

기본정서 뇌 영상 연구의 fMRI 메타분석

A fMRI Meta-analysis on Neuroimaging Studies of Basic Emotions

김광수* · 한미라** · 박병기**†

Gwang-Su Kim* · Mi-Ra Han** · Byung-Gee Bak**†

*전주기전대학 유아교육과

*Department of Early Childhood Education, Jeonju Kijeon College

**전북대학교 교육학과

**Department of Education, Chonbuk National University

Abstract

The purpose of this study was to verify the basic emotion theory based on the emotion-related research using functional brain imaging technology. For this purpose, a meta-analysis on the functional magnetic resonance imaging (fMRI) studies was performed. Six individual emotions-joy, happiness, fear, anger, disgust, sadness-were selected. In order to collect the fMRI data of individual emotions, we searched the electronic journals such as Medline, PsychInfo, PubMed for the past 10 years. fMRI experiment data aimed at healthy subjects for 6 emotions were collected, and only studies reported in Talairach or MNI standard coordinate system were included. In order to eliminate the difference between Talairach and MNI coordinate systems, we analyzed fMRI data based on the Talairach coordinate system. A meta-analysis using GingerALE 2.3 program adopting the activation likelihood estimates (ALE) techniques was performed. In this study, we confirmed that the individual emotions are associated with consistent and distinguishable regional brain responses within the framework of the basic emotion theory. The conclusion of this study of the brain areas associated with each individual emotional reaction was substantially consistent with the results of existing review articles. Finally, the limitations of this study and some suggestions for the future research were presented.

Key words: Basic Emotion, Neuroimaging, fMRI, Meta-analysis

요약

본 연구의 목적은 뇌 영상 기술을 활용한 정서 연구를 근거로 기본정서 이론을 확인하는 것이다. 이를 위해 기능적 자기공명영상(functional magnetic resonance imaging, fMRI) 연구들에 대한 메타분석을 수행했다. 기본정서 이론을 확인하기 위해 즐거움, 행복, 공포, 분노, 혐오, 슬픔의 6개 개별정서를 선정했다. 개별정서의 fMRI 자료를 수집하기 위해 최근 10년간 289편의 fMRI 연구를 조사했으며, 이 중에서 69편이 포함 기준을 충족시켰다. 6개 정서에 대해서 건강한 피험자들을 대상으로 실험한 fMRI 자료를 수집했으며, Talairach 또는 MNI 표준 좌표로 보고된 연구만을

※ 이 논문은 2013년 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2013S1A5A2A03045081).

† 교신저자 : 박병기 (전북대학교 교육학과)

E-mail : bbak@jbnu.ac.kr

TEL : 063-270-2742

FAX : 063-270-2743

포함시켰다. Talairach와 MNI 좌표 체계간의 차이를 없애기 위해 Talairach 좌표를 기준으로 분석하였다. 활성화 가능성 추정(ALE) 기법을 이용한 GingerALE 2.3 프로그램을 사용하여 메타분석을 수행했다. 연구 결과 기본정서 이론의 관점에서 개별정서들이 일관되고 구별 가능한 국부적인 뇌 반응과 관련 된다는 것을 확인했다. 각각의 개별 정서들과 관련된 뇌 반응 영역에 대한 본 연구의 결과는 선행연구들의 결과와 대체로 일치하였다. 본 연구의 결과를 일반화에 있어서 극복해야 할 제한점을 기술하고 후속 연구에 대해 몇 가지를 제언하였다.

주제어: 기본정서, 뇌 영상, fMRI, 메타분석

1. 서론

신경과학 연구자들은 뇌 연구를 통해 인간이 상황을 해석하고 정보를 처리하는 과정에 대한 핵심적 단서를 찾아내고 있다. 이들은 뇌 연구를 통해 기존의 심리학 연구결과들을 뒷받침하는 뇌 활성화 영역들을 밝혀냈으며, 정서 역시 신경생리학적 근거를 갖는다고 주장한다(Byrnes, 2001).

심리학자들은 소수의 얼굴 표정이 여러 문화권에 걸쳐 보편적이라고 주장하며 이를 기본정서 이론의 근거로 제시한다(Kalut & Shiota, 2007). 그러나 얼굴 표정 연구만으로 기본정서의 존재 유무나 그 수를 밝히는 데는 한계가 있다. 정서연구에서 흔히 사용되는 피험자의 주관적 자기보고 방식 역시 의도적이든 아니든 피험자들이 반응 양식을 왜곡할 수 있다는 한계가 있다. 이런 문제를 해결하기 위해 피험자의 수행 수준을 직접 관찰하거나 신경 생리학적 수준에서 피험자의 경험을 직접 평가한다(Lee et al., 2002).

신경과학 분야에서 급속히 발전해온 뇌 영상 연구는 한계를 가지는 기존 정서연구의 대안이 될 수 있다. 특정 정서가 다른 정서들과 구별되는 뇌 반응 양상을 보이는 지를 확인하기 위해 양전자방출 단층촬영(positron emission tomography: PET)과 기능적 자기공명영상(functional magnetic resonance imaging: fMRI) 같은 기능적 뇌 영상 실험이 진행되었다. 연구자들은 피험자들이 특정 정서를 유발하는 사진 혹은 영화를 보거나 정서와 관련된 개인적 경험을 회상하는 동안 이들의 뇌 활성화 양상을 측정했다(Kim, 2015).

인간의 정서연구에 기능적 뇌 영상을 적용함으로써 많은 유용한 데이터를 얻었지만 개별 연구에서 도출된 결론은 한계점을 가진다. 개별적으로 진행된 뇌 영상 연구들은, 연구되는 정서유형과 피험자의 수행

과제가 다양하므로, 통계적 검정력과 연구의 민감성(sensitivity)에서 한계가 있다. 개별 뇌 영상 연구들이 제기하는 증거만으로 기본정서들이 일관되고 구별 가능한 국부적인 뇌 활성화와 관련된다고 결론내리기 어렵다(Vytal & Hamann, 2010).

뇌 영상 문헌들에 대한 메타분석(meta analysis)으로 개별 연구들이 가지는 한계점을 극복할 수 있다. 소수의 피험자를 대상으로 뇌 활성화 자료를 얻는 개별적인 뇌 영상 연구들에 대한 메타분석으로 개별 정서에 대한 일관적이고 특정한 신경 유형들을 확인할 수 있다. 다양한 실험에서 정서 자극의 종류나 정서 유발방법 등에서 차이점이 있다 할지라도 메타분석으로 뇌 활성화 유형이 확고한지 확인할 수 있다(Ioannidis & Lau, 1999).

대부분의 메타분석 선행 연구에서 신경심리학자와 의학자들은 한 개의 긍정정서(행복)와 네 개의 부정정서(공포, 분노, 혐오, 슬픔)를 대상으로 fMRI 메타분석을 수행했다. Murphy et al.(2003) 그리고 Phan et al.(2002)는 뇌 영상 연구들이 기본정서 이론을 부분적으로 지지한다고 결론지었다. Vytal & Hamann(2010)은 기본정서들이 일관되고 구별 가능한 국부적인 뇌 활성화와 관련됨을 보고했다. Barrett & Wager(2006)는 각 연구마다 개별정서에 따른 특정 신경상관에 대하여 조금 다른 결과를 보고했다. 기존 메타분석 결과를 종합하면, 개별정서와 관련된 국부적인 뇌 활성화 영역에서 서로 일치하는 부분과 그렇지 않은 부분이 있었다.

본 연구는 피험자의 정서 경험에 대한 측정에서 한계를 가지는 자기보고 방식, 생리적 측정, 행동 관찰 등의 기존 방식을 대신하여 최근 급속히 증가하고 있는 fMRI 연구에 집중하였다. 본 연구의 목적은 기능적 뇌 영상 기술을 활용한 정서 관련 연구들을 근거로 기본정서들이 일관되고 구별 가능한 국부적인 뇌 반응과

관련되는지, 기본정서에 따른 뇌 반응의 유의한 차이가 존재하는 지를 뇌 영상 자료를 근거로 확인하는 것이다. 이를 위해 기본정서 이론을 기준으로 fMRI 연구에서 다루어지고 있는 즐거움, 행복, 공포, 분노, 혐오, 슬픔 등 6개의 개별정서를 선정하고, 이들 정서와 관련된 fMRI 연구들에 대한 메타분석을 수행했다.

본 연구의 목적을 달성하기 위해 다음과 같이 연구 문제를 설정했다.

연구 문제

기본정서들이 일관되고 구별 가능한 국부적인 뇌 반응과 관련되고, 뇌 활성화에 유의한 차이가 존재하는가?

2. 이론적 배경

2.1. 기본정서

정서를 이해하기 위해 많은 철학자와 심리학자들은 소수의 기본정서(예: 행복, 즐거움, 슬픔, 분노, 공포, 혐오 등)가 존재한다고 전제하고, 그 밖의 정서들은 기본정서의 혼합물로 가정하며 이차 정서라고 한다. 기본정서 모형은 각 정서를 개별적(discrete)으로 다루는 범주적 접근이다(Han, 2015).

기본정서는 아동이 성장 과정에서 가장 먼저 습득하게 되는 정서이고(Bretherton & Beeghly, 1982), 사랑, 기쁨, 노여움, 슬픔, 공포, 놀람 등과 같이 하나의 단어로 표현되고, 하나의 시각적 이미지로 표상되므로(Fehr & Russell, 1984), 일상적인 정서의 구분에 있어 유용한 개념이다(Han, 2015). 기본정서는 생리적으로 타고난 것이며, 연령이나 문화권과 상관없이 동일한 상황에서 모든 사람에게 일어나며, 얼굴 표정을 통해 변별 가능하다는 특성을 지닌다(Ekman & Davidson, 1994).

2.2. fMRI 메타분석

2.2.1. 활성화 가능성 추정

뇌 영상 연구에 대한 메타분석 연구는 국제적으로

많이 보고되고 있지만 국내에서는 드물다. 본 연구에서는 활성화 가능성 추정(activation likelihood estimation: ALE) 기법(Turkeltaub et al., 2012)을 적용하여 fMRI 뇌 영상 자료에 대한 메타분석을 수행했다. ALE 기법은 2002년에 Turkeltaub가 처음 제안한 정량적 메타분석 기법이다. 이 연구에서 ALE를 선택한 것은 개별정서의 반응과 관련된 활성화 지도를 직접 비교하여 복셀 수준에서 기본정서를 구별할 수 있는지 평가할 수 있는 방법이기 때문이다(Vytal & Hamann, 2010).

ALE 기법은 좌표계에 기반한 방법으로, 선행연구들에서 수집한 뇌 활성화 중심(activation foci)의 수렴을 공통되는 정위공간(stereotactic space)에서 모형화하는 기법이다(Laird et al., 2005). 활성화 중심은 활성화 클러스터(cluster) 내의 최대값을 가지는 좌표를 의미한다. ALE 기법은 본래의 최대 활성화 좌표 자료에 대한 3차원 공간정보를 보존한다는 장점이 있다. ALE는 공간정보를 상당히 감소시키면서 활성화 좌표를 국부적인 명칭(labels)으로 전환하는 명칭 기반(label-based) 방법들과 다르다(Vytal & Hamann, 2010).

ALE는 복셀 기반(voxel-based)의 방법으로, 많은 뇌 영상 연구들에서 독립적으로 관찰된 뇌 활성화 외에도 공간적 패턴의 신뢰도를 양적으로 평가한다(Laird et al., 2005). 픽셀(pixel)은 2차원 평면에서 한 점을 정의하는 그래픽 정보단위이며, 복셀(volume pixel의 줄임말)은 3차원 공간의 단위다. ALE 기법은 특정 영역에서 관찰된 복셀들의 활성화 확률이 우연수준에서 활성화되는 확률보다 높은지를 판단하여 통계적인 뇌 활성화 지도를 제공한다(Jeon & Kim, 2013).

2.2.2. 다중검정에서 위양성 보정

fMRI 스캐너는 모두 위양성(false positives)과 위음성(false negatives)의 문제를 공통적으로 갖는다. 위양성은 실제 차이가 없는데도 차이가 있다고 판단하는 1종 오류를, 위음성은 실제 차이가 있는데도 차이가 없다고 판단하는 2종 오류를 말한다. 사회과학에서 통계기법들은 위양성 위험(false positive risk)의 값을 설정하여 직접 통제하는데, 이것은 개별적인 검정(test-by-test) 차원에서 이루어지는 기준이다. $p < .05$ 수준의 개별적인 검정을 10만개의 복셀 검정에 적용하면, 각각의 복셀에 대해 통계적인 비교가 가능해진

다. 이 경우 검정 결과가 유의하게 나와도 평균적으로 5천개의 복셀이 위양성이 될 수 있어 너무 관대해진다. 뇌 영상과 같이 많은 복셀들을 다루는 경우 각각의 복셀에 대해 통계적 검정이 이루어지기 때문에 다중검정(multiple testing)이 된다.

위양성 위험을 낮추기 위해 흔히 사용되는 다중검정 수정(multiple testing correction) 방법 중의 하나가 오발견율(false discovery rate: FDR) 보정 방법이다. 전체 양성 결과가 나온 복셀들 중에서 위양성으로 감지된 복셀들의 비율을 오발견 비율(false discovery proportion: FDP)라 할 때, FDP를 직접 측정할 수는 없다. FDR 보정 기법에서는 평균 FDP가 95%에서 올바르게 감지하도록 통제해준다. 다시 말해, FDR 기법은 FDP를 선택된 임계치(threshold value) 보다 작아지도록 통제한다(Poldrack et al., 2011).

2.3. 정서와 뇌

2.3.1. 정서와 뇌 영상 연구

PET와 fMRI를 이용한 기능적 뇌 영상 연구를 통해 신경 심리학자들은 인간 뇌의 생체 내부 조사가 가능해졌으며, 정서 신경 과학자들은 정서 처리에서 뇌가 조직되는 과정을 밝혔다(Kim, 2001; Fusar-Poli et al., 2009b; Phan et al., 2002).

fMRI은 신경 반응을 직접 측정하는 것이 아니라 뇌의 혈류역학반응(hemodynamic response)을 지표화한 것이다. 뇌의 한 영역이 활동적일 때, 산소 함량이 높은 혈액의 국소적 증가가 일어난다. 어떤 영역의 혈중 산소 비율이 상대적으로 증가하게 되면, 이에 따른 자기적 속성의 변화를 이용하여 연구자는 두뇌 활성화의 영상을 얻을 수 있다.

2.3.2. 정서반응과 뇌

대뇌피질(cerebral cortex)은 얼굴 표정에 근거하여 다른 사람의 감정을 추론하고, 자신의 느낌을 다른 사람에게 전달하는 중요한 기능을 한다. 이 중에서 전두엽(frontal lobe)은 판단, 창의성, 문제해결 등과 같은 고도의 인지 과정과 관련된다. 측두엽(temporal lobe)은 기억, 정서, 청각 처리 기능들과 연관되고, 몇몇 구

조들은 변연계의 일부로서 정서적 정보 처리에 관련된다. 뇌의 융기 부분을 회(gyrus)라 하고, 융기 사이의 골짜기를 구(sulcus)라 한다(Banich & Compton, 2011; Gluck et al., 2008).

변연계(limbic system)는 대뇌피질 아래에 위치하며, 대뇌피질의 정보들과 연결시켜 감각 정보와 신체 내부 상태에 관한 정서 정보를 처리한다. 변연계에는 시상하부(hypothalamus), 편도체(amygdala), 대상피질(cingulate cortex), 전측시상(anterior thalamus), 유두체(mammillary body), 해마방회(parahippocampal gyrus), 해마(hippocampus) 등이 포함된다(Gluck et al., 2008).

시상하부는 ‘도주와 공격’ 반응과 같이 위험한 상황에서 자동적으로 나타나는 신체 반응의 활성화 정도를 결정한다. 대상피질은 정서, 인지 및 운동 통제의 접점이 되는 영역으로, 전대상피질(anterior cingulate cortex)은 혐오스럽거나 분노한 얼굴표정을 인식하는 동안에 활성화된다(Wicker et al., 2003).

편도체는 위험을 지각할 때 놀람 반응을 조절하며, 특히 공포감을 주는 얼굴 표정에 대해서 강하게 활성화된다. 그리고 슬픔, 혐오, 분노를 표현하고 있는 표정에 대해서도 강하게 반응한다. 최근의 신경 영상연구들은 긍정적인 정서 관련 영상에도 편도체가 활성화됨을 보고하고 있다(Shiota & Kalat, 2012). 해마는 새로운 사실을 학습하고 기억하는데 결정적으로 중요하며, 해마 끝부분에 위치한 편도체는 정서적 사건들을 기억하는 데 중요한 역할을 한다(Banich & Compton, 2011).

즐거움이나 보상과 관련된 영역은 중뇌의 복측피개영역(ventral tegmental area)에서 기저전뇌의 측좌핵(nucleus accumbens)까지의 도파민경로이다. 측좌핵은 기대하지 않았던 보상을 받을 때 크게 활성화된다. 측좌핵은 달콤한 음료, 돈, 매력적인 얼굴 등과 같이 보상으로 생각되는 자극에 의해서 활성화된다(Banich & Compton, 2011). 행복은 뇌 혈류의 광범위한 감소와 관련되고, 특히 우반구 전전두엽과 좌우반구 측두정엽(temporoparietal junction)을 활성화 시켰다(George et al., 1995).

슬픈 비디오를 보거나 기억을 회상하는 과제에 대한 뇌 영상 반응에서 전두엽, 측두엽, 중뇌(midbrain)

일부 영역이 활성화되었다(Lévesque et al., 2003). 슬픔은 좌우반구 변연계와 부변연계(대상회피질, 내측 전전두피질, 내측 측두피질), 뇌간, 시상, 미상핵, 피각 등을 활성화시켰다. 혐오와 관련된 섬엽(insula)은 외측열 안쪽 깊이 숨어 있고, 그 앞쪽 영역은 편도체와 안와전두피질(orbitofrontal cortex)을 포함한 정서 관련 조직들과 광범위하게 연결되어 있다. 혐오를 유발하는 사진이나 혐오스러운 얼굴 표정을 볼 때 뇌섬피질 또는 전뇌섬피질(anterior insular cortex)이 가장 많이 활성화되었다(Phillips et al., 1997; Wicker et al., 2003).

Gazzaniga와 동료들은 각각의 개별정서들과 단일 뇌 구조를 관련시키는 것이 지나친 단순화라고 지적하면서, 전대상피질이 정서 처리 과정에서 전체적으로 중요한 역할을 한다고 보고했다. 그들은 제시한 정서와 관련된 뇌 영역은, 공포는 편도체, 분노는 안와전두피질과 전대상피질, 슬픔은 편도체와 우측두엽극(right temporal pole), 혐오는 전측뇌섬과 전대상피질이다(Gazzaniga et al., 2009).

2.3.3. 정서 관련 뇌 영상 연구에 대한 메타분석

Fusar-Poli et al.(2009a)과 Vytal & Hamann(2010)은 선행연구에서 사용했던 메타분석 방법 보다 좀 더 정밀한, 활성화 가능성 추정(activation likelihood estimation, ALE) 기법을 사용했다. Murphy et al.(2003)은 뇌를 같은 부피의 8개 구역으로 분할하여 메타분석을 했는데, ALE 기법에서 제공되는 복셀 수준(voxel level)의 해상도보다 공간적 구체성이 떨어졌다.

기본정서와 관련된 뇌 영상 연구를 대상으로 메타분석을 수행한 기존 연구들은 다양한 결론을 제시하고 있다. Murphy et al.(2003)과 Phan et al.(2002)는 뇌 영상 연구가 기본정서 이론을 부분적으로 지지한다고 결론지었다. 반면, Vytal & Hamann(2010)은 기본정서들이 일관되고 구별 가능한 국부적인 뇌 활성화와 관련됨을 보고했다. 그러나 각 연구마다 개별정서에 따른 특정 신경 상관에 대해 조금 다른 결과를 보고했다(Barrett & Wager, 2006). 개별정서와 관련된 국부적인 뇌 활성화 영역에서 서로 일치하는 부분과 그렇지 않은 부분이 있었다.

Murphy et al.(2003)과 Phan et al.(2002)는 초기 연구에서 PET와 fMRI 자료를 함께 분석하였다. PET 보다 공간 및 시간적 해상력이 뛰어나고 방사선 조사의 위험이 없는 fMRI의 사용이 급증하면서(Kim, 2001), Fusar-Poli et al.(2009a)과 Vytal & Hamann(2010)의 최근 연구에서는 fMRI 자료만을 분석했다.

3. 연구 방법

3.1. 메타분석 대상 선정

fMRI 메타분석을 위해 fMRI 연구들에 대한 광범위한 검색으로 뇌 영상 자료를 수집했다. 메타분석에 포함될 논문을 수집하기 위해 Medline, PsychInfo, PubMed 등의 전자저널을 이용하여 관련 논문들을 검색했다. 검색 대상 기간은 2003년 1월~2014년 12월 최근 10년간이다.

최초로 확인한 289편의 연구 중에서 69편이 다음에 제시된 포함기준을 충족시켰다. 검색된 논문들 중에서 즐거움, 행복, 공포, 분노, 혐오, 슬픔 등의 6개의 정서자극에 대한 활성화 영역을 보고한 연구를 포함했다. 환자는 제외하고 건강한 성인 지원자들을 대상으로 6개 정서자극 프로그램을 사용한 fMRI 연구 결과만 포함시켰다.

Talairach 또는 MNI(Montreal Neurological Institute) 표준 체계의 정확한 좌표로 보고된 연구만을 포함시켰다. 선정된 fMRI 연구목록을 정리하여 Table 1에 제시했다.

3.2. 메타분석 방법

선별한 뇌 영상 연구에서 개별정서의 활성화중심(foci)의 좌표 데이터를 수집하고, 이것을 사용해서 각 정서별 메타분석을 실시했다. fMRI 뇌 영상 자료에 대한 메타분석에는 GingerALE 2.3 프로그램(<http://www.brainmap.org/>)을 사용했다. GingerALE 2.3은 ALE 기법을 적용하여 Talairach 또는 MNI 공간으로 출판된 3차원 좌표(x, y, z 좌표)를 포함하는 뇌 연구의 메타분석을 위한 도구이다.

Table 1. Summary of studies included in the Meta-analysis

No.	First author	Year	Gender			Age	Modality	Coordinate	Emotion†
			Both	M	F				
1	Abel	2003	8	8	0	23-42	Faces	Talairach	F
2	Azim	2005	20	10	10	22	Cartoon	Talairach	J
3	Bartolo	2006	21	8	13	28	Cartoon	Talairach	J
4	Benuzzi	2008	14	0	14	35	Videos	Both	D
5	Beyer	2014	32	32	0	*	Videos	MNI	A
6	Britton	2006	12	6	6	18-30	Faces	MNI	A,F,H,S
7	Costa	2010	32	16	16	19	Story images	Talairach	J
8	de Gelder	2004	7	4	3	*	Videos	Talairach	F
9	Eugene	2003	10	0	10	20-30	Films	Talairach	S
10	Fichtenholtz	2004	22	13	9	20-47	Pictures	Talairach	D
11	Fischer	2005	46	23	23	20-80	Faces	MNI	A
12	Fitzgerald	2004	12	7	5	31	Pictures	MNI	D
13	Garrett	2006	9	4	5	39	Pictures	Talairach	D
14	Goldin	2005	13	0	13	20	Films	Talairach	J, S
15	Grosbras	2006	20	10	10	29	Videos	MNI	A
16	Habel	2005	26	26	0	33	Faces	Talairach	H, S
17	Hariri	2003	11	5	6	32	Pictures	Talairach	F
18	Hennenlotter	2005	12	6	6	25	Faces	Both	J
19	Hutcherson	2005	28	0	28	18-21	Films	Talairach	J, S
20	Hutcherson	2008	28	0	28	18-21	Films	Talairach	J, S
21	Killgore	2003	13	0	13	24	Food pictures	Talairach	J
22	Killgore	2004	12	0	12	24	Faces	MNI	H, S
23	Kipman	2012	59	30	29	31	Cartoons, Sentences	MNI	J
24	Koelsch	2006	11	6	5	25	Musics	Talairach	J
25	Kringelbach	2003	10	10	0	29	Fluid foods	Talairach	J
26	Lange	2003	9	9	0	29	Faces	Talairach	F
27	Lee	2006	18	*	*	26	Videos	MNI	A,H,S
28	Levesque	2003	20	0	20	24	Films	Talairach	S
29	Markowitsch	2003	13	6	7	30	Recall	MNI	H, S
30	Mataix-Cols	2003	10	5	5	28	Pictures	Talairach	D
31	Mathews	2004	22	6	16	*	Pictures	MNI	F
32	McClure	2004	25	*	*	9-36	Faces	MNI	A, F
33	McLean	2009	9	9	0	26	Videos	Talairach	J
34	McLellan	2012	7	0	7	27	Faces	MNI	H, S
35	Mitterschiffthaler	2007	16	8	8	30	Musics	Talairach	H, S
36	Mobbs	2003	16	7	9	22	Cartoons	Talairach	J
37	Mobbs	2005	17	9	8	23	Cartoons	Talairach	J
38	Mobbs	2006	14	6	8	28	Pictures	MNI	F, H
39	Moll	2005	13	7	6	26	Statements	Talairach	A, D
40	Nomura	2004	15	0	15	22	Faces	Talairach	A
41	Ogino	2007	10	10	0	26	Pictures	MNI	F
42	Paradiso	2003	17	9	8	65	Pictures	Talairach	S

No.	First author	Year	Gender			Age	Modality	Coordinate	Emotion [†]
			Both	M	F				
43	Park	2010	11	7	4	23	Faces / Voices	MNI	A, H
44	Pelletier	2003	9	5	4	33	Self induction	Talairach	H, S
45	Phillips	2003	8	7	1	32	Faces	Talairach	F
46	Phillips	2004	8	8	0	32	Faces	Talairach	D, F
47	Rauch	2007	20	10	10	*	Faces	MNI	A, F, H
48	Sabatinelli	2007	44	21	23	*	Pictures	Talairach	J
49	Sambataro	2006	24	11	13	27	Faces	Talairach	D
50	Sato	2004	22	10	12	27	Faces	MNI	F, H
51	Schäfer	2005	40	20	20	24	Pictures	MNI	D, F
52	Schienle	2006	12	0	12	19-41	Pictures	MNI	D, F
53	Schienle	2005	63	0	63	27	Pictures	MNI	D
54	Schroeder	2004	20	10	10	33	Faces	Talairach	D
55	Stark	2003	19	9	10	27	Pictures	MNI	D, F
56	Stark	2005	15	4	11	29	Films	MNI	D, F
57	Stark	2007	66	34	32	25	Pictures	MNI	F
58	Straube	2004	10	4	6	23	Faces / Pictures	Talairach	A
59	Straube	2005	9	4	5	23	Faces	Talairach	A, H
60	Strauss	2005	8	8	0	27	Faces	Talairach	A
61	Surguladze	2003	9	5	4	40	Faces	Talairach	F, H, S
62	Takahashi	2008	16	8	8	21	Reading sentences	MNI	J
63	Tessitore	2005	27	14	13	20-80	Faces	Talairach	F
64	Thielscher	2007	25	10	15	23	Faces	MNI	F
65	Vandewalle	2010	17	8	9	20-26	Voices	MNI	A
66	Wicker	2003	14	14	0	20-27	Videos, Smells	Both	J
67	Wild	2003	10	5	5	29	Faces	MNI	H, S
68	Williams	2006a	13	7	6	37	Faces	MNI	F
69	Williams	2006b	15	7	8	36	Faces	MNI	F

* Age is not reported.

[†] individual emotion: A(anger), D(disgus), F(fear), H(happiness), J(joy), S(sadness)

fMRI 영상의 고주파 정보를 제거하기 위한 공간적 편평화(smoothing)를 위해 10mm 반치 전폭(full-width half-maximum, FWHM)의 3차원 가우시안 필터(Gaussian filter)를 적용했다.

개별정서에 따른 뇌 활성화 반응영역이 구별되는 지를 확인하기 위해 fMRI 연구들에 대한 복셀 기반 메타분석을 수행했다. 수집된 메타분석 대상 뇌 영상 연구 중에서 MNI 좌표체계를 사용하여 보고된 좌표들은 Talairach 좌표체계로 변환한 후 분석했다. 6개 개별정서의 활성화중심 좌표들을 GingerALE 2.3프로그램에 입력하여 각 정서별로 메타분석을 실시했다.

본 연구에서는 ALE 기법을 적용하여 뇌 활성화

지도를 작성할 때 다중 비교로 인해 나타나는 오류를 보정하기 위해 $p < .05$ 수준에서 FDR 보정 기법을 적용하여 검증하였다.

메타분석 결과로 유의한 클러스트들의 좌표값이 나오면, 여기에 해당하는 해부학적 위치(anatomical location)를 찾기 위해서 Talairach Daemon (TD) 프로그램을 사용했다. TD는 좌표를 입력하면 그에 해당되는 해부학적 위치를 나타내 주는 데이터베이스이다 (<http://www.talairach.org/daemon.html>). 최종 결과는 Mango (Multi-Image Analysis GUI) 프로그램(<http://rii.uthscsa.edu/mango>)을 사용하여 Talairach 좌표체계를 기반으로 한 ColinBrain 표준 뇌 위에 나타냈다.

4. 연구 결과

4.1. 개별정서의 활성화중심

메타분석을 위해 수집된 *fMRI* 연구들에서 보고된 뇌 활성화 영역의 좌표들을 GingerALE 프로그램에 입력하면 개별정서의 활성화중심(foci) 좌표 데이터에 대한 정보를 Table 2와 같이 얻을 수 있다. 전체 데이터베이스는 69개 연구(experiment)에서 얻은 1,356개의 뇌 좌표들로 구성되었다. 즐거움은 17개의 연구에서, 행복은 15개의 연구에서 제시되었다.

Table 2. Number of foci according to individual emotions

Emotion	Foci	Studies
<i>Joy</i>	228	17
<i>Happiness</i>	147	15
<i>Fear</i>	343	23
<i>Anger</i>	214	14
<i>Disgust</i>	259	17
<i>Sadness</i>	171	16
<i>Sum</i>	1356	102

4.2. 개별정서의 활성화 클러스트

유의한 클러스트의 중심 좌표와 이에 속하는 개별 반응중심(individual foci)의 좌표에 대한 결과를 제시했다. 크기가 $400mm^3$ 를 초과하는 클러스트들 중에서 가장 큰 몇 개만을 제시했으며, 개별 반응중심의 좌표는 해당클러스트 내에서 ALE 값이 최대인 지점의 좌표값을 의미한다. GingerALE에서는 각 복셀의 ALE 값을 계산하여 반응중심의 집단에 해당하는 3차원 영상을 생성한다. 모든 좌표는 Talairach 좌표체계를 따르며, 각각의 개별 반응중심과 관련되는 뇌 영역의 해부학적 명칭(anatomical label)을 제시했다.

4.2.1. 즐거움의 활성화 클러스트

즐거움과 관련된 반응중심에 대한 ALE 분석 결과를 Table 3에 제시했다. 즐거움에 반응하는 최대 클러스트의 크기는 $2,672m^3$ 이며, 대뇌 좌우 반구의 측좌핵과 기저핵의 피각이 이에 포함된다. 두 번째 클러스트($1,440m^3$)에는 대뇌 좌반구의 편도체가 포함된다. 그 외 주요 클러스트에는 대뇌 좌반구의 중심전회(precentral gyrus, BA 44), 하전두회(inferior frontal gyrus, BA 47), 상측두회(superior temporal gyrus, BA 22), 방추상회(fusiform gyrus, BA 19, 37) 등이 위치

Table 3. ALE activation clusters consistently associated with joy

N	Anatomical label	H	BA	Cluster Center			Vol mm^3	Individual Foci			
				<i>x</i>	<i>y</i>	<i>z</i>		<i>x</i>	<i>y</i>	<i>z</i>	ALE
1	Nucleus Accumbens	R		2	6	-3	2672	10	6	-6	0.022
	Nucleus Accumbens	L						-10	8	-6	0.020
	Basal Ganglia (Putamen)	L						-20	12	-4	0.010
2	Amygdala	L		-22	-5	-13	1440	-22	-4	-10	0.023
	Amygdala	L						-20	-2	-20	0.013
3	Precentral Gyrus	L	44	-51	11	2	1416	-56	8	6	0.018
	Superior Temporal Gyrus	L	22					-50	12	2	0.014
	Inferior Frontal Gyrus	L	47					-44	18	-6	0.013
4	Fusiform Gyrus	L	19	-45	-63	-13	1328	-46	-66	-14	0.018
	Fusiform Gyrus	L	37					-42	-52	-16	0.012
5	Superior Frontal Gyrus	R	6	1	16	57	800	2	16	56	0.016
	Superior Frontal Gyrus	L	6					0	8	62	0.011
6	Middle Occipital Gyrus	R	37	48	-68	-9	728	50	-66	-10	0.014
	Inferior Occipital Gyrus	R	19					44	-72	-2	0.010
7	Amygdala	R		20	-5	-9	680	20	-6	-10	0.021
8	Inferior Frontal Gyrus	R	47	34	32	-11	528	34	32	-12	0.018

N: Cluster Number, H: Hemisphere, BA: Brodmann Areas, Vol: Cluster Volume, ALE: Maximum ALE Value

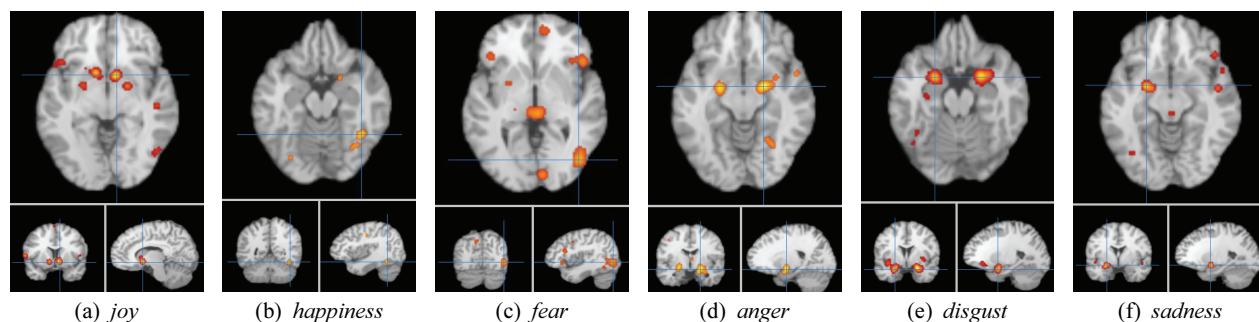


Fig. 1. Largest clusters of emotions (top: horizontal plane, left: coronal plane, right: sagittal plane)

했다. 여기서 BA는 브로드만 영역(Brodmann's area)을 의미한다. 방추상회는 측두엽에서 후두엽까지 걸쳐있는 영역으로, 사람 얼굴을 인지하는 기능이 있다.

Fig. 1(a)는 즐거움의 최대 클러스트에 속하는 대뇌 우반구 측좌핵의 반응을 나타내는 뇌 영상이다. 세 개의 그림 중 위쪽은 수평면(horizontal plane), 아래의 왼쪽은 관상면(coronal plane), 아래의 오른쪽은 시상면(sagittal plane)으로 나타낸 단면이다.

4.2.2. 행복의 활성화 클러스트

행복과 관련된 반응중심에 대한 ALE 분석 결과를 Table 4에 제시했다. 행복에 반응하는 최대 클러스트의 크기는 $1,032m^3$ 이며, 대뇌 우반구 방추상회(BA 37)와 우측 소뇌의 소뇌경사(declive)가 위치한다. 두 번째 클러스트(824)에는 대뇌 좌반구 방추상회(BA 19)가 위치했다. 그 외 주요 클러스트에는 대뇌 우반구의 중심후회(postcentral gyrus, BA 40)와 좌반구의 해

마방회(BA 30)가 위치했다.

Fig. 1(b)는 행복의 최대 클러스트에 속하는 대뇌 우반구 방추상회(BA 37)의 활성화를 나타내는 뇌 영상이다. 위는 수평면, 아래 왼쪽은 관상면, 아래 오른쪽은 시상면으로 나타낸 단면이다.

4.2.3. 공포의 활성화 클러스트

공포와 관련된 반응중심에 대한 ALE 분석 결과를 Table 5에 제시했다. 공포에 반응하는 최대 클러스트의 크기는 $4,144m^3$ 이며, 대뇌 우반구의 하후두회(inferior occipital gyrus, BA 19)와 우측 소뇌의 소뇌경사가 위치한다. 두 번째 클러스트(3256)에는 좌측 소뇌에 속하는 소뇌경사가 위치한다. 세 번째 클러스트(3216)에는 대뇌 좌반구 편도체가 위치한다. 다음 클러스트(2176)에는 대뇌 우반구 편도체와 해마가 속했다. 이 외에도 대뇌 우반구 시상의 시상침(pulvinar), 섬엽(BA 13), 하전두회(BA 47), 대상회(BA 32) 등이 위치했다.

Table 4. ALE activation clusters consistently associated with happiness

N	Anatomical label	H	BA	Cluster Center			Vol mm^3	Individual Foci			ALE
				x	y	z		x	y	z	
1	Fusiform Gyrus	R	37	36	-59	-17	1032	40	-54	-16	0.012
	Cerebellum (Declive)	R						30	-68	-14	
2	Fusiform Gyrus	L	19	-38	-65	-7	824	-40	-66	-8	0.012
	Fusiform Gyrus	L	19					-32	-64	-6	
3	Postcentral Gyrus	R	40	58	-29	20	784	58	-28	22	0.015
4	Parahippocampal Gyrus	L	30	-12	-45	2	744	-12	-44	2	0.015
5	Basal Ganglia (GP)	L		-20	-6	-5	424	-20	-6	-2	0.011
6	Uncus	R	34	19	3	-18	416	20	6	-20	0.010
	Parahippocampal Gyrus	R	34					20	0	-14	

N: Cluster Number, H: Hemisphere, BA: Brodmann Areas, Vol: Cluster Volume, ALE: Maximum ALE Value, GP: Globus Pallidus

Table 5. ALE activation clusters consistently associated with fear

N	Anatomical label	H	BA	Cluster Center			Vol <i>mm</i> ³	Individual Foci			ALE
				<i>x</i>	<i>y</i>	<i>z</i>		<i>x</i>	<i>y</i>	<i>z</i>	
1	Inferior Occipital Gyrus	R	19	40	-67	-6	4144	42	-74	-2	0.026
	Cerebellum (Declive)	R						36	-58	-12	0.019
2	Cerebellum (Declive)	L		-35	-58	-13	3256	-34	-54	-14	0.026
	Cerebellum (Declive)	L						-34	-66	-10	0.023
3	Amygdala	L		-20	-6	-11	3216	-20	-8	-12	0.037
4	Amygdala	R		21	-6	-14	2176	18	-2	-16	0.021
	Hippocampus	R						30	-16	-14	0.014
	Amygdala	R						26	0	-20	0.012
5	Thalamus (Pulvinar)	R		3	-29	-2	2032	4	-30	-2	0.023
6	Inferior Occipital Gyrus	R	47	41	20	-4	1768	46	20	-2	0.020
	Inferior Occipital Gyrus	R	47					34	20	-10	0.015
	Insula	R	13					30	14	-8	0.014
	Inferior Frontal Gyrus	R	47					36	20	-2	0.012
7	Cingulate Gyrus	R	32	1	16	41	1392	2	16	42	0.022
8	Middle Temporal Gyrus	L	37	-46	-67	5	840	-44	-66	6	0.019
9	Inferior Frontal Gyrus	L	47	-38	25	-6	752	-42	24	-6	0.017
	Inferior Frontal Gyrus	L	47					-30	24	-6	0.014

N: Cluster Number, H: Hemisphere, BA: Brodmann Areas, Vol: Cluster Volume, ALE: Maximum ALE Value

Fig. 1(c)는 공포의 최대 클러스트에 속하는 대뇌 우반구 하후두회(BA 19)의 활성화를 나타내는 뇌 영상이다.

4.2.4. 분노의 활성화 클러스트

분노와 관련된 반응중심에 대한 ALE 분석 결과를 Table 6에 제시했다. 분노에 반응하는 최대 클러스트의 크기는 3,632 m^3 이며, 대뇌 우반구의 편도체와 전장, 해마가 위치한다. 두 번째 클러스트(1816)에는 대뇌 우반구 하전두회(BA 13, 47)와 섬엽(BA 13)이 속한다. 이외에 대뇌 좌반구 편도체와 대뇌 좌우반구의 하전두회(BA 47), 섬엽(BA 13), 대상회(BA 24, 32) 등이 주요하게 활성화되었다.

Fig. 1(d)는 분노의 최대 클러스트에 속하는 대뇌 우반구 편도체의 활성화를 나타내는 뇌 영상이다.

4.2.5. 혐오의 활성화 클러스트

혐오와 관련된 반응중심에 대한 ALE 분석 결과를 Table 7에 제시했다. 혐오에 반응하는 최대 클러스트의 크기는 3,664 m^3 이며, 대뇌 좌반구의 편도체와 전장이

위치한다. 두 번째 클러스트의 크기는 3104이며, 대뇌 좌반구의 하전두회(BA 13, 47)와 섬엽(BA 13)이 속한다. 세 번째 클러스트(3096)에는 대뇌 우반구의 편도체가 위치했다. 이외에 대뇌 좌우반구의 방추상회(BA 17, 37), 우반구의 중측두회(BA 37)가 활성화 되었다.

Fig. 1(e)는 혐오의 최대 클러스트에 속하는 대뇌 좌반구 편도체의 활성화를 나타내는 뇌 영상이다.

4.2.6. 슬픔의 활성화 클러스트

슬픔과 관련된 반응중심에 대한 ALE 분석 결과를 Table 8에 제시했다. 슬픔에 반응하는 최대 클러스트의 크기는 1,424 m^3 이며, 대뇌 좌반구의 편도체와 해마가 위치했다. 두 번째로 큰 클러스트(1048)에는 대뇌 좌반구의 설전부(BA 31)가 위치한다. 이외에 대뇌 좌반구의 내전두회(medial frontal gyrus, BA 10)와 방추상회(BA 19), 대뇌 우반구의 상전두회(BA 6), 대뇌 좌반구의 중측두회(BA 21) 등이 활성화 되었다.

Fig. 1(f)는 슬픔의 최대 클러스트에 속하는 대뇌 좌반구 편도체의 활성화를 나타내는 뇌 영상이다.

Table 6. ALE activation clusters consistently associated with *anger*

N	Anatomical label	H	BA	Cluster Center			Vol <i>mm</i> ³	Individual Foci			ALE
				<i>x</i>	<i>y</i>	<i>z</i>		<i>x</i>	<i>y</i>	<i>z</i>	
1	Amygdala	R		24	-7	-12	3632	20	-8	-10	0.022
	Amygdala	R						18	-4	-16	0.019
	Amygdala	R						30	-4	-16	0.016
	Clastrum	R						32	2	-6	0.014
	Hippocampus	R						30	-14	-16	0.011
2	Inferior Frontal Gyrus	R	13	40	27	5	1816	42	28	6	0.017
	Inferior Frontal Gyrus	R	47					32	26	2	0.017
	Insula	R	13					32	26	10	0.010
3	Amygdala	L		-20	-10	-8	1176	-20	-10	-8	0.020
4	Inferior Frontal Gyrus	R	44	48	15	18	912	48	16	14	0.014
	Inferior Frontal Gyrus	R	9					48	16	22	0.013
5	Inferior Frontal Gyrus	L	47	-39	15	-1	848	-38	16	-4	0.016
	Insula	L	13					-42	14	2	0.013
6	Cingulate Gyrus	R	32	2	12	39	760	2	14	38	0.015
	Cingulate Gyrus	L	24					-2	6	36	0.010
7	Cerebellum (Culmen)	R		37	-44	-18	664	36	-44	-18	0.018
8	Cerebellum (Declive)	R		28	-60	-7	648	30	-62	-8	0.013
	Fusiform Gyrus*	R	19					24	-56	-8	0.012
9	Middle Temporal Gyrus	R	37	52	-52	4	520	52	-52	4	0.014

N: Cluster Number, H: Hemisphere, BA: Brodmann Areas, Vol: Cluster Volume, ALE: Maximum ALE Value

Table 7. ALE activation clusters consistently associated with *disgust*

N	Anatomical label	H	BA	Cluster Center			Vol <i>mm</i> ³	Individual Foci			ALE
				<i>x</i>	<i>y</i>	<i>z</i>		<i>x</i>	<i>y</i>	<i>z</i>	
1	Amygdala	L		-24	-3	-14	3664	-22	-2	-18	0.034
	Amygdala	L						-20	-4	-14	0.034
	Clastrum	L						-34	-2	-8	0.020
2	Inferior Frontal Gyrus	L	47	-30	27	-9	3104	-26	28	-8	0.027
	Insula	L	13					-26	20	-12	0.017
3	Amygdala	R		23	-2	-16	3096	22	-2	-16	0.040
4	Fusiform Gyrus	L	37	-39	-61	-11	3080	-42	-64	-10	0.021
	Fusiform Gyrus	L	37					-40	-46	-12	0.018
	Fusiform Gyrus	L	19					-32	-72	-14	0.015
5	Fusiform Gyrus	R	19	42	-61	-10	2032	44	-66	-10	0.019
	Fusiform Gyrus	R	37					40	-56	-10	0.017
	Middle Temporal Gyrus	R	37					48	-56	2	0.011
6	Basal Ganglia (Putamen)	R		31	7	-1	1536	32	-2	2	0.015
	Clastrum	R						28	14	-2	0.015
	Clastrum	R						36	2	-2	0.013
	Clastrum	R						34	12	0	0.012
7	Inferior Frontal Gyrus	R	47	30	27	-6	1512	28	28	-6	0.018
	Inferior Frontal Gyrus	R	47					36	26	-4	0.018
	Anterior Cingulate	R	32					16	28	-10	0.011

N: Cluster Number, H: Hemisphere, BA: Brodmann Areas, Vol: Cluster Volume, ALE: Maximum ALE Value

Table 8. ALE activation clusters consistently associated with *sadness*

N	Anatomical label	H	BA	Cluster Center			Vol <i>mm</i> ³	Individual Foci			ALE
				<i>x</i>	<i>y</i>	<i>z</i>		<i>x</i>	<i>y</i>	<i>z</i>	
1	Amygdala	L		-22	-5	-12	1424	-22	-4	-10	0.018
	Amygdala	L						-18	-6	-12	
	Hippocampus	L						-34	-10	-16	
2	Precuneus	L	31	-5	-66	21	1048	-6	-66	20	0.020
3	Medial Frontal Gyrus	L	10	-8	58	4	512	-6	60	2	0.013
4	Fusiform Gyrus	L	19	-35	-69	-14	480	-34	-70	-14	0.013
5	Superior Frontal Gyrus	R	6	2	6	64	480	2	8	64	0.014
6	Middle Temporal Gyrus	L	21	-51	5	-26	416	-52	4	-24	0.011
7	Superior Temporal Gyrus	R	22	49	9	-5	408	50	10	-6	0.011
8	Cerebellum (Declive)	R		41	-79	-15	400	40	-80	-16	0.015
9	Thalamus	R		1	-21	12	400	2	-20	12	0.012

N: Cluster Number, H: Hemisphere, BA: Brodmann Areas, Vol: Cluster Volume, ALE: Maximum ALE Value

4.3. 개별정서에 따른 뇌 반응의 국지화

개별정서들이 일관되고 구별 가능한 국부적인 뇌 반응과 관련되는 지를 확인하기 위해, ALE 분석으로 관찰된 개별 정서의 세부 반응 영역을 Fig. 2에 제시했다. 이 그림들은 정준(canonical) T1 해부학적 영상 위에 나타내어진 ALE 활성화 지도의 단면들을 보여준다. 일정한 간격으로 얇게 자른 절편(slice)으로 축에 수직인 수평면들이다.

Fig. 2에서 제시된 개별정서 뇌 영상 그림들은 모

든 통계적 지도들(statistical maps) 중에서 가장 높은 활성화도를 보여주는 단면들을 선택한 것이다. 이 그림들은 Table 3에서 Table 8까지 제시된 개별정서의 반응 영역 및 좌표 등에 대한 ALE 분석 결과와 결합되어 있다. 개별정서에 따른 활성화 영역을 나타내는 뇌 영상 그림들을 비교해보면 각 정서별 반응 영역이 뚜렷한 차이가 있다. 이를 통해 개별정서들이 일관되고 구별 가능한 국부적인 뇌 활성화와 관련됨을 확인할 수 있다. 즉, 개별정서에 따른 뇌 반응의 국지화(localization)에 대한 증거다.

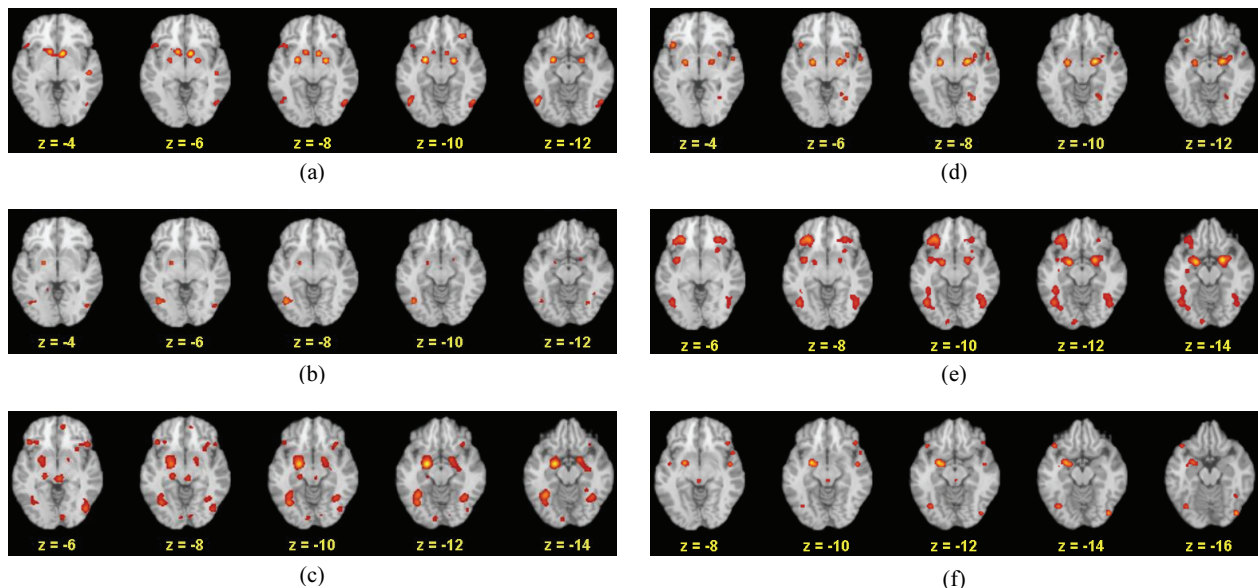


Fig. 2. Statistical map of significant ALE clusters associated with (a) *joy*, (b) *happiness*, (c) *fear*, (d) *anger*, (e) *disgust*, (f) *sadness*

5. 결론 및 논의

본 연구는 기본정서에 따른 뇌 반응 영역의 차이가 유의한지를 확인하기 위해 fMRI 자료들에 대한 메타분석을 수행했다. 6개의 개별정서와 관련된 뇌 영상 연구들을 검색하여 각 정서별 뇌 반응 활성화 중심 좌표를 수집한 후, 이를 사용하여 메타분석을 실시했다.

즐거움(또는 기쁨)과 관련된 선행 메타분석 연구 결과가 보고되지 않아 본 연구 결과와 비교할 수 없었다. 즐거움에 대해 활성화되는 최대 영역은 도파민 경로에 포함된 측좌핵으로 나타났으며, 이는 Banich & Compton(2011)에도 제시된 바 있다.

행복과 관련하여, Fusar-Poli et al.(2009a)는 좌우반구 해마방회, 우반구 전대상피질, 좌반구 방추상회, 좌우반구 편도체 등이 활성화됨을 보고했다. Vytal & Hamann(2010)이 우반구 상측두회, 좌반구 전대상피질, 좌측 소뇌, 좌반구 시상 등을 언급한 것은 본 연구의 결과와 동일하다.

공포에 대해, Phan et al.(2002)과 Murphy et al.(2003)은 특히 편도체가 활성화됨을 보고했다. Fusar-Poli et al.(2009a)는 좌우반구 편도체, 해마방회, 방추상회와 우반구 내전두회 등이 활성화됨을 보고했다. Vytal & Hamann(2010)은 좌우반구 편도체, 우측 소뇌, 우반구 섬엽, 좌반구 방추상회, 좌반구 하전두회, 우반구 전대상피질, 하후두회 등이 활성화됨을 보고했다. 기존의 분석결과와 본 연구 결과는 대체로 같다.

분노와 관련하여, Murphy et al.(2003)는 외측안와 전두피질(lateral orbitofrontal cortex)의 활성화를 보고했다. Fusar-Poli et al.(2009a)는 좌반구 섬엽과 우반구 하후두회가 활성화되며, 편도체에는 영향을 주지 않는다고 보고했다. Vytal & Hamann(2010)은 좌반구 하전두회, 우반구 해마방회, 좌반구 방추상회, 우반구 하전두회, 우측 소뇌, 우반구 중전두회 등이 활성화됨을 보고했다. 본 연구 결과도 이들과 같다.

혐오에 대해, Murphy et al.(2003)는 섬엽과 담창구가 주로 활성화됨을 보고했다. Fusar-Poli et al.(2009a)는 좌우반구의 섬엽, 우반구 시상, 좌반구 방추상회

등이 활성화되며, 편도체에는 영향이 없다고 보고했다. Vytal & Hamann(2010)은 좌우반구의 하전두회와 섬엽, 좌반구의 설회(lingual gyrus)와 편도체, 좌우반구 방추상회, 좌반구 내전두회 등이 활성화됨을 보고했다. 설회는 후두엽 내측면 영역의 일부이다. 본 연구도 이들과 같은 결과를 보여주었다.

슬픔과 관련하여, Phan et al.(2002)는 대상(cingulate)의 활성화를 보고했다. Fusar-Poli et al.(2009a)는 좌반구 설회, 우반구 편도체, 우반구 해마방회를 최대 활성화 영역으로 보고했다. Vytal & Hamann(2010)은 좌반구 내전두회와 중전두회, 우반구 하전두회와 하측두회, 좌우반구의 미상핵 머리부분, 좌우측 소뇌, 좌반구의 시상, 우반구의 해마방회 등을 보고하였다. 이런 결과는 본 연구와 유사하다.

Phan et al.(2002)는 특정 정서 및 그 유도 방법과 관련된 뇌 영역의 활성화를 탐색한 뇌 영상 연구들을 대상으로 메타분석을 했다. 이 연구에서 내측 전전두피질이 정서 과정에서 전반적인 역할을 한다고 보고했다. Murphy et al.(2003)은 신경 활동의 국부적인 분포와 인간 정서의 신경분포 모형과의 관련성에 대한 연구에서 뇌 부위에 따른 기본정서의 신경 상관에 대한 지지를 보고했다. Fusar-Poli et al.(2009a)는 ALE 기법으로 얼굴을 통한 정서 정보 처리의 기반이 되는 신경기능적 지도(neurofunctional map)를 규명했다. Vytal & Hamann(2010)은 ALE 기법을 사용하여 기본정서들이 일관되고 구별 가능한 국부적인 뇌 활성화와 관련됨을 확인했다.

본 연구에서도 fMRI 기법을 활용한 정서관련 연구들을 근거로 기본정서 이론을 확인할 수 있었다. 본 연구 결과에서 즐거움을 제외한 5개의 개별정서(행복, 공포, 분노, 혐오, 슬픔)와 관련된 뇌 활성화 영역은 선행 메타분석 연구들의 결과와 일치했다. 결론적으로 기본정서 이론의 관점에서, 개별정서들은 일관되고 구별 가능한 국부적인 뇌 반응과 관련되어 있다. 이것은 기본정서 이론의 유의미성에 대한 뇌 과학적 근거로 볼 수 있다.

다음은 본 연구 결과를 일반화 하는데 있어서 극복

해야 할 제한점과 향후 연구과제에 대한 몇 가지 제언이다. 첫째, 뇌 영상 자료로 기본정서 이론을 확인하기 위해 일정 수 이상의 개별정서가 필요했다. 그러나 실제 분석에 사용 가능한 정서 관련 fMRI 자료는 매우 제한적이었다. 본 연구는 건강한 피험자를 대상으로 fMRI를 활용한 정서 연구 중 최대 확보할 수 있는 개별정서 6개를 선정했다. fMRI 연구는 주로 의학, 신경심리학 분야에 진행되고 있으며, 다양한 분야로 확산되고 있다. 심리학을 포함하여 교육학, 경영학 분야와의 간학문적 연구가 필요하다.

둘째, 본 연구에서 Talairach 또는 MNI의 표준 좌표로 보고된 연구를 분석 대상으로 하면서 Talairach 좌표 체계를 기준으로 분석했다. ALE 메타분석을 위해 BrainMap에서 제공하는 GingerALE 프로그램을 사용했는데, BrainMap에서는 Brodmann 영역과 잘 어울리는 Talairach 좌표 체계 사용을 권장하고 있다. 그러나 Brodmann 영역의 정확성에 대해 의문이 제기되고 있으므로 Talairach 좌표 체계를 계속 사용하는 것은 문제의 소지가 있을 수 있다. 최근에는 Montreal Neurological Institute에서 개발한 MNI 좌표 체계가 이 분야의 표준으로 되는 추세이다. MNI 좌표 체계는 다수의 MRI 자료를 기초로 하므로 정확도 면에서 신뢰를 얻고 있다(Poldrack et al., 2011). 좀 더 정교한 fMRI 정서 연구를 위해 MNI 좌표 체계를 기반으로 하는 메타분석 연구가 필요하다.

셋째, 뇌 영상 메타분석 연구의 저자들은 정서를 경험하는 동안에 활성화되는 특정 뇌 영역을 보고했다. 정서를 경험하는 동안에 활성화된 영역은 뇌 전체에 광범위하게 흩어져 있다. 선행 연구마다 결과에서 차이가 나는 것은 고유의 정서보다는 정서 유발 방법의 차이에 기인할 수 있다. 비디오나 사진으로 정서를 유발시킨 연구는 후두엽 시각피질(visual cortex)의 활성화를, 음성 연구에 의존한 연구는 측두엽 청각피질의 활성화를 보고했다(Shiota & Kalat, 2012). Phan 외(2002)는 시각 자극에 의한 정서 유발은 후두피질(occipital cortex)과 편도체를 활성화 시키고, 회상이나 심상에 의한 정서 유발은 전대상회와 섬엽과 관련

됨을 보고했다. Fusar-Poli et al.(2009a)는 정서를 표현하는 얼굴 표정의 처리 과정 동안 활성화되는 뇌 영역으로 시각피질과 소뇌를 강조했다. 뇌영상 연구는 그 결과의 해석에 있어 많은 주의가 필요하다. 정서 유발 방식의 차이에 따른 뇌 반응의 비교나 종합을 위한 연구도 필요하다.

개인이 실제 경험하는 정서는 연구자들이 제시하는 기본정서 보다 훨씬 많다. 고유한 정서에 해당하는 특정한 생리적 반응이 존재하는 것은 아니며, 유사한 생리적 반응을 보이면서도 서로 다른 종류의 정서적 경험을 할 수 있다(Han, 2015). 본 연구는 자기 보고식이나 생리적 측정 등 그 동안의 정서 연구가 지닌 한계점을 보완한 점에서 의의가 있다.

REFERENCES

- Banich, M. T., & Compton, R. J. (2011). *Cognitive Neuroscience* (3rd ed.). Belmont, CA: Wadsworth, a Part of Cengage Learning.
- Barrett, L. F., & Wager, T. (2006). The structure of emotion: Evidence from the neuroimaging studies. *Current Directions in Psychological Science*, 15, 79-85. DOI: 10.1111/j.0963-7214.2006.00411.x
- Byrnes, J. P. (2001). *Minds, brains, and learning: Understanding the psychological and educational relevance of neuroscientific research*. New York: Guilford Press.
- DOI: 10.1352/0047-6765(2002)040<0259:>2.0.co;2
- Ekman, P., & Davidson, R. J. (1994). *The nature of emotion: Fundamental questions*. Series in affective science. NY: Oxford University Press.
- Fusar-Poli, P., Placentino, A., Carletti, F., Landi, P., Allen, P., Surguladze, S., Benedetti, F., Abbamonte, M., Gasparotti, R., Barale, F., Perez, J., McGuire, P., & Politi, P. (2009a). Functional atlas of emotional faces processing: A voxel-based meta-analysis of 105 functional magnetic resonance imaging studies. *Journal of Psychiatry and Neuroscience*, 34(6),

- 418-432.
- Fusar-Poli, P., Placentino, A., Carletti, F., Allen, P., Landi, P., Abbamonte, M., Barale, F., Perez, J., McGuire, P., & Politi, P. L. (2009b). Laterality effect on emotional faces processing : ALE meta-analysis of evidence. *Neuroscience Letters*, *452*, 262-267. DOI: 10.1016/j.neulet.2009.01.065
- Gazzaniga, M. S., Ivry, R. B., & Mangun, G. R. (2009). *Cognitive Neuroscience-The Biology of the Mind* (3rd ed.). NY: Norton & Company.
- George, M. S., Ketter, T. A., Parekh, P. I. Horwitz, B., Herscovitch, P., & Post, R. M. (1995). Brain activity during transient sadness and happiness in healthy women. *American Journal of Psychiatry*, *152*(3), 341-351. DOI: 10.1176/ajp.152.3.341
- Gluck, M. A., Mercado, E., & Myers, C. E. (2008). *Learning and memory: From brain to behavior*. New York: Worth Publishers.
- Han, M. R. (2015). *Configuration of geometric model of academic emotions*. Unpublished doctoral dissertation. Chonbuk National University, Jeonju.
- Ioannidis, J. P., & Lau, J. (1999). Pooling research results: Benefits and limitations of meta-analysis. *Joint Commission Journal on Quality Improvement*, *5*, 462-469. DOI: 10.1016/S1070-3241(16)30460-6
- Jeon, Y. S., & Kim, C. B. (2013). Neural mechanisms involved in multi-dimensional task switching: A meta-analysis. *Korean Journal of Cognitive and Biological Psychology*, *25*(3), 341-358. DOI: 10.22172/cogbio.2013.25.3.006
- Kalat, J. W., & Shiota, M. N. (2007). *Emotion*. Belmont, CA: Wadsworth, a part of Cengage Learning.
- Kim, G. S. (2015). *A meta-analysis of the fMRI studies of emotions*. Unpublished doctoral dissertation. Chonbuk National University, Jeonju.
- Kim, Y. H. (2001). Usefulness of functional MRI for the study of brain function. *Korean Journal of Brain Science & Technology*, *1*(1), 65-76.
- Laird, A. R., Fox, P. M., Price, C. J., Glahn, D. C., Uecker, A. M., Lancaster, J. L., Turkeltaub, P. E., Kochunov, P., & Fox, P. T. (2005). ALE meta-analysis: Controlling the false discovery rate and performing statistical contrasts. *Human Brain Mapping*, *25*(1), 155-164. DOI: 10.1002/hbm.20136
- Lee, H. G., Lee, S. J., Lee, E. J., & Park, S. E. (2002). *Emotion psychology* (2nd ed.). Gyeonggi: Bobmun Press.
- Lévesque, J., Eugène, F., Joannette, Y., Paquette, V., Mensour, B., Beaudoin, G., Leroux, J. M., Bourgouin, P., & Beauguard, M. (2003). Neural circuitry underlying voluntary suppression of sadness. *Biological Psychiatry*, *53*, 502-510. DOI: 10.1016/S0006-3223(02)01817-6
- Murphy, F. C., Nimmo-Smith, I., & Lawrence, A. D. (2003). Functional neuroanatomy of emotion: A meta-analysis. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*, *3*, 207-233. DOI: 10.3758/CABN.3. 3.207
- Phan, K. L., Wager, T. D., Taylor, S. F., & Liberzon, I. (2002). Functional neuroanatomy of emotion: A meta-analysis of emotion activation studies in PET and fMRI. *Neuroimage*, *16*, 331-348. DOI: 10.1006/nimg.2002.1087
- Phillips, M. L. Young, A. W., Senior, C., Brammer, M., Andrew, C., Calder, A. J., Bullmore, E. T., Perrett, D. I., Rowland, D., Williams, S. C. R., Gray, J. A., & David, A. S. (1997). A specific neural substrate for perceiving facial expressions of disgust. *Nature*, *389*, 495-498. DOI: 10.1038/39051
- Poldrack, R. A., Mumford, J. A., & Nichols, T. E. (2011). *Handbook of functional MRI data analysis*. Cambridge, NY: Cambridge University Press.
- Shiota, M. N., & Kalat, J. W. (2012) *Emotion* (2nd ed.). Belmont, CA: Wadsworth, a part of Cengage Learning.
- Turkeltaub, P. E., Eickhoff, S. B., Laird, A. R., Fox, M., Wiener, M., & Fox, P. (2012). Minimizing within-experiment and within-group effects in activation likelihood estimation meta-analyses. *Human Brain Mapping*, *33*, 1-13. DOI: 10.1002/hbm.21186
- Vytal, K., & Hamann, S. (2010). Neuroimaging support

for discrete neural correlates of basic emotions: A voxel-based meta-analysis. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 22(12), 2864-2885.

DOI: 10.1162/jocn.2009.21366

Wicker, B., Keysers, C., Plailly, J., Royet, J. P., Gallese, V., & Rizzolatti, G. (2003). Both of us disgusted in my insula: The common neural basis of seeing and feeling disgust. *Neuron*, 40(3), 655-664.

DOI: 10.1016/S0896-6273(03)00679-2

원고접수: 2017.07.05

수정접수: 2017.09.11

게재확정: 2017.09.15