

영상에 의해 유발된 부정적 감정 상태에 따른 전두엽 감마대역 신경동기화

김 현 · 최종두 · 최정우 · 여동훈 · 서부경 · 허성진 · 김경환

연세대학교 보건과학대학 의공학과

Frontal Gamma-band Hypersynchronization in Response to Negative Emotion Elicited by Films

Hyun Kim, Jongdoo Choi, Jeong Woo Choi, Donghoon Yeo,
Pukyeong Seo, Seongjin Her and Kyung Hwan Kim

Department of Biomedical Engineering, College of Health Sciences, Yonsei University
(Manuscript received 13 March 2018 ; revised 1 May 2018 ; accepted 18 May 2018)

Abstract: We tried to investigate the changes in cortical activities according to emotional valence states during watching video clips. We examined the neural basis of two emotional states (positive and negative) using spectral power analysis and brain functional connectivity analysis of cortical current density time-series reconstructed from high-density electroencephalograms (EEGs). Fifteen healthy participants viewed a series of thirty-two 2 min emotional video clips. Sixty-four channel EEGs were recorded. Distributed cortical sources were reconstructed using weighted minimum norm estimation. The temporal and spatial characteristics of spectral source powers showing significant differences between positive and negative emotion were examined. Also, correlations between gamma-band activities and affective valence ratings were determined. We observed the changes of cortical current density time-series according to emotional states modulated by video clip. Gamma-band activities showed significant difference between emotional states for thirty seconds at the middle and the latter half of the video clip, mainly in prefrontal area. It was also significantly anti-correlated with the self-ratings of emotional valence. In addition, the gamma-band activities in frontal and temporal areas were strongly phase-synchronized, more strongly for negative emotional states. Cortical activities in frontal and temporal areas showed high spectral power and inter-regional phase synchronization in gamma-band during negative emotional states. It is inferred that the higher amygdala activation induced by negative stimuli resulted in strong emotional effects and caused strong local and global synchronization of neural activities in gamma-band in frontal and temporal areas.

Key words: Emotion, Negativity-bias, Electroencephalograms (EEGs), Gamma-band activity (GBA), Gamma-band phase synchronization (GBPS)

I. 서 론

감정은 외부환경의 변화에 적응하는 데 효과적인 신체 상태를 만들기 위한 정신-생리적현상이다[1]. 감정은 비교적 짧은 시간동안 유지되며 이에 대한 신경계반응에 있어서 대뇌변연계가 중요하게 관여하는 것으로 알려져 있다[2]. 감정 상태를 반영하는 대뇌피질 뇌 영역은 매우 다양한 것으로 알려져 있으며 감정관련 뇌정보처리에 대한 명확한 기전은 알려져 있지 않다.

Corresponding Author : Kyung Hwan Kim
Department of Biomedical Engineering, Yonsei University ,
1, Yeonsedae-gil, Heungeop-myeon, Wonju-si, Gangwon-do,
Korea

TEL: +82-33-760-2364

E-mail: khkim0604@yonsei.ac.kr

본 연구는 국토교통부 국토교통기술촉진연구사업의 연구비지원 (18CTAP-C129722-02)에 의해 수행되었습니다.

영화 장면은 현실과 비슷한 다양한 상황을 생동적으로 나타낼 수 있으며 피험자들은 이를 시청하면서 현실에서 경험하는 것과 거의 동일한 감정을 느낄 수 있다[3-4]. 많은 연구에서 영화자극을 피험자에게 제시하여 실제와 같은 감정들을 성공적으로 유발하였다[5-7]. 또한 피험자가 영화를 시청함에 따라 감정 경험과 함께 관련 행동반응 및 생리반응 등이 함께 일어남을 확인하였다[7]. 이에 따라 본 연구에서는 영화자극을 감정을 유발하기 위한 실험 자극으로 정하였다.

영화를 이용하여 유발된 감정반응에 따른 뇌파를 관찰한 선행연구에서 세타(4-7 Hz) 및 알파(8-13 Hz) 대역 활동은 대뇌의 후두부에서, 베타(14-29 Hz) 및 감마(30-47 Hz) 대역은 전두부 및 측두부에서 긍정 및 부정적 감정 상태와의 관련성이 높은 것으로 확인되었다. 영상을 제시하는 동안 기록한 뇌파의 시간주파수 특성을 이용하여 감정 조건 간 차이를 관찰하거나 감정인식을 시도한 선행연구들이 있다. Nie 등은 89.22%의 정확도로 긍정, 부정적 감정을 인식하였으며 우측 후두부 알파, 중앙부 베타, 좌측 전두부와 우측 측두부 감마 파워가 감정 인식에 크게 기여하는 특징으로 보고하였다[8]. Aftanas 등은 명상가들과 일반인을 대상으로 영화장면 시청 시 일반인 대조군에서 부정적인 감정경험 정도와 전두피질영역의 감마대역 파워가 양의 상관성을 보이는 것을 보고하였다[9]. 그러나 이와 상반된 연구결과들도 보고된 바 있다. Koelstra 등은 뮤직비디오를 시청하는 동안 각 주파수 대역(세타, 알파, 베타, 감마)의 뇌파 파워와 감정 자가평가점수 간의 상관관계를 분석하여 후두부 세타와 알파, 측두부 베타와 감마 대역 파워가 긍정감정 점수와 양의 상관관계를 가진다는 사실을 밝혔다[10].

뇌파의 주파수대역 파워를 관찰하는 것 뿐만 아니라 뇌파의 위상 정보를 이용하여 감정과 관련된 영역 간 기능적 연결성을 관찰한 연구결과들도 보고된 바 있다. Costa 등은 영화 시청 시 긍정적인 장면보다 부정적인 장면을 시청하였을 때 전두엽 영역 내에서 세타, 알파, 감마대역 위상 동기화가 더 강하게 나타난 것으로 보고하였다[11]. 반면 Lee 등은 부정적인 장면보다 긍정적인 장면에서 더 강한 세타, 알파, 베타, 감마대역 위상 동기화를 관찰하였다[12].

한편, 주로 기능적자기공명영상을 이용하여 감정 정보처리에 관여하는 뇌 영역다수의 위치를 밝히기 위한 연구가 다수 진행되었다. 슬픈 영화 시청 시 medial prefrontal cortex (mPFC), lingual gyrus, precuneus, posterior insula, amygdala, thalamus 등의 영역이 강하게 활성화되었으며 즐거운 영화 시청 시 dorsomedial prefrontal cortex (dmPFC), superior temporal gyrus (STG), putamen 등이 강하게 활성화된다는 사실이 밝혀졌다[13-15]. Eryilmaz 등은 부정적 감정을 유발하는 영화 시청 시 mPFC와 amygdala 간 기능적 연결성이 현저히 감소하는

것을 확인하였다[15].

선행연구들의 결과를 종합하여 볼 때 전전두엽피질, 뇌섬엽(insula), 편도체(amygdala) 등이 부정적인 감정과 관련성이 높은 영역임을 알 수 있다. 하지만 선행연구들의 결과가 일관되지 않아 긍정, 부정적인 감정에 관한 명확한 대뇌활동 기전이 알려져 있다고 할 수 없으며 관련 영역의 뇌활동이 어떠한 주파수 대역 동기화로 나타나는 지 확인된 바 없다.

선행연구들의 결과가 일관되지 않는 이유 중 하나로 감정 유발에 사용된 자극의 종류가 다르다는 점을 들 수 있다. 예를 들어 Costa의 연구에서는 부정적인 감정유발 자극으로 슬픈 장면을 사용하였고, Lee는 공포 또는 역겨운 장면을 사용하였다. 부정적 감정유발을 위해 서로 다른 종류의 감정을 유발한 점이 두 연구의 기능적연결성 분석결과가 서로 상반되게 나타난 원인으로 판단된다[11]. 이외에도 실험자극이 유발하는 각성 정도가 다르므로 긍정, 부정적 감정에 따른 대뇌 신경동기화를 관찰할 때 각성 정도를 고려해야 한다. 따라서 본 연구에서는 실험자극의 수를 늘려 자극의 특성 및 각성 조건에 따른 영향을 통제하고자 하였다.

뇌파를 이용한 선행연구에서는 공간적해상도의 제약으로 인하여 관련된 뇌영역의 위치를 정확히 규명하는데 한계가 있었다. 따라서 본 연구에서는 각 전극에서 측정된 뇌파 신호로부터 대뇌피질의 전류밀도를 추정하여 관련 영역을 설명하고자 하였다.

본 연구에서는 감정이 깊게 몰입되는 하이라이트 장면을 중심으로 전후 1분의 영상을 추출하였기 때문에 영화자극 시청 시 감정 조건에 따른 대뇌활동의 차이가 특정 시간대에서 강하게 나타날 것으로 가정하였다. 뇌파의 전 주파수대역 활동이 감정 정보처리에 관여하며 세타, 알파 대역은 주로 후두부, 베타, 감마 대역은 주로 전두부 및 측두부가 감정과 높은 관련이 있음을 밝힌 과거 연구 결과들을 바탕으로 저주파수 대역(세타, 알파)에서는 후두부, 고주파수 대역(베타, 감마)에서는 전두 및 측두부가 긍정 또는 부정적인 감정과 관련이 높을 것으로 가설을 설정하였다[8-10].

감정에 따른 차이가 어떤 시간, 주파수, 영역에서 차이를 보이는 지 관찰하고, 자극 제시 시 각 주파수 대역에서의 파워 변화량과 피험자 자가평가 점수와의 상관관계, 기능적 연결성 분석 결과를 종합적으로 비교하여 감정 상태에 따른 대뇌활동 기전을 명확하게 규명하고자 하였다.

II. 연구 방법

신경정신과적 질환이 없는 연세대학교 재학생 15명(평균 연령: 22.8 ± 1.66 세, 남자 10명, 여자 5명)을 대상으로 하였다. 피험자들은 실험에 대해 충분히 설명을 들은 후 실험 참가 동

의서를 작성하였으며, 소정의 참가비를 받았다. 본 연구는 연세대학교 원주캠퍼스 기관생명윤리심의위원회(Institutional Review Board)로부터 승인 받았다(1041849-201412-BM-062-01).

감정을 평가하기 위한 방법으로 다차원 감정모델을 이용하여 감정 상태를 정량화하였다. 본 연구에서는 Russell의 valence-arousal 2차원 모델을 이용하였다[16]. Valence는 긍정 또는 부정적인 감정 척도이며 점수가 높을수록 긍정적인 감정을 의미한다. Arousal은 감정의 각성 정도로 높은 점수일수록 각성 정도가 높음을 뜻한다.

본 연구에서는 피험자의 감정을 유발하기 위하여 valence-arousal 감정 모델을 기반으로 4가지의 일관된 감정 상태(긍정-각성, 긍정-안정, 부정-각성, 부정-안정)를 유발할 것으로 기대되는 영화 40편을 선택하였다.

그림 1은 valence-arousal 감정 모델에서 각 영역에서 선택된 영화의 목록이다. 2004년에서 2013년 사이의 천만 관객 이상의 영화 관람객 수를 달성한 국내영화 중에서 실험 자극을 선택하였다. 각 영화에서 감정을 잘 유발할 것으로 기대되는 10분 길이의 장면을 3개씩 선정하였다. 선정된 120개의 영화 장면에서 감정 상태가 가장 잘 유발되는 장면을 추출하기 위해 영상장면의 전환, 피사체 움직임, 소리의 세기 등을 분석하여 각성도(arousal)를 추정하는 멀티미디어 성분 분석(multimedia contents analysis, MCA)을 이용하였다[17]. 멀티미디어 성분 분석을 통해 평가한 각성도 성분은 시청자의 각성 정도와 연관이 있어 각성도가 높은 장면은 감정적인 흥분이 강한 하이라이트 장면을 나타낸다. 본 연구에서는 긍정, 부정적 감정반응을 유발하기 위해 각성도가 높은 장면을 중심으로 2분 길이의 영상자극을 추출하였다. 낮은 각성도를 유발하는 영상의 경우에도 긍정 또는 부정적인 감정을 유발하기 위해서는 멀티미디어 성분 분석을 통해 평

가한 각성도가 높은 하이라이트 장면을 추출하는 것이 적절하다. 따라서 영상에서 추출한 성분을 이용하여 평가한 각성도 점수에서 최대값을 기준으로 2분 길이의 영상 장면을 추출하였다.

그림 2는 사전 설문조사를 통해 피험자들이 평가한 감정(valence) 및 각성도의 평균 점수 분포를 나타낸다. 각 영상 자극의 감정 및 각성도 평균점수를 점으로 표시하였다. 각 점의 색상은 최초 자극선택 시 영화가 유발할 것으로 기대했던 감정 상태를 의미한다(분홍색: 부정-각성, 파란색: 부정-이완, 검정색: 긍정-이완, 초록색: 긍정-각성). 120개 영상 중에서 각 사분면에 해당하는 감정 상태를 잘 유발할 것으로 기대되는 것을 원으로 표시하였으며 각 영역에서 8개씩 총 32개의 영상자극을 최종 선정하였다.

실험 참가자들은 실험 전날 알코올 섭취를 금지하였고 숙

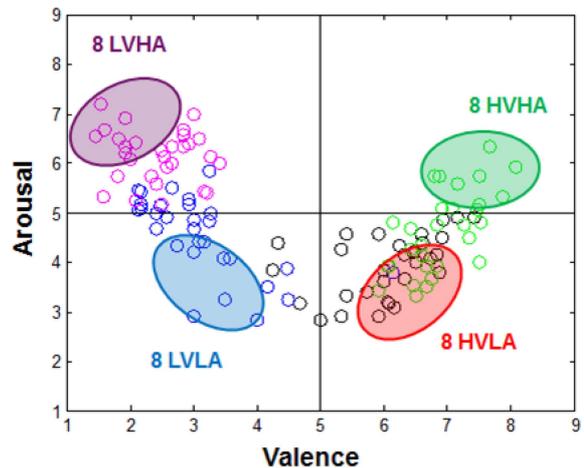


그림 2. 사전 설문조사에서의 영상 자극 별 평균 자가평가점수 분포. Fig. 2. Distribution of mean self-rating scores of film clips in the pre-experiment.

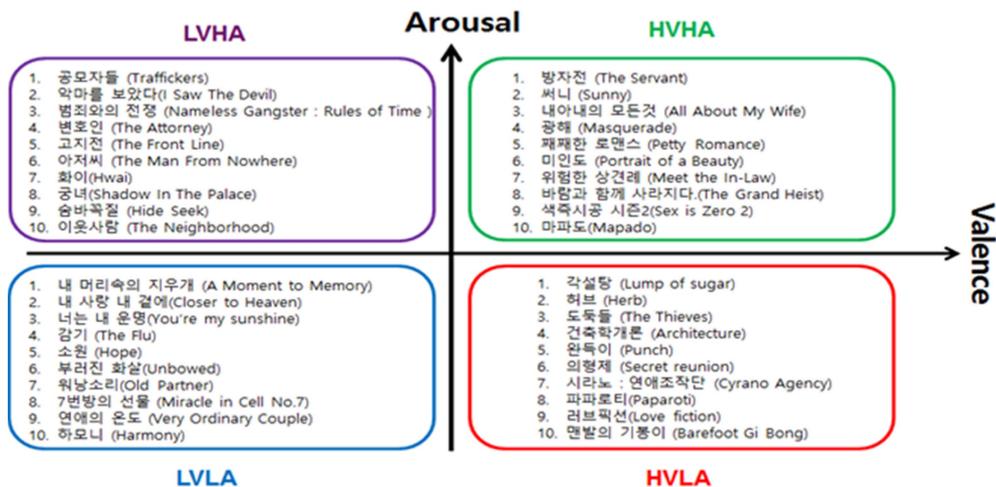


그림 1. valence-arousal 모델 기반 선택된 영화목록. Fig. 1. Selected movies based on valence-arousal emotional model.

면을 취한 후 실험에 참가하였다. 실험 중에는 편안한 상태를 유지하고, 눈을 깜빡이거나 움직이거나 신체의 움직임을 자제하도록 요구하였다. 실험 참가자와 모니터 간 약 70 cm 거리를 유지하였다. 실험은 총 4개 블록으로 구성되었고 각 블록 당 약 20분의 시간이 소요되었다. 사전 설문조사로 선정된 32개의 영상을 상용 소프트웨어(PRESENTATION; Neurobehavioral systems, Berkeley, CA, USA)를 통해 제시하였다. 각 블록 내에서 각각의 감정 상태를 반영하는 8개의 영상이 무작위 순서로 제시되었다. 한 블록이 끝나면 실험 참가자는 약 5분간의 휴식을 취하였다. 모든 시행(trial)은 십자가가 제시되는 5초의 자극 제시 전 대기시간, 120초의 영상 자극, 감정 자가평가 순으로 제시되었다. 감정 자가평가는 SAM에 따른 valence, arousal, liking(선호도)에 대해 9점 서열 척도로 평가받았다. 본 실험에서 뇌파를 기록하기 위해 10-20 시스템에 따라 배열된 64채널 은-염화은 전극이 부착된 전극모자(actiCAP, Brain Products, Munich, Germany)를 사용하였다. 기준 전극(reference electrode)은 FCz, 접지 전극(ground electrode)은 AFz에 위치하였다. BrainAmp EEG amplifier와 BRAIN VISION RECORDER 소프트웨어(Brain Products GmbH, Munich, Germany)를 사용하여 500 Hz의 샘플링 주파수와 0.1 uV해상도의 증폭범위 ± 3.2768 mV로 신호를 기록하였다. 이 때, 전극의 임피던스는 4 k Ω 이하로 하였으며 잡음을 줄이기 위해 기록 소프트웨어 상에서 60 Hz 노치필터(notch filter)와 0.1 Hz 고역통과필터(12 dB/octave)를 적용하였다. 이후 FCz 기준 전위를 전체 전극 전위의 평균으로 재조정하였다. 독립성분 분석(independent component analysis, ICA)을 사용하여 안구 움직임, 눈 깜빡임, 근전도 등의 잡음을 제거하였으며 계산 효율을 높이기 위해 200 Hz로 다운샘플링하였다. 따라서 분석대상이 되는 뇌파의 스펙트럼을 최대 100 Hz이하로 정하였다. 이는 두피뇌파에서 중요한 정보를 관찰할 수 있는 최대 주파수 대역이 60-90 Hz로 알려져 있기 때문이다[18]. 분석대상이 되는 뇌파의 최소 주파수 대역은 보통 델타 대역(1-4 Hz)으로 이는 수면 중 특히 논렘(Non-REM)수면과 관련성이 높은 것으로 알려져 있으며[19], 이외에도 적대적인 대치상황 등에서 유발되는 감정과 관련이 있음이 보고된 바 있다[20]. 한편 1 Hz 이하의 주파수 대역 활동은 수면과 밀접한 연관이 있는 것으로 알려져 있다. 따라서 본 연구에서는 분석대상이 되는 최소 주파수를 1 Hz로 정하였다. 영상 자극 제시 시점을 기준으로 -5초에서 120초 구간의 뇌파를 분석 구간으로 정하였다.

볼륨 전도(volume conduction)에 따른 공간적 해상도 저하 문제를 완화시키고 대뇌 각 위치에서의 활동을 추정하기 위해 신호원 국소화 분석을 수행하였다. 본 연구에서는 대뇌 각 위치에 다수의 동등한 전류 쌍극자(equivalent

current dipole)를 균등하게 배열하여 추정된 분포 근원 모형(distributed source model)을 이용하여 신호원을 계산하였다. 구체적으로 경계요소법(boundary element model, BEM)에 의해 대뇌 내부 피질의 신호원으로부터 발생한 뇌 신경신호가 두피, 두개골, 대뇌로 구분된 전도성 모델에 따라 전도되어 두피 표면에서 측정되기까지의 기본적인 전파과정이 계산하는 정변환(forward problem) 과정 이후 두피 표면전극에서 기록된 뇌파신호로부터 대뇌 피질 표면 신호원의 위치와 크기를 유추하는 역변환(inverse problem) 과정을 거친다. 역변환은 weighted minimum norm estimation (wMNE)을 이용하여 15,002 개 신호원에서의 전류밀도 변화를 추정하였다[21]. 이상의 신호원 국소화 분석은 brainstorm 툴박스의 head model 계산(OpenMEEG BEM), noise covariance 계산, sources 계산(wMNE, shared kernel) 과정을 이용하여 수행하였다[22]. 이후 brainstorm 툴박스에 내장된 mindboggle 템플릿을 이용하여 62 개 관심 영역의 대표 신호원의 시계열을 추출하였다. mindboggle 템플릿은 대뇌피질 상에 접힌 부분(sulci, gyri)의 배열에서 자동적으로 관심영역을 분할하여 영역의 이름이 할당된 것이다[23]. 자극 제시 시점을 기준으로 -5초 ~ 120초 구간에서 62개 영역 신호원 시계열의 주파수 대역별 파워를 계산하였다. 단기 푸리에 변환을 이용하여 hanning window로 자른 1초 길이(200개의 데이터 포인트, 주파수해상도 1 Hz) 신호의 대역별 파워를 계산한 후 각 시행의 자극 제시 이전 5초 구간의 파워를 기준값(baseline)으로 하여 자극 제시 이후의 값과 기준값의 차를 기준값으로 나누는 기준선 보정(baseline correction)을 시행하여 상대적 파워 변화량(relative change)을 계산하였다.

감정 조건 간 차이를 보이는 구체적인 시간-주파수영역을 찾기 위하여 62개 신호원에 대한 평균에 대하여 대량 일변량 분석(massive univariate analysis, MUA)을 수행하였다. 시간은 -5초에 120초까지 125개 구간이며 주파수는 최소 1 Hz에서부터 최대 100 Hz이하 100개 구간이므로 총 12,500번의 유의성 검정을 수행하였다. 유의한 차이를 보이는 시간-주파수 영역(time-frequency window)을 관심영역으로 설정한 후 감정 조건간 통계적으로 유의한 차이를 보이는 신호원 위치를 선정하였다. 통계적 유의성 검정 결과로 얻은 유의수준은 false discovery rate (FDR)보정을 수행하였다[24]. FDR은 귀무가설(영가설)이 참임에도 이를 불구하고 대립가설을 채택하는 1종 오류를 일정 비율 이하로 억제하는 방법으로 랜덤 변수 Q ($Q=V/R$, V : 1종 오류 가설 수, R : 전체 기각된 가설 수)의 기대 값을 통제한다. 본 연구에서는 FDR을 통제하는 방법 중 Benjamini-Hochberg 방법을 이용하였다[25]. 본 방법에서는 예를 들어 10개의 가설을 검정하여 얻은 유의확률(p) 중 5번째로 작은 유의확률($p(5)$)이

0.02이며 유의수준을 0.05로 하였을 때, $p(5)=0.02 < (5/10)*0.05$ 이므로 최소 5개의 가설을 기각할 수 있다. 본페로니 보정(Bonferroni approach)을 수행할 경우 $p(5)=0.02 > (1/10)*0.05$ 이므로 본 가설은 기각되지 않는다.

대뇌 신호원 영역 간 기능적연결성을 관찰하기 위해 가중 위상지연지수(weighted phase lag index, wPLI)를 이용하였다[26]. wPLI는 두 신호의 위상차에 가중치를 부여하여 위상 동기화 정도를 정량화하는 방법으로서 두 신호의 위상차가 0 또는 π 일 때 가장 작은 가중치를 부여하고, $\pi/2$, $3\pi/2$ 일 때 가장 큰 가중치를 부여한다. wPLI는 0에서 1 사이의 값을 가지며 1에 가까울수록 두 신호의 기능적연결성 정도가 강함을 의미한다.

본 연구에서는 각 주파수 대역 별로 영화자극을 제시한 2 분동안 매 초마다 두 신호원 영역에서의 신호 간 위상차를 계산하여 총 120개 시간 구간에서의 위상 동기화 정도를 계산하였다. 이후 같은 감정조건에 해당하는 영상자극에서 얻은 wPLI 값들을 평균하였다. 각 주파수 대역에서 얻은 모든 신호원 영역 간 wPLI 값들 중 상위 5 %를 문턱치로 정하여 이보다 높은 wPLI 값을 가지는 신호원 영역 간 기능적연결성 네트워크를 감정 조건 별로 관찰하였다.

시간주파수 분석을 통해 얻은 뇌파신호원 파워변화량과 피험자가 평가한 자기감정평가 점수 간의 상관관계를 관찰하기 위해 스피어만 상관(Spearman correlation)분석을 수행하였다. 시간주파수 분석 시 대량 일변량 분석에서 유의한 차이를 보인 시간-주파수 영역을 관심영역으로 설정한 후 각 신호원 영역에서의 파워 변화량과 자기감정평가 점수 간 상관관계를 관찰하였다. 먼저 각 피험자 별로 모든 시간, 주파수 지점에서 상관계수와 유의수준을 계산한 후 전체 피험자에 대한 상관관계를 관찰하기 위한 방법으로 상관계수는

각 피험자 별로 계산한 상관계수를 평균하여 얻고, 통계적 유의성은 Fisher가 개발한 카이제곱 방법(qui-square method)을 이용하여 각 피험자에서 얻은 상관관계의 유의수준들을 하나의 유의수준으로 결합하였다[27]. 상관관계 분석 시 결과로 얻은 유의수준은 FDR 보정을 하였다.

III. 결 과

1. 행동반응

그림 3은 32개의 영상에 대해 유발된 감정을 피험자들이 자가평가한 점수를 긍정, 부정 조건별로 평균하여 나타낸 결과이다. 긍정적 영화자극과 부정적 영화자극의 자가평가 점수 간 유의한 차이를 확인하였다(긍정적 자극: 평균6.88, 표

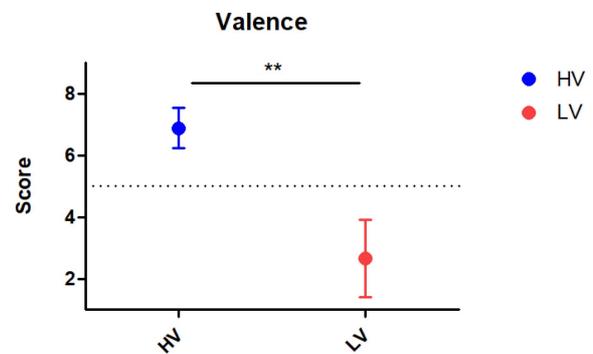


그림 3. 피험자들이 영상 시청 시 유발된 감정을 자가평가한 영상 조건 별 평균 감정점수. 긍정적인 영화 장면과 부정적 영화 장면에 대하여 유의한 차이를 보임.

Fig. 3. Mean self-rating scores induced by film clips for each emotional valence condition. The score for positive clips was significantly higher than that for the negative clips.

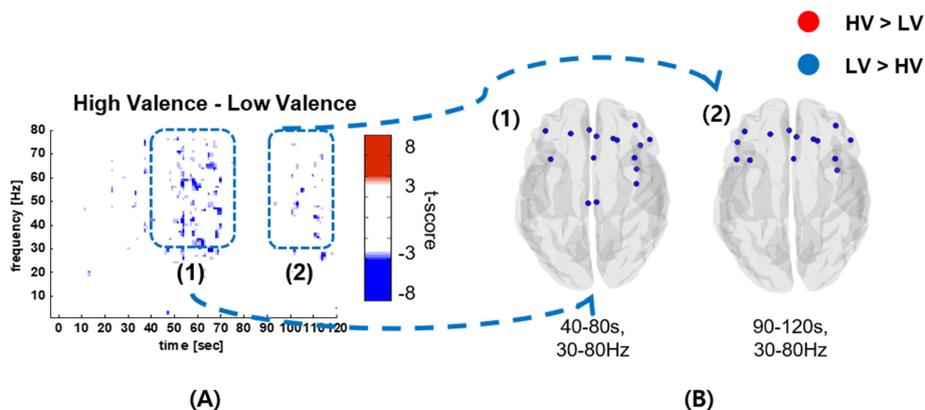


그림 4. 시간주파수 분석 결과.

Fig. 4. (A) 대량 일변량분석을 통하여 모든 시간-주파수 영역에 대해서 영상 시청 시의 감정조건 간 차이를 관찰함. 시간-주파수 지도 상에 유의한 차이를 보인 지점을 t값으로 표현함. (B) 유의한 차이를 보인 영역 중 30~80 Hz 대역의 40~80초와 90~120초를 관심 영역으로 설정하여 감정 조건 간 유의한 차이를 보이는 신호원 영역을 관찰함. 전두엽 영역에서 부정적인 영화장면을 시청하였을 때 긍정적인 영화장면에 비해 감마대역 파워 변화량이 증가함.

준편차 0.65점, 부정적 자극: 평균 2.67, 표준편차 1.26점). 제시된 영화 자극이 피험자의 감정을 기대하던 대로 유발하였음을 확인할 수 있다.

2. 시간주파수 분석

그림 4.A는 각 시간 및 주파수 지점에서 전체 신호원 영역의 파워변화량을 평균한 값에 대해 긍정 감정조건과 부정 감정조건 간 차이를 대응표본 t 검정을 수행한 결과이다. 이를

통해 자극 제시 후 40~80초, 90~120초에서 부정적인 감정 조건의 감마대역 파워변화량(30~80 Hz)이 긍정적인 감정 조건의 파워변화량에 비해 유의하게 증가함을 확인할 수 있다.

이후 그림 4.A에서 감정조건 간 차이가 두드러지는 두 영역(1. 감마대역, 40~80초, 2. 감마대역, 90~120초)을 관심 영역으로 설정하였다. 해당 관심영역의 시간 및 주파수 대역을 평균한 각 신호원의 파워변화량에 대해 긍정 및 부정 감정조건 간 차이를 관찰하고자 대응표본 t-검정을 수행한 후

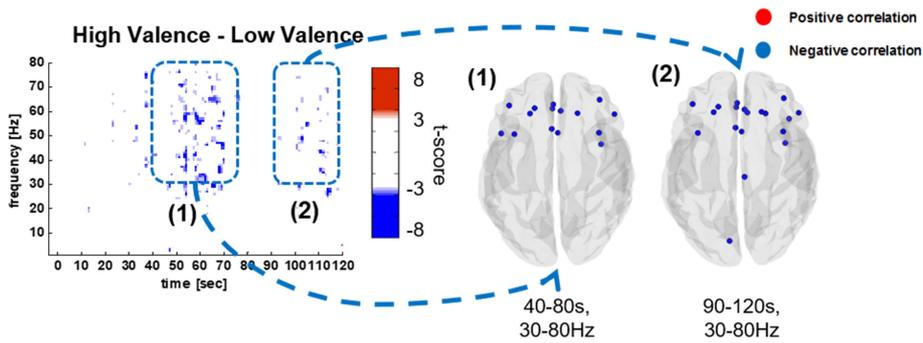


그림 5. 전류밀도 파워변화량과 감정 자가평가점수 간 상관관계 대량 일변량 분석 결과 설정한 관심영역(30~80 Hz 대역의 40~80 초와 90~120 초)에 대하여 각 신호원 영역의 파워 변화량과 자가평가점수 간의 상관관계를 관찰함. 전두엽 영역에서 감마대역 파워 변화량과 자가평가점수 간 유의한 음의 상관관계를 보임.

Fig. 5. Correlations between the changes in cortical current and self-rating scores Significant correlations between the cortical current changes and self-ratings scores were observed for the gamma-band (30-80 Hz) within 40-80, 90-120 s intervals by mass-univariate analysis.

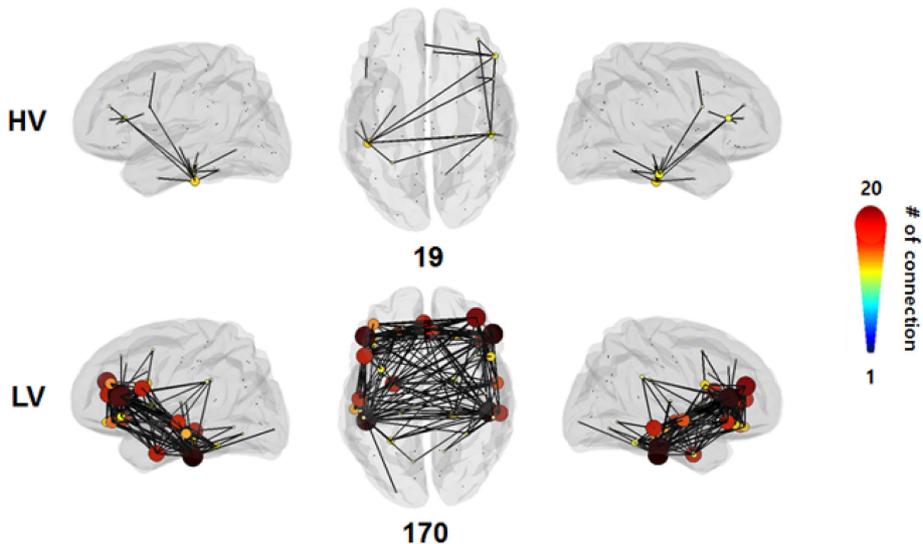


그림 6. 감정조건 별 감마대역 기능적연결성 관찰 영화장면을 시청하는 동안의 기능적 네트워크를 valence 감정조건 별로 도시함. 감마대역의 전체 신호원 영역 간 기능적 연결성 강도(wPLI) 중 상위 5%에 해당하는 위상 동기화 네트워크를 실선으로 표시함. 한 신호원 영역이 다른 신호원 영역과 연결된 네트워크 수를 원의 크기로 표시함. 부정적인 감정에서 전두엽, 측두엽에서의 영역들 간 감마대역 기능적연결성 수가 긍정적인 감정에서의 연결성 수보다 현저히 많은 것을 확인함.

Fig. 6. Gamma-band phase synchronization for each positive and negative emotion Phase synchronization in gamma-band higher than top 5 percent was denoted by solid black line. The number of significant connections between one region to all the other regions was denoted by circle size. The gamma-band phase synchronization among frontal and temporal regions was higher for negative than positive emotional states.

다중검정비교 문제를 해결하기 위해 FDR로 보정하였다. 그림 4.B에서 FDR이 0.01 이하인 신호원 영역을 파란색 점으로 나타냈다. 주로 전두엽의 대상피질(anterior cingulate cortex), 내측전전두피질(mPFC), 뇌섬엽에서 긍정 감정조건에 비해 부정 감정조건에서 더 큰 감마대역 파워변화량을 보였다.

3. 파워변화량과 자기평가점수 간 상관관계

시간주파수 분석 시 대량 일변량 분석 결과로 설정한 관심영역(1. 감마대역, 40~80초, 2. 감마대역, 90~120초)에 대해 파워변화량과 자기평가점수 간 상관관계를 관찰하였다. 해당 관심영역의 시간 및 주파수 대역을 평균한 각 신호원의 파워변화량과 자기감정평가 점수 간의 상관관계 분석을 수행한 후 다중검정비교 문제를 해결하기 위해 FDR로 보정하였다. 그림 5.B에서 FDR이 0.01 이하인 신호원 영역을 파란색 점으로 도시하였다. 주로 전두엽의 대상피질(전측대상피질 좌 -0.32, 우 -0.29; 후측대상피질 좌 -0.27 우 -0.22), 내측전전두피질(전측중전두이랑 좌 -0.25 우 -0.23; 후측중전두이랑 좌 -0.22 우 -0.20), 뇌섬엽(우측 뇌섬엽 -0.21)에서 감마대역 파워변화량과 자기감정평가 점수 간 유의한 음의 상관관계를 보였다.

4. 기능적연결성 분석

그림 6은 영화자극 시청 시 감마대역의 위상 동기화를 관찰한 결과를 나타낸다. 감마대역에서 모든 영역 간 연결($(62*61/2)*2=3,782$)에서의 기능적 연결성 강도 중 상위 5%에 해당하는 기능적 연결성($3,782*0.05=189$)만을 도시한 결과 긍정적 감정조건에서 19개, 부정적 감정조건에서 170개로 부정적 감정조건에서 현저히 많은 전두엽 및 측두엽의 기능적 연결성 네트워크가 확인되었다. 또한 긍정적 감정조건에서는 전두엽 및 측두엽에서 한 영역이 다른 영역과 연결된 네트워크 수가 10개 미만으로 적은 수의 네트워크를 형성하였으나 부정적 감정조건에서는 최소 10개 이상으로 매우 조밀한 네트워크를 형성하였다. 이를 통해 부정적인 감정에서 전두 및 측두영역(inferior frontal, inferior temporal cortex, medial prefrontal cortex, anterior cingulate cortex)에서의 감마대역 위상동기화가 강하게 나타나는 경향성을 확인할 수 있다.

IV. 고 찰

본 연구에서는 시간주파수 분석, 기능적연결성 분석을 통해 긍정 또는 부정적인 감정반응을 유발하는 영화장면 시청 시 대뇌의 신경동기화 특성을 관찰하였다. 부정적인 감정반응을 유발하는 영화장면을 제시하였을 때 긍정적인 감정반

응에 비해 영화자극의 중반 및 후반 시간대에서 전두영역의 강한 감마대역 신경동기화를 보였으며, 피험자의 자기감정평가에서 부정적인 감정반응이 강할수록 전두영역의 감마대역 신경동기화가 강하게 나타났다. 기능적연결성 분석을 통해 부정적인 감정조건에서 전두 및 측두영역에서의 감마대역 위상동기화 또한 강하게 나타났다. 이를 통해 본 연구의 결과가 저주파수 대역은 후두부, 고주파수 대역은 전두부 및 측두부가 긍정 또는 부정감정 정보처리와 높은 관련이 있을 것이라는 가설을 지지하는 것을 확인하였다. 다만, 저주파수 대역의 신경동기화는 본 연구에서 관찰하지 못하였다.

1. 감정정보처리를 위한 감마대역 활동의 역할

감마대역 뇌활동이 감정처리에 중요한 역할을 하는 것으로 판단된다. 감마대역의 활동은 기억, 언어, 감정과 같은 고위인지기능과 연관이 있는 것으로 잘 알려져 있다[28]. 또한 대뇌 정보처리를 위하여 기능적인 블록들의 네트워크가 형성될 때 관여하는 영역들의 활동이 감마대역의 주파수로 동기화된다[29]. 뇌파에서 감마대역의 활동은 미세안구운동에 의한 영향으로 인한 아티팩트를 반영하기도 하나 본 연구에서 관찰한 감마대역 활동은 약 40초 가량 매우 긴 시간동안 나타나므로 안구운동과 무관한 것으로 판단된다[30]. 선행연구에서 편도체 및 전두엽, 측두엽에서 부정적인 감정반응과 관련한 감마대역의 활동을 관찰하였으며 이는 부정적인 감정에서 새로운 자극에 대한 주의력, 감정적 사물에 대한 시각적 인식, 감정적 처리와 관련된 피질하부 구조체와의 동조 등이 강화되어 나타나는 것으로 보았다[28-30]. 본 연구의 결과 또한 감정 상태와 감마대역 파워변화량 간의 유의한 상관관계가 있음을 확인하였다.

2. 감정정보처리에 관여하는 대뇌피질 영역

부정적인 감정처리 시 대상피질, 내측전전두피질, 뇌섬엽 등의 영역에서 과도한 감마대역 활성화가 확인되었다. 대상피질과 내측전전두피질의 dorsal-caudal에 해당하는 영역은 부정적인 감정표현, 감정평가와 관련된 것으로 알려져 있다[34]. 뇌섬엽의 앞쪽 부분은 감정 회상이나 내적으로 생성된 감정처리와 관련된 것으로 알려져 있다[35]. 특히 부정적인 감정자극에 노출 후 불안감을 보이는 것에 주된 관여를 하는 것으로 보이며, 불안 특성이 높은 사람에게서 과활성을 보인다[33-34]. 본 연구에서는 대상피질, 내측전전두피질, 뇌섬엽 영역에서 긍정적인 감정에 비해 부정적인 감정에서 더 강한 감마대역 파워변화량을 관찰하였으며 이는 피험자의 자기감정평가 점수와 상관관계가 있음을 확인하였다. 선행연구들에서는 전두피질 영역에서의 감마대역 파워변화가 부정적인 감정평가와 상관관계가 있는 것을 확인하였으며 이는 본 연구결과와 부합된다[9,38].

또한 부정적인 감정처리 시 전두 및 측두영역에서 영역들 간의 강한 위상동기화를 확인하였다. 이는 부정적인 감정처리 시 편도체에서 강한 활동이 나타나 하전두피질(inferior frontal cortex), 하측두피질(inferior temporal cortex), 대상피질, 내측전전두피질 등을 중심으로 영역들간 강한 위상동기화 네트워크가 형성됨에 따른 것으로 추정된다. 선행연구에서도 이와 유사한 결과가 보고된 바 있다. 부정적인 감정을 유발하는 선행연구에서는 전두엽 및 측두엽을 중심으로 강한 감마대역 위상동기화를 관찰하였다[28-29]. 또한 부정적인 감정자극을 제시하였을 때 대상피질과 내측전전두피질이 다른 영역들과 강한 기능적 네트워크를 형성함을 관찰하였다[34].

부정적인 감정은 긍정적인 감정에 비해 더 강한 감정적 효과를 보이는 것으로 알려져 있다[39]. 이러한 부정적 감정에 대한 편향성은 신경계 반응에서도 확인되었다. Carretie 등은 부정적인 감정자극 시 긍정적인 자극에 비해 더 강한 P200 주의력 관련 성분을 관찰하였다[40]. 다른 사건관련 전위 연구에서도 부정적 감정편향이 관찰된 바 있다[38-39]. 또한 부정적 감정에 대하여 긍정적 감정에 비하여 감마대역 네트워크 특성이 보다 효율적 정보전달 특성을 보이는 것으로 나타났다[43]. 부정적 감정편향은 혐오 자극(aversive information)에 대해 편도체가 빠르게 반응하여 활동하는 것이라고 알려져 있다[44]. 편도체는 감정과 관련된 핵심 영역이며 거의 모든 대뇌피질 영역과 기능적으로 연결되어 있는 중심(hub)이 되는 구조체이다[45]. 따라서 부정적 감정 자극은 편도체를 중심으로 강한 감정적 효과를 일으켜 대뇌피질영역 간 강한 위상동기화를 유발하는 것으로 판단된다.

3. 감정유발에 따른 뇌활동의 시간적 변화 특성

대량 일변량 분석을 통해 감정 조건 간 차이가 영화자극의 중반(40~80초) 및 후반(90~120초) 시간대에서 가장 현저하게 나타난 것을 확인하였다. 중반시간대에서 차이를 보이는 것은 영상자극의 특성에 기인한 것으로 판단된다. 영상의 중간 지점인 60초를 중심으로 인근 시간대에서 감정조건 간 차이가 나타난 것은 하이라이트 장면에서 피험자들이 공통적으로 높은 감정반응을 보인 것으로 볼 수 있다. 본 연구에서는 피험자들이 영상 시청 시 영상에 몰입되는 정도를 통계하기 위해 하이라이트 장면을 중심으로 영상 자극을 선정하였다. 영상에서 장면전환, 피사체 움직임, 소리세기가 급격히 변화하는 정도를 종합적으로 평가하여 계산한 몰입도 성분이 가장 높은 지점을 기준으로 전후 1분을 편집하여 하이라이트 장면을 추출하였다. 영상자극 선정 시 감정에 영향을 미치는 각성도, 몰입도 성분들을 통제하지 않은 경우 피험자마다 다른 감정 행동반응을 보이며 피험자 별로 제각기 다른 시간대에서 감정이 강하게 유발되었다[46]. 따라서

감정연구 수행 시 각성도 뿐만 아니라 몰입도 성분을 고려하여 영상자극을 선정하는 것이 중요하다. 후반시간대에서 차이를 보인 것은 영화자극 제시 이후 후반 시간대로 갈수록 영화의 상황에 대한 이해도가 높아지고 이에 따라 기대했던 감정반응이 공통적으로 확연히 나타났기 때문으로 판단된다.

4. 한계점 및 추후연구

본 실험에서는 긍정, 부정 감정 외적인 영상자극의 특성에 따른 영향을 최소화하기 위하여 각 조건(긍정, 부정) 별로 16개씩의 영상자극을 사용하였다. 이에 따라 영상자극이 각기 다른 내용으로 구성되어 있어 시간에 따른 감정관련 뇌 활동변화를 일관되게 설명하기 어렵다. 피험자마다 상반된 감정반응을 보이는 하나의 영상자극을 이용하여 대량 일변량 분석을 수행하면 감정반응과 관련된 뇌 활동변화를 관찰할 수 있을 것으로 기대된다. 예를 들어 길고양이와 관련된 영상자극을 제시할 경우 같은 영상자극이지만 길고양이를 싫어하는 사람과 좋아하는 사람이 상반된 감정을 유발할 것으로 기대된다. 이 경우 영상자극에서 감정적 차이를 유발하는 시간대를 특정할 수 있고 해당 장면의 의미를 설명하는 데 도움이 될 수 있다. 단일 영상자극을 제시하므로 상반된 감정반응을 보이는 군 별로 많은 피험자 수를 모집해야 하는 어려움이 있다.

대량 일변량 분석 수행 시 시간, 주파수, 영역 3차원에 대해 분석을 수행 시 관심영역 설정이 어려움에 따라 본 연구에서는 먼저 신호원 영역에 대해 전류밀도의 평균을 취한 후 시간, 주파수 2차원에 대해 분석을 수행하였다. 이는 특정 신호원 영역에서만 발생하는 감정관련 신경동기화의 경우 신호원 영역에 대해 평균하는 과정에 의해 조건 간 통계비교 시 관찰되지 않을 수 있다. 따라서 추후 연구에서는 클러스터 기반 비모수 순열검정을 이용하여 시간, 주파수, 영역 3차원 상에서 감정조건 간 차이를 보이는 클러스터를 관찰하고자 한다.

또한, 본 실험에서는 감정관련 선행연구에서 주로 적용한 valence-arousal 감정모델을 기반으로 영상자극을 선정하였으며 이 때 긍정, 부정 감정조건(각 16개)에서 arousal 조건의 영향을 최소화하기 위해 각성조건과 이완조건(각 8개)에 해당하는 영상자극의 수를 균일하게 선정하였다. 이에 따라 본 연구에서는 valence 조건에 따른 뇌 활동을 비교하였으나 후속 연구에서는 arousal 조건에 따른 뇌 활동을 비교하여 감정적 각성 수준이 높을 때와 낮을 때 뇌 활동이 어떻게 나타나는 지 관찰하는 연구를 수행할 수 있다. 따라서 후속연구로 감정적 각성 수준과 관련된 뇌 활동기전을 알아 보고자 한다.

V. 결 론

본 연구에서는 영상의 중반 및 후반부에서 부정적인 감정이 나타날 때 긍정적인 감정보다 대상피질, 내측전전두피질, 뇌섬엽 영역에서 강한 감마대역 신경동기화를 관찰하였다. 이들은 감정처리와 관련된 핵심 영역으로 알려져 있으며 이는 부정적 감정이 편도체에서 강한 감정적 효과를 불러일으키는 데 따른 것으로 추정된다. 또한 부정적인 감정처리 시 전두엽 및 측두엽 영역에서 영역들 간 강한 감마대역 위상동기화를 관찰하였다. 이를 통해 부정적인 감정이 감정처리와 관련한 대뇌피질영역들 간의 강한 기능적 통합을 유발함을 확인할 수 있다. 이는 추후 연구에서 감정처리에 따른 대뇌피질의 세부 영역 및 편도체 등의 깊은 뇌 조직들 간의 기능적 네트워크 특성을 이해하는데 중요한 단서가 될 것으로 판단된다.

참고문헌

- [1] R. W. Levenson, "Emotion elicitation with neurological patients," *Handb. Emot. elicitation assessment*, pp. 158-168, 2007.
- [2] P. D. MacLEAN, "Psychosomatic disease and the visceral brain; recent developments bearing on the Papez theory of emotion," *Psychosom. Med.*, vol. 11, no. 6, pp. 338-353, 1949.
- [3] N. N. Holland, "Spider-Man? Sure! The neuroscience of suspending disbelief," *Interdiscip. Sci. Rev.*, vol. 33, no. 4, pp. 312-320, 2008.
- [4] N. H. Frijda, "Aesthetic Emotions and Reality," *Am. Psychol.*, vol. 44, no. 12, pp. 1546-1547, 1989.
- [5] J. J. Gross and R. W. Levenson, "Emotion Elicitation using Films," *Cogn. Emot.*, vol. 9, no. 1, pp. 87-108, 1995.
- [6] J. Rottenberg, J. J. Gross, F. H. Wilhelm, S. Najmi, and I. H. Gotlib, "Crying threshold and intensity in major depressive disorder," *J. Abnorm. Psychol.*, vol. 111, no. 2, pp. 302-312, 2002.
- [7] D. Palomba, M. Sarlo, A. Angrilli, A. Mini, and L. Stegagno, "Cardiac responses associated with affective processing of unpleasant film stimuli," *Int. J. Psychophysiol.*, vol. 36, no. 1, pp. 45-57, 2000.
- [8] D. Nie, X. W. Wang, L. C. Shi, and B. L. Lu, "EEG-based emotion recognition during watching movies," in *2011 5th International IEEE/EMBS Conference on Neural Engineering, NER 2011*, 2011, pp. 667-670.
- [9] L. Aftanas and S. Golosheykin, "Impact of regular meditation practice on EEG activity at rest and during evoked negative emotions," *Int. J. Neurosci.*, vol. 115, no. 6, pp. 893-909, 2005.
- [10] S. Koelstra *et al.*, "DEAP: A database for emotion analysis; Using physiological signals," *IEEE Trans. Affect. Comput.*, vol. 3, no. 1, pp. 18-31, 2012.
- [11] T. Costa, E. Rognoni, and D. Galati, "EEG phase synchronization during emotional response to positive and negative film stimuli," *Neurosci. Lett.*, vol. 406, no. 3, pp. 159-164, 2006.
- [12] Y. Y. Lee and S. Hsieh, "Classifying different emotional states by means of eegbased functional connectivity patterns," *PLoS One*, vol. 9, no. 4, 2014.
- [13] P. R. Goldin, C. A. C. Hutcherson, K. N. Ochsner, G. H. Glover, J. D. E. Gabrieli, and J. J. Gross, "The neural bases of amusement and sadness: A comparison of block contrast and subject-specific emotion intensity regression approaches," *Neuroimage*, vol. 27, no. 1, pp. 26-36, 2005.
- [14] F. Eugene *et al.*, "The impact of individual differences on the neural circuitry underlying sadness," *Neuroimage*, vol. 19, no. 2, pp. 354-364, 2003.
- [15] H. Eryilmaz, D. Van De Ville, S. Schwartz, and P. Vuilleumier, "Impact of transient emotions on functional connectivity during subsequent resting state: A wavelet correlation approach," *Neuroimage*, vol. 54, no. 3, pp. 2481-2491, 2011.
- [16] J. A. Russell, "Evidence of convergent validity on the dimensions of affect," *J. Pers. Soc. Psychol.*, vol. 36, no. 10, pp. 1152-1168, 1978.
- [17] A. Hanjalic and L. Q. Xu, "Affective video content representation and modeling," *IEEE Trans. Multimed.*, vol. 7, no. 1, pp. 143-154, 2005.
- [18] T. Ball *et al.*, "Movement related activity in the high gamma range of the human EEG," *Neuroimage*, vol. 41, no. 2, pp. 302-310, 2008.
- [19] T. Harmony *et al.*, "EEG delta activity : an indicator of attention to internal processing during performance of mental tasks," vol. 8760, no. 96, 1996.
- [20] H. Hoagland, D. E. Cameron, M. A. Rubin, and J. J. Tegelberg, "Emotion in man as Tested by the Delta Index of the Electroencephalogram: II. Simultaneous Records from Cortex and from a Region Near the Hypothalamus," *J. Gen. Psychol.*, vol. 19, no. 2, pp. 247-261, 1938.
- [21] R. Grech *et al.*, "Review on solving the inverse problem in EEG source analysis," *J. Neuroeng. Rehabil.*, vol. 5, pp. 1-33, 2008.
- [22] F. Tadel, S. Baillet, J. C. Mosher, D. Pantazis, and R. M. Leahy, "Brainstorm: A user-friendly application for MEG/EEG analysis," *Comput. Intell. Neurosci.*, vol. 2011, 2011.
- [23] A. Klein and J. Hirsch, "Mindboggle: A scatterbrained approach to automate brain labeling," *Neuroimage*, vol. 24, no. 2, pp. 261-280, 2005.
- [24] Y. Benjamini and Y. Hochberg, "Controlling the false discovery rate: a practical and powerful approach to multiple testing," *Journal of the Royal Statistical Society B*, vol. 57, no. 1, pp. 289-300, 1995.
- [25] Y. Benjamini and Y. Hochberg, "Controlling the False Discovery Rate: A Practical and Powerful Approach to Multiple Testing Author (s): Yoav Benjamini and Yosef Hochberg Source : Journal of the Royal Statistical Society. Series B (Methodological), Vol. 57, No. 1 Published by :," *J. R. Stat. Soc. Ser. B*, vol. 57, no. 1, pp. 289-300, 1995.
- [26] M. Vinck, R. Oostenveld, M. Van Wingerden, F. Battaglia, and C. M. A. Pennartz, "An improved index of phase-synchronization for electrophysiological data in the presence of volume-conduction, noise and sample-size bias," *Neuroimage*, vol. 55, no. 4, pp. 1548-1565, 2011.
- [27] T. M. Loughin, "A systematic comparison of methods for combining p-values from independent tests," *Comput. Stat. Data Anal.*, vol. 47, no. 3, pp. 467-485, 2004.
- [28] C. S. Herrmann, M. H. J. Munk, and A. K. Engel, "Cognitive

- functions of gamma-band activity: Memory match and utilization,” *Trends in Cognitive Sciences*, vol. 8, no. 8. pp. 347-355, 2004.
- [29] E. Başar, C. Başar-Eroglu, S. Karakaş, and M. Schürmann, “Gamma, alpha, delta, and theta oscillations govern cognitive processes,” *Int. J. Psychophysiol.*, vol. 39, no. 2-3, pp. 241-248, 2000.
- [30] S. Yuval-Greenberg, O. Tomer, A. S. Keren, I. Nelken, and L. Y. Deouell, “Transient Induced Gamma-Band Response in EEG as a Manifestation of Miniature Saccades,” *Neuron*, vol. 58, no. 3, pp. 429-441, 2008.
- [31] N. Martini *et al.*, “The dynamics of EEG gamma responses to unpleasant visual stimuli: From local activity to functional connectivity,” *Neuroimage*, vol. 60, no. 2, pp. 922-932, 2012.
- [32] M. Garcia-Garcia, J. Yordanova, V. Kolev, J. Domínguez-Borràs, and C. Escera, “Tuning the brain for novelty detection under emotional threat: The role of increasing gamma phase-synchronization,” *Neuroimage*, vol. 49, no. 1, pp. 1038-1044, 2010.
- [33] H. Oya, H. Kawasaki, M. Howard, and R. Adolphs, “Electrophysiological responses in the human amygdala discriminate emotion categories of complex visual stimuli,” *J. Neurosci.*, vol. 22, no. 21, pp. 9502-9512, 2002.
- [34] A. Etkin, T. Egner, and R. Kalisch, “Emotional processing in anterior cingulate and medial prefrontal cortex,” *Trends in Cognitive Sciences*, vol. 15, no. 2. pp. 85-93, 2011.
- [35] K. L. Phan, T. Wager, S. F. Taylor, and I. Liberzon, “Functional neuroanatomy of emotion: A meta-analysis of emotion activation studies in PET and fMRI,” *Neuroimage*, vol. 16, no. 2, pp. 331-348, 2002.
- [36] J. B. Nitschke, I. Sarinopoulos, K. L. MacKiewicz, H. S. Schaefer, and R. J. Davidson, “Functional neuroanatomy of aversion and its anticipation,” *Neuroimage*, vol. 29, no. 1, pp. 106-116, 2006.
- [37] M. P. Paulus and M. B. Stein, “An Insular View of Anxiety,” *Biological Psychiatry*, vol. 60, no. 4. pp. 383-387, 2006.
- [38] A. Caria, R. Sitaram, R. Veit, C. Begliomini, and N. Birbaumer, “Volitional control of anterior insula activity modulates the response to aversive stimuli. A real-time functional magnetic resonance imaging study,” *Biol. Psychiatry*, vol. 68, no. 5, pp. 425-432, 2010.
- [39] J. T. Cacioppo, W. L. Gardner, and G. G. Berntson, “The affect system has parallel and integrative processing components: Form follows function,” *J. Pers. Soc. Psychol.*, vol. 76, no. 5, pp. 839-855, 1999.
- [40] L. Carretié, F. Mercado, M. Tapia, and J. A. Hinojosa, “Emotion, attention, and the ‘negativity bias’, studied through event-related potentials,” *Int. J. Psychophysiol.*, vol. 41, no. 1, pp. 75-85, 2001.
- [41] N. K. Smith, J. T. Cacioppo, J. T. Larsen, and T. L. Chartrand, “May I have your attention, please: Electrocortical responses to positive and negative stimuli,” *Neuropsychologia*, vol. 41, no. 2, pp. 171-183, 2003.
- [42] A. J. Pegna, T. Landis, and A. Khateb, “Electrophysiological evidence for early non-conscious processing of fearful facial expressions,” *Int. J. Psychophysiol.*, vol. 70, no. 2, pp. 127-136, 2008.
- [43] M. Ma, Y. Li, Z. Xu, Y. Tang, and J. Wang, “Small-world network organization of functional connectivity of EEG gamma oscillation during emotion-related processing,” *2012 5th Int. Conf. Biomed. Eng. Informatics, BMEI 2012*, no. Bmei, pp. 597-600, 2012.
- [44] J. K. Olofsson, S. Nordin, H. Sequeira, and J. Polich, “Affective picture processing: An integrative review of ERP findings,” *Biological Psychology*, vol. 77, no. 3. pp. 247-265, 2008.
- [45] L. Pessoa, “On the relationship between emotion and cognition,” *Nature Reviews Neuroscience*, vol. 9, no. 2. pp. 148-158, 2008.
- [46] N. Jatupaiboon, S. Pan-Ngum, and P. Israsena, “Real-time EEG-based happiness detection system,” *Sci. World J.*, vol. 2013, 2013.