

놀람 자극에 대한 심혈관 반응*

Cardiovascular response to surprise stimulus

엄진섭** · 박혜준** · 노지혜** · 손진훈**†

Jin-Sup Eom** · Hye-Jun Park** · Ji-Hye Noh** · Jin-Hun Sohn**†

충남대학교 심리학과/뇌과학연구소**

Department of Psychology, Brain Research Institute, Chungnam National University**

Abstract

Basic emotions such as happiness, sadness, anger, fear, and disgust have been widely used to investigate emotion-specific autonomic nervous system activity in many studies. On the contrary, surprise emotion, Suggested also as one of the basic emotions suggested by Ekman et al. (1983), has been least investigated. The purpose of this study was to provide a description of cardiovascular responses on surprise stimulus using electrocardiograph (ECG) and photoplethysmograph (PPG). ECG and PPG were recorded from 76 undergraduate students, as they were exposed to a visuo-acoustic surprise stimulus. Heart rate (HR), standard deviation of R-R interval (SD-RR), root mean square of successive R-R interval difference (RMSSD-RR), respiratory sinus arrhythmia (RSA), finger blood volume pulse amplitude (FBVPA), and finger pulse transit time (FPTT) were calculated before and after the stimulus presentation. Results show significant increase in HR, SD-RR, and RMSSD-RR, decreased FBVPA, and shortened FPTT. Evidence suggests that surprise emotion can be characterized by vasoconstriction and accelerated heart rate, sympathetic activation, and increased heart rate variability, parasympathetic activation. These results can be useful in developing an emotion theory, or profiling surprise-specific physiological responses, as well as establishing the basis for emotion recognition system in human-computer interaction.

Keywords : emotion, surprise, cardiovascular response, heart rate, pulse transit time

요약

여러 연구자들이 정서특정적 자율신경계 활동을 밝히기 위하여 행복, 슬픔, 분노, 공포 및 혐오를 포함한 기본 정서들을 사용하여왔지만, Ekman 등(1983)의 기본정서들 중 놀람 정서에 대한 연구는 많지 않다. 본 연구의 목적은 ECG와 PPG를 이용하여 놀람 자극에 대한 심혈관 반응을 밝히는 것이다. 76명의 대학생에게 놀람자극을 제시하기 전과 후에 ECG와 PPG를 기록하였으며, ECG와 PPG 신호로부터 심박률(HR), R-R 간격의 표준편차(SD-RR), 연속된 R-R 간격 차이의 제곱평균제곱근(RMSSD-RR), 호흡성 부정맥(RSA), 손가락 혈류량 파형의 진폭(FBVPA), 손가락 맥과 전달시간(FPTT)을 산출하였다. HR과 SD-RR, RMSSD-RR은 놀람자극 제시 전에 비하여 놀람자극이 제시된 후에 유의하게 증가하였으며, FBVPA는 유의하게 감소하였고, FPTT는 유의하게 짧아졌다. 놀람 자극은 말초혈관을 수축시키고, 심박률을 증가시키는 교감신경계 반응특성을 가지는 것으로 볼 수 있으며, 심박률 변산성을 증가시키는 부교감신경계도 동시에 활성화될 가능성이 있는 것으로 나타

* 이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 휴먼인지환경사업본부-신기술융합형 성장동력사업의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2010K001129)

† 교신저자 : 손진훈(충남대학교 사회과학대학 심리학과/뇌과학 연구소)

E-mail : jhsohn@cnu.ac.kr

TEL : 042-821-6369

FAX : 042-821-8875

났다. 이러한 연구 결과는 정서이론의 발전과, 인간정서를 탐지하는 컴퓨터 시스템의 기초를 확립하는데 기여하는 바가 있을 것이다.

주제어 : 정서, 놀람, 심혈관 반응, 심박률, 맥파전달시간

1. 서론

인간 정서는 의사결정과 행동방식에 중요한 영향을 미치기 때문에(Bechara, Damasio, & Damasio, 2000; Lerner & Keltner, 2000), 인간 정서를 이해하는 일은 인간의 행동을 이해하는데 도움을 준다. 정서를 이해하는 방법 중 한 가지는 자율신경계 활동을 관찰하는 것이다. 정서와 자율신경계 활동 간에 관계성이 존재하지 않는다고 주장하는 학자들이 있기는 하지만(Barrett, 2006), 많은 사람들은 정서와 생리적 반응이 밀접한 관련성을 가지는 것으로 가정하고 있다(Ax, 1953; Kreibig, 2010). 인간 정서와 자율신경계 반응 간의 관계를 밝히는 일은, 인간의 행동을 이해하고 설명하는데 사용되는 정서 이론의 개발과 검증에서부터 인간-컴퓨터 혹은 인간-기계 상호작용 방법의 개발에 이르기까지 폭넓은 영향력을 가질 것이다.

지난 50여년간 꾸준히 정서 특정적 자율신경계 반응을 확인하려는 시도가 계속되어왔다(Alaoui-Ismaili, Rada, Dittmar, & Vernet-Maury, 1997; Ax, 1953; Boiten, 1996; Funkenstein, 1955; Shinha & Parsons, 1996; Stemmler, 2004). 정서 관련 연구들은 주로 기본 정서에 대한 자율신경계 반응을 확인하고자 하였다. 기본 정서는 다른 정서들에 비해서 생리적인 속성을 가지고 있으며(Ekman, Levenson, & Friesen, 1983), 범문화적인 표현양식을 가지는 것으로 가정되므로(Sauter, Eisner, Ekman, & Scott, 2010), 다른 정서들보다 인간을 이해하는데 더 큰 도움이 되기 때문이다. 또한 기본 정서는 자극이 있을 후 시간적으로 빨리 일어나며, 비교적 짧은 시간동안 존재하는 특징을 가진다(Alaoui-Ismaili, 1997). Ekman(1992)은 얼굴표정연구를 통하여 기본정서가 기쁨(happiness), 슬픔(sadness), 분노(anger), 공포(fear), 혐오(disgust) 및 놀람(surprise)의 여섯 가지로 구분하였으며, 많은 연구자들이 이와 유사한 기본 정서를 사용하고 있다(Kanade, Cohn, & Tian, 2000; Palomba, Sarlo, & Mini, 2000; Picard, Vyzas, & Healey, 2001; Stephens, Christie, & Friedman, 2010).

정서와 자율신경계 활동 간의 관련성에 대한 134개

실험 논문을 검토한 Kreibig(2010)에 따르면, ‘기쁨’은 미주신경의 위축에 의해 심장활동이 증가하고, 혈관이 확장되는 특징을 가지는데, 이러한 반응 패턴은 α 와 β -아드레날린성(adrenergic) 영향은 감소하고, 콜린성(cholinergic) 영향은 증가하는 교감신경계 활성화 상태로 보았다. ‘슬픔’에 대한 연구들은 두 가지 다소 상반된 반응패턴을 보이는 것으로 요약하였는데, 한 가지는 심혈관에 대한 교감신경계의 활성화 패턴이며, 다른 한 가지는 교감신경계가 위축되는 패턴이다. ‘분노’는 교감신경계 활성화와 부교감신경계 억제의 양상을 보이는데, 심박률과 혈압이 상승하며 심박률 변산은 감소하는 것으로 결론지었다. ‘공포’는 분노와 비슷한 자율신경계 양향을 보이는데, 교감신경계의 활성화와 미주신경이 비활성화되는 특징을 가진다. ‘오염’과 관련된 ‘혐오’는 심박률의 증가와 심박률 변산의 증가와 관련이 있고, ‘절단’과 관련된 ‘혐오’는 심박률의 감소와 관련이 있으며, 두 경우 모두에 혈압은 증가하는 것으로 나타났다. 앞서 언급한 다섯 가지 기본정서와는 달리, Kreibig(2010)는 ‘놀람’ 정서에 대하여 관련된 연구의 수가 적어서 어떤 결론을 내리기 어렵다고 하였다.

‘놀람’ 정서와 자율신경계 활동 간의 관련성을 연구한 논문들이 소수 있다. 이 연구논문 중 일부는 ‘놀람’ 정서와 자율신경계 활동간 관련성을 언급하지 않은 채, 자율신경계 활동을 이용한 정서분류에 관심을 가지는 것이었으며(Nasoz, Alvarez, Lisetti, & Finkelstein, 2004; Kim, Bang, & Kim, 2004; Stephens, Christie, & Friedman, 2010), 일부는 ‘놀람’ 정서와 자율신경계 활동 간의 관련성을 구체적으로 언급한 연구논문이었다(Ekman, Levenson, & Friesen, 1983; Boiten, 1996; Collet, Vernet-Maury, Delhomme, & Dittmar, 1997; Levenson, Ekman, & Friesen, 1990; Levenson, Carstensen, Friesen, & Ekman, 1991). 표 1에 ‘놀람’ 정서와 관련된 연구결과들이 제시되어 있다. 이 연구들은 대부분 특정 정서 표정이 되도록 얼굴 근육을 조정한 후 자율신경계 반응을 관찰한 것이었으며, ‘놀람’이 ‘분노’나 ‘공포’, ‘슬픔’보다 심박률이 감소한다

표 1. 놀람 정서에 대한 자율신경계 반응 연구들의 결과

연구자	반응 유도방법	측정치	놀람 정서에 대한 결과
Ekman et al. (1983)	특정얼굴표정짓기 개인적 사건 회상	ECG finger temperature electrodermal activity	심박률이 증가하는 경향은 있지만, 심박률의 변화가 통계적으로 유의하지 않음 피부온도의 감소(변화량 적음)
Levenson et al. (1990)	특정얼굴표정짓기	ECG finger temperature electrodermal activity	심박률이 증가하는 경향은 있지만, 심박률의 변화가 통계적으로 유의하지 않음 피부온도의 증가(변화량 적음) 피부전도 수준 증가(변화량 적음)
Levenson et al. (1991)	특정얼굴표정짓기 개인적 사건 회상	ECG finger temperature electrodermal activity	심박률과 피부온도가 다른 정서와 다르지 않음
Boiten (1996)	특정얼굴표정짓기	ECG respiration	심박률이 가장 낮음
Collet et al. (1997)	정서 표현 얼굴 사진보기	skin blood Flow skin temperature respiration electrodermal activity	피부전도수준이 가장 낮음 피부온도의 증가(변화량 적음)

는 결과를 얻었다. 한 편의 연구에서는 ‘공포’나 ‘슬픔’, ‘혐오’보다 피부온도가 높다는 결과를 보고하기도 하였다(Colet 등, 1997).

‘놀람’을 제외한 나머지 기본정서(‘기쁨’, ‘슬픔’, ‘분노’, ‘공포’, ‘혐오’)에 관한 연구들이 동영상, 음악, 향, 과거회상 등 다양한 정서유발방법을 사용하여, 정서와 자율신경계 반응(심박률, 심박률 변산, 말초혈류량 등)간의 관련성을 연구하여왔다. 그러나 ‘놀람’ 정서에 관한 연구들은 주로 ‘특정얼굴표정짓기’라는 정서유발 방법을 사용하여 심박률과 같은 제한된 자율신경계 반응만을 보고하고 있다. 영화의 한 장면을 이용하여 놀람정서를 유발시키고, 다양한 자율신경계 활동을 관찰한 연구들이 몇몇 있지만(Nasoz et al., 2004; Verhoef, Lisetti, Barreto, Ortega, Zant, & Cnossen, 2009), 이 연구들에서는 자율신경계의 반응 특성을 전혀 보고하고 있지 않다.

본 연구의 주요 목적은 ‘놀람’ 정서가 유발되었을 때의 자율신경계 반응특성을 확인하는 것이다. 이를 위하여, 시청각 자극을 활용하여 실험참여자가 ‘놀람’ 정서를 느끼도록 유도하고, 심전도와 말초혈류량을 측정하여 심박률과 심박률 변화량, 말초혈류량, 맥파 전달시간 등의 자율신경계 반응 특성을 관찰하고자 한다.

‘놀람’ 정서는 두 가지로 구분될 수 있다. 한 가지는

‘놀라움(wonder)’에 가까운 것이고, 다른 한 가지는 ‘깜짝 놀람(startle)’에 가까운 것이다. 얼굴표정을 통하여 놀람 정서를 유발시킨 연구들은 ‘놀라움’에 가까운 정서를 유발한 것이며(Colet et al., 1997), 자극을 이용하여 놀람 정서를 유발시킨 연구들은 ‘깜짝 놀람’에 가까운 정서를 유발한 것이다(Nasoz et al., 2004; Verhoef et al., 2009). 본 연구에서는 시청각 자극으로 유발 가능한 ‘깜짝 놀람’에 가까운 정서에 한하여 연구하고자 하였다.

정서관련 연구에서 많이 사용하고 있는 손가락 피부온도와 피부전기반응을 본 연구에는 포함시키지 않았는데, 손가락 피부온도는 다른 측정치들에 비하여 반응 속도가 느리기 때문이었다. 새로운 자극이 제시되었을 때 피부전기반응이 발생하는 것은 자명한 일이므로, 피부전기반응은 놀람정서의 특성을 밝히는 데는 큰 도움이 되지 못할 것으로 판단하였다.

2. 방법

2.1. 실험참여자

대학생 76명이 실험에 자원하여 참여하였다. 남자 38명, 여자 38명이었으며, 평균 연령은 22.21세(범위 18~31세)였다.

2.2. 자극

‘놀람’ 정서와 ‘중립’ 정서를 유발하기 위한 자극을 개발하여 실험에 사용하였다. ‘놀람’ 자극은 세 단계로 구성된 동영상으로 제시하였다. 먼저 컴퓨터 화면에 ‘+’ 모양의 자극을 1분간 제시하여 실험참여자를 심리생리적으로 안정상태가 되도록 유도하였으며, 두번째 단계에서 움직이는 영상을 20초 동안 제시하여 실험참여자의 주의를 화면에 집중하도록 유도하였으며, 마지막 단계에서 시각 자극(놀란 얼굴사진, 번개, 깨진 유리창)과 청각 자극(비명소리, 천둥소리, 유리창 깨지는 소리, 최대 음의 크기: 77~83 dB(A))을 동시에 30초 동안 제시하여 ‘놀람’ 정서를 유발하였다(그림 1). ‘중립’ 자극에서는 ‘+’ 모양의 자극을 1분간 제시하여 실험참여자를 심리생리적으로 안정상태가 되도록 유도하였으며, 이후 12장의 의자 사진을 1분 동안 제시하여 정서적 중립 상태가 되도록 조작하였다. 본 실험에 앞서 남녀 대학생 214명을 대상으로 ‘놀람’ 자극과 ‘중립’ 자극에 대한 적합성과 효과성을 검증하였다. 적합성은 ‘놀람’ 자극이 실제로 ‘놀람’ 정서를 유발시켰는지의 여부로 판단하였는데, 참여자들에게 일차적으로 유발된 정서가 무엇인지 또 이차적으로 유발된 정서가 있다면 그것이 무엇이었는지를 질문하였다. 효과성은 유발된 정서에 대한 주관적 강도를 의미하며, 참여자들에게 유발된 정서의 강도를 7점 척도로 평가하도록 하였다. ‘놀람’ 자극에 대한 적합성 평가결과, 78.5%의 참여자들이 ‘놀람’ 자극에 대하여 일차적으로 ‘놀람’ 정서를 경험하였다고 응답하였으며, 나머지 21.5%의 참여자들 중 45.7%는 이차적으로 ‘놀람’ 정서를 경험하였다고 응답하였다. ‘놀람’ 정서연구에 사용되는 영화자극인 Capricorn One(agents burst through the door, 길이: 49초)의 적합성이 74.6%인 점을 감안하면(Gross & Levenson, 1995) 본 연구에서 사용한 ‘놀람’ 자극 역시 타당함을 알 수 있다. 효과성 평가결과 일차적으로 유발된 ‘놀람’ 정서의 효과는 평균 5.93(SD=1.30)이었으며, 이차적으로 유발된 ‘놀람’ 정서의 효과는 평균 5.43(SD=1.89)이었다. ‘중립’ 자극에 대한 적합성 평가결과, 71.2%의 참여자들이 일차적으로 ‘아무런 감정도 느끼지 못했다’ 또는 ‘지루함’이라고 응답하였으며, 나머지 28.8%의 응답자들 중 36.1%는 이차적으로 ‘지루함’이라고 응답하였다.



그림 1. 본 연구에 사용된 자극

2.3. 절차

실험은 가로 6m, 세로 7.2m의 실험실 안에 마련된 가로 3.3m, 세로 5.4m의 생리반응 측정실에서 한명씩 실시하였다. 실험참여자는 실험참가에 대한 동의서를 작성한 후 생리반응 측정실 중앙에 놓인 의자로 안내되어 앉았다. 심전도와 말초혈류량을 측정하기 위한 센서를 부착한 후 실험을 시작하였다. 영상자극은 피험자로부터 1m 앞에 놓인 LCD 모니터로 제시하였으며, 청각자극은 피험자로부터 2m 앞의 좌우에 놓인 스피커(BR 1800, Britz, USA)로 제시하였다. ‘놀람’ 조건과 ‘중립’ 조건의 제시 순서는 실험참여자별로 역균형화 시켰다. 한 조건을 제시한 후, 어떤 정서를 느꼈는지와 얼마나 강한 정서를 느꼈는지(7점 척도)를 질문하였다. 조건과 조건 간에는 3분 이상의 시간을 두어 첫 자극의 이월효과를 최소화하였다.

2.4. 측정

심전도는 오른쪽 손목과 왼쪽 발목, 오른쪽 발목에 일회용 전극(meditrace 100, Kendall_LTP, USA)을 부착하였으며, ECG100C(Biopac, USA)를 이용하여 신호를 증폭하였다. 말초혈류량은 오른손 엄지손가락에 광혈류량 측정 센서(TSD200, Biopac, USA)를 부착한 후 PPG100C(Biopac, USA)를 이용하여 신호를 증폭하였다. 증폭된 신호는 MP150(Biopac, USA) A/D 변환기와 AcqKnowledge v4.1(Biopac, USA) 프로그램을 이용하여 컴퓨터에 저장하였다.

2.5. 분석

놀람 조건에서 놀람 자극이 제시되었을 때의 심혈관 반응을 파악하기 위하여, 놀람자극이 제시된 지 5초 후부터 20초 동안 심혈관 반응 특성치들을 산출하였다. 놀람자극 제시 5초 후부터 심혈관 반응을 관찰한 것은 놀람자극이 제시된 직후에는 자율신경계 활동패턴이 변화하는 중이기 때문이었다. 놀람 자극이 제시되었을 때의 심혈관 반응 특성치들을 놀람조건에서 응시점만 제시되었을 때의 심혈관 반응 특성치 및 놀람조건에서 주의자극이 제시되었을 때의 심혈관 반응특성치와 비교하여 놀람자극 제시 전 후의 변화를 파악하였다. 또한 놀람 자극이 제시되었을 때의 심혈관 반응과 중립 자극이 제시되었을 때의 심혈관 반응을 비교하기 위하여, 놀람자극의 심혈관 반응을 추출한 시점인 85~105초에 해당하는 중립자극의 심혈관 반응을 추출하였다.

놀람 조건에서 응시점이 제시된 지 40초부터 20초 동안 심혈관 반응 특성치들을 산출하였으며, 이 구간을 ‘첫 번째 구간’으로 명명하였다. 놀람 조건에서 주의자극이 제시된 직후부터 20초 동안을 ‘두 번째 구간’으로 명명하였으며, 놀람자극이 제시된 지 5초가 지난 후부터 20초 동안을 ‘세 번째 구간’으로 명명하였으며, 중립 조건도 동일한 시간대에 세 구간을 설정하였다.

심전도와 말초혈류량을 이용하여 중립 조건과 놀람 조건의 세 구간 각각에서 심박률(heart rate: HR), 심박률 변산(standard deviation of R-R interval: SD-RR, root mean square of successive R-R interval difference: RMSSD-RR, respiratory sinus arrhythmia: RSA), 손가락 혈류량 파형의 진폭(finger blood volume pulse amplitude: FBVPA), 손가락 맥파전달시간(finger pulse transit time: FPTT)을 산출하였다(그림 2). HR은 심전도에서 R-파를 찾은 후 R-R 간격을 이용하여 분당 심장 박동수를 계산하였다. 심박률 변산중 SD-RRI는 R-R 간격들의 표준편차(standard deviation)를 계산한 것이며, RMSSD-RRI는 인접한 RR 간격 간의 차이값에 대한 제곱평균 제곱근(root mean square)을 계산한 것이다. RSA는 배기(expiration) 동안 측정된 가장 큰 R-R 간격과 흡기(inspiration) 동안 측정된 가장 낮은 R-R 간격 간의 차이값을 평균한 것이다. FBVPA는 각 맥파의 최고값에서 최저값을 뺀 값들을 평균한 것이다. FPTT는 맥파가 대동맥관으로부터 손가락까지 전달되는 시간을 의

미하는데, 본 연구에서는 ECG의 R 파와 PPG 신호의 최대 일차 미분점(maximum first derivative point)간의 시간간격으로 계산하였다(Kim, Chee, Park, Choi, & Park, 2006).

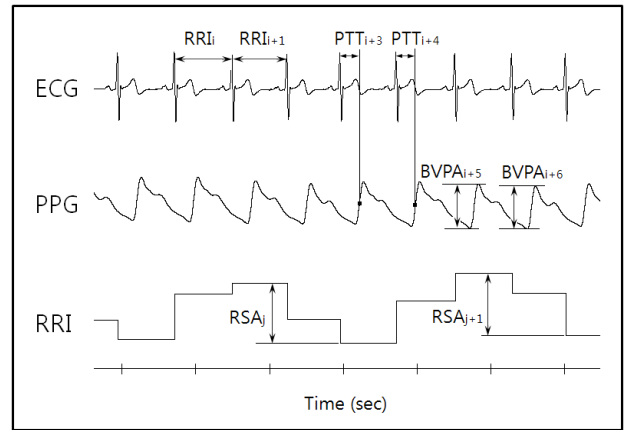


그림 2. ECG와 PPG로부터 추출한 특성들

3. 결과

3.1. 실험적 조작의 확인

‘중립’ 자극을 제시한 후에 어떤 정서를 느꼈는지 개방형 질문지를 통하여 질문하였다. 96.1%(73명)의 응답자들은 ‘아무런 정서도 느끼지 못함’ 또는 ‘지루함’이라고 응답하였으며, 1.3%(1명)은 ‘기쁨’, 2.6%(2명)은 ‘흥미’라고 응답하였다. ‘놀람’ 자극에 대한 질문에는 94.7%(72명)의 응답자들이 ‘놀람’이라고 응답하였으며, 2.6%(2명)는 ‘혐오’, 1.3%(1명)은 ‘공포’, 1.3%(1명)은 ‘불쾌함’이라고 응답하였다. 유발된 정서가 ‘놀람’이라고 응답한 참여자들의 정서강도는 7점 만점에 평균 6.25(SD=1.02)였다.

3.2. 자극종류에 따른 심혈관 반응

심박률, 심박률 변화량, 말초혈류량, 맥파전달시간 등이 자극종류와 구간에 따라 다른지 검증하기 위하여 이원 반복측정 변량분석을 실시하였으며, 상호작용효과가 유의한 경우에는 자극종류별로 단순주효과 분석을 실시하였고 Bonferroni 교정을 사용한 쌍비교 검증을 수행하였다. 자극종류와 구간별 심혈관 특성

표 2. 자극별 심혈관 반응의 평균(표준편차)

	중립 자극			놀람 자극		
	첫 번째 구간 40~60초	두 번째 구간 60~80초	세 번째 구간 85~105초	첫 번째 구간 40~60초	두 번째 구간 60~80초	세 번째 구간 85~105초
HR (bpm)	79.40 (11.14)	79.12 (11.11)	79.33 (11.73)	79.37 ^b (11.48)	77.76 ^c (11.62)	83.25 ^a (12.80)
SD-RRI (ms)	36.50 (20.34)	36.82 ^a (17.52)	31.19 ^b (16.43)	35.55 ^b (16.31)	36.05 ^b (15.64)	51.59 ^a (21.75)
RMSSD-RRI (ms)	28.83 (17.01)	29.44 (17.59)	29.31 (19.53)	28.93 ^b (17.26)	29.50 ^b (16.78)	34.67 ^a (17.75)
RSA (ms)	59.63 (45.05)	53.23 (28.03)	51.91 (32.83)	57.55 (31.36)	52.78 (29.07)	57.10 (28.77)
FBVPA (Volts)	.18 ^a (.09)	.16 ^b (.09)	.17 (.09)	.18 ^a (.09)	.16 ^b (.09)	.11 ^c (.06)
FPTT (ms)	277.17 (23.03)	276.22 (22.48)	276.52 (23.16)	277.35 ^a (23.65)	277.43 ^a (23.28)	256.63 ^b (24.16)

abc 각 자극별로 서로 다른 첨자가 있는 구간은 평균이 유의하게 다름($p < .05$)

치의 평균과 표준편차가 표 2에 제시되어 있다.

HR에 대한 이원변량분석결과, 자극종류의 주효과는 유의하지 않았으며($F(1,75)=2.137, \eta^2=.03, p>.1$), 구간의 주효과는 유의하였으며($F(2,150)=23.432, \eta^2=.238, p<.001$), 자극종류와 구간의 상호작용효과가 유의하였다($F(2,150)=29.314, \eta^2=.281, p<.001$). 단순주효과검증을 수행한 결과, 중립 자극에 대해서는 구간별 심박률이 다르지 않았으며($F(2,150)=.229, \eta^2=.003, p>.7$), 놀람 자극에 대해서는 구간별 심박률이 유의하게 달랐다($F(2,150)=37.145, \eta^2=.331, p<.001$). 쌍비교 결과, 첫 번째 구간(안정 구간)에 비해서 두 번째 구간(주의 구간)에서 심박률이 유의하게 감소하였으며, 세 번째 구간(놀람 구간)에서는 첫 번째 구간(안정 구간)에 비해 유의하게 심박률이 증가하였다.

SD-RRI에 대한 분석결과, 자극종류의 주효과($F(1,75)=18.924, \eta^2=.201, p<.001$), 구간의 주효과($F(2,150)=6.754, \eta^2=.083, p<.01$), 자극종류와 구간의 상호작용효과($F(2,150)=34.747, \eta^2=.317, p<.001$)가 모두 유의하였다. 단순주효과 검증을 수행한 결과, 중립 자극에 대해서 구간별 SD-RRI가 다른 것으로 나타났는데($F(2,150)=4.774, \eta^2=.060, p<.05$), 두 번째 구간의 SD-RRI가 세 번째 구간의 SD-RRI보다 유의하게 컸다. 놀람 자극에 대해서도 구간별 SD-RRI가 다른 것

으로 나타났는데($F(2,150)=30.572, \eta^2=.290, p<.001$), 세 번째 구간의 SD-RRI가 첫 번째 구간과 두 번째 구간의 SD-RRI 보다 유의하게 컸다.

RMSSD-RRI에 대한 분석결과, 자극종류의 주효과($F(1,75)=4.192, \eta^2=.053, p<.05$), 구간의 주효과($F(2,150)=5.152, \eta^2=.064, p<.05$), 자극종류와 구간의 상호작용효과($F(2,150)=6.326, \eta^2=.078, p<.01$)가 모두 유의하였다. 단순주효과 검증을 수행한 결과, 중립 자극에 대해서 구간별 RMSSD-RRI는 유의하게 다르지 않았다($F(2,150)=.130, \eta^2=.002, p>.8$). 놀람 자극에 대해서는 구간별 RMSSD-RRI가 다른 것으로 나타났는데($F(2,150)=9.906, \eta^2=.117, p<.001$), 세 번째 구간의 RMSSD-RRI가 첫 번째 구간과 두 번째 구간의 RMSSD-RRI 보다 유의하게 컸다.

RSA에 대한 분석결과, 자극종류의 주효과($F(1,75)=.154, \eta^2=.002, p>.6$), 구간의 주효과($F(2,150)=2.957, \eta^2=.038, p>.05$), 자극종류와 구간의 상호작용효과($F(2,150)=1.379, \eta^2=.018, p>.2$)가 모두 유의하지 않았다.

FBVPA에 대한 이원변량분석결과, 자극종류의 주효과($F(1,75)=6.241, \eta^2=.077, p<.05$), 구간의 주효과($F(2,150)=41.417, \eta^2=.356, p<.001$), 자극종류와 구간의 상호작용효과($F(2,150)=39.329, \eta^2=.344, p<.001$)가 모두 유의하였다. 단순주효과 검증을 수행한 결과, 중립

자극에 대해서 구간별 FBVPA가 다른 것으로 나타났는데($F(2,150)=5.055, \eta^2=.063, p<.05$), 첫 번째 구간의 FBVPA가 두 번째 구간의 FBVPA 보다 높았다. ‘놀람’ 자극에 대해서도 구간별 FBVPA가 다른 것으로 나타났는데($F(2,150)=61.642, \eta^2=.451, p<.001$), 첫 번째 구간의 FBVPA가 두 번째, 세 번째 구간의 FBVPA 보다 높았으며, 두 번째 구간의 FBVPA가 세 번째 구간의 FBVPA 보다 높았다.

FPTT에 대한 이원변량분석결과, 자극종류의 주효과($F(1,75)=28.779, \eta^2=.277, p<.001$), 구간의 주효과($F(2,150)=77.919, \eta^2=.510, p<.001$), 자극종류와 구간의 상호작용효과($F(2,150)=86.918, \eta^2=.537, p<.001$)가 모두 유의하였다. 단순주효과 검증을 수행한 결과, 중립 자극에 대해서는 구간별 FPTT가 다르지 않았다($F(2,150)=.964, \eta^2=.013, p>.3$). 놀람 자극에 대해서는 구간별 FPTT에서 차이가 있었는데($F(2,150)=95.297, \eta^2=.560, p<.001$), 세 번째 구간의 FPTT가 첫 번째 구간의 FPTT보다 유의하게 짧았다.

3.3. 주관적 자극강도에 따른 심혈관 반응

‘놀람’ 자극에 대해 실험참여자가 지각한 주관적 자극강도에 따라 심혈관 반응에 차이가 있는지 검증하였다. 주관적 자극강도의 평균(6.25점)을 기준으로 실험참여자들을 두 집단으로 구분한 후, 첫 번째 구간(안정 구간)의 심혈관 반응을 공변인으로 하고 세 번째 구간(놀람 구간)의 심혈관 반응을 종속변인으로 한 공변량분석을 실시하였다. 자율신경계 반응은 개인간의 차이가 크다는 특징을 가지는데, 이러한 개인차를 통계적으로 통제하기 위하여 공변량분석을 실시하였다.

HR에 대한 공변량분석결과 집단간 차이가 유의하였는데($F(1,69)=6.565, \eta^2=.087, p<.05$), 주관적 자극강도가 평균 이상인 집단의 HR($M=85.22$)이 평균 이하인 집단의 HR($M=81.06$)보다 높았다. SD-RRI에 대한 분석결과 집단간 차이가 유의하였는데($F(1,69)=5.601, \eta^2=.075, p<.05$), 주관적 자극강도가 평균 이상인 집단의 SD-RRI($M=57.84$)가 평균 이하인 집단의 SD-RRI($M=46.41$)보다 높았다. RMSSD-RRI와 RSA, FBVPA에 대한 분석에서는 유의한 집단간 차이가 나타나지 않았다(각각 $F(1,69)=.750, \eta^2=.011, p>.3$; $F(1,69)=.543, \eta^2=.008, p>.4$; $F(1,69)=2.296, \eta^2=.032, p>.1$). FPTT에 대한 공변량분석결과 집단간 차이가 유의하였는데

($F(1,69)=7.683, \eta^2=.100, p<.01$), 주관적 자극강도가 평균 이상인 집단의 FPTT($M=250.48$)가 평균 이하인 집단의 FPTT($M=261.44$)보다 빨랐다.

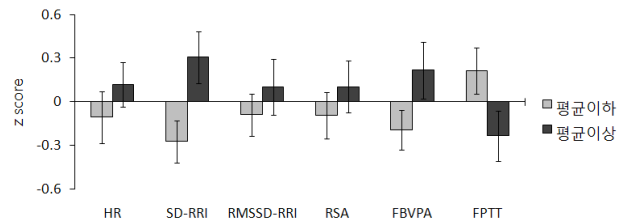


그림 3. 주관적 자극강도에 따른 심혈관 반응

3.4. 중립과 놀람 정서의 분류

정서적 ‘중립’ 상태와 ‘놀람’ 정서를 잘 구분해주는 심혈관 반응 특성치를 찾고, 나아가 여섯 가지 심혈관 반응 측정치들이 정서 ‘중립’에 비하여 ‘놀람’ 정서를 얼마나 정확하게 판별할 수 있는지 확인하기 위하여 선형판별분석을 실시하였다. 판별분석은 세 번째 구간의 특성치에서 첫 번째 구간의 특성치를 뺀 차이값을 이용하였다. 먼저, 여섯 가지 심혈관 반응 특성치 각각을 이용하여 판별분석을 수행한 결과, FPTT를 이용한 정확예측율이 78.9%로 가장 높았으며, 다음으로 FBVPA와 SD-RRI가 모두 71.7%, RMSSD-RRI가 69.1%, HR이 65.1%, RSA가 54.6%였다. 여섯 가지 심혈관 반응 특성치들을 모두 이용한 판별분석에서 정확예측율은 82.2%였다(그림 4).

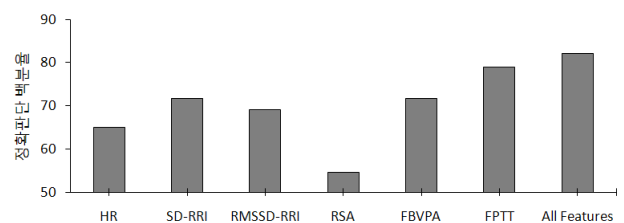


그림 4. 판별분석결과

5. 논의

정서 특정적 자율신경계 활동을 확인하기 위한 연

구들이 다수 수행되어 왔지만, Ekman(1992)의 기본 정서 중 하나인 놀람에 관한 연구는 극히 소수에 불과하며, 연구방법과 측정치도 제한되어 있다. 본 연구에서는 선행연구를 보완하여 시청각 자극으로 놀람 정서를 유발시키고, 심박률과 심박률 변화량, 말초혈류량, 맥파전달시간을 관찰하였다.

‘놀람’ 조건에서, 주의 자극이 제시되는 구간인 두 번째 구간의 HR은 안정 자극이 제시되는 첫 번째 구간의 HR보다 낮은 값을 보였다. 이러한 결과는 선행 연구들과 일치하는 것으로(Laumann, Garling, & Stormark, 2003; Richard & Casey, 1991), 주의 자극이 제시되었을 때 실험참여자들이 제시된 자극에 선택적 주의를 기울인 것으로 해석된다. 놀람 정서를 연구한 선행연구들 중 일부에서, 통계적으로 유의하지는 않았지만 HR의 증가가 관찰되었는데(Ekman 등, 1983; Levenson 등 1990) 본 연구에서는 선행연구를 넘어서는 효과가 나타났다. 놀람 시청각 자극이 제시된 직후인 세 번째 구간의 HR이 첫 번째, 두 번째 구간의 HR보다 통계적으로 유의하게 높았다. 본 연구에서 HR의 유의한 증가가 관찰된 것은 제시된 자극의 강도가 강했기 때문인 것으로 보인다. 선행연구들(Ekman 등, 1983; Levenson 등, 1990)에서는 얼굴근육으로부터 역반응에 의해 유발된 자율신경계 반응을 관찰하였기 때문에, 본 연구에서보다 자율신경계 반응이 약했던 것으로 생각된다. 중립 조건에서는 구간별로 HR의 차이가 관찰되지 않았다.

심박률 변산성 지수들 중 SD-RRI와 RMSSD-RRI는 놀람 조건의 세 번째 구간에서 유의하게 증가하였으며, RSA는 구간별 변화가 유의하지 않았다. SD-RRI, RMSSD-RRI은 미주신경 활동의 지표들인데(Task Force, 1996), 심박률 변산성이 증가하는 것은 미주신경에 의해 수행되는 부교감신경섬유에 의해 심장박동이 조절됨을 의미한다. 그러나 본 실험에서 나타난 심박률 변산성이 미주신경 활동에 의한 것이 아니라 단순히 자극에 대한 반응일 수도 있다. 놀람을 유발하는 세 번째 구간에서 시청각 자극이 두 번 제시되는데, 자극이 제시될 때마다 심박률이 변화하여, SD-RRI와 RMSSD-RRI의 값을 증가시켰을 가능성이 있다. 동일한 미주신경 활동의 지표인 RSA에서는 구간별 차이가 나타나지 않은 것이 이러한 결과해석의 가능성을 남겨두는 것이라 판단된다.

말초혈류량인 FBVPA는 놀람 조건의 두 번째 구간에서는 첫 번째 구간에 비해 감소하였으며, 세 번째

구간에서는 더욱 큰 폭으로 감소하였다. 중립 조건에서는 두 번째 구간에서는 감소하였지만 세 번째 구간에서는 다시 증가하는 경향이 있었다. 맥파전달시간인 FPTT는 놀람 조건에서 첫 번째, 두 번째 구간보다 세 번째 구간에서 유의하게 짧았다. FBVPA와 FPTT는 모두 혈관수축에 의해 나타나는 현상인데, α -아드레날린성 자극에 의한 것으로 여겨진다(McDonald, 1974).

놀람 자극에 대한 주관적 강도에 따라 HR과 SD-RRI, FPTT는 체계적으로 증감하는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 놀람 정서가 자율신경계 활성화, 구체적으로 α -아드레날린성 자극과 밀접한 비례 관계에 있다는 것을 보여주는 것이라 할 수 있다.

여섯 가지 심혈관 반응 특성치 각각을 이용하여 ‘중립’ 정서와 ‘놀람’ 정서를 구분하기 위한 선형판별분석 결과, FPTT를 이용하였을 때 정확예측율이 78.9%로 가장 높았다. 이러한 결과는 선행연구들에게 밝혀지지 않은 것이다. 선행연구들에서는 ‘놀람’ 정서의 심혈관 반응 특성치들 중 HR에 관심을 집중하고 있는데, 본 연구결과 HR보다 FPTT가 놀람 정서에 더 중요한 심혈관 반응특성치인 것으로 나타났다.

전체적으로 보았을 때, ‘놀람’에 대한 심혈관 반응은 말초혈관의 수축과 관련된 교감신경계의 활성화를 주요 특징으로 가지며, 심장박동수의 증가가 수반된다. 더불어 미주신경과 관련된 부교감신경계도 동시에 활성화될 가능성이 있는 것으로 나타났다. 교감신경계의 활성화 패턴은 ‘분노’, ‘불안’, ‘공포’와 유사한 양상을 보이며, 부교감신경계의 활성화 패턴은 ‘오염’에 의해 유발된 ‘혐오’와 유사한 양상을 보인다(Keribig, 2010).

Ekman 등(1983)과 Levenson 등(1990)이 얼굴표정을 통하여 연구한 ‘놀람’은 ‘놀라움’에 가까운 반면, 본 연구에서는 ‘깜짝 놀람’에 해당하는 ‘놀람’ 정서를 사용하였다. Ekman과 Friesen, Simons(1985)이 언급한 바와 같이 ‘깜짝 놀람’은 반사(reflex)를 포함하므로, 반사를 포함하지 않는 순수한 ‘놀람’ 정서와 자율신경계 반응 패턴을 추가로 확인할 필요가 있으며, 본 연구의 결과를 ‘놀라움’에 해당되는 상황으로 일반화시킬 수는 없을 것이다. 또한 본 연구에서 밝힌 놀람에 대한 심혈관 반응 특성은 ‘분노’, ‘불안’, ‘공포’와 유사한데, ‘놀람’과 다른 정서들 간을 구별해주는 자율신경계 반응 특성을 확인하는 작업도 필요할 것이다.

마지막으로, 본 연구의 결과는 정서특정적 자율신

경계 반응을 확인하려는 연구나 자율신경계 반응특성을 이용하여 인간 정서를 인식하려는 연구에 기초 자료로 사용될 수 있을 것이라 기대한다.

참고문헌

Alaoui-Ismaili, O., Robin, O., Rada, H., Dittmar, A., & Vernet-Maury, E. (1997). Basic emotions evoked by odorants: comparison between autonomic responses and self-evaluation. *Physiology and Behavior*, 62, 713-720.

Ax, A. F. (1953). The physiological differentiation between fear and anger in humans. *Psychosomatic Medicine*, 15, 433-442.

Barrett, L. F. (2006). Are emotions natural kinds? *Perspectives on Psychological Science*, 1, 28-58.

Bechara, A., Damasio, H., & Damasio, A. (2000). Emotion, decision making and the orbitofrontal cortex. *Cerebral Cortex*, 10, 295-307.

Boiten, F. A. (1996). Autonomic response patterns during voluntary facial action. *Psychophysiology*, 33, 123-131.

Collet, C., Vernet-Maury, E., Delhomme, G., & Dittmar, A. (1997). Autonomic nervous system response patterns specificity to basic emotions. *Journal of the Autonomic Nervous System*, 62, 45-57.

Ekman, P. (1992). An argument for basic emotions. *Cognitive Emotion*, 6, 169-200.

Ekman, P., Friesen, W. V., & Simons, R. C. (1985). Is the startle reaction an emotion? *Journal of Personality and Social Psychology*, 49, 1416-1426.

Ekman, P., Levenson, R. W., & Friesen, W. V. (1983). Autonomic nervous system activity distinguishes among emotions. *Science*, 221, 1208-1210.

Funkenstein, D. H. (1955). The psychology of fear and anger. *Scientific American*, 192, 74-80.

Gross, J. J. & Levenson, R. W. (1995). Emotion elicitation using films. *Cognition and Emotion*, 9, 87-108.

Kanade, T., Cohn, J. F., & Tian, Y. (2000). Comprehensive database for facial expression analysis. *Proceeding of the 4th IEEE International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition*, 46-53.

Kim, J. S., Chee, Y. J., Park, J. W., Choi, J. W., & Park, K. S. (2006). A new approach for non-intrusive monitoring of blood pressure on a toilet seat. *Physiological Measurement*, 27, 203-211.

Kim, K., Bang, S., & Kim, S. (2004). Emotion recognition system using short-term monitoring of physiological signals. *Medical and Biological Engineering and Computing*, 42, 419-427.

Keribig, S. D. (2010). Autonomic nervous system activity in emotion: A review. *Biological Psychology*, 84, 394-421.

Laumann, K., Garling T., & Stormark, K. M. (2003). Selective attention and heart rate responses to natural and urban environments. *Journal of Environmental Psychology*, 23, 125-134.

Lerner, J. S., & Keltner, D. (2000). Beyond valence: Toward a model of emotion-specific influences of judgment and choice. *Cognition & Emotion*, 14, 473-493.

Levenson, R. W., Ekman, P., & Friesen W. V. (1990). Voluntary facial action generates emotion-specific autonomic nervous system activity. *Psychophysiology*, 27, 363-384.

Levenson, R. W., Carstensen, L. L., Friesen, W. V., & Ekman, P. (1991). Emotion, physiology, and expression in old age. *Psychology and Aging*, 6, 28-35.

McDonald, D. A. (1974). *Blood Flow in Arteries*, Williams and Wilkins, Baltimore, MD.

Nasoz, F., Alvarez, K., Lisetti, C. L., & Finkelstein, N. (2004). Emotion recognition from physiological signals using wireless sensors for presence technologies. *Cognition, Technology and Work*, 6, 4-14.

Palomba, D., Sarlo, M., Angrilli, A., & Mini, A. (2000). Cardiac responses associated with affective processing of unpleasant film stimulus. *International Journal of Psychophysiology*, 36, 45-57.

Picard, R. W., Vyzas, E., & Healey, J. (2001). Toward machine emotional intelligence: Analysis of affective physiological state. *IEEE Transactions Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 23, 1175-1191.

- Richards, J. E. & Casey, B. J. (1991). Heart rate variability during attention phases in young infants. *Psychophysiology*, 28, 43-53.
- Sauter, D. A., Eisner, F., Ekman, P., Scott, S. K. (2010). Cross-cultural recognition of basic emotions through nonverbal emotional vocalizations. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107, 2408-2412.
- Sinha, R. & Parsons, O. A. (1996). Multivariate response patterning of fear and anger. *Cognition and Emotion*, 10, 173-198.
- Stephens, C. L., Christie, I. C., & Friedman, B. H. (2010). Autonomic specificity of basic emotions: Evidence from pattern classification and cluster analysis. *Biological Psychology*, 84, 463-473.
- Stemmler, G. (2004). Physiological processes during emotion. In: Philippot, P., Feldman, R. S. (Eds.), *The Regulation of Emotion*. Erlbaum, Mahwah, NJ, pp. 33-70.
- Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology. (1996). Heart rate variability: standards of measurement, physiological interpretation and clinical use. *Circulation*. 93, 1043-1065.
- Verhoef, T., Lisetti, C., Barreto, A., Ortega, F., Zant, T., & Cnossen, F. (2009). Bio-sensing for emotional characterization without word labels. *Human-Computer Interaction: Ambient, ubiquitous and intelligent interaction*, 13th International Conference, San Diego, CA, USA, July 19-24, proceedings. - Pt. III, p.693-702.

원고접수 : 11.03.03
수정접수 : 11.03.11
게재확정 : 11.03.17