Journal of the Ergonomics Society of Korea
Vol. 29, No. 1 pp.113-120, February 2010

PPG(Photoplethysmography)분석을 이용한 각성도 평가에 관한 연구

김치중[1] · 황민철[2] · 김종화[3] · 우진철[4] · 김용우[1] · 김지혜[1]

[1]상명대학교 컴퓨터과학과 / [2]상명대학교 디지털미디어학부 / [3]상명대학교 감성공학과 /
[4]상명대학교 문화컨텐츠 기술 연구소

A Study on Evaluation of Human Arousal Level using PPG Analysis

Chi Jung Kim[1], Min Cheol Whang[2], Jong Hwa Kim[3], Jin Cheol Woo[4],
Yong Woo Kim[1], Ji Hye Kim[1]

[1]Department of Computer Science, Sangmyung University, Seoul, 110-743
[2]Department of Digital Media, Sangmyung University, Seoul, 110-743
[3]Department of Emotion Engineering, Sangmyung University, Seoul, 110-743
[4]Culture Technology Institute, Sangmyung University, Seoul, 110-743

ABSTRACT

This research is to evaluate the arousal level by using cardiovascular response. PPG was used in this study as one of the method of measuring it rather than ECG (Electrocardiography) for the purpose of solving ergonomic problem of sensing. The participants were in the age group of 20 (mean=24, standard deviation=1.25): five men and five women. Each experiment composed with four identical sets. First, a black screen was displayed for 30 second rest. Then, the prepared 6 pair images were randomly presented for 10 second stimulation and for 30 second non-stimulation. PPG was measured on the earlobes of experimenters at 200Hz sampling frequency. PPG amplitude, PPI(Pulse to Pulse Interval), and PRV(Pulse Rate Variability) were analyzed according to arousal level. T-test was performed to compare between the PPG variables of rest and relaxation, rest and arousal, and relaxation and arousal. Relative to the rest state, PPG amplitude decreased in relaxed state and increased in aroused state. Relative to the rest state, PPI decreased in both emotional states. However, more significant decline was observed in aroused state. PRV's LF and HF were used in the form of LF/HF to compare between the relaxed and the aroused state. Therefore, PPG signal showed significant differences between relaxed and aroused state. In conclusion, evaluation of human arousal level used in the PPG analysis demonstrated that PPG has better usability and comforter measurement than ECG and is clearly an alternative method of measuring arousal level.

Keyword: Arousal, Photoplethysmography, Pulse Rate Variability, Bio Signal, Autonomic Nervous System

*본 논문은 지식경제부 및 한국산업평가관리원의 산업원천기술개발사업의 일환으로 수행한 연구로부터 도출된 것이다[과제관리번호: 2009-S-014-01, 센싱기반 감성서비스 모바일 단말 기술개발].
교신저자: 김치중
주 소: 110-743 서울시 종로구 홍지동 7번지, 전화: 010-8271-0804, E-mail: gatsgrain@nate.com

1. 서 론

인간의 감성은 감성을 유발하는 요인인 외부 환경의 변화나 물리적 자극의 유입 의해 변화하게 되는 인간내부의 복합적인 감정상태를 뜻한다. 이러한 감성을 분류하는 연구로 Russell은 인간의 감성을 쾌와 불쾌, 각성과 이완의 두 축으로 나누어 2차원적으로 분류한 바 있다(Russell, 1980). 이러한 2차원적 감성에서 각성을 측정하고자 하는 연구는 정신생리학에서 다뤄지는 주제 가운데 주로 다뤄지고 있다(Wolfram Boucsein and Richard W. B., 2008).

각성은 인체의 생리적 반응을 수반한다. 외부자극의 유입은 중추신경계의 정보처리과정을 거쳐 자율신경계반응으로 나타난다. 이때, 인간의 정보처리의 양은 한계가 있기 때문에, 각성수준에 따라 인간의 작업수행에 영향을 미친다. 각성수준과 작업수행도의 관계는 역U자 이론으로 설명된다(Robert, M. Y. and D. D. John, 1908). 주의 집중을 통한 작업수행에서 낮은 수준의 각성은 주의가 산만해져 불필요한 자원에도 주의가 집중되어 작업수행도가 떨어지게 되고, 높은 수준의 각성은 주의 범위를 협소하게 만들기 때문에 필요한 자원수집이 어려워져 작업수행도가 떨어지게 된다(Robert, M. Y. and D. D. John, 1908). 따라서, 사용자의 각성수준을 측정하여, 적정각성수준을 유지시켜준다면, 작업효율을 높일 수 있는 방법으로 사용될 수 있다.

이러한 각성을 측정하는 방법으로 주관적 설문을 이용한 방법과 생리적 반응을 측정하는 방법이 있다. 이러한 방법 중, 주관적 설문의 경우에 정량적, 객관적 측정이 어렵고, 개인차가 심한 단점이 있다(황민철 등, 2000). 하지만, 생리적 반응인 자율신경계반응은 개인이 조정할 수 없는 불수의 반응이기 때문에 객관적인 측정이 가능하고, 정량화하기 편리하다(Wolfram Boucsein and Richard W. B., 2008).

생리적 반응에 의한 각성도 평가는 중추신경계반응과 자율신경계반응의 측정을 통하여 이루어진다. 각성도 평가에 사용되는 대표적인 생리적 반응들은 중추신경계반응의 EEG(Electroencephalography)신호와 자율신경계반응 중, 피부전기반응인 EDA(Electrodermal Activity)신호, 심혈관 반응인 ECG(Electrocardiography)신호와, PPG(Phtoplethysmography)신호, 그리고, 피부온도반응인 SKT(Skin Temperature)신호가 각성을 측정하는데 주로 사용된다(황민철 등, 2001).

각성수준에 따른 EEG반응을 측정한 실험으로 International Affective Picture System(IAPS)자극에서 약한 각성, 중간 각성, 높은 각성수준의 그림을 통해 각성수준에 따른 theta, alpha-1, alpha-2, alpha-3 주파수 대역을 측정한 연구가 있었다(Ljubomir I. Aftans et al., 2001). 이 연구에서는 EEG신호 외에, SCR(Skin Conductance Response)신호의 진폭과 ECG신호의 HR(Heart Rate)반응을 통해 각성수준에 따른 생리신호 변화를 측정하였다. 이와 비슷한 연구로 각성이미지 제시를 통하여 EEG의 ERPs(Event-Related brain Potentials)와 SCR 진폭측정을 통하여 각성을 측정한 연구가 있었다(Christine Amrhein et al., 2004).

피부전기반응의 측정을 통해 각성을 평가하는 연구는 SCR신호나 GSR(Galvanic Skin Response)을 이용하여 각성상태를 평가한다. 피부전기반응의 경우 손가락 끝에 전극을 부착하여 피부의 땀샘에서 발생하는 땀에 의해 변화하는 전위차를 측정하여 각성수준을 평가한다(Wolfram Boucsein, 1992). 이러한 연구로 자율흥분과 관련하여 SCR의 측정을 통해 각성수준을 평가한 연구가 있었다(황민철 등, 2004; Nobuhisa Kobayashi et al., 2006). 피부전기반응의 경우 각성상태에서는 SCR의 진폭이 증가하는 반응이 나타난다(Wolfram Boucsein, 1992).

심혈관 반응 중 ECG신호를 이용한 각성도 측정은 ECG신호에서 HR을 검출하거나, ECG파형에서 R-peak의 간격을 측정하여 시계열 데이터로 변환한 뒤, FFT(Fast Fourier Transform)처리를 통해 변환한 HRV(Heart Rate Variability)를 사용한다. HRV는 보통, 주파수 대역을 .04 Hz 이하인 VLF(Very Low Frequency)와 .04Hz에서 .15 Hz사이인 LF(Low Frequency), 그리고 .15Hz에서 .40Hz 사이의 HF(High Frequency)로 나누어 대역 별 크기의 변화를 통하여 각성 정도를 측정한다. LF의 경우 교감신경계활동의 활성화와 연관이 있으며 각성반응에서 활성화되고, HF의 경우 부교감신경계활동과 연관이 있어 이완반응에서 활성화된다(오상훈 등, 1997; Porges et al., 2003; Dan Hasson et al., 2009). HRV의 LF와 HF의 분석을 통한 연구는 각성도 평가에도 사용되지만 긍정감성과 부정감성의 평가에도 활용된다(Heath, A. D. and D. Erik Everhart, 2004; 박준영 등, 2003; 연제혁 등, 2006). 또한, 피로와 관련한 연구도 HRV의 LF와 HF가 이용된다(Yvonne Tran et al., 2009). 이는 HRV가 교감신경계활동과 부교감신경계활동에 연관성이 높기 때문이다.

심혈관 반응 중, PPG신호는 말초혈관에서 혈류파형을 측정하는 생리신호이다. PPG신호는 ECG신호와 함께 사용되어, 비침습적으로 혈압을 측정하거나, 호흡률을 측정하는 사용된다(이상민 등, 2005; Jong Yong A. Foo, 2006; 김종화 등, 2007, 2008). PPG신호를 이용한 각성도 측정에 관한 연구로는 동영상자극을 이용하여 각성과 이완을 평가한 연구가 있었다(황민철 등, 2004). 이 연구에서는 PPG신호의 진폭을 측정하여 평가하였으며, 각성상태가 높을 경우 진폭이 증가하는 것으로 나타났다(황민철 등, 2004).

이렇게, 각성수준을 평가하는 연구로 중추신경계반응과 자율신경계반응의 측정을 통한 연구가 다양하게 진행되어 왔다. 하지만, EEG, SCR, ECG, 그리고 PPG신호의 측정은 피실험자가 센서를 착용해야 한다는 필수조건이 따른다. 앞으로 모든 산업이 인간공학적 측면을 고려하여 사용자에게 거부감을 줄이고 사용이 간편한 형태로 바뀜에 따라, 이러한 각성측정도 측정방법은 간편성이 요구되는 형태로 바뀌어 나아가야 한다. 또한, 유비쿼터스환경의 웨어러블컴퓨팅(Wearable Computing)이나 유헬스케어(U-Healthcare) 산업이 활성화됨에 따라, 각성측정이 이러한 산업분야와 연계되어 발전하기 위해서는 착용이 용이하게 바뀌어야 한다.

이러한 점에서 EEG신호와 ECG신호의 경우 사용자가 부착할 센서의 수가 많고, 센서부착 부위 또한, EEG는 머리에 부착해야 하며, ECG는 가슴부위에 부착해야 한다는 점에서 사용자에게 거부감을 줄 수 있다. SCR신호는 손 끝에 두 개의 센서를 착용하기 때문에, 손의 활동에 제약을 줄 수 있다. 하지만 PPG신호는 단일 센서로 귓불에 착용이 가능하기 때문에, 다른 센서들에 비하여 착용이 간편하고, 손의 움직임에 대한 제약이 없어서 사용에 용이하다.

그러나 PPG신호의 경우 아직 각성수준을 평가하는 연구가 많이 미비하고, 측정변수 또한 진폭으로 국한되어, 각성수준을 평가하는데 어려움이 따를 수 있다. 따라서 본 연구에서는 PPG신호의 다양한 분석방법을 통하여 각성수준을 평가하고자 한다.

PPG신호의 경우, 같은 심혈관 반응인 ECG신호와 신호의 특성과 유사하다. HRV는 ECG신호의 QRS파형에서 R-peak의 간격인 R-R간격을 이용하여 검출하게 된다. PPG신호의 파형을 살펴보면 PPG 파형에서 peak point를 검출할 수 있는데, 이러한 peak point의 간격이 ECG신호에서의 R-R간격과 유사한 특징을 갖는다. 이러한 PPG신호에서의 peak point 간격을 PPI(Pulse to Pulse Interval)이라고 하는데, PPI를 이용하여 HRV와 유사한 성질의 PRV(Pulse Rate Variability)를 구할 수 있다(Constant, I. et al., 1997; P. Shi et al., 2008). 이러한 연구로 PPG신호의 PRV와 ECG신호의 HRV를 비교한 연구에서 ECG측정이 어려울 경우 PPG신호 측정을 통한 PRV가 대체 가능하다는 연구가 있었다(Constant, I. et al., 1997; P. Shi et al., 2008).

따라서 본 연구에서는 각성도 평가를 인간공학적 측면에서 사용자에게 거부감을 줄이고, 단일 센서로 측정이 가능한 PPG신호를 이용하여 각성수준을 규명하고자 한다.

2. 연구 방법

PPG신호를 이용한 각성도 평가 실험은 피실험자에게 자극을 제시하지 않은 휴식 기간과 각성이미지와 이완이미지를 제시한 자극 기간의 PPG신호의 비교를 통하여, 각성수준을 평가하고자 한다.

2.1 피실험자

실험에 참여한 피실험자는 시각적 장애가 없는 일반 대학생으로 남자 5명, 여자 5명으로 구성하였다. 피실험자들의 평균 나이는 24±1.25세이다. 실험참여는 연구목적과 방법을 설명한 뒤, 자발적인 참여의사를 밝힌 인원만 참여 시켰다.

2.2 실험자극

실험에 사용된 자극은 이전 연구에서 사용한 사전 실험을 통해 선정된 감성이미지 중, 각성이미지 6장과 이완이미지 6장을 사용하였다(김종화 등, 2008). 사전 실험은 평균 연령 24.8±3.4세의 100명에게 45장의 이미지를 제시하여 '각성-이완', '쾌-불쾌'의 두 가지 항목에 9점 척도로 응답하게 하였다(김종화 등, 2008). 설문에 응답한 이미지 중, 각성항목에서 점수가 가장 높게 나온 이미지 6장과, 이완항목에서 점수가 가장 높게 나온 이미지 6장을 선정하여 자극이미지로 사용하였다. 사용된 자극이미지의 예로는 그림 1과 같다. 자극이미지 제시는 피실험자와 60~70cm 떨어진 거리에서 17인치 LCD 모니터를 사용하여 제시하였다.

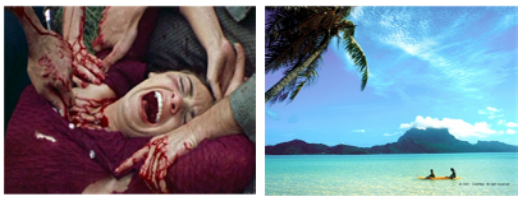

그림 1. 자극이미지 예시

2.3 실험 절차

실험은 피실험자에게 같은 세트를 4회 반복 실시하도록 구성하였다. 세트 구성은 자극이미지 제시 10초와 자극이미지를 제시하지 않은, 검은 화면 제시 30초로 구성하였다. 세트 시작에는 30초 동안 검은 화면을 제시하여 휴식 기간

동안의 PPG신호를 먼저 수집할 수 있도록 하였다. 그 뒤, 10초 동안 자극이미지를 제시하고, 30초 동안 검은 화면을 제시하는 것을 4회 반복 실시하였다. 자극이미지는 이완이미지와 각성이미지를 번갈아 가며 제시하되, 각성이미지 6장과 이완이미지 6장를 무작위로 선정하여 제시하였다. 자극이미지 제시 후, 30초 동안 검은 화면을 제시한 이유는 자극이미지에 의해 변화된 PPG신호의 회복시간과, 다음 자극과의 비교를 위한 휴식시간을 고려하기 위함이다. 실험 세트 구성에 대한 그림은 그림 2와 같다.

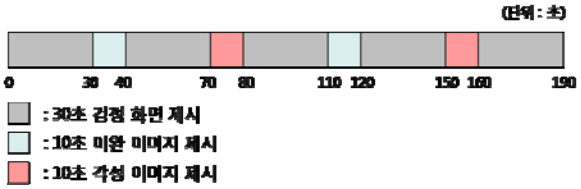

그림 2. 실험 절차

2.4 PPG 신호 수집

PPG신호 수집은 피실험자의 좌측 귓불에 TSD200A PPG ear clip(BIOPAC, USA)센서를 착용시켜 측정하였다. 측정신호는 신호증폭기인 PPG100C(BIOPAC, USA)를 사용하여 증폭하고, A/D 변환기인 NI-DAQ 6015(National Instrument, USA)를 사용하여 샘플속도를 200Hz로 수집하였다. 수집된 신호는 LabVIEW8.5(National Instrument, USA) 프로그램을 사용하여 신호처리 하였다. 신호처리 알고리즘은 그림 3과 같다.

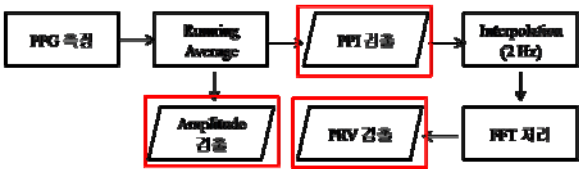

그림 3. 신호처리 알고리즘

먼저, 측정된 PPG신호는 이동평균식인 식 (1)을 사용하여 400의 윈도우 크기(n)과 0.25초의 시간간격(s)로 이동평균을 실시하여 신호잡음을 최소화한 뒤, PPI와 진폭을 검출하였다. PPI와 진폭에 대한 정의는 그림 4와 같다.

$$f(s) = \frac{\sum_{i=s-n}^{s} x_i}{n} \quad (1)$$

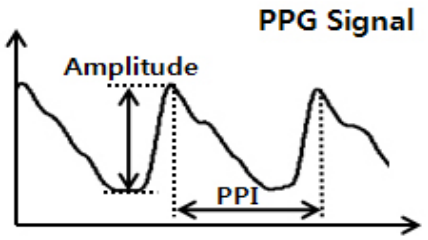

그림 4. PPG신호의 PPI와 amplitude 정의

PPI는 이전 peak에서 현재 peak까지의 시간을 millisecond 단위로 검출하였고, 진폭은 peak 값에서 peak 발생 전 최저 값까지의 크기를 검출하였다.

PRV는 HRV와 마찬가지로 PPI 데이터를 시계열 데이터로 변환하기 위하여, interpolation 2Hz로 재샘플링을 실시한 뒤, FFT Spectrum 처리하여 PRV를 검출하였다. 검출된 PRV는 주파수 대역에 따라, 0.04(Hz)에서 0.15(Hz) 대역인 LF와 0.15(Hz)에서 0.40(Hz) 대역인 HF로 나누어 대역 별 크기를 구하였다. 본 연구에서는 PRV의 LF/HF 변수를 사용하여 교감신경계와 부교감신경계의 활성화 정도를 비교하였다.

3. 분석 및 결과

본 연구는 분석프로그램인 SPSS 12.0K(SPSS, an IBM Company, USA)을 사용하여 통계분석을 하였다. 검정변수로는 PPG신호의 PPI와 진폭, 그리고 PRV의 LF/HF를 사용하였고, 집단변수로는 자극 전 20초의 휴식집단과, 자극 제시부터 20초까지의 자극집단으로 나누어 분석하였다.

3.1 PPI, 진폭 분석방법

PPG신호의 PPI변수와 진폭변수는 이완자극 전 20초 동안의 휴식집단(휴식-이완)과, 이완자극 시작부터 20초까지의 자극집단(자극-이완), 그리고 각성자극 전 20초 동안의 휴식집단(휴식-각성)과, 각성자극 시작부터 20초까지의 자

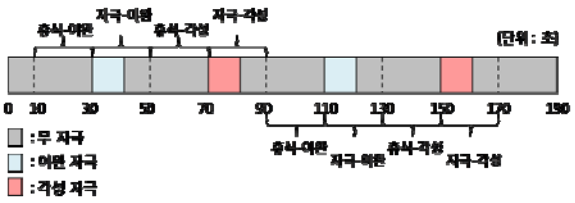

그림 5. 집단변수 정의

극집단(자극-각성)으로 나누어 분석하였다. 각각의 휴식집단과 자극집단은 그림 5와 같다.

각 집단들의 PPI변수와 진폭변수는 개인차를 없애기 위하여 수식 (2)의 z-normalization을 실시하였다.

$$Z(x_i) = \frac{x_i - \mu}{\sigma} \quad (2)$$

z-normalization한 PPI변수와 진폭변수는 휴식집단과 자극집단간의 비교분석을 하기 위하여, 휴식-이완집단과 자극-이완집단, 그리고 휴식-각성집단과 자극-각성집단을 독립표본 T-검정을 실시하였다. 또한 이완자극집단과 각성자극집단의 비교분석을 하기 위하여 이완자극집단과 각성자극집단을 normalization하여 도출된 PPI와 진폭을 독립표본 T-검정을 실시하였다. 이완자극집단과 각성자극집단의 normalization은 수식 (3)과 (4)이다.

$$\text{normalized 이완자극} = \frac{(\text{자극-이완}) - (\text{휴식-이완})}{(\text{휴식-이완})} \quad (3)$$

$$\text{normalized 각성자극} = \frac{(\text{자극-각성}) - (\text{휴식-각성})}{(\text{휴식-각성})} \quad (4)$$

3.2 PRV 분석방법

PRV분석은 교감신경계와 부교감신경계의 활성화 정도를 비교하기 위하여 LF/HF변수를 사용하였다. LF/HF는 이완자극과 각성자극을 비교하기 위하여, 자극제시 전 20초 동안의 LF/HF(휴식 LF/HF)와 자극제시부터 20초 동안의 LF/HF(자극 LF/HF)를 수식 (5)로 normalization하였다. 이완자극과 각성자극의 비교분석은 이완자극에 대한 normalization한 LF/HF와 각성자극에 대한 normalization한 LF/HF를 독립표본 T-검정을 실시하였다.

$$\text{normalized LF/HF} = \frac{\text{자극 LF/HF} - \text{휴식 LF/HF}}{\text{휴식 LF/HF}} \quad (5)$$

3.3 PPI, 진폭 분석결과

3.3.1 휴식과 자극간의 PPI 분석결과

PPI의 휴식-이완과 자극-이완간, 그리고 휴식-각성과 자극-각성의 독립표본 T-검정 결과는 그림 6과 같다. PPI의 휴식-이완의 평균 값인 .107에 비하여, 자극-이완의 평균 값은 -.075로 유의한 차이를 보였다(p<.000, t=5.254, 휴식-이완 n=1765, 자극-이완 n=1617). 또한, 휴식-각성의 평균 값인 .061에 비하여, 자극-이완의 평균 값은 -.116로 유의한 차이를 보였다(p<.000, t=5.155, 휴식-각성 n=1814, 자극-각성 n=1638). 두 결과를 살펴보면, 휴식과 대비하여 이완자극과 각성자극 모두 PPI가 유의하게 낮은 경향을 보였다.

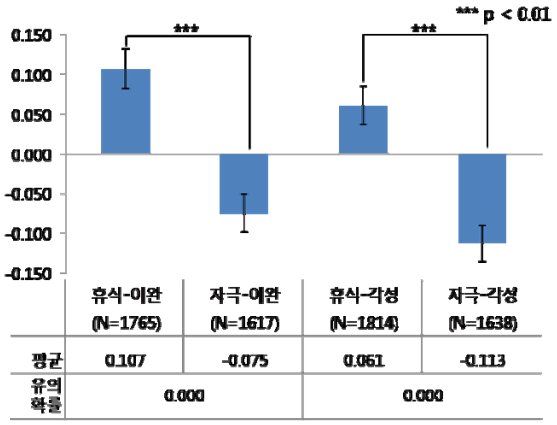

그림 6. 휴식과 자극간의 PPI 비교

3.3.2 휴식과 자극간의 진폭 분석결과

PPG신호의 진폭에 대한 휴식-이완과 자극-이완간, 그리고 휴식-각성과 자극-각성의 독립표본 T-검정 결과는 그림 7과 같다. 진폭의 휴식-이완의 평균 값인 -.069에 비하여, 자극-이완의 평균 값은 -.002로 유의하게 높게 나타났다(p<.041, t=-2.047, 휴식-이완 n=1755, 자극-이완 n=1604). 또한, 휴식-각성의 평균 값인 -.026에 비하여, 자극-이완의 평균 값은 .048로 이완자극과 동일하게 유의하게 높은 경향으로 나타났다(p<.031, t=-2.159, 휴식-각성 n=1803, 자극-각성 n=1631). PPG신호의 진폭은 PPI와 마찬가지로 휴식과 대비하여 이완자극과 각성자극 모두 유의한 차이를 보였다.

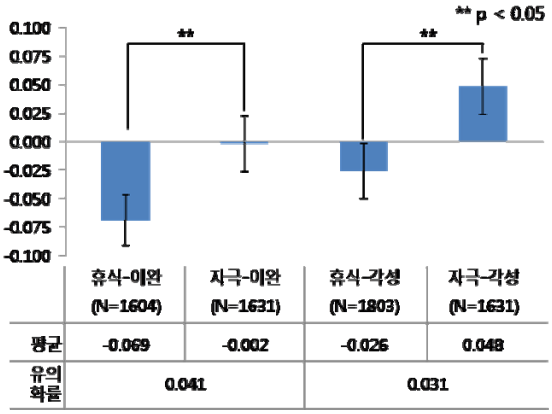

그림 7. 휴식과 자극간의 진폭 비교

3.3.3 이완자극과 각성자극의 분석결과

PPG신호의 PPI와 진폭의 이완자극과 각성자극에 대한 독립표본 T-검정 결과는 그림 8과 같다. 이완자극에 대한 normalized된 PPI의 평균 값은 -.103으로 각성자극에 대한 normalized된 PPI의 평균 값인 -.140보다 유의하게 낮은 차이를 보였다(p<.080, t=1.752, 이완자극 n=990, 각성자극 n=1015). 또한, 이완자극에 대한 normalized된 PPG의 진폭의 평균 값은 -.043으로 각성자극에 대한 normalized된 진폭의 평균 값인 .010보다 유의하게 낮은 차이를 보였다(p<.001, t=-3.289, 이완자극 n=1390, 각성자극 n=1276).

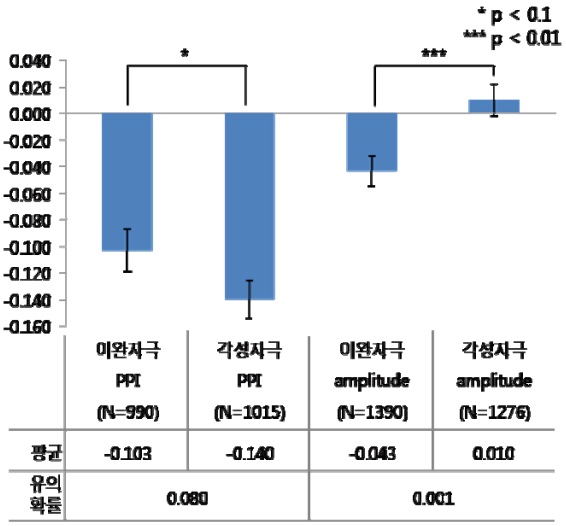

그림 8. 이완자극과 각성자극간의 PPI, 진폭 비교

이완자극과 각성자극에 대한 PPI는 둘 다 감소하였으나 각성자극의 경우 이완자극에 비하여 좀더 크게 감소하는 반응으로 나타났다. 반대로, 이완자극과 각성자극에 대한 진폭은 이완자극의 경우 감소하는 반응이 나타났고, 각성자극의 경우 진폭이 증가하였다.

3.4 PRV 분석결과

PRV의 이완자극에 대한 normalized된 LF/HF와 각성자극에 대한 normalized된 LF/HF의 독립표본 T-검정 결과는 그림 9와 같다. 이완자극에 대한 normalized된 LF/HF의 평균 값이 -.218인 반면에 각성자극에 대한 normalized된 LF/HF의 평균 값이 .049로 이완자극보다 유의하게 높은 경향을 보였다(p<.071, t=-1.832, 이완자극 n=39, 각성자극 n=39). 평균 값에서 알 수 있듯이, 이완자극에 대한 normalized된 LF/HF가 음의 값을 갖는 것은, 이완자극이 제시될 경우 PRV의 LF값 보다 상대적 HF값이 높아졌기 때문이다. 이는 부교감신경계와 연관이 있는 HRV의 HF대역이 LF대역보다 활성화된 것과 같은 현상이다. 반대로, 각성자극이 주어질 경우 normalized된 LF/HF가 양의 값을 갖는 것은 PRV의 LF대역이 HF대역보다 값이 높아진 것으로, 이는 HRV에서 교감신경계와 관련이 있는 LF대역이 HF대역보다 활성화 정도가 높아진 것과 같은 현상이다. 이는 다른 연구에서 같은 심혈관 반응인 HRV의 분석결과에서 각성의 경우 LF대역이 활성화 정도가 우세하게 나타나고, 이완의 경우 HF대역이 활성화 정도가 우세하게 나타나는 것과 동일한 결과로 나타났다(오상훈 등, 1997; Porges et al., 2003; Dan Hasson et al., 2009).

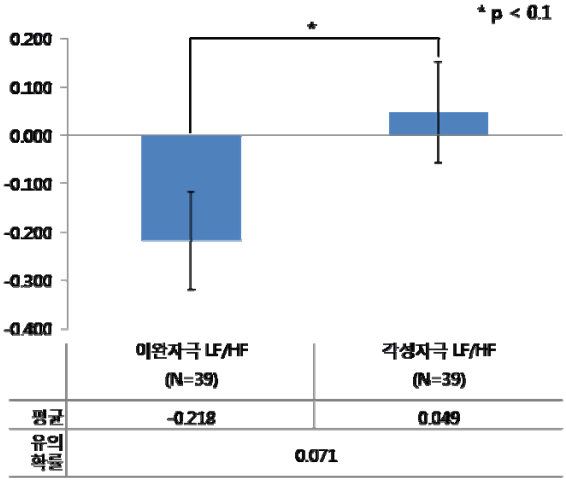

그림 9. 이완자극과 각성자극간의 LF/HF 비교

4. 결론 및 검토

인간의 감성 중, 각성상태를 측정하고 평가하는 연구는 다양한 분야에서 연구되고 있다. 이러한 각성상태를 평가하는 방법으로 주관적 설문을 이용한 평가나 생리적 반응을 측정하여 평가하는 방법이 있다. 이 중, 생리적 반응을 측정하여 평가하는 연구는 중추신경계반응이나 자율신경계반응을 측정하여 각성상태를 평가하는 방법으로, 객관적인 평가방법으로 널리 연구되고 있다. 중추신경계반응의 EEG신호나 자율신경계반응의 EDA, ECG, PPG신호를 이용한 각성도 평가방법들은 생리적 반응을 측정하기 위하여 센서부착이 불가피하다. 이러한 센서부착은 사용자로 하여금 부착부위에 대한 거부감이나 센서착용으로 인한 활동의 제약을

수반한다. 그러므로, 인간공학적인 측면에서 사용편의성이나 착용의 편안함을 충족시키기 위한 노력이 필요하다. 따라서, 본 연구에서는 단일센서부착으로 측정이 가능하고, 센서착용 부위가 귓불로써 활동의 제약이 덜하고 거부감이 적은 PPG 신호의 측정을 통해 각성수준을 평가하고자 하였다.

실험은 자극이 제시되지 않은 휴식상태와 시각적 자극을 제시하는 자극상태로 나누어 PPG신호를 측정하였다. 자극은 이완이미지와 각성이미지를 사용함으로써 휴식상태와 이완상태, 휴식상태와 각성상태, 이완상태와 각성상태를 비교분석하였다. 분석에 사용된 PPG신호의 변수들은 진폭과 PPI, 그리고 PRV의 LF/HF변수를 사용하였다.

분석은 PPG신호의 PPI와 진폭 모두 휴식집단과 자극집단에 대하여 독립표본 T-검정을 실시하였고, 이완자극에 대한 normalization한 값과 각성자극에 대한 normalization한 값을 독립표본 T-검정을 실시하였다. PRV의 LF/HF는 이완자극에 대한 normalized된 LF/HF와 각성자극에 대한 normalized된 LF/HF의 독립표본 T-검정을 실시하여 분석하였다.

분석결과, PPI의 경우 휴식상태와 대비하여 이완자극 제시와 각성자극 제시 모두 감소하는 패턴이 나타났으며, 각성자극 제시의 경우 좀 더 큰 폭으로 감소하였다. 이는 김종화 등(2008)이 연구에서 나타난 들뜬 각성상태와 동일한 결과로 나타났다. PPG신호의 진폭의 분석결과는 휴식상태와 비교하여 이완자극과 각성자극 모두 증가하였다. 이완자극과 각성자극에 대한 PPI는 이완자극과 각성자극 모두 음의 값이 나타났으나 각성자극의 경우 좀 더 낮게 나타났고, 진폭의 경우 이완자극의 경우 음의 값을, 각성자극의 경우 양의 값이 나타났다. 이는 각성의 경우 진폭이 증가하는 것으로 황민철 등(2004)의 연구결과와 동일하다. PRV의 LF/HF의 분석결과는 이완자극의 경우는 음의 값으로 나타났고, 각성자극의 경우는 양의 값으로 나타났다. 이는 교감신경계활동과 부교감신경계활동의 활성화 정도에 따른 결과로 예상되며, 부교감신경계활동과 연관이 있는 HRV의 HF가 이완반응 시 증가하는 것과, 교감신경계활동과 연관이 있는 HRV의 LF가 각성반응 시 증가하는 것과 동일하게 나타났다. HRV의 LF와 HF가 교감신경계활동과 부교감신경계활동과의 연관성에 관련된 연구는 앞서 연구된 바 있다(오상훈 등, 1997; Porges et al., 2003; Dan Hasson et al., 2009). 따라서, PPG신호의 PRV에서 LF/HF변수 또한 각성반응과 이완반응에 대한 측정변수로 사용될 수 있음을 제시하였다.

결론적으로, 본 연구에서는 각성도 평가를 사용편의성을 높이고 착용거부감을 줄일 수 있는 PPG신호를 통하여 각성상태를 평가하였다. 또한, 기존의 PPG신호를 이용한 각성도 평가연구에서 PPG 진폭만 활용한 점을 보완하여 PPI와 PRV의 분석을 통한 각성도 평가를 실시하였다.

본 연구의 한계점으로, 각성도 평가를 PPG신호의 측정으로 국한하였기 때문에 다른 생리적 신호를 이용한 각성도 평가와의 효율성 검증은 이루어지지 않은 점이다. 또한, 아직까지 유선으로 PPG신호를 수집하기 때문에 발생하는 행동적 제약은 해결되지 않았다. 따라서, 앞으로의 연구를 통하여 PPG신호를 통한 각성상태 평가의 효율성 검증과 무선 측정장치 개발을 통해 보다 활동적인 상황에서의 각성상태 평가가 이루어지도록 할 것이다.

참고 문헌

김종화, 황민철, 김영주, 남기창, PPG 센서를 이용한 실시간 호흡률 측정 시스템에 관한 연구, *대한인간공학회 추계학술대회 논문집*, pp. 165-170, 2007.

김종화, 황민철, 남기창, ECG와 PPG를 이용한 실시간 연속 혈압 측정 시스템, *한국감성과학회지*, 11(2), 235-244, 2008

김종화, 황민철, 남기창, U-Health Care환경에서의 호흡측정을 위한 PPG 최적 필터 기술, *대한인간공학회지*, 27(4), 95-101, 2008.

김종화, 황민철, 김영주, 우진철, TDP(time dependent parameters)를 적용하여 분석한 자율신경계반응에 의한 감성인식에 대한 연구, *한국감성과학회지*, 11(4), 637-643, 2008.

김종화, 황민철, 우진철, 김종서, 최원민, 윤중삼, 황병철, 음향효과를 위한 White noise의 마스킹 (Masking)이 이완에 미치는 영향 관한 연구, *HCI학술대회*, 2009.

박준영, 박장현, 박지형, 박동수, 생체신호 분석을 통한 인간감성의 측정, *대한기계학회 춘계학술대회논문집*, pp. 935-939, 2003.

연제혁, 유길상, 이동훈, 김인우, 홍성대, 오류 역전파 알고리즘을 이용한 실시간 생체 신호의 감성 분석, *한국인터넷정보학회 학술발표대회 논문집*, pp. 571-575 2006.

오상훈, 황민철, 임재중, 심박변화율 (HRV)에 의한 시각감성의 구분에 대한 연구, *대한인간공학회*, 9(2), 473-476, 1997.

이상민, 박은경, 김인영, 김선일, 맥파전달시간과 파라미터를 이용한 수축기 혈압측정, *전자공학회*, 42 (3), 41-46, 2005.

황민철, 임좌상, 박흥국, 남승훈, 주관 감성 강도가 감성 구분의 생리 변수 추출에 대한 영향, *대한인간공학회 춘계학술대회 논문집*, 1(4), 173-176, 2000.

황민철, 임좌상, 김혜진, 김세영, 각성의 유형이 생리반응에 미치는 영향, *한국감성과학회지*, 1(2), 89-93, 2001.

황민철, 장근영, 김세영, 자율신경계반응에 의한 감성 평가 연구, Research on Emotion Evaluation using Autonomic Response, *한국감성과학회지*, 7(3), 51-56, 2004.

Christine Amrhein, Andreas Mu¨hlberger, Paul Pauli, Georg Wiedemann, Modulation of event-related brain potentials during affective picture processing: a complement to startle reflex and skin conductance response?, *International Journal of Psychophysiology*, 54, 231-240, 2004.

Constant, I., Laude, D., Murat, I. and Elghozi, J. L., Pulse rate variability is not a surrogate for heart rate variability, *Clinical Science*, 97(4), 391-397, 1999.

Dan Hasson, Töres Theorell, Yvonne Liljeholm-Johansson, Barbara Canlon, Psychosocial and physiological correlates of self-reported hearing problems in male and female musicians in symphony orchestras, *International Journal of Psychophysiology*, 74, 93-100, 2009.

Heath, A. Demareea and D. Erik Everhart, Healthy high-hostiles: reduced parasympathetic activity and decreased sympathovagal flexibility during negative emotional processing, *Personality and Individual Differences*, 36, 457-469, 2004.

Ljubomir, I. Aftanas, Anton, A. Varlamov, Sergey V. Pavlov, Viktor P. Makhnev, Natalya V. Reva, Time-dependent cortical asymmetries induced by emotional arousal: EEG analysis of event-related synchronization and desynchronization in individually defined frequency bands, *International Journal of Psychophysiology*, 44, 67-82, 2002.

Shi, P., Hu, S. and Zhu, Y., A Preliminary Attempt to Understand Compatibility of Photoplethysmographic Pulse Rate Variability with Electrocardiographyic Heart Rate Variability, *Journal of Medical and Biological Engineering*, 28(4), 173-180, 2008.

Porges, S. W., The Polyvagal Theory: Phylogenetic contributions to social behavior, *Physiology & Behavior*, 79(3), 503-513, 2003.

Robert, M.Y. and. John, D. D., The relation of strength of stimulus to rapidity of habit-formation, *Journal of Comparative Neurology and Psychology*, 18, 459-482, 1908.

Russell, J. A., A circumplex model of affect, *Personality and Social Psychology*, 39, 1161-1178, 1980.

Wolfram Boucsein, *Electrodermal Activity*, Kluwer Academic Publishers, New York, 1992

Wolfram Boucsein and Richard W. B., The Psychophysiology of Emotion, arousal, and Personality methods and Models. *Handbook of Digital Human Modeling: Research for Applied Ergonomics and Human Factors Engineering*, In D. Vincent G(Ed), 1, 35-1-9, CRC Press, Boca Raton, London, New York, 2008.

Yvonne Tran, Nirupama Wijesuriya, Mika Tarvainen, Pasi Karjalainen and Ashley Craig, The Relationship Between Spectral Changes in Heart Rate Variability and Fatigue, *Journal of Psychophysiology*, 23(3), 143-151, 2009.

◐ 저자 소개 ◑

❖ 김 치 중 ❖ gatsgrain@nate.com
상명대학교 디지털미디어학부 학사
현 재: 상명대학교 컴퓨터과학과 석사
관심분야: 정신생리학, 감성공학, HCI

❖ 황 민 철 ❖ whang@smu.ac.kr
Georgia Institute of Technology Biomedical Engineering 박사
현 재: 상명대학교 디지털미디어학부 교수(CT연구소 소장)
관심분야: HCI, BCI, 감성공학, 인간공학,

❖ 김 종 화 ❖ rmx2003@naver.com
상명대학교 소프트웨어학부 석사
현 재: 상명대학교 감성공학과 박사
관심분야: 생리신호 분석, 감성인식, 감성인터렉션

❖ 우 진 철 ❖ mcun@naver.com
상명대학교 컴퓨터과학부 석사
현 재: 상명대학교 문화컨텐츠 기술 연구소 연구원
관심분야: BCI, 감성공학, 인간공학

❖ 김 용 우 ❖ kimyongwoogo@nate.com
상명대학교 디지털미디어학부 석사
현 재: 상명대학교 컴퓨터과학과 석사과정
관심분야: HCI, UX

❖ 김 지 혜 ❖ kimjh@gmail.com
상명대학교 디지털미디어학과 학사
현 재: 상명대학교 컴퓨터과학과 석사
관심분야: UX Design, 감성공학, HCI, 감성추론

논 문 접 수 일 (Date Received) : 2010년 02월 20일
논 문 수 정 일 (Date Revised) : 2010년 02월 25일
논문게재승인일 (Date Accepted) : 2010년 02월 25일