 회복기 동안의 차이를 이용하여 스트레스 반응을 확인하였다는 점에서 차이가 있다. 따라서 앞서 언급된 스트레스에 대한 생리 반응과 관련된 선행 연구결과와 본 연구 결과를 직접 비교하는 것은 한계가 있다. 그럼에도 불구하고, 본 연구에서는 특히 주의 집중을 요하는 급성 인지 스트레스원에 대한 생리 반응과 유사하게 공격적으로 반응할수록 자율신경 활성이 동시에 증가함을 확인하였고, 이는 선행 연구를 지지하는 결과이다. 또한 긴장, 우울, 피로 및 좌절이 클수록 부교감신경의 활성도만 증가하였다. 이러한 결과는 스트레스에 대한 각기 다른 심리 반응이 인지 스트레스원에 의한 생리 반응과 관련되어 있음을 의미한다. 추후 스트레스 구간에 대한 분석을 수행하여 선행 연구와의 일치 여부를 검증할 예정이다. 본 연구는 1번의 회기로 스트레스에 대한 생리 반응을 확인하였기 때문에 본 결과를 일반화하기엔 한계가 있다. 선행 연구에서는 보다 신뢰로운 스트레스 반응을 유도하기 위하여 발표 준비(presentation, 5분), 준비한 내용 발표(speech, 5분), 암산 과제(mental arithmetic task, 5분)로 구성된 사회 스트레스 테스트(Trier Social Stress Test, TSST)를 수행하는 동안 생리 반응을 측정하여 그 결과를 확인하였다(Kirschbaum et al., 1993; Birkett, 2011). 후속 연구에서는 이를 반영한 실험 프로토콜을 구성하고 결과를 도출함으로써 스트레

스에 대한 생리 반응의 신뢰도를 향상시킬 필요가 있다. 또한 여러 스트레스원에 따른 공통된 생리 반응 또는 생리 반응의 차이를 밝힌다면 스트레스원에 의한 심리 및 생리 반응 특성을 명확하게 검증할 수 있을 것으로 여겨진다.

## REFERENCES

- Appels, A., & Mulder, P. (1988). Excess fatigue as a precursor of myocardial infarction. *European Heart Journal*, *9*(7), 758-764.  
DOI: 10.1093/eurheartj/9.7.758.
- Armbruster, D., Mueller, A., Strobel, A., Lesch, K.-P., Brocke, B., & Kirschbaum, C. (2012). Children under stress—COMT genotype and stressful life events predict cortisol increase in an acute social stress paradigm. *International Journal of Neuropsychopharmacology*, *15*(9), 1229-1239.  
DOI: 10.1017/S146114571100176.
- Balocchi, R., Cantini, F., Varanini, M., Raimondi, G., Legramante, J. M., & Macerata, A. (2006). Revisiting the potential of time-domain indexes in short-term HRV analysis. *Biomedizinische Technik*, *51*(4), 190-193. DOI: 10.1515/BMT.2006.034.
- Beery, A. K., & Kaufer, D. (2015). Stress, social behavior, and resilience: Insights from rodents. *Neurobiology of Stress*, *1*(1), 116-127.  
DOI: 10.1016/j.ynstr.2014.10.004.
- Berntson, G. G., Cacioppo, J. T., & Fieldstone, A. (1996). Illusions, arithmetic, and the bidirectional modulation of vagal control of the heart. *Biological Psychology*, *44*(1), 1-17.  
DOI: 10.1016/S0301-0511(96)05197-6.
- Berntson, G. G., Cacioppo, J. T., Binkley, P. F., Uchino, B. N., Quigley, K. S., & Fieldstone, A. (1994). Autonomic cardiac control: III. Psychological stress and cardiac response in autonomic space as revealed by pharmacological blockades. *Psychophysiology*, *31*(6), 599-608.

- DOI: 10.1111/j.1469-8986.2008.00698.x.
- Berntson, G. G., Lozano, D., L., & Chen, Y. J. (2005). Filter properties of root mean square successive difference (RMSSD) for heart rate. *Psychophysiology*, 42(2), 246-252. DOI: 10.1111/j.1469-8986.2005.00277.x.
- Billman, G. E. (2013). The LF/HF ratio does not accurately measure cardiac sympatho-vagal balance. *Frontiers in Physiology*, 4, 26. DOI: 10.3389/fphys.2013.00026.
- Birkett, M. A. (2011). The Trier Social Stress Test Protocol for Inducing Psychological Stress. *Journal of Visualized Experiments*, 56, e3238. DOI: 10.3791/3238.
- Bos, M. G. N., Jentgens, P., Beckers, T., & Kindt, M. (2013). Psychophysiological response patterns to affective film stimuli. *PlosOne*, 8(4), e62661. DOI: 10.1371/journal.pone.0062661.
- Cannon, W. B. (1929). Organization for physiological homeostasis. *Physiological Reviews*, 9(3), 399-431. DOI: 10.1152/physrev.1929.9.3.399.
- Cho, H. J., Choi, S. D., Lee, O. Y., Cho, D. Y., & Yoo, B. Y. (2001). Association between body mass index and the BEFSI-K score of the adolescent in an urban area. *Korean Journal of Family Medicine*, 22(5), 698-708. DOI: 10.9799/ksfan.2013.26.4.928.
- Cohen, S., Kessler, R., & Gordon, L. (1997). *Measuring stress: A guide for Health and Social Scientists*, London: Oxford university Press.
- Cowan, M. J. (1995). Measurement of heart rate variability. *Western journal of nursing research*, 17(1), 32-48. DOI: 10.1177/019394599501700104.
- Delaney, J. P., & Brodie, D. A. (2000). Effects of short-term psychological stress on the time and frequency domains of heart-rate variability. *Perceptual and Motor Skills*, 91(2), 515-524. DOI: 10.2466/pms.2000.91.2.515.
- Derogatis, L. R., & Coons, H. L. (1993). *Self-report measures of stress*. In L. Goldberger & S. Breznitz(Eds.), *Handbook of stress: Theoretical and clinical aspects*. New York: Free Press.
- Fink, G. (2010). *Stress: Definition and history*. In: Fink G, editor. *Stress science: neuroendocrinology*. San Diego(CA): Academic Press.
- Friedman, B. H., Thayer, J. F., & Tyrrell, R. A. (1996). Spectral characteristics of heart period variability during cold face stress and shock avoidance in normal subjects. *Clinical Autonomic Research*, 6(3), 147-152. DOI: 10.1007/BF02281901.
- Greenberg J. S.(1990). *Coping with stress: a practical guide*. Dubuque, WmC Publishers.
- Hancock, P. (2001). *Stress workload and fatigue*. Lawrence Erlbaum.
- Heidegger, M. (1977). *The Question Concerning Technology and Other Essays*. The Question Concerning Technology, 3-35, Garland Science, New York & London.
- Henry, J. P., & Stephens, P. M. (1977). *Stress, health and the social environment, A sociobiologic approach to medicine*. 282 Seiten, Springer Verlag, New York, Heidelberg, Berlin.
- Hughes, J. W., & Stoney, C. M. (2000). Depressed mood is related to high-frequency heart rate variability during stressors. *Psychosomatic Medicine*, 62, 796-803. DOI: 10.1097/00006842-200011000-00009.
- Jain, M., Mathur, G., Koul, S., & Sarin, N. B. (2001). Ameliorative effects of proline on salt stress induced lipid peroxidation in cell lines of groundnut (*Arachis hypogea* L.). *Plant Cell Reports*, 20(5), 463-468. DOI: 10.1007/s002990100353.
- Kagen, A. R., & Levi, L. (1974). Health and environment-psychosocial stimuli: a review. *Social Science & Medicine*, 8(5), 225-241. DOI: 10.1016/0037-7856(74)90092-4.
- Kirschbaum, C., Pirke, K., & Hellhammer, D. H. (1993). The "Trier social stress test" - a tool for investigating psychobiological stress response in a laboratory setting. *Neuropsychobiology*, 28(1-2), 76-81. DOI: 10.1159/000119004.
- Koh, K. B., Park, J. K., Kim, C. H., & Cho, S. (2001). Development of the stress response inventory and its application in clinical practice. *Psychosomatic*

- Medicine*, 63(4), 668-678.  
DOI: 10.3349/ymj.2005.46.5.614.
- Kreibig, S. D. (2010). Autonomic nervous system activity in emotion: A review. *Biological Psychology*, 84(3), 394-421. DOI: 10.1016/j.biopsycho.2010.03.010.
- Lazarus, R. S., & Launier, R. (1978). *Stress-related transactions between persons and environment*. In: Pervin, L.A. and Lewis, M., Eds., *Perspectives in Interactional Psychology*, Plenum, New York.
- Mordkoff, A. M. (1964). The relationship between psychological and physiological response to stress. *Psychosomatic Medicine*, 26(2), 135-150.
- Otzenberger, H., Gronfier, C., Simon, C., et al. (1998). Dynamic heart rate variability: A tool for exploring sympathovagal balance continuously during sleep in men. *American Journal of Physiology*, 275(3-2), 946-950. DOI: 10.1152/ajpheart.1998.275.3.H946.
- Perkins, K. A., Epstein, L. H., & Jennings, J. R. (1991). Smoking as a cue for subjective and behavioral responses to a stressor. *Journal of Substance Abuse*, 3(1), 29-38.
- Pruneti, C. A., Cosentino, C., Sgromo, D., & Innocenti, A. (2014). Skin Conductance Response as A Decisive Variable In Individuals With A DSM-IV TR Axis I Diagnosis. *JMED Research*, 2014, Article ID 565009. DOI: 10.5171/2014.565009.
- Quigley, K. S., & Berntson, G. G. (1990). Autonomic origins of cardiac responses to non-signal stimuli in the rat. *Behavioural Neuroscience*, 104(5), 751-762. DOI: 10.1037/0735-7044.104.5.751.
- Rozanski, A., Blumenthal, J. A., & Kaplan, J. (1999). Impact of psychological factors on the pathogenesis of cardiovascular disease and implications for therapy. *Circulation*, 99(16), 2192-2217. DOI: 10.1161/01.CIR.99.16.2192.
- Salahuddin, L., Jeong, M. G., Kim, D., Lim, S. K., Kim, W., & Woo, J. M. (2007). Dependence of heart rate variability on stress factors of stress response inventory. 2007 9th International Conference on e-Health Networking, *Application and Services*, DOI: 10.1109/HEALTH.2007.381638.
- Sarason, I. G., Sarason, B. R., Potter, E. H. Antoni, M. H. (1985). Life events, social support, and illness. *Psychosom Medicine*, 47(2), 156-163. DOI: 10.1097/00006842-198503000-00007.
- Schatzkin, A., Cupples, L. A., Heeren, T., Morelock, S., Mucatel, M., & Kannel, W. B. (1984). The epidemiology of sudden unexpected death: risk factors for men and women in the Framingham Heart Study. *American Heart Journal*, 107(6), 1300-1306. DOI: 10.1016/0002-8703(84)90302-8.
- Selye, H. (1951). The general-adaptation-syndrome. *Annual Review of Medicine*, 2, 327-342. DOI: 10.1146/annurev.me.02.020151.001551.
- Shin, S. H. (2014). Relationship between Heart Rate Variability(HRV) and Serum Cortisol Level to Life Stress. *Journal of Nuclear Medicine Technology*, 18(2), 78-82. DOI: 10.1515/acm-2017-0006.
- Sollers, J. J., Buchanan, T. W., Mowrer, S. M., Hill, L. K., & Thayer, J. F. (2007). Comparison of the ratio of the standard deviation of the R-R interval and the root mean squared successive differences (SD/rMSSD) to the low frequency-to-high frequency (LF/HF) ratio in a patient population and normal healthy controls. *Biomed Sciences Instrumentation*, 43, 158-163.
- Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology (1996). Heart rate variability. Standards of measurement, physiologic interpretation, and clinical use. *Circulation*, 93(5), 1043-1065. DOI: 10.1161/01.CIR.93.5.1043.
- Torres, S. J. & Nowson, C. A. (2007). Relationship between stress, eating behavior, and obesity. *Nutrition*, 23 (11-12), 887-894. DOI: 10.1016/j.nut.2007.08.008.
- Wang, H. M., & Huang, S. C. (2012). SDNN/RMSSD as a Surrogate for LF/HF: A Revised Investigation. *Modelling and Simulation in Engineering*, 2012 (2012), Article ID 931943. DOI: 10.1155/2012/931943.

Wirtz, P. H., Elsenbruch, S., Emini, L., Rudisuli, K.,  
Groessbauer, S., Ehlert, U. (2007). Perfectionism  
and the cortisol response to psychosocial stress in  
men. *Psychosomatic Medicine*, 69(3), 249-255.  
DOI: 10.1097/PSY.0b013e318042589e.

원고접수: 2018.01.24

수정접수: 2018.02.23

게재확정: 2018.02.26