

PPG를 이용한 감성평가 및 바이오피드백 기술

이현민*, 김동준*, 양희경*, 김경섭**, 이정환**
 청주대학교*, 건국대학교**

A Human Sensibility Evaluation and Biofeedback Technology using PPG

Hyun-Min Lee*, Dong-Jun Kim*, Hee-Kyeong Yang*, Kyeong-Seop Kim**, Jeong-Whan Lee**
 Chongju University*, Konkuk University**

Abstract - This study describes a system for human sensibility evaluation using PPG(photoplethysmogram) signal and biofeedback algorithm to respond the bad(negative) mood. For this objective, PPG signals for two emotional states(positive/negative) are collected. To evoke the test emotions, happy(or joyful) and sad(or irritating) movie files are collected and played in subjects' monitor. From the acquired PPG signal, the heart rate variability(HRV) is calculated. Using the HRV and its FFT spectra, the human sensibility is evaluated. Since the heart is a representative organ which is controlled by the autonomic nervous system(ANS), the ANS may reflect the changes in emotion. The biofeedback algorithm is designed with motion image player interacting with the results of the sensibility evaluation. It was shown that HRV was changed according to the subject's emotions. Accordingly, the sensibility evaluation test showed feasibility of the our method.

1. 서 론

높은 수준의 기술과 의학의 발달은 국민 소득의 증가와 더불어 사람들의 건강에 대한 관심을 증가시켰고, 고령화 사회 진입으로 인한 노인 인구의 증가 등으로 의료복지에 대한 수요를 급증하게 만들었다. 이에 따라 일반인, 환자, 노인 등의 건강관리의 필요성이 대두되고 있으며, 특히 육체적 건강에 대한 관심뿐만 아니라 정신적인 외로움, 우울증과 같은 정서 및 감성에 대한 관심이 집중되고 있다.

감성의 변화는 신경계 반응으로 나타나며, 외부의 자극에 대한 인간의 중추신경계(central nervous system; CNS)와 자율신경계(autonomic nervous system; ANS)의 통합적 조절에 의해 나타나는 것으로서 이것을 정량화하려는 많은 연구들이 진행되어 왔다. 그 중에서 심박을 이용한 감성평가의 방법 중 하나로는 심박변이도(heart rate variability; HRV)가 있다. HRV는 자율신경계의 상태를 측정하기 위한 비침습성의 도구이며, 특수한 생리학적 요소와 주파수 스펙트럼간의 일치성을 보인다. 그렇기 때문에 이러한 HRV를 생체의 신경·생리상태 등을 자극정보로 바꾸어서 그 생체에 전달하는 조작인 바이오피드백(biofeedback)에 적용한 연구들이 활발히 진행되고 있다[1-4].

본 연구에서는 심전도보다 측정이 간편한 맥파를 이용하여 HRV를 검출하고, 이를 이용하여 인간의 감성을 평가하는 기술을 개발하고, 감성 평가의 결과에 따라 시청각을 이용하여 감성을 조절할 수 있는 바이오피드백 기술을 개발하고자 하였다. 이를 위하여 피검자들을 선정하고, 그들로부터 맥파를 수집하여 HRV를 추출하였으며, 주파수 영역에서의 분석 방법으로 LF/HF의 비율을 통한 부정적 상태와 긍정적 상태를 구분하는 실험을 하였고, 그 결과에 따라 개발된 바이오피드백 기술을 적용하여 피검자들의 감성이 개선되는지를 확인하고자 하였다.

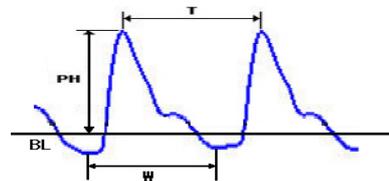
2. 감성평가 및 바이오피드백 알고리즘

2.1 감성평가 알고리즘

HRV를 추출하기 위해서는 우선적으로 심박 주기를 구해야 한다. 심박 주기를 구하기 위해서 PPG 신호로부터 피크값을 검출하였고, 피크값들이 나타난 시간들로부터 심박 주기를 결정하는 방법을 사용하였다.

2.1.1 피크의 검출

본 연구에서는 피크의 평균 높이와 피크를 구성하는 전·후 벨리의 사이의 간격을 파라미터로 이용하여 주기에 해당하는 피크의 검출이 쉽지 않은 경우에도 정확한 주기 피크를 검출할 수 있도록 하였으며, 이 때 사용되는 파라미터는 그림 1과 같다.



〈그림 1〉 피크 검출에 사용되는 파라미터

PH는 피크의 전·후 벨리 부분으로부터의 평균 높이이고, W는 피크가 나타나는 전·후 벨리 상이의 간격을 나타낸다. 그리고 구하고자 하는 심박 주기를 T로 나타내었다. 피크 검출은 피검자의 심박 주기를 고려하여 심박 주기가 존재할 것으로 예상되는 구간(0.25~1.49 sec)내에서 기울기가 +에서 -로 바뀌고, PH가 실험적으로 정한 문턱치(문턱값1=1mV, 문턱값2=5mV)의 범위안에 해당하는 지점을 피크들에 대하여 크기 및 위치, 전·후 벨리의 위치를 순차적으로 저장한다. 저장된 피크들의 크기를 비교하여 가장 큰 피크 값의 95% 이내 피크들 중 전·후 벨리 사이의 간격(W)이 가장 큰 것을 일단 주기로 인정한다.

2.1.2 HRV의 추출

심박 주기의 변화량을 연속적으로 나타낸 그래프를 HRV라 한다. 식 (1)은 PPG 데이터에서 n번째 피크값의 위치를 R_n 이라고 하고, 심박 주기를 T_n 이라 할 때, HRV_n 을 수식으로 표현하였다.

$$T_n = R_{n+1} - R_n, T_0 = T_1$$

$$HRV_n = T_k, R_k \leq n\Delta T \leq R_{k+1} \quad (n, k = 1, 2, 3 \dots)$$

첫 번째 피크값에서 두 번째 피크값의 차를 n시점에서의 심박 주기로 결정하고, 현재 처리되고 있는 시점의 프레임에서 심박 주기를 바로 결정하지 않고, 이후 한 프레임의 연산이 더 진행된 후 결정하기 때문에 T_0 에 T_1 을 대입해 준다.

HRV는 피검자들의 개인차가 심하게 나타날 수도 있을 뿐더러, 같은 피검자라도 주위 환경이나 심리적 상태 등 외부의 요인에 의해 쉽게 영향을 받을 수 있다. 또한, 그 값의 변화가 아주 미세하게 나타나기도 하기 때문에 심박 주기를 정확하게 결정하지 않으면 거의 변화를 관찰할 수 없다.

2.1.3 HRV의 주파수 분석 및 감성평가

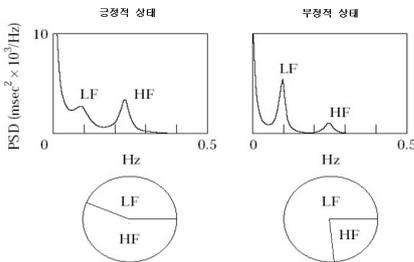
주파수 영역분석에는 고속푸리에 변환(fast Fourier transform; FFT)를 이용하여 전력 스펙트럼 밀도(power spectrum density)를 봄으로써 교감신경과 부교감신경의 활성정도를 볼 수 있다. Power spectrum density를 이용하여 주파수 대역별로 에너지의 크기를 볼 수 있으며, 에너지 대역별 크기의 변화율은 곧 자율신경계의 갈항 작용을 나타내 준다. 표 1은 HRV의 주파수 영역에 따른 분석을 나타낸다.

〈표 1〉 HRV의 주파수 영역에 따른 분석

Variable	Units	Description	Frequency range
Total power	ms^2	Variance of NN intervals	approximately <0.4 Hz
ULF	ms^2	Power in the ultra low frequency range	≤ 0.003 Hz
VLF	ms^2	Power in the very low frequency range	0.003~0.04 Hz
LF	ms^2	Power in the low frequency range	0.04~0.15 Hz
HF	ms^2	Power in the high frequency range	0.15~0.4 Hz
LF/HF	-	Ratio LF[ms^2]/HF[ms^2]	

본 연구에서는 HRV를 이용한 감성평가를 위해 주파수 영역에서의 분석만을 사용하였으며, 표 1과 같이 유럽심장학회 및 북미학회에서 제시한 기준으로 분석했다. 또한, 자극에 따른 피검자의 상태를 긍정적 상태와 부정적 상태로 나누어서 구별하였으며, 교감신경계와 부교감신경계의 우세정도를 나타내기 위하여 LF/HF라는 변수를 정의하고, 자극에 따른 LF/HF의 변화를 파악하고자 하였다.

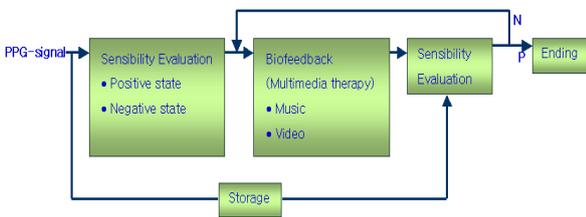
피검자의 긍정적 상태와 부정적 상태를 비교하였을 때, HRV 스펙트럼으로부터 얻어진 LF/HF의 값이 커지면 LF의 값이 상대적으로 커졌음을 나타내며, 이것은 부교감신경이 우세하게 작용했다고 볼 수 있다. 그러므로 피검자의 상태가 불쾌하거나 기분이 가라앉았다고 볼 수 있으므로 부정적 상태로 판단한다. 반대로 LF/HF의 값이 작아지면 HF의 값이 상대적으로 커졌음을 나타내며, 교감신경의 작용이 우세하게 작용했다고 볼 수 있다. 이는 피검자의 상태가 쾌적하거나 기분이 좋아졌음을 의미한다고 볼 수 있으므로 긍정적 상태로 판단한다. 그림 2는 LF/HF의 비율에 따른 피검자의 상태를 평가한 것이다.



〈그림 2〉 LF/HF의 비율에 따른 감성평가

2.2 바이오피드백 알고리즘

그림 3은 본 연구에서 사용된 전체적인 바이오피드백의 추진 방법을 나타내었다.



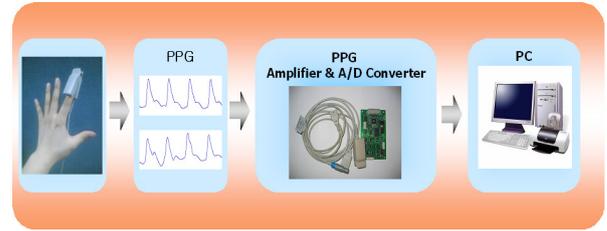
〈그림 3〉 바이오피드백 알고리즘

본 연구에서는 바이오피드백 기법으로 Multimedia therapy를 사용하였으며, 구체적으로 피검자의 선호 음악, 자연의 소리, 기능성 음악 등을 들려주는 Music therapy와 피검자의 선호 풍경, 자연의 풍경, 동영상 등을 보여주는 Video therapy를 적용하였다. 또한 호흡요법을 적용하여 2초간 들이마시고 2초간 내쉬는 일정한 호흡 패턴을 반복적으로 실행하게 만들어 생리적 안정을 유도하게 하였다.

3. 실험

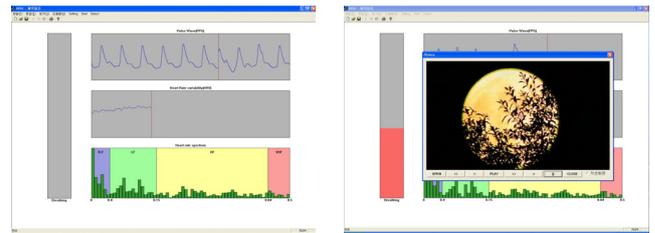
3.1 실험 장치의 구성

백과를 이용한 감성평가 및 바이오피드백 실험에 사용된 PPG 데이터 수집 시스템의 구성은 그림 4와 같다.



〈그림 4〉 PPG 데이터 수집 시스템

PPG 데이터 수집을 위한 시스템 구성은 PPG 측정 모듈, PPG 증폭기 및 A/D 변환기, PC로 하였다. PPG 측정 모듈은 KT-MED사의 PPG 측정기 FS-01을 사용하였고, PPG 증폭기 및 A/D 변환기는 같은 KT-MED사의 KBC-S02를 사용하였다. PPG 데이터 수집은 피검자의 손가락으로부터 PPG 측정 모듈을 통해 검출된 PPG 신호를 PPG 증폭기를 이용하여 증폭하였다. 증폭된 PPG 신호는 128Hz로 샘플링하고, 12bit 해상도로 디지털 신호 변환한 후, PC를 이용하여 처리하였고, 구현은 윈도우즈 시스템 기반의 Visual C++ 6.0 소프트웨어를 사용하여 개발하였다. 그림 5는 PPG 데이터 수집 소프트웨어의 실행 화면을 보여준다.



〈그림 4〉 PPG 데이터 수집 소프트웨어의 실행 화면

3.2 실험 절차

PPG 데이터 수집 실험은 실험실 환경 조건에 적합한 온도(23~26℃)와 습도(25~40%)를 조성한 상태에서 이루어졌다. PPG 수집의 대상 피검자들은 신체 건강한 25~30세의 대학생이며, 남자 피검자들은 청주대학교 대학생들과 대학원생들로 선정하고 총 5명을 대상으로 하였고, 여자 피검자들은 연극동아리에서 활동하고 있는 대학생들을 대상으로 총 2명을 선정하였다. 각 피검자마다 실험에 대한 부담감을 줄이도록 하기 위해서 약 2~5일의 간격을 두어 각각 3회의 동일한 실험을 진행하였다. 각 피검자에게는 실험하기 하루 전에 담배, 커피, 음주 등을 피하도록 하여 중추신경계와 자율신경계에 다른 영향을 최소화하도록 하였다. 표 2는 감성평가를 위한 피검자들의 정보이다.

〈표 2〉 감성평가를 위한 피검자들

피검자	성격	나이(세)	성별	적성	전공
WSJ	외향적	30	남	자연계열	전자공학
LHM	내성적	28	남	자연계열	전자공학
AJH	내성적	29	남	자연계열	전자공학
KYS	내성적	25	남	자연계열	전자공학
PHM	외향적	25	남	자연계열	전자공학
HSJ	외향적	23	여	자연계열	생명공학
LJH	내성적	25	여	예술계열	공예디자인

본 연구에서는 설문에 의한 주관적 평가 방법도 같이 실시하였는데, 이 주관적 평가 설문 내용은 크게 두 가지로 나누어 PPG 데이터 수집 실험 전에 피검자의 성격 및 초기 심리 상태를 기록하는 것과 실험 중간 각 감성별 실험이 끝날 때 자신의 감성 상태에 대한 평가를 기록하는 것이다. 하지만, 본 연구에서는 피검자의 성격과 초기 심리 상태가 실험 결과에 미치는 영향에 대한 연관성은 찾아보기 힘들었다.

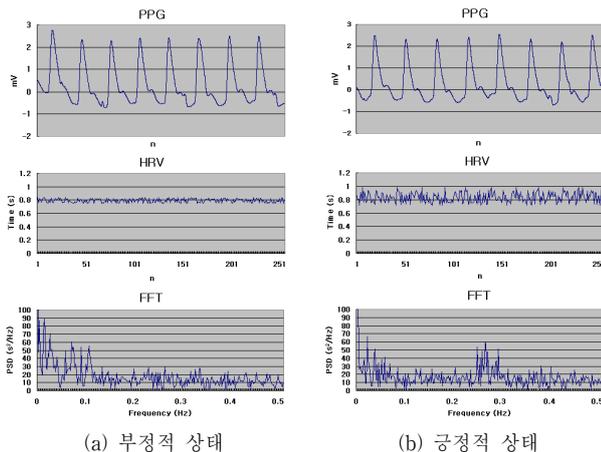
수집 실험 중에 기록하는 감성 상태 평가란에는 긍정적 상태와 부정적 상태에 대한 몰입 정도를 스스로 평가하여 그 정도를 기록하게 하고, 감성 상태를 유발시킨 내용을 간단하게 기록하게 하였고, 피검자들이 감성 몰입에 익숙하지 않은 일반인들이어서 부착장치나 기타 간섭요인으로 인해 감성 몰입의 기록이 있을 수 있다는 사실을 감안하여 피검자들로 하여금 감성 몰입이 가장 잘 되었다고 판단하는 시점을 중점적으로 다루기 위해 실험 도중 이벤트를 표기하였고, PPG 수집 실험 중 다른 부분에서도 이벤트와 피검자의 감성 상태를 기록하기 위해 상태와 성실도를 20초 간격으로 기록하는 일지를 작성하였다.

실험에 들어가기 전에는 매번 피검자들에게 실험 중에 움직임 을 최소화 해달라는 실험 지시사항을 알려 주었으며, 개인별로 약 5~10분 정도의 실험 적응시간을 가지게 했는데, 그것은 피검자에게 본격적인 PPG 수집에 앞서 쾌적한 의자에 앉은 상태에서 긴장을 풀게 한 후, 안정 상태로 최대한 유도하여 4~6분 동안 실험을 진행하면서, 충분히 안정 상태에 몰입이 되었을 경우 오른손 새끼손가락을 약간 움직여 표시하게 하였다.

실험이 시작되면, 먼저 5~10분 정도의 휴식 상태의 맥파를 수집하고, 이어서 부정적 상태 자극의 동영상 클립을 10분 정도 보여 주어 피검자의 부정적 상태를 유도하였다. 피검자의 상태가 부정적 상태를 계속해서 유지하게 되면, 긍정적 상태로 유도하기 위해서 피검자의 선호 동영상을 10분 정도 보여주며, 동시에 2초간 들이마시고 내쉬는 동작을 반복하는 호흡요법을 실시하도록 하였다. 실험에 사용된 동영상은 사전 설문조사를 실시하여 피검자에 따라 자체적으로 제작한 동영상 클립이며, 실험이 끝난 후에 동영상 클립의 적합성 및 효과성을 검증하기 위해 실험에 대한 본인의 만족도 등의 주관적 평가 설문 을 통해 작성하게 하였다.

3.3 결과 및 고찰

본 연구에서는 피검자들의 부정적 상태와 긍정적 상태를 평가하기 위해서 각각의 상태에 대하여 PPG를 수집하고, 주파수 영역에서의 LF/HF의 비율을 비교하기 위해 FFT를 수행하였으며, 전력 스펙트럼 밀도를 이용하여 주파수 대역별로 에너지의 크기를 볼 수 있도록 하였다. 그 결과 부정적 상태 자극의 동영상 을 보여줬을 경우, 피검자의 HRV는 거의 변화가 없는 단조로운 파형을 나타내었고, HRV의 주파수 스펙트럼 또한 LF의 성분이 개인의 따라 차이는 있지만 거의 공통적으로 높게 나타났다. 반대로 피검자가 부정적 상태를 유지하고 있을 때, 긍정적 상태 자극의 동영상 을 보여줬을 경우에는 HRV의 파형에 육안으로 식별될 정도로 고주파 성분이 눈에 띄었고, HRV의 스펙트럼에서도 부정적 상태와 비교했을 경우, 저주파의 성분이 낮아지고, 고주파 성분이 높아진 것을 확인할 수 있었다. 그림 5는 피검자 WSJ의 데이터의 예를 보여주며, 각각 위로부터 PPG, HRV, HRV의 FFT 스펙트럼을 나타낸다.



〈그림 5〉 피검자 WSJ의 데이터의 예

표 3은 감성평가 실험 결과를 나타내었다. 피검자 WSJ와 피검자 LHM은 긍정적 상태에서의 실험 횟수와 이론 일치 횟수의 일치율이 100%로 높게 나타났으며, 모든 피검자가 공통적으로 부정적 상태 자극 영상에서 긍정적 상태 자극 영상을 보여줬을 때, 긍정적 상태로 변화하는 일치율이 비교적 높게 나타났다.

〈표 3〉 감성평가 실험 결과

피검자	감성 상태	실험 횟수	이론 일치 횟수	일치율(%)
WSJ	부정적	8	5	63
	긍정적	8	8	100
LHM	부정적	8	6	75
	긍정적	8	8	100
AJH	부정적	6	5	83
	긍정적	6	5	83
KYS	부정적	5	3	60
	긍정적	5	2	40
PHM	부정적	5	3	60
	긍정적	5	4	80
HSJ	부정적	3	2	67
	긍정적	3	2	67
LJH	부정적	3	2	67
	긍정적	3	1	33

4. 결 론

본 연구에서는 측정이 번거로운 심전도를 이용하지 않고 맥파를 이용하여 HRV를 추출하여 인간의 감성을 평가하고자 하였다. 또한, 피검자가 부정적 상태에 있을 경우, 자체 제작한 자신이 선호하는 영상이나 자연의 풍경, 사진 등을 보여주어 긍정적 상태로 유도하는 바이오피드백 알고리즘을 이용하였으며, 감성평가 실험을 통해 성능을 확인하였다. 실험을 통해 얻어진 결론은 다음과 같다.

피검자의 긍정적 상태와 부정적 상태를 비교하였을 때, 부정적 상태에서 HRV 스펙트럼의 LF 성분이 증가함에 따라서 LF/HF의 비율도 증가하는 결과가 나타났으며, 반대로 긍정적 상태에서 HRV 스펙트럼의 HF 성분이 증가함에 따라서 LF/HF의 비율이 감소하였다. 부정적 상태에서 LF의 성분의 증가는 부교감신경계의 활동이 우세하였음을 나타내며, 긍정적 상태에서의 HF의 성분의 증가는 교감신경계의 활동이 우세하였으므로 추측할 수 있다. 이는 기존의 심전도를 이용한 연구자들의 연구 결과와 일치하는 결과로서, 맥파를 이용하여도 유사한 결과를 얻을 수 있다는 가능성을 제시한 것이다. 또한, 부정적 감성 상태에서 긍정적 감성 상태로 유도할 때, 피검자 KYS와 LJH를 제외하고 공통적으로 높은 일치율을 보였다. 이는 긍정적 상태 감성을 유도하기 위해 자신의 선호 영상이나 자연의 풍경, 사진 등을 이용하는 것이 효과적이었다고 볼 수 있으며, 이를 이용한 감성의 바이오피드백의 성능이 우수하였다고 볼 수 있다.

지금까지의 결과를 볼 때, 인간의 변화하는 감성을 생리학적으로 측정하여 평가하는 것은 매우 어려운 기술이라고 생각되지만, 호흡 요법 등 기타 다른 방법들과 본 연구의 바이오피드백 기법을 같이 사용한다면 더 개선된 결과를 기대할 수 있을 것이다.

[참 고 문 헌]

- [1] Shusterman V., Barnea O., "Sympathetic nervous system activity in stress and biofeedback relaxation", IEEE engineering in medicine and biology magazine, pp.52~57, 2005.
- [2] Takayuki H., Kiyoko Y., "The relaxation biofeedback system with computer and heart rate variability interaction", Technical report of IEICE, pp.35~38, 2003.
- [3] Nutan A., Raghavan V., Vikas L., Ashish P., Sreejit P., "Heart rate variability and its clinical application for biofeedback", 17th IEEE symposium on computer-based medical system, pp.263~266, 2004.
- [4] Kiyoko Y., Jun-i U., Yasue S., Mikako M., Yasufumi M., Kazuyuki T., "Heart rate indication using musical data", IEEE transactions on biomedical engineering, pp.729~733, 2002.
- [5] "Heart rate variability standard of measurement physiological interpretation, and clinical use task force of the european society of cardiology and the north american society of pacing and electrophysiology", European heart journal, pp.354~381, 1996.
- [6] Rollin M., Mike A., Wiliam A. Tiler, "The effects of emotions on short-term power spectrum analysis of heart rate variability", The american journal of cardiology vol. 76 November 15, pp.1089~1093, 1995.