

심장과 호흡의 연결성을 이용한 감성인식 방법

Emotion Recognition Method Using Heart-Respiration Connectivity

이동원* · 박상인** · 황민철***†

Dong Won Lee* · Sangin Park** · Mincheol Whang***†

*상명대학교 감성공학과

*Department of Emotion Engineering, Sangmyung University

**상명대학교 산학협력단

**Industry-Academy Cooperation Foundation, Sangmyung University

***상명대학교 미래융합공학대학 휴먼지능정보공학부

***Department of Intelligent Engineering Informations for Human, Sangmyung University

Abstract

Physiological responses have been measured to recognize emotion. Although physiological responses have been interrelated between organs, their connectivities have been less considered for emotion recognizing. The connectivities have been assumed to enhance emotion recognition. Specially, autonomic nervous system is physiologically modulated by the interrelated functioning. Therefore, this study has been tried to analyze connectivities between heart and respiration and to find the significantly connected variables for emotion recognition. The eighteen subjects(10 male, age 24.72 ± 2.47) participated in the experiment. The participants were asked to listen to predetermined sound stimuli (arousal, relaxation, negative, positive) for evoking emotion. The bio-signals of heart and respiration were measured according to sound stimuli. HRV (heart rate variability) and BRV (breathing rate variability) spectrum were obtained from spectrum analysis of ECG (electrocardiogram) and RSP (respiration). The synchronization of HRV and BRV spectrum was analyzed according to each emotion. Statistical significance of relationship between them was tested by one-way ANOVA. There were significant relation of synchronization between HRV and BRV spectrum (synchronization of HF: $F(3, 68) = 3.605, p = 0.018, \eta_p^2 = 0.1372$, synchronization of LF: $F(3, 68) = 5.075, p = 0.003, \eta_p^2 = 0.1823$). HF difference of synchronization between ECG and RSP has been able to classify arousal from relaxation ($p = 0.008, d = 1.4274$) and LF's has negative from positive ($p = 0.002, d = 1.7377$). Therefore, it was confirmed that the heart and respiration to recognize the dimensional emotion by connectivity.

Key words: Connectivity, Emotion Recognition, Heart, Respiration, Spectrum Analysis

※ 이 논문은 과학기술정보통신부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 <실감교류 인체감응솔루션> 글로벌프론티어사업 (NRF-2010-0029756)과 과학기술정보통신부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No.2011-0030079).

† 교신저자 : 황민철 (상명대학교 미래융합공학대학 휴먼지능정보공학부)

E-mail : whang@smu.ac.kr

TEL : 02-2287-5293

FAX : 02-2287-5425

요약

감성을 인식하는데 있어 생리적 반응은 중요하다. 생리적 반응은 인체의 주요 기관들과 밀접한 관련이 있지만 감성을 인식하는데 연결성은 고려되지 않고 있다. 자율신경계는 감성과 밀접한 관련이 있는데, 심장과 폐와 같은 인체 내 주요 내장기관에 분포되어 기능적 상보작용을 통해 생리적 반응을 조절하기 때문이다. 따라서 본 연구는 심장과 호흡의 연결성을 분석하고 감성을 인식하는 중요한 연결 변수를 찾고자 하였다. 피험자 18명(남 10명, 평균 나이 24.72 ± 2.47)은 소리 자극을 이용한 감성 유발 실험에 참여하였고 심전도와 호흡 데이터를 측정하였다. 수집된 심장과 호흡 데이터는 스펙트럼 분석을 이용하여 HRV와 BRV spectrum을 구하였고, 감성에 따른 HRV와 BRV spectrum의 동기화 차이를 일원배치분산분석을 통해 통계적 유의성을 확인하였다. Tukey 검증 결과, arousal-relaxation은 HF 대역에서 심전도와 호흡의 동기화 차이로 인식 가능하였고($p = 0.008$, $d = 1.4274$), negative-positive는 LF 대역에서 인식이 가능하였다($p = 0.002$, $d = 1.7377$). 본 연구 결과로 심장과 호흡의 연결성을 통해 차원적 감성을 정량적으로 평가할 수 있음을 확인하였고, 복합적인 원인으로 발현되는 감성을 인식하는데 생리적 반응들의 연결성 변수의 활용도가 높을 것으로 기대된다.

주제어: 연결성, 감성 인식, 심장, 호흡, 스펙트럼 분석

1. 서론

최근 사용자의 감성을 인식해 제품이나 서비스 이용 시 감성 상태에 따른 서비스를 제공해 주는 감성 ICT 기술(emotion information communication technology)이 주목받고 있다. 감성 ICT 기술은 사람과 제품, 사람과 서비스간의 감성 소통을 통해 사용자 중심의 맞춤형 서비스를 제공하는 기술이다(Lee & Youn, 2015). 기존 ICT 산업뿐만 아니라 교육, 헬스케어, 보안 및 교통 등 다양한 비ICT 산업과 융합해 새로운 서비스 시장을 창출 할 것으로 예상되며 국내의 경우 2015년 24조원에서 2020년 38조원 규모로 성장할 것으로 전망된다(Kang & Cho, 2013). 앞으로 모든 일상 생활에 적용될 감성 ICT 기술은 무엇보다 감성을 정확하게 인식하여 사용자의 상황에 맞는 서비스를 제공하는 것이 중요하다. 이에 따라, 감성 인식 기술에 대한 다양한 연구가 진행되고 있다.

감성은 외현적 반응과 내현적 반응을 통해 인식할 수 있다. 외현적 반응에 따른 감성인식 방법은 얼굴 표정과 음성, 몸짓 등 신체 외부로 나타나는 감성 반응을 통해 인식하는 방법이다(Gunes & Piccardi, 2007; Zeng et al., 2009). 얼굴표정은 얼굴 각 부위의 근육을 움직여 화남, 혐오, 공포, 행복, 슬픔, 놀람 등의

다양한 감성들을 표현한다(Ekman & Friesen, 1977; Ioannou et al., 2005; Yoon et al., 2009). 음성은 소리 형태로 의미를 표현하는 것으로 음성의 높이, 크기, 속도, 악센트 등에 변화를 주어 감성을 표현한다(Lieberman & Michaels, 1962; Cowie & Douglas-Cowie, 1996; Kwon et al., 2003). 몸짓은 얼굴표정, 음성과 복합적으로 표현될 때 감성 표현이 명확해진다(Castellano et al., 2008). 외현적 반응을 통한 감성 인식은 명확하다는 장점이 존재하지만 사회적, 문화적 차이에 영향을 받고 거짓된 표현을 하는 경우 올바른 감성 인식이 어렵다(Darwin, 1998). 이러한 한계점은 내현적 반응에 따른 감성인식 방법으로 해결 가능하다. 외부의 감각 자극에 의해 감성 변화가 생기면서 불수의 생리반응인 내현적 반응을 동반하게 되고 이를 통해 감성 인식을 하면 객관적이고 정량적 측정이 가능하다(Ahn et al., 2012). 감성 인식에 활용되는 내현적인 반응에는 자율신경계 반응인 심전도(ECG, electrocardiogram)와 호흡(RSP, respiration)이 있다. 심전도는 심장 근육의 전위차를 통해 심장 활동을 측정하는 방법으로, HR (heart rate), RRI (R-peak to R-peak interval), SDNN (standard deviation of NN interval), rMSSD (root mean square of successive differences), pNN50 (proportion of NN50 divided by

total number of NNs) 등과 같은 시계열 지표와 VLF (very low frequency), LF (low frequency), HF (high frequency), VLF/HF ratio, LF/HF ratio 등과 같은 주파수 지표를 활용하여 나타낸다. 호흡은 들숨과 날숨으로 인한 흉부의 변화를 측정하는 방법으로, RR (respiration rate), PPI (peak to peak interval), T_i (inspiratory time), T_e (expiratory time), breathing frequency와 같은 지표를 활용하여 나타낸다.

심장과 호흡의 내현적 반응을 통해 감성을 인식한 기존 연구 결과에 의하면 눈물을 흘리는 슬픔(crying sadness)의 경우 교감신경이 활성화되어 HR과 RR이 모두 증가하였지만 눈물을 흘리지 않는 슬픔(non-crying sadness)의 경우 HR은 감소하고 RR은 증가하는 결과를 보고하였다(Gross et al., 1994; Rottenberg et al., 2003). 기쁨(happiness)도 교감신경이 활성화되어 HR과 RR이 증가하는 결과를 보고하였다(Khalifa et al., 2008; Nykliček et al., 1997; Prkachin et al., 1999; Rainville et al., 2006). 이 외의 연구에서도 내현적 반응을 통해 다양한 감성을 인식하지만 대부분의 연구가 독립 감성에 따른 심장과 호흡의 패턴 결과를 보고하고 있다. 또한 자율신경계의 내현적 반응 패턴을 통해 감성을 인식하지만 기능적 상보작용을 통해 생리적 반응을 조절하는 자율신경계의 연결성은 고려되지 않았다는 한계가 있다. 따라서 본 연구에서는 심장과 호흡의 연결성을 통해 차원 감성을 객관적이고 정량적으로 파악하고자 하는데 목적이 있다.

2. 이론적 배경

감성은 자율신경계(ANS, autonomic nervous system) 반응과 밀접한 관련이 있다(Porges, 1995; Andreassi, 2013). 심장과 폐를 포함한 대부분의 내장 기관에 자율신경계가 분포되어 있으며 교감 신경과 부교감 신경의 상보작용을 통해 신체의 항상성 유지에 중요한 역할을 한다(Levenson, 1992). 자율신경계의 영향을 받는 심장과 호흡 사이에는 동조 현상을 보이며(Glass & Shrier, 1991; McCraty et al., 2009), 외부 감

각 자극에 의한 감성 상태의 변화가 심장과 호흡의 연결성에 영향을 준다는 연구 결과를 보고하였다(Tiler et al., 1996). 또한 다미주신경 이론에 따르면 심장과 폐를 포함한 주요 기관에 위치한 미주신경은 외부 자극으로 생리반응이 발생되면 구심성 신경로(afference pathway)를 통해 감각 정보를 대뇌로 전달한다. 이 후 대뇌는 감각 정보를 판단하여 원심성 신경로(efference pathway)를 통해 주요 기관에 명령을 내려 자율신경 반응들을 조절한다. 이러한 메커니즘을 통해 심장 정보는 호흡률과 호흡 패턴에 영향을 주고 호흡 정보는 심박 수와 심박 패턴에 영향을 주어 서로 동기화 현상을 보인다.

심장과 호흡은 자율신경계의 반응에 영향을 받는데 이를 측정하는 지표로, 심장은 HRV (heart rate variability) spectrum의 LF와 HF를 통해 자율신경계의 활성도를 측정한다. LF는 부교감 신경 활성도를 나타내며 HF는 교감 신경 활성도를 나타낸다(Malliani et al., 1991; Kamath & Fallen, 1992). 호흡은 들숨과 날숨을 통해 자율신경계 활성도를 측정하는데 들숨은 교감 신경 활성도를 나타내며 날숨은 부교감 신경 활성도를 나타낸다(Saul, 1990; Yasuma & Hayano, 2004). 따라서 본 연구는 자율신경계와 밀접한 관련이 있는 감성을 심장과 호흡의 연결성을 통해 인식하고자 한다.

3. 연구방법

3.1. 실험 참가자

본 연구에 참여한 피험자는 18명(남 10명, 평균나이 24.72 ± 2.47 세)이었으며 자율신경계의 병력이나 가족력이 없는 사람을 대상으로 하였다. 실험에 참여하기 12시간 전부터 자율신경계에 영향을 줄 수 있는 카페인, 음주, 흡연 등을 제한하였고, 충분한 수면을 요구해 피로도를 낮추었다. 자발적 의지로 실험에 참여한다는 피험자 동의서를 받았다. 또한, 실험 참여도를 높이기 위해 소정의 보상을 지급하였다.

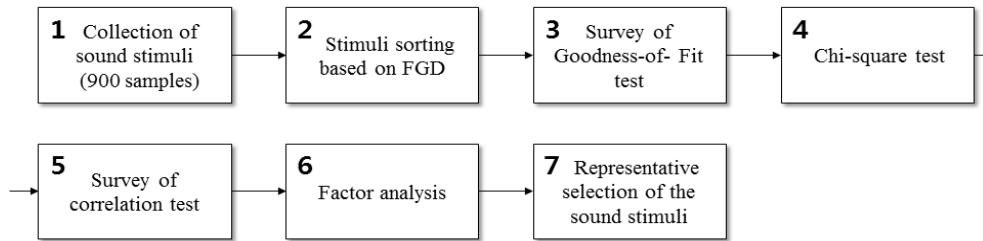


Fig. 1. Selection process of sound stimuli

3.2. 자극 구성

Russell의 차원감성이론에 의거하여 arousal, relaxation, negative, positive를 목표 감성으로 선정하였다. 목표 감성을 유발하기 위한 소리 자극은 Fig. 1과 같은 과정으로 선정하였다.

① 영화, 드라마, 광고 등과 같은 매체를 통해 음성이 포함되지 않은 약 900 여개의 소리를 수집하였다. ② 소리 자극은 FGD (Focus Group Discussion)를 통해 목표 감성인 arousal, relaxation, negative, positive에 가장 적합한 10개를 선정해 그룹화 하였다. ③ 150명(남 75명, 평균나이 27.36 ± 1.66세)의 피험자를 대상으로 적합성 검증 설문을 진행하였다. ④ 카이스퀘어 검정 분석 결과, arousal은 6개, relaxation은 6개, negatives는 4개, positive는 8개의 소리 자극이 적합한 것으로 확인되었다. ⑤ 150명(남 75명, 평균나이 27.36 ± 1.66세)의 피험자를 대상으로 리퀴트 7점 척도로 구성된 상관관계 설문을 진행하였다. ⑥ 요인분석을 통해 군집화와 체계화를 하였고, ⑦ arousal, relaxation, negative, positive의 대표 소리 자극을 선정하였다.

3.3. 실험 절차

실험은 센서 부착, 태스크 설명 및 사전테스트, 태스크 수행, 센서 제거 순으로 진행하였다. 태스크는 제시되는 소리 자극을 집중하여 듣는 것으로, arousal, relaxation, negative, positive의 각 소리 자극은 6분씩 진행하였다. 초기 3분은 피험자별 생체신호 레퍼런스 측정을 위한 구간으로 설정하였고, 이후 3분은 피험자에게 소리 자극에 집중하도록 요청하여 목표 감성

이 유발될 수 있도록 하였다. 소리 자극은 한 번씩 제시되었으며 무작위로 선정하여 순서효과를 제거하였다. 자세한 실험 절차는 Fig. 2와 같다.

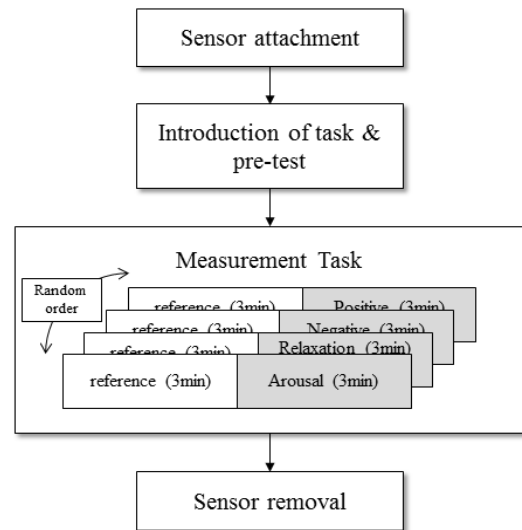


Fig. 2. Experimental procedure

3.4. 데이터 수집 및 신호처리

심전도(ECG, electrocardiogram)는 표준사지유도법 (Lead I)에 따라 센서를 부착하고 측정하였다. 호흡(RSP, respiration)은 벨트 타입의 센서를 피험자 가슴에 착용하여 측정하였다. 심전도와 호흡 신호는 ECG100C, RSP100C amplifier (BIOPAC Systems Inc., USA)를 통해 증폭하고, NI-DAQ-Pad9205 (National Instrument Inc., USA)로 디지털화하여 500 Hz로 수집하였다. 수집된 심전도와 호흡 신호는 LabVIEW 2010 (National Instrument Inc., USA) 소프트웨어를 통해 신호처리하였다. 자세한 실험 환경은 Fig. 3과 같다.

심전도는 peak detection algorithm을 통해 R-peak을 검출하였고, R-peak들 간의 차이를 통해 RRI

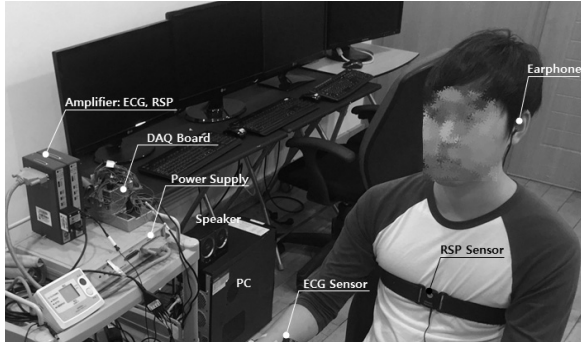


Fig. 3. Experimental environment

(R-peak to R-peak interval)를 계산하였다. RRI는 FFT (fast fourier transform) 분석을 통해 HRV (heart rate variability) spectrum을 추출하였고, spectrum 대역은 VLF (very low frequency, 0.0033 - 0.04 Hz), LF (low frequency, 0.04 - 0.15 Hz), HF (high frequency, 0.15 - 0.4 Hz)로 구분되며, TF (total frequency, 0.0033 - 0.4 Hz)로 나눠 각각의 비율을 구하였다.

호흡은 peak detection algorithm을 통해 positive peak 과 negative peak을 검출하였다. 검출된 negative peak과

이웃한 positive peak 사이를 들숨 간격(T_i , inspiratory time)으로 positive peak과 이웃한 negative peak 사이를 날숨 간격(T_e , expiratory time)으로 저장하였다. T_i 와 T_e 은 각각 FFT 분석을 통해 IRV (inspiration rate variability) spectrum과 ERV (expiration rate variability) spectrum을 추출하였고, spectrum 대역은 HRV spectrum 대역과 동일하게 적용하였다. IRV spectrum의 VLF와 LF 대역과 ERV spectrum의 HF 대역을 연결하여 BRV (breathing rate variability) spectrum을 생성하였다. BRV spectrum 생성 과정과 심전도와 호흡의 신호 처리 과정은 Fig. 4, Fig. 5와 같다.

3.5. 통계분석

감성에 따른 심전도와 호흡 스펙트럼의 LF대역과 HF대역의 동기화 차이는 정규성 검증을 만족하였다. 일원배치분산분석(One-way ANOVA)를 통해 통계적 유의성을 검증하였고, 사후 검증은 Tukey 검증으로 분석하였다. 본페로니 교정(Bonferroni correction)을

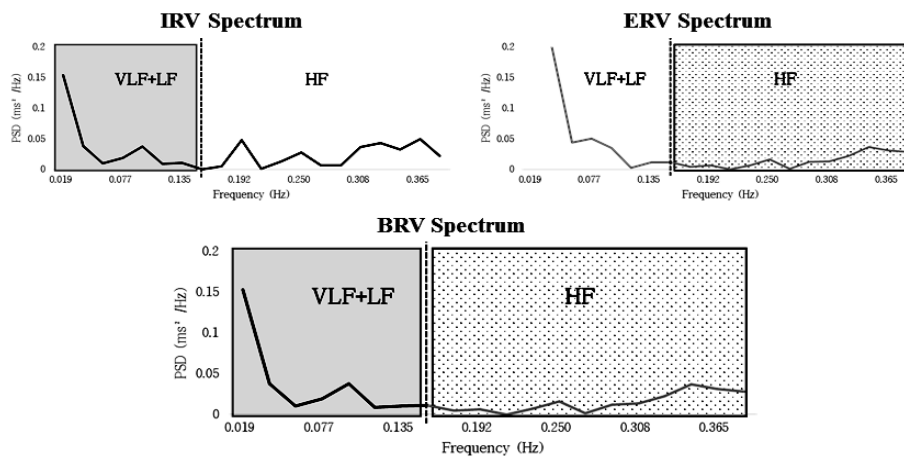


Fig. 4. BRV spectrum process

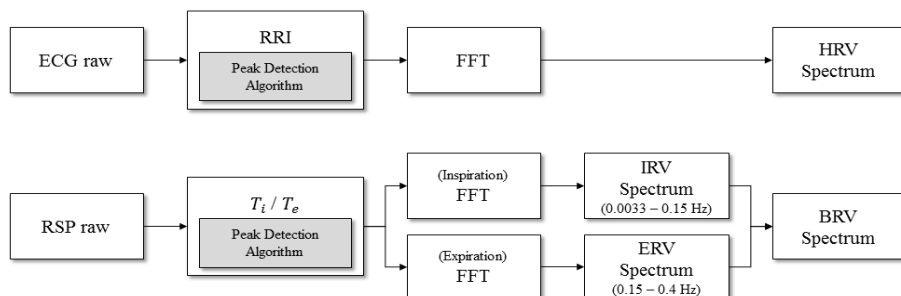


Fig. 5. Signal processing of ECG and RSP

적용하여 통계적 유의 수준을 0.025($\alpha = 0.05/2$)로 재설정하여 다중비교(multiple comparison) 문제를 해결하였다. 실제적 유의성 검증을 위해 사용한 효과크기는 η_p^2 (partial eta-squared)와 d (cohen's d)로 계산하였다. 모든 통계 분석은 SPSS 21(IBM, USA)을 사용해 분석하였다.

4. 연구결과

4.1. 스펙트럼분석 결과

본 연구는 arousal, relaxation, negative, positive 4 가지 감성에 따른 HRV spectrum과 BRV spectrum의

LF 대역과 HF 대역의 동기화 결과를 통해 분석을 진행하였다. 동기화는 두 스펙트럼 신호간의 상관관계가 아닌 스펙트럼 대역 파워량 차이의 절댓값을 통해 계산하였다. 자세한 결과는 Table 1과 같다.

4.2. 통계분석 결과

일원배치분산분석을 통해 arousal, relaxation, negative, positive 4 가지 감성에 따른 HRV spectrum과 BRV spectrum의 LF 대역과 HF 대역의 동기화 차이에서 통계적으로 유의미한 결과를 확인하였다(HF 대역의 동기화: $F(3, 68) = 3.605, p = 0.018, \eta_p^2 = 0.1372$, LF 대역의 동기화: $F(3, 68) = 5.075, p = 0.003, \eta_p^2 = 0.1823$). 일원 배치분산 결과는 Table 2와 같다.

Table 1. Synchronization result of HRV spectrum and BRV spectrum

HRV-BRV synchronization								
Subject	Arousal		Relaxation		Negative		Positive	
	LF	HF	LF	HF	LF	HF	LF	HF
S1	0.101	0.360	0.028	0.139	0.140	0.068	0.281	0.031
S2	0.078	0.120	0.104	0.168	0.020	0.214	0.073	0.273
S3	0.188	0.208	0.069	0.016	0.100	0.445	0.056	0.206
S4	0.346	0.050	0.283	0.002	0.099	0.414	0.136	0.036
S5	0.200	0.346	0.030	0.020	0.118	0.274	0.309	0.203
S6	0.187	0.475	0.276	0.272	0.132	0.111	0.223	0.142
S7	0.068	0.667	0.021	0.262	0.060	0.204	0.104	0.142
S8	0.055	0.145	0.033	0.055	0.037	0.020	0.054	0.156
S9	0.359	0.163	0.049	0.227	0.027	0.144	0.321	0.380
S10	0.154	0.482	0.278	0.255	0.233	0.072	0.173	0.055
S11	0.359	0.224	0.133	0.099	0.023	0.043	0.116	0.588
S12	0.136	0.016	0.089	0.003	0.003	0.330	0.155	0.250
S13	0.058	0.169	0.081	0.170	0.080	0.389	0.403	0.143
S14	0.233	0.385	0.274	0.072	0.116	0.315	0.036	0.284
S15	0.065	0.266	0.100	0.064	0.064	0.317	0.411	0.067
S16	0.148	0.135	0.010	0.142	0.074	0.363	0.310	0.491
S17	0.129	0.543	0.134	0.207	0.084	0.076	0.384	0.057
S18	0.172	0.496	0.276	0.144	0.223	0.040	0.331	0.295
Mean	0.169	0.292	0.126	0.129	0.091	0.213	0.215	0.211
SD	0.101	0.186	0.103	0.092	0.064	0.145	0.130	0.156
SE	0.018	0.034	0.019	0.017	0.012	0.026	0.024	0.029

Table 2. Result of One-way ANOVA

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	p
Synchronization (HF)					
Between Groups	0.239	3	0.08	3.605	0.018
Within Groups	1.504	68	0.022		
Total	1.743	71			
Synchronization (LF)					
Between Groups	0.157	3	0.052	5.075	0.003
Within Groups	0.703	68	0.01		
Total	0.861	71			

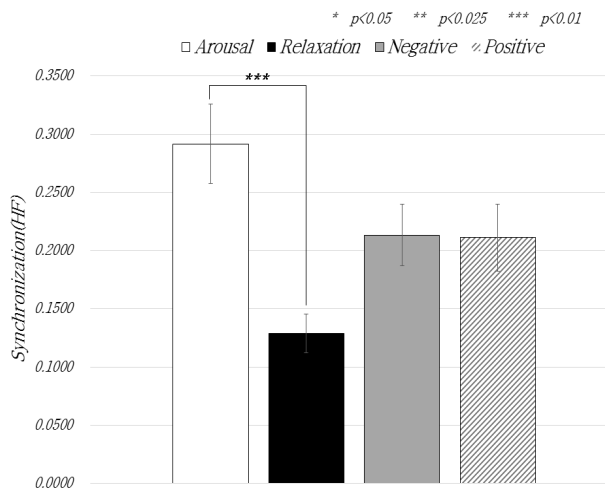


Fig. 6. Synchronization of HRV spectrum and BRV spectrum in HF band

사후 검증은 Tukey 검증을 통해 4 가지 감성간 유의성을 확인하였고, HRV spectrum과 BRV spectrum의 HF 대역의 동기화 차이 결과는 Fig. 6과 같다.

arousal은 relaxation과 통계적으로 유의미한 결과를 보였지만, negative, positive와는 통계적으로 유의미한 결과를 보이지 않았다(arousal-relaxation: $p = 0.008$, $d = 1.4274$, -negative: $p = 0.389$, $d = 0.4174$, -positive: $p = 0.365$, $d = 0.4395$). relaxation은 통계적으로 유의미한 결과를 보이지 않았다(relaxation-negative: $p = 0.334$, $d = 0.4696$, -positive: $p = 0.358$, $d = 0.4462$). negative는 통계적으로 유의미한 결과를 보이지 않았다(negative-positive: $p = 1$, $d = 0$).

감성에 따른 HRV spectrum과 BRV spectrum의 LF 대역의 동기화 차이 결과는 Fig. 7과 같다.

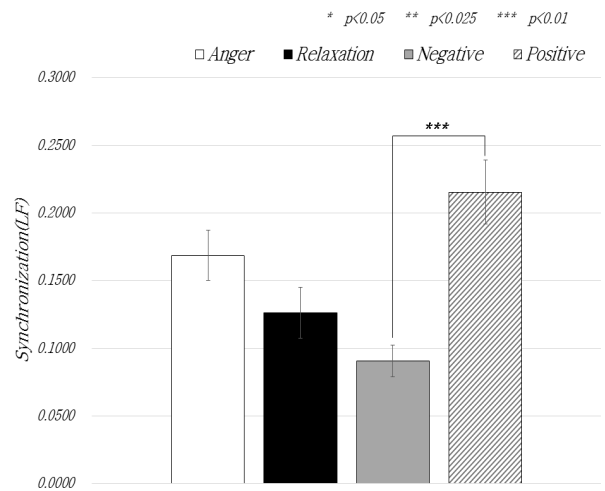


Fig. 7. Synchronization of HRV spectrum and BRV spectrum in LF band

arousal은 통계적으로 유의미한 결과를 보이지 않았다(arousal-relaxation: $p = 0.593$, $d = 0.2571$, -negative: $p = 0.103$, $d = 0.8152$, -positive: $p = 0.525$, $d = 0.3063$). relaxation도 통계적으로 유의미한 결과를 보이지 않았다(relaxation-negative: $p = 0.712$, $d = 0.1772$, -positive: $p = 0.051$, $d = 0.9945$). negative는 positive와 통계적으로 유의미한 결과를 보였다(negative-positive: $p = 0.002$, $d = 1.7377$).

5. 논의

본 연구는 사용자의 감성을 인식하는데 있어, 인체의 생리적 반응의 연결성을 고려하여 인식하고자 하

었다. 그 결과 arousal과 relaxation은 심장과 호흡의 HF 대역에서 동기화가 유의미한 결과를 확인하였고, negative와 positive는 심장과 호흡의 LF 대역에서 동기화가 유의미한 결과를 확인하였다. 따라서 심장과 호흡의 연결성을 통해 차원적 감성을 객관적이고 정량적으로 평가할 수 있음을 확인하였다. 이는 감성상태가 심장과 호흡 사이에 영향을 준다는 기존 연구결과와 일치한다(Tiller et al., 1996). 또한 다미주신경이론에 따르면 심장과 폐를 포함한 인체 내 주요 기관에 위치한 미주신경은 외부 자극으로 생리반응이 발생되면 구심성 신경로를 통해 감각 정보를 대뇌로 전달한다. 이 후 대뇌는 감각 정보를 판단하여 원심성 신경로를 통해 주요 기관에 명령을 내려 자율신경 반응들을 조절하는데(Proges, 1995; McCraty et al., 2009), 이 때 심장과 호흡은 심주기(cardiac cycle)와 RSA(respiratory sinus arrhythmia)를 통해 서로 영향을 주며 동기화 현상을 보인다는 기존의 결과와 부합한 연구 결과를 확인할 수 있었다(Katona & Jih, 1975; Hirsch & Bishop, 1981; Glass & Shrier, 1991; McCraty et al., 2009).

6. 결론

감성 ICT 기술이 주목받으면서 내현적 또는 외현적으로 발현되는 사용자의 감성 변화를 정확하게 인식하고자 하는 감성 인식 기술에 대한 다양한 연구가 진행되고 있다. 하지만 대부분의 연구가 감성 변화에 따른 생리 반응의 패턴을 확인하거나 분류기를 통한 감성 인식 정확도 향상을 목적으로 연구되어지고 있다.

본 연구에서는 인체의 생리적 반응의 연결성을 고려하여 심장과 호흡의 연결성을 통해 차원적 감성을 객관적이고 정량적으로 인식하고자 하였고, 통계적으로 유의미한 결과를 확인하였다. 따라서 앞으로 복잡한 원인으로 발현되는 감성을 인식하는데 생리적 반응들의 연결성 변수의 활용도가 높을 것으로 기대된다. 하지만 본 연구는 단조로운 태스크라는 제한적 환경에서 연구되었고 감성 인식에 활용되는 심장과 호흡의 HF 대역과 LF 대역의 동기화 차이 파라미터에 대한 해석이 미비하다는 한계점이 있다. 이는 추후 연구를 통해 검증하고 확인할 예정이다.

REFERENCES

- Ahn, S., Whang, M., Kim, D. K., Kim, J., & Park, S. (2012). Real-time emotion recognition technology using individualization process emotional technology. *Science of Emotion & Sensibility*, 15(1), 133-140.
- Andreassi, J. L. (2013). *Psychophysiology: Human Behavior & Physiological Response*. Psychology Press.
- Castellano, G., Kessous, L., & Caridakis, G. (2008). Emotion recognition through multiple modalities: face, body gesture, speech. *Affect and Emotion in Human-Computer Interaction*, 92-103. DOI: 10.1007/978-3-540-85099-1
- Cowie, R., & Douglas-Cowie, E. (1996). Automatic statistical analysis of the signal and prosodic signs of emotion in speech. In *Spoken Language Fourth International Conference*, 3, 1989-1992. DOI: 10.1109/ICSLP.1996.608027
- Darwin, C. (1998). *The expression of the emotions in man and animals*. USA: Oxford University Press.
- Ekman, P., & Friesen, W. V. (1977). *Facial action coding system: A Technique for the Measurement of Facial Movement*. Consulting Psychologists Press, Palo Alto.
- Glass, L., & Shrier, A. (1991). Low-dimensional dynamics in the heart. In *Theory of Heart*, 289-312. DOI: 10.1007/978-1-4612-3118-9_12
- Gross, J. J., Fredrickson, B. L., & Levenson, R. W. (1994). The psychophysiology of crying. *Psychophysiology*, 31(5), 460-468. doi: 10.1111/j.1469-8986.1994.tb01049.x
- Gunes, H., & Piccardi, M. (2007). Bi-modal emotion recognition from expressive face and body gestures. *Journal of Network and Computer Applications*, 30(4), 1334-1345. DOI: 10.1016/j.jnca.2006.09.007
- Hirsch, J. A., & Bishop, B. (1981). Respiratory sinus arrhythmia in humans: how breathing pattern modulates heart rate. *American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology*, 241(4), 620-629.
- Ioannou, S. V., Raouzaïou, A. T., Tzouvaras, V. A.,

- Mailis, T. P., Karpouzis, K. C., & Kollias, S. D. (2005). Emotion recognition through facial expression analysis based on a neurofuzzy network. *Neural Networks*, 18(4), 423-435. DOI: 10.1016/j.neunet.2005.03.004
- Kamath, M. V., & Fallen, E. L. (1992). Power spectral analysis of heart rate variability: a noninvasive signature of cardiac autonomic function. *Critical Reviews in Biomedical Engineering*, 21(3), 245-311.
- Kang, S. A., & Cho, S. (2013). Economic impact of emotional ICT industry on Korean economy using input-output analysis (감성 ICT 산업의 경제적 파급효과 분석). *Korean Industrial Economic Association*, 26(4), 1739-1764.
- Katona, P. G., & Jih, F. (1975). Respiratory sinus arrhythmia: noninvasive measure of parasympathetic cardiac control. *Journal of Applied Physiology*, 39(5), 801-805.
- Khalifa, S., Roy, M., Rainville, P., Dalla Bella, S., & Peretz, I. (2008). Role of tempo entrainment in psychophysiological differentiation of happy and sad music?. *International Journal of Psychophysiology*, 68(1), 17-26. DOI: 10.1016/j.ijpsycho.2007.12.001
- Kwon, O. W., Chan, K., Hao, J., & Lee, T. W. (2003). Emotion recognition by speech signals. In *Eighth European Conference on Speech Communication and Technology*.
- Lee, Y. J., & Youn, I. (2015). Emotion recognition technology for Human-machine interface (인간-기계 인터페이스를 위한 감성인식 기술). *The Korean Society of Mechanical Engineers*, 55(3), 42-46.
- Levenson, R. W. (1992). Autonomic nervous system differences among emotions. *Psychological Science*, 3(1), 23-27. DOI: 10.1111/j.1467-9280.1992.tb00251.x
- Lieberman, P., & Michaels, S. B. (1962). Some aspects of fundamental frequency and envelope amplitude as related to the emotional content of speech. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 34(7), 922-927. DOI: 10.1121/1.1918222
- Malliani, A., Pagani, M., Lombardi, F., & Cerutti, S. (1991). Cardiovascular neural regulation explored in the frequency domain. *Circulation*, 84(2), 482-492. DOI: 10.1161/01.CIR.84.2.482
- McCraty, R., Atkinson, M., Tomasino, D., & Bradley, R. T. (2009). The coherent heart: heart-brain interactions, psychophysiological coherence, and the emergence of system-wide order. *Integral Review*, 5(2), 10-115.
- Nyklíček, I., Thayer, J. F., & Van Doornen, L. J. (1997). Cardiorespiratory differentiation of musically-induced emotions. *Journal of Psychophysiology*, 11(4), 304-321.
- Porges, S. W. (1995). Orienting in a defensive world: Mammalian modifications of our evolutionary heritage. A polyvagal theory. *Psychophysiology*, 32(4), 301-318. DOI: 10.1111/j.1469-8986.1995.tb01213.x
- Prkachin, K. M., Williams-Avery, R. M., Zwaal, C., & Mills, D. E. (1999). Cardiovascular changes during induced emotion: An application of Lang's theory of emotional imagery. *Journal of Psychosomatic Research*, 47(3), 255-267. DOI: 10.1016/S0022-3999(99)00036-7
- Rainville, P., Bechara, A., Naqvi, N., & Damasio, A. R. (2006). Basic emotions are associated with distinct patterns of cardiorespiratory activity. *International journal of psychophysiology*, 61(1), 5-18. DOI: 10.1016/j.ijpsycho.2005.10.024
- Rottenberg, J., Wilhelm, F. H., Gross, J. J., & Gotlib, I. H. (2003). Vagal rebound during resolution of tearful crying among depressed and nondepressed individuals. *Psychophysiology*, 40(1), 1-6. DOI: 10.1111/1469-8986.00001
- Saul, J. P. (1990). Beat-to-beat variations of heart rate reflect modulation of cardiac autonomic outflow. *Physiology*, 5(1), 32-37.
- Tiller, W. A., McCraty, R., & Atkinson, M. (1996). Cardiac coherence: A new, noninvasive measure of autonomic nervous system order. *Alternative Therapies in Health and Medicine*, 2(1), 52-65.
- Yasuma, F., & Hayano, J. I. (2004). Respiratory sinus arrhythmia: why does the heartbeat synchronize with respiratory rhythm?. *Chest Journal*, 125(2), 683-690. DOI: 10.1378/chest.125.2.683
- Yoon, H. S., Han, Y. J., & Hahn, H. S. (2009). Real-time recognition system of facial expressions

using principal component of Gabor-wavelet features. *Journal of Korean Institute of Intelligent Systems*, 19(6), 821-827. DOI: 10.5391/JKIIS.2009.19.6.821

Zeng, Z., Pantic, M., Roisman, G., & Huang, T. S. (2009). A survey of affect recognition methods: Audio, visual, and spontaneous expressions. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 31(1), 39-58. DOI: 10.1109/TPAMI.2008.52

원고접수: 2016.09.08

수정접수: 2017.05.23

게재확정: 2017.06.15