

피부자극에 의해 나타나는 감성변화의 평가를 위한 HRV 스펙트럼 분석

손진훈, 임재중*, 이경화, 여형석*, 박진우*
충남대학교 심리학과
인제대학교 보건대학 의용공학과*

HRV spectrum analysis for the evaluation of changes in emotion evoked by tactile stimulation

Jin-Hun Sohn, Jae J. Im*, Kyung-Hwa Lee, Hyung S. Yeo*, Jin W. Park*
Department of Psychology, Chungnam National University
Department of Biomedical Engineering, Inje University*
jhsohn@hanbat.chungnam.ac.kr

Abstract

Objective of this study was to find the correlation between emotional changes and the parameters of HRV spectrum evoked by tactile stimulation. Twenty-one subjects were used and five different types of materials, dry cotton, wet cotton, paper, sandpaper, and vinyl were applied to the left hand of each subject as a tactile stimulation. The results showed that HF/LF (ratio of high to low frequency amplitude calculated from power spectrum of HRV) decreased as the subject experienced the unpleasant emotion caused by wet cotton and sandpaper. On the other hand, when the subject experienced the comfort, HF/LF increased. It was concluded that the proposed methods can be applied to evaluate the characteristic changes in the autonomic nervous system which regulates the human emotion in the psychological aspects.

서 론

인간은 다양한 형태의 자극에 노출되어져 있으며,

자극의 특성에 따라 감성의 변화가 일어나게 된다. 감성의 변화는 외부의 자극에 대한 인간의 중추신경계와 자율신경계의 통합적 조절에 의해 나타나는 것으로서 이것을 정량화 하려는 많은 연구들이 진행되어져 왔다.¹⁾ 즉, 주어지는 자극에 대한 감성의 변화를 정량화 하기 위해서는 감성의 변화를 충분히 반영할 수 있는 생리신호의 분석이 절실히 요구되어진다.²⁾ 결국 궁극적으로는 주어지는 자극에 대한 감성의 변화를 정량화 할 수 있다면 보다 쾌적한 환경의 제공이나 제품을 통해 인간의 삶의 질 향상에 이바지 할 수 있을 것이다.

ECG는 심박동 세포들과 자율신경계간의 상호작용을 표현하는 자발적인 변동치를 표시하고 있다. 교감신경은 심장박동을 증가시키며 혈관을 수축시키고 그 결과로 혈압이 상승하게 된다. 이와 대조적으로 부교감 신경은 심장박동과 혈압을 감소시킨다. 즉, 심장박동은 이들 두 가지 자율신경계 양자간의 균형에 의한 결과로써 나타나게 된다. 심전도의 검출로 측정되어질 수 있는 심장박동은 인체에 주어지는 여러 가지 영향으로 인하여 끊임없이 변화하며, 이러한 변동을 정량화 한 것을 심박변이도(HRV, heart rate variability)라 한다.^{3,4,5)} HRV는 외부 영향에 대항하여 체내의 항상성을 유지하고자 끊임없이 변동하는 심박변화를 관찰하기 위해

심전도상의 연속적인 R-peak간 시간간격을 시계열 데이터로 재구성하는 것이다. 이러한 HRV 파형을 주파수 분석함으로써 R-R 간격의 주기적 변화량에 대한 정량적인 정보를 얻을 수 있게 된다.⁶⁾⁷⁾

본 연구에서는 다양한 피부 자극에 의해 유발되는 피검자의 감성변화와 심전도 신호에 기초한 HRV와의 유의한 상관성을 밝힘으로써 HRV 스펙트럼 분석이 피검자의 심리상태를 반영하는 감성정보로서 유용하게 활용될 수 있는 가능성을 제시하고자 하였다.

실험 방법

본 실험에서는 21명의 피검자를 대상으로 다양한 종류의 피부자극을 제시할 때의 심전도를 측정하였으며 그림 1에 실험을 위한 전체 시스템의 구성이 나타나 있다.

데이터 수집

피검자로는 20대의 건강한 남자 11명과 여자 10명을 대상으로 하였다. 자극의 종류로는 마른 형질, 젖은 형질, 종이, 사포, 비닐을 피검자의 왼손바닥에 제시하였다. 각각의 피검자당 무작위로 5가지의 자극이 제시되며, 자극은 30초동안 지속되었으며 후속 자극 전에 충분한 회복시간을 위해 2분간의 휴식 시간을 두었다.

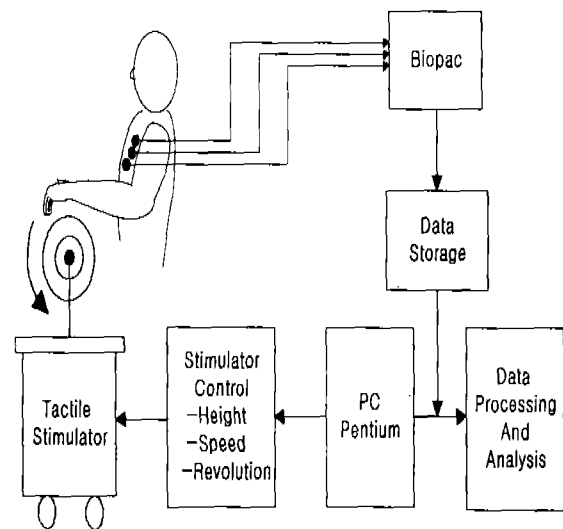


그림 1. 전체 시스템의 구성도.

심전도는 자극 전 30초와 자극 후 30초동안 기록하였으며 그림 2에 자극 제시와 데이터 수집에 대한 전체적인 개요가 나타나 있다.

한 종류의 자극에 대한 데이터 수집을 마친 후에는 그림 3에 나타나 있는 12가지의 설문조사를 하였다. 즉, 피검자로 하여금 -4에서 +4까지의 범위에 걸치는 9점 척도로 유발된 자극에 대한 주관적 감성을 평가하도록 하였다. 이때, 양(+)의 값은 긍정적 주관 감성을 나타내고, 음(-)의 값은 부정적 주관적 감성을 나타낸다.

데이터 분석

각각의 자극에 대해 자극 전후 30초간의 저장된 데이터를 이용하여 HRV분석을 수행하였다. 그림 4는 ECG의 R-peak를 검출하여 R-R 간격을 계산하고 이

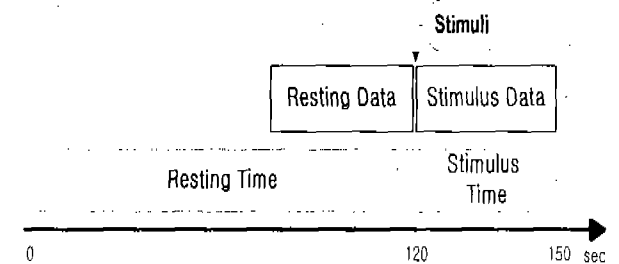


그림 2. 자극의 제시 및 데이터 수집 진행도.

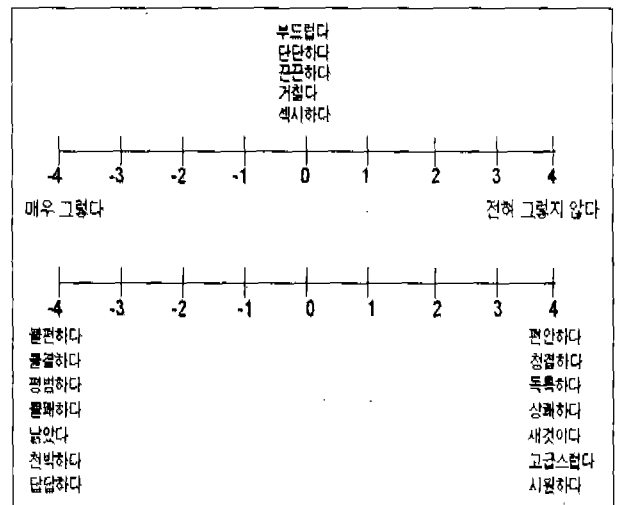
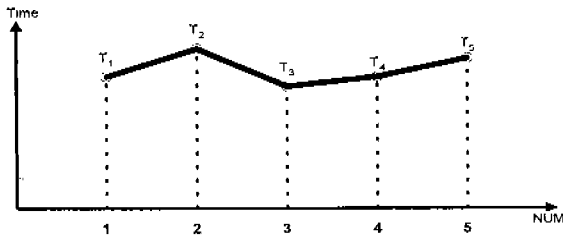


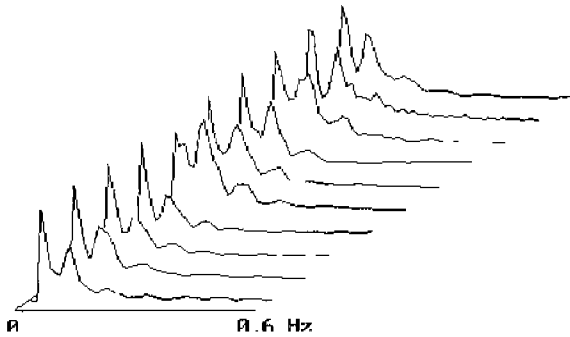
그림 3. 피부자극에 대한 주관적 평가 설문내용.



(a) ECG



(b) HRV



(c) HRV 스펙트럼

그림 4. ECG, HRV 재구성 및 HRV 스펙트럼.

를 HRV로 재구성하여 FFT를 거친 결과를 나타낸 것이다. HRV 신호는 power spectrum 분석을 수행하기 위하여 동일한 시간간격의 시계열 데이터로서 구성하여야 한다. 즉, 원래의 ECG 신호로부터 재구성된 최초의 HRV의 형축을 시간축으로 변환하여야 하는데 한 눈금의 resolution을 계산하기 위한 과정이 식(1)에 나타나있다.

$$HRV(n) = HR(k), t_k \leq n\Delta T < t_{k+1}, \quad (1)$$

$$(n, k=0, 1, 2, \dots)$$

이때, 샘플링 간격은 $\Delta T = 1/f_s$ 이며, k 번째 심박 $HR(k) = 1/(t_{k+1} - t_k)$ 이다. t_k 와 t_{k+1} 은 k 번째와 $k+1$ 번째 심박의 발생시간을 일컫는 것이다.

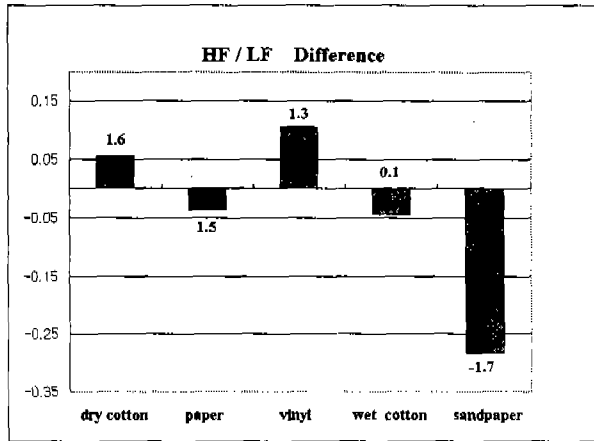
HRV 스펙트럼은 세 가지의 주요한 peak를 가지고 있는데 0.04Hz 이하에서 주로 나타나는 초저주파 성분(VLF) 성분은 체온조절, 혈관운동, 그리고 다양한 심폐 메카니즘등에 관여하며, 0.04~0.15Hz에서 보여지는 저주파 성분(LF) 성분은 교감신경계의 활동과 혈압 조절 메카니즘과 관계 있는 압수용체 반사(baroreflex)를 나타내고, 0.15~0.40Hz에서 고주파 성분(HF) 성분은 부교감신경계 특히 미주신경의 활동과 호흡 활동에 대한 정보를 가지는 것으로 알려져 있다. 본 연구에서는 교감신경계와 부교감신경계의 우세정도를 나타내기 위하여 HF/LF라는 변수를 정의하고, 자극전 데이터의 HF/LF에 대한 자극 후의 HF/LF값에 대한 차이를 식(2)와 같이 계산하여 전체적인 변화 경향을 파악하고자 하였다.

$$HF/LF \text{ diff} = HF/LF(\text{rest}) - HF/LF(\text{stim}) \quad (2)$$

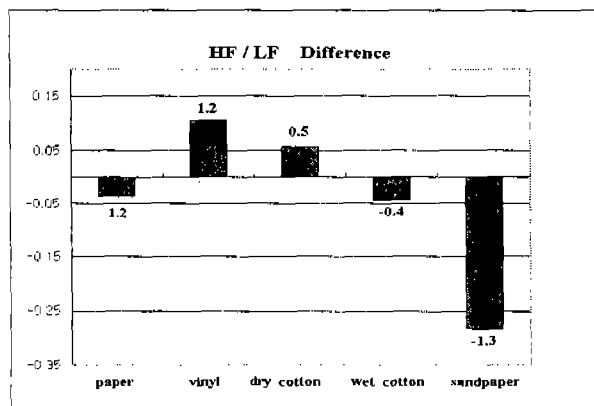
결과 및 토의

각 자극원에 대한 주관적 설문 결과와 HRV 스펙트럼 변수인 HF/LF difference 값의 비교하였으며, 열두가지의 설문중 쾌/불쾌 및 편함/불편함에 대한 결과값이 그림 5에 나타나 있다. 각 막대그래프와 함께 나타나 있는 숫자는 21명의 피검자들의 주관적 평가 점수를 평균낸 값으로서 양(+)의 값이 클수록 긍정적인 반응을 보인 것이고, 음(-)의 값이 클수록 부정적인 반응을 보임을 나타낸다.

즉, HF/LF difference 값은 paper와 wet cotton의 경우에서 약간의 음(-)의 값을 보임을 제외하고는 양(+)의 값으로 나타나고 있다. 반면에 sandpaper의 경우는 매우 부정적인 주관적 평가 점수인 -1.7에 HF/LF difference의 값도 -0.28 정도로서 rest 상태에 비하여 큰 값으로 감소하였음을 알 수 있다. 이러한 결과는 편함/불편함에 대한 그래프인 그림 5(b)에서도 동일하게 나타나고 있음을 알 수 있다. 즉, 주관적 설문결과 wet cotton과 sandpaper에 대하여는 그 값이 -0.4와 -1.3으로써 불편하다는 반응을 하였으며, 다른 자극원들에 대하여는 1.2와 0.5로써 편하였음을 보였다. 그리고, HF/LF difference 값도 paper의 경우에 기준치 보



(a) 쾌감/불쾌감에 대한 HF/LF 차이 값의 변화다 0.04정도



(b) 편함/불편함에 대한 HF/LF 차이 값의 변화

그림 5. 각 자극원에 의해 나타나는 주관적 설문 결과 및 HF/LF 값의 변화.

감소한 것을 제외하고는 긍정적일때는 증가하고 부정적일때는 감소하고 있음을 알 수 있다. 이는 긍정적인 자극원에 대해서는 HF/LF의 증가로 부교감 신경계의 활동이 우세하였으며, 부정적인 자극원에 대해서는 HF/LF의 감소로 교감신경계의 활동이 우세하였음을 나타내는 것으로써 본 실험을 위한 가정과 일치하는 결과라 할 수 있다.

본 연구의 결과는 피부자극에 의해 변화되는 인간의 감성이 신경계에 어떠한 영향을 주고, 그로 인하여 나타나는 생리신호의 분석이 유용하게 쓰일 수 있음을 제시하고 있다. 이를 바탕으로 하여 보다 실제적인 피부자극에 대한 HRV 스펙트럼 분석을 포함한 다양한 생리신호의 분석이 이루어진다면 감성 DB의 구축에

크게 기여할 수 있을 것이다.

참고 문헌

- [1] C. E. Chapman, "Active versus Passive Touch : factors influencing the transmission of somatosensory signals to primary somatosensory cortex," *Cad. J. Physio-Pharmacol.*, 72(5), pp.588-70, 1994.
- [2] 여형석, 오상훈, 임재중, 손진훈, "피부자극에 의해 유발되는 뇌파의 Time-Frequency 분석," 대한의용생체공학회 추계 학술대회논문집, 18권, 제2호, pp. 243-244. 1997.
- [3] S. Akselrod, D. Gordon, J. B. Madwed, N. C. Snidman, A. Barger, and R. J. Cohen, "Power spectrum analysis of heart rate fluctuation : a quantitative prove of beat-to-beat cardiovascular control," *Science Wash. DC*, 213, pp.220-222, 1981.
- [4] P. Coumel, J. S. Hermida, B. Wennerblom, A. Leenhardt, P. Maisonblanche, B. Cauchemez, "Heart rate variability in left ventricular hypertrophy and heart failure and the effects of beta-blockade. A nonspectral analysis of heart rate variability in the frequency domain and in the time domain," *Eur. Heart J*, 12, pp.412-422, 1991.
- [5] A. Malliani, M. Pagani, F. Lombardi, S. Cerutti. "Cardiovascular neural regulation explored in the frequency domain," *Circulation*, 84, pp.482-492, 1991.
- [6] M. L. Appel, R. D. Berger, J. P. Saul, J. M. Smith, R. J. Cohen, "Beat to Beat Variability in cardiovascular Variables : Noise or Music," *J. Am. Coll. Cardiol*, V14, No5, pp.1139-1148, Nov 1989.
- [7] G. A. Myers, G. J. Martin, N. M. Magid, "Power spectral analysis of heart rate variability in sudden cardiac death : Comparison to other methods," *IEEE. Trans. Biomed. Eng.*, BME-33(12), pp.1149-56, 1986.