

기능적 뇌영상 연구들을 통해 본 정서 자극의 신경정보처리

관동대학교 의과대학 명지병원 정신과학교실¹, 연세대학교 의과대학 의학행동과학연구소 및 정신과학교실²
박 일 호¹ · 김 재 진²

The Neural Processing of Affective Stimuli Examined Through Functional Neuroimaging Studies

Il Ho Park, MD¹ and Jae-Jin Kim, MD, PhD²

¹Department of Psychiatry, Myongji Hospital, Kwandong University College of Medicine, Goyang, Korea

²Institute of Behavioral Science in Medicine and Department of Psychiatry, Yonsei University College of Medicine, Seoul, Korea

ABSTRACT

Understanding the neural processing of emotion may provide a knowledge base for uncovering the pathophysiology of psychiatric disorders. Affective neuroscience has evolved with the advent of functional neuroimaging providing evidence for specific subregional functions and neural correlates of different levels and steps in emotional processing. This article reviewed recent functional neuroimaging findings on the neural processing of emotion in consistently reported regions including the prefrontal cortex, amygdala, basal ganglia, and the insula. Neural networks related to processing affective valence, implicit and explicit levels of emotional processing and emotional awareness were identified. These functional neuroimaging findings provide evidence for an appraisalist view of emotion as a process of quickly identifying and appraising environmental signals and responding appropriately for survival. (J of Kor Soc for Dep and Bip Disorders 2009;7:5-11)

KEY WORDS : Emotion · Functional neuroimaging · fMRI · PET.

서 론

우울, 고양감, 불안초조, 공포, 이자극성 등의 정서적 증상은 우울장애 및 양극성 정동장애를 비롯한 다양한 정신 질환에서 흔히 나타나며, 정서적 증상과 관련된 뇌신경망에 대한 이해는 정신질환의 병태생리학적 원인을 규명하는 실마리를 제공할 수 있다. 특히 정상 뇌에서의 정서처리과정에 대한 이해는 연구자가 탐색할 뇌영역을 설정하고 임상 의가 정서적 증상의 기능적 의미를 이해하는 데 도움이 될 수 있다.

뇌에서의 정서처리영역으로 알려진 해마형성체(hippocampal formation), 유두체(mammillary bodies), 전방 시상핵(anterior thalamic nucleus), 대상이랑(cingulate gy-

rus), 해마옆이랑(parahippocampal gyrus) 등이 포함된 변연계는 동물연구를 통해 알려졌다. 사람에서의 정서처리 영역은 뇌손상 환자를 통해 연구되어 오다가 1990년대 이후 양전자 방출 단층촬영(positron emission tomography : PET)과 기능적 자기공명영상(functional magnetic resonance imaging : fMRI)을 이용하여 광범위하게 연구가 이루어져 최근에는 정서신경과학(affective neuroscience)이라는 분야를 이룰 정도로 비약적인 발전을 이루었다. 기능적 뇌영상을 이용한 정서 연구에서는 특정 감정을 유발시켜 활성화되는 뇌영역을 측정하는데 이때 시각, 청각, 후각, 미각, 촉각의 감각기관을 자극하는 다양한 정서 자극과 수동적 관찰, 정서 평가, 회상 등을 통해 감정을 불러일으키는 다양한 유도 방법이 이용된다. 기능적 뇌영상은 뛰어난 공간적 해상도로 정서 반응과 관련된 하부 뇌영역의 활성화를 관찰할 수 있을 뿐 아니라, 뇌활성화 유도 방법 및 영상 대조의 조합에 따라 다양한 단계 및 수준에서 정서처리 과정을 조사할 수 있다. 예를 들어, 정서를 표현하는 얼굴 표정 사진을 보면서 성별을 구분할 때의 뇌활성도는 얼굴 표정의 정서를 구분할 때의 뇌활성도보다 상대적으로 더 내현적(implicit)인 수준의 정서처리과정을 반영한다.

투고일자 : 2009년 2월 4일 / 심사일자 : 2009년 2월 4일

게재확정일자 : 2009년 3월 13일

본 논문의 일부 내용은 2008년 대한우울조울병학회 추계학술대회에서 발표한 내용임.

교신저자 : 박일호, 412-270 경기도 고양시 화정동 697-24

관동대학교 의과대학 명지병원 정신과학교실

전화 : (031) 810-5425 · 전송 : (031) 969-0500

E-mail : eihpark@gmail.com

정서의 기능적 뇌영상 연구에서는 여러 종류의 정서 증 몇 가지 정서만 유도하여 활성화된 영역을 정서처리영역이라고 일반화할 수 없고 정서를 정량적으로 측정해야 하기 때문에 정서의 구조에 대한 개념적 가설을 이용한다. 대표적인 가설은 정서가 가설(emotional valence hypothesis)로 정서를 이분화하여 목표지향적인 행동과 관련된 긍정적 정서(positive affect)와 회피적인 행동과 관련된 부정적 정서(negative affect)로 나누며 각각 접근체계(approach system)와 회피체계(withdrawal system)의 뇌신경망이 담당하고 있다고 본다.^{1,2)} 또 다른 정서의 차원으로는 평온, 느긋함 등의 흥분되지 않은 상태에서부터 매우 흥분된 상태에 이르는 정서적 각성도(emotional arousal)가 있으며 신경생리학적으로는 alpha파로부터 증가되는 주파수(frequency)에 반영된다고 한다.¹⁾

본 고찰은 기존 기능적 뇌영상 연구들에서 정서처리과정과 관련된 뇌영역으로 주로 보고한 전전두피질(prefrontal cortex), 편도체(amygdale), 기저핵(basal ganglia), 뇌섬(insula)을 중심으로 정서의 신경처리과정을 알아보고자 하였다.

본 론

전전두피질(Prefrontal cortex)

전전두피질은 뇌손상 환자 대상 연구와 신경생리학적 연구에서부터 긍정 및 부정적 정서처리과정 모두에 관여한다고 보고되어 왔다. 뇌졸중으로 인해 좌측 전전두피질이 손상된 환자에서는 우울 증상이 더 잘 동반되고 우측 전전두피질 손상 환자에서는 부적절한 쾌활함과 조증의 징후가 더 잘 나타난다고 한다.³⁻⁵⁾ 정서 유발을 통한 전기생리학적 연구들은 좌측 전전두피질이 긍정적 정서와, 우측 전전두피질이 부정적 정서와 관련이 있음을 보고하였다.⁶⁻⁸⁾ 전전두피질의 우측 반구는 부정적 정서, 좌측 반구는 긍정적 정서를 처리한다는 정서가 측면화 가설(valence lateralization hypothesis)은 전전두피질 내 긍정적 정서와 부정적 정서를 담당하는 부위가 분리되어 있다는 이들 보고를 기반으로 하고 있다.⁹⁾

공간적 해상도가 높은 PET 및 fMRI 연구들은 정서가 처리를 담당하는 전전두피질의 보다 국소적인 영역들을 구분지어 주었다. Wager 등¹⁰⁾은 정서에 대한 PET와 fMRI 연구들을 메타분석한 결과, 긍정과 부정적 정서가에 따른 전두 측면화가 유의미하지 않고, 분노감, 공격성을 포함시킨 접근 관련 정서가 경향성 수준의 좌측 측면화가 있음을 보고하였다. 시각적 정서가를 평가할 때의 뇌활성화를 본 몇몇 연구는 좌측 배외측 전전두피질(dorsolateral prefrontal

cortex)이 긍정적 정서가에, 우측 복외측(ventrolateral)이나 배외측 전전두피질이 부정적 정서가에 활성화됨을 관찰하였다.^{11,12)} Davidson과 Irwin²⁾은 정서가 동기에 따라 일관되게 행동의 방향을 잡아주고 조직화하는 역할을 한다는 관점에서 즉각적인 유도인자 없이도 정서를 표상화하는 정서적 작업기억(affective working memory)에 배외측 전전두피질이 관여할 것이라고 보았다. 측면화 관점 외에 전전두피질에서의 정서가의 처리 영역이 내-외측으로 구분 지어질 수 있다는 연구결과들도 다수 있다. 정서에 대한 기능적 뇌영상 연구에 대한 메타분석에서 전방 내측 전전두피질이 접근 관련 정서와 연관성을 보인다고 보고된 바 있는데,¹⁰⁾ 대개 후각 자극 또는 상벌(reward and punishment)을 이용한 연구들에서 안와전두피질(orbitofrontal cortex)의 내측 영역은 긍정적 정서 또는 보상(reward), 외측 영역은 부정적 정서 또는 징벌(punishment)에 반응한다고 하였다.¹³⁻¹⁶⁾ 내측 전전두피질의 후방 부위에 위치한 전방 대상(anterior cingulate)은 메타분석 결과, 주로 회피 관련 정서들에 반응하는 영역으로 보고되었다(그림 1).¹⁰⁾ 특히 복측 전방 대상(ventral anterior cingulate)은 위협 또는 부정적 단어에 의해 활성화된다고 하며,^{17,18)} 상당수의 슬픔을 유발하는 연구들에서 복측 또는 슬하 전방 대상(subgenual anterior cingulate)의 활성화를 보고하기도 하였다.¹⁹⁾ 이 영역의 활성화가 주로 회상을 통해 정서를 유발시켰을 때 나타난다는 점에서 부정적 정서 자체를 반영한다기 보다 내적으로 생성된 감정에 대해 인지적으로 처리하는 과정을 담당하는 영역일 것이라고 보기도 하지만,²⁰⁾ Liotte 등²¹⁾과 Mayberg 등²²⁾은 정서 유발과정 거친 후에도 충분히 강렬한 슬픔을 느낄 때 슬하 전방 대상이 활성화되는 것을 보여줌으로써 이 영역이 슬픔을 담당하는 영역이라고 주장하였다.

전전두피질은 정서 자극의 처리과정에 있어서 정서적 부담이나 인지적 통제의 정도에 따라서 관여하는 영역이 다르다고 한다. Phan 등¹⁹⁾은 그들의 메타분석에서 내측 전전

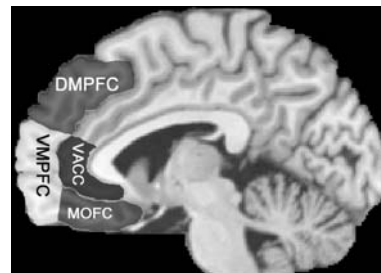


Fig. 1. Subregions of the medial prefrontal cortex related to emotional processing include the medial orbitofrontal cortex (MOFC), ventromedial prefrontal cortex (VMPFC), dorsomedial prefrontal cortex (DMPFC), and the ventral anterior cingulate cortex (VACC).

두피질이 공포, 슬픔, 혐오, 분노, 기쁨의 개별 정서 모두에 대해 활성화를 보인다고 보고하면서, 내측 전전두피질이 정서에 대해 주의력을 기울이거나 정서를 평가하는 과제와 같은 정서 과제를 수행할 때 정서처리과정에서 공통적으로 내재되어 있는 인지적 측면에 관여한다고 본 반면, 복측 전방 대상은 주로 얼굴 표정 사진에서의 성별 구별, 정서 자극의 재인 또는 부호화(recognition or encoding), 정서의 자전적 회상 등과 같은 정서 과제를 수행할 때 인지적 부담과 관련 있다고 보았다(그림 1). 수동적으로 정서 자극을 주시할 때와 같은 내현적(implicit) 정서 처리와 정서 판단을 할 때와 같은 외현적(explicit) 정서 처리를 직접 비교한 연구들에서는 내현적 정서처리시 내측 전전두피질이 상대적으로 더 활성화되고 외현적 정서처리시에는 외측 전전두피질이 더 활성화된다고 하며,^{12,23)} 긍정 및 부정적 자극을 동시에 처리해야 하는 정서처리의 부담이 커질 때에도 배외측 전전두피질이 관여한다고 한다.²⁴⁾ Schaefer 등²⁵⁾은 정서의 정보처리경로가 정서적 경험에 대한 감각적, 지각적, 의미론적 정보를 통합한 내재적 표상이 신체반응체계와 연결되어 자동적으로 처리되는 “뜨거운(hot)” 정서처리경로와 정서에 대한 서술적 기억을 의지에 의해 통제하는 “차가운(cold)” 정서처리경로로 구성된다고 보았고, “뜨거운” 경로와 “차가운” 경로에 복내측과 배외측 전전두피질이 각각 관련되어 있음을 관찰하였다. Bush 등²⁶⁾은 인지와 정서 과제를 이용한 연구들의 메타분석을 통해 전방 대상을 주의력의 조정 및 오류 탐지(error detection) 등과 같은 인지기능에 관여하는 배측 “인지” 전방 대상과 정서 자극 또는 정서적 증상 유발에 의해 활성화되는 복측 “정서” 전방 대상으로 구획화하였다(그림 1). 정서 자극을 이용한 선택적 주의력 과제인 정서적 Stroop 과제 수행시 복측 전방 대상은 인지적 측면이 배제된 경우 활성화되고 정서적 간섭이 커질 때는 활성도가 억제된다고 보고된 바 있다.^{18,27,28)} 또한 복측 전방대상은 해부학적으로 편도체, 중격의지핵(nucleus accumbens), 시상하부(hypothalamus), 전방 뇌섬(anterior insula), 안와전두피질, 뇌도관 주변 회질(periaqueductal gray)과 연결되어 있어, 이 영역이 인지와 정서 처리의 상호작용에 있어 정서 반응의 조정자 역할을 할 것으로 추측하고 있다.²⁶⁾

내측 전전두피질은 정서처리 신경망의 고유 영역으로서 최근에는 정서의 자각과 관련되어 있다는 연구결과들이 보고되고 있다. 정서의 정서가 및 강도(intensity)와 관련된 뇌영역을 알아본 fMRI연구들에서 복내측 전전두피질의 활성도는 주관적으로 평가한 정서가가 클수록, 배내측 전전두피질의 활성도는 어떤 정서가가든 정서의 강도에 대한 평가가 클수록 증가된다고 보고하였다(그림 1).^{11,12,29)} Frith

등³⁰⁾은 내측 전전두피질의 기능이 자기 처리과정(self-processing)의 정서적 측면을 반영한다고 주장한 바 있고 기능적 뇌영상 연구들도 내측 전전두피질의 활성이 자기 관계(self-reference)나 자기 반추(self-reflection)의 과정과 관련이 있음을 뒷받침하고 있다.^{31,32)} 특히 내측 전전두피질의 활성이 자신과 연관된 정서적 특성을 처리하거나 자신의 감정을 반추하는 과정, 감정이 내적으로 형성될 때에도 관찰되고^{20,33-35)} 정서의 자각 정도와 상관관계가 있다고 보고된 점은³⁶⁾ 이 영역이 정서의 주관적 경험을 반영함을 시사하고 있다. 정서적 현저성(emotional salience)에 대한 fMRI 연구에서 Phan 등³⁷⁾은 정서적 현저성이 정서적 자극 자체가 갖는 고유의 가치와 정서 자극에 의해 불러일으켜지는 개인적인 사건이나 정서적 기억의 회상에 따른 자기 관련적 가치로 구성되어 있다고 보았고 이러한 정서적 현저성의 요소 중 정서가보다 자기 관련성이 내측 전전두피질의 활성도와 더 연관성이 있다는 것을 관찰하였다. 이는 내측 전전두피질이 정서 처리에 내재되어 있는 자기 관계성 과정과 관련이 있음을 시사한다.

편도체 (Amygdala)

편도체는 공포(fear)와 관련된 부정적 정서와 연관 지어져 왔다(그림 2). 편도체는 불안장애와 관련된 주요뇌영역으로 지목되어 왔는데, PET와 fMRI 연구들은 외상후스트레스장애 환자에서 외상기억에 대한 회상시,³⁸⁾ 강박장애 환자에서는 증상 유발시,³⁹⁾ 사회공포증 환자에서 중립적 얼굴 표정에 대한 반응시⁴⁰⁾ 편도체 활성화를 보고하는 등 이를 뒷받침하는 증거들을 보여왔다. 편도체의 활성화는 특히 무서워하는 얼굴표정(fearful face) 사진을 자극으로 사용한 연구들에서 가장 흔히 보고되어 왔다.^{10,19)} Morris 등은 무서워하는 얼굴표정 사진을 보고 성별을 구별하는 과제를 수행하는 동안 공포의 강도에 따라 편도체의 활성도가 증가함을 관찰하였고,⁴¹⁾ 무서워하는 얼굴표정 사진을 의식적으로 지각하지 못하게 한 차폐(masking) 연구들에서도 편도



Fig. 2. Coronal view of the amygdala (grey circles).

체의 활성화가 보고되었다.^{42,43} 이는 편도체의 활성화가 얼굴표정이 아닌 공포감 자체와 관련되어 있다는 것을 보여 주고 있다.

한편 다른 연구들에 의하면 편도체의 활성화는 공포감이라는 정서에 국한되어 나타나는 것으로 보이지 않는다. 편도체의 활성화는 긍정적인 사진 또는 즐거워하는 얼굴표정 사진,^{44,45} 혐오감 관련 사진,^{46,47} 슬퍼하는 얼굴표정 사진⁴⁸을 제시하였을 때도 관찰된다고 한다. 최근에 Costafreda 등⁴⁹은 편도체의 활성화를 보고한 385편의 PET와 fMRI 연구들을 메타분석한 결과, 부정 및 긍정적 정서 모두 유의하게 편도체를 활성화시킨다고 보고하였으며, 공포와 혐오감은 즐거움(happiness)보다 더 편도체 활성화와 연관성이 높다고 하였다. 이는 편도체가 정서처리과정에 있어 단순한 정서가를 반영한다고 보기 어렵다는 것을 시사한다.

편도체의 활성화는 비단 정서 자극의 지각적 처리를 본 연구에서만 보고된 것은 아니다. 정서 사진의 재인 기억(recognition memory)을 본 연구에서 정서 사진을 보는 동안 편도체의 활성화도가 클수록 이후에 재인 검사의 수행률이 더 높다고 보고된 바 있다.⁴⁵ 또 LaBar 등⁵⁰은 공포의 조건화(conditioning) 연구에서 획득(acquisition)과 소거(extinction)가 편도체의 활성화와 연관성이 있다고 보고한 바 있다. 최근에는 편도체 자체의 구조적 복잡성으로 인해 편도체의 하부영역에 따라 공포 조건화 과정에서의 역할이 다르다고 본다. Morris 등⁵¹은 배측 편도체(dorsal amygdala)가 공포의 획득과 소거시 빠른 활성화 증가와 감소를 보이는 반면, 복측 편도체(ventral amygdala)는 획득 과정의 후반기에 증가되면서 이후 수반성(contingency)이 반전되더라도 한번 조건화된 공포 자극에 대해 지속적인 활성도를 유지한다는 것을 관찰하였다. 이는 편도체가 하부영역에 따라 공포의 획득과 소거 뿐 아니라 조건화의 '기억'과도 관련이 있음을 시사한다. 이러한 일련의 보고들은 편도체가 정서의 내현적 처리과정과 관련이 있음을 보여주고 있다. Costafreda 등의 메타분석⁴⁹에서도 정서 자극에 주의력을 요하는 과제를 수행할 때가 정서 자극이 수동적 처리될 때 보다 편도체의 활성을 관찰할 가능성이 떨어진다고 보고하였다. Davis와 Whalen⁵²은 차폐된 무서워하는 얼굴표정 사진에 대한 반응에서 공포심이 유발되지 않았음에도 편도체가 활성화되는 것을 볼 때, 편도체가 공포의 주관적 경험보다는 공포 또는 위협이라는 사회적 신호에 따라 경계(vigilance)와 주의력(attention)을 조정하는 기능을 할 것이라고 주장하였다. 이러한 정서의 중요성 또는 현저성(salience)과 편도체 활성화도의 연관성은 fMRI 연구를 통해 보고되기도 하였다.³⁷ 따라서 편도체는 정서적 자극에 생존과 관련된 중요성을 부여하고 이를 자동적

으로 기억하게 하여 이후에 동일한 정서 신호에 생체가 빠르게 반응할 수 있도록 경계와 주의력을 조정하는 역할을 한다고 생각할 수 있다.

기저핵(Basal ganglia)-복측 선조체(Ventral striatum)

기저핵, 특히 복측 선조체는 도파민 신경과의 연결이 풍부한 중뇌변연 도파민 경로(mesolimbic dopaminergic pathway)로 보상 경로와 관련이 있다. Breiter 등⁵³은 코카인 중독 환자에게 코카인 주입한 후 시행한 fMRI 연구에서 미상핵(caudate), 조가비핵(putamen), 중격의지핵(nucleus accumbens)를 포함하는 복측 선조체 영역의 강한 활성화를 관찰하였고, Drevet 등⁵⁴은 PET을 이용하여 암페타민(amphetamine) 투여 후 복측 선조체에서 유리되는 도파민의 양이 쾌감 반응(hedonic response)과 상관관계를 보인다는 것을 보고하였다. 약물 투여를 통한 in vivo 연구 외에도 중격의지핵이나 조가비핵의 활성화는 보상이 따르는 과제 수행시,⁵⁵ 긍정적인 얼굴표정을 재인하거나,⁵⁶ 내현적으로 지각할 때⁴¹ 영화에 의한 즐거움 유발시⁵⁷ 관찰된다고 한다. 특히 복측 선조체는 보상이 따를 때 주로 활성화되고 도파민 경로와 관련하여 Davidson과 Irwin 등²은 접근 체계(approach system)의 관점에서 긍정적 정서를 보상 동기(incentive reward motivation)로서 또는 원하는 목표에 접근해 나갈 때 목표 달성 전 생기는 정서라고 보았다. 다른 한편, 복측 선조체의 활성화도가 주관적으로 느끼는 정서적 강도와 자신과의 관련성과 상관관계를 보인다는 보고는 복측 선조체가 정서적 현저성과 관련이 있음을 시사하기도 한다.³⁷

이 외에도 조가비핵(Putamen)은 공포감과 혐오감을 나타내는 얼굴표정에서도 활성화된다고 하며,^{46,58} 기능적 뇌영상 연구들의 메타분석에서는 우측 미상핵과 조가비핵이 회피 관련 정서에 유의미한 활성화를 보인다고 보고되기도 하였다.¹⁰ 그러나 대다수의 연구들은 기저핵, 특히 복측 선조체가 주로 긍정적 정서와 관련성이 있다고 본다.

뇌 섬(Insula)

뇌섬은 정서에 대한 기능적 뇌영상 연구들을 통해 부정적 정서와 관련이 있다고 보고되어 왔다.¹⁰ 정서 사진에 의해 유발된 부정적 정서의 정서가 평가 정도나 정서적 현저성 평가, 불안 성향이 있는 사람의 얼굴표정에 대한 정서 평가가 클수록 편도체와 함께 뇌섬 활성화도가 증가된다고 한다.^{37,59,60} 뇌섬은 부정적 정서 중 주로 혐오감과 관련 지어져 왔으며 특히 혐오감을 나타내는 얼굴표정에 대해 잘 활성화된다고 한다.^{19,46} 전방 뇌섬은 미각 처리를 담당하는 영역을 포함하고 있는데, 특정 음식에 대한 혐오감과 사

회적 혐오감을 나타내는 얼굴표정이 유사하고 정서적 반응이 상통한다는 점에서 뇌섬에는 정서의 신체적 표상이 반영된다고 보기도 한다. 이는 뇌섬의 활성화가 혐오감을 표현하는 얼굴표정 뿐 아니라, 불쾌한 맛에 대한 반응에서도 관찰되는 한편 맛의 정서가와 관계없이 맛의 강도에 따라 뇌섬이 반응한다는 fMRI 연구가 뒷받침한다.⁶¹⁾

뇌섬은 해부학적으로 내장계 감각(visceral sensation)이 구심성 연결을 이루고 있어 정서 이론 중 정서가 신체로부터의 느낌에 기반을 두고 있다고 보는 James-Lange의 이론을 뒷받침하는 중요한 뇌영역 중 하나이다.⁶²⁾ 우측 뇌섬의 활성화는 정서 자극에 대한 생리적 반응으로 증가된 심박동에 대한 주관적 불쾌감이나 체내수용기성 자각(interoceptive awareness) 정도와 연관성을 보인다고 하며,⁶³⁾ 온도에 대한 체감은 실제 자극의 온도와 상관관계를 보이지 않고 우측 전방 뇌섬과 안와전두피질의 활성화도와 연관성을 보인다는 보고된 바 있다.⁶⁴⁾ 이들 결과는 뇌섬이 내장계 감각에 대한 주관적 경험에 관여함으로써 정서의 신체반응을 자각하는 기능과 관련이 있음을 시사한다. 혐오감과 관련된 연구 결과들 외에도 회상에 의해 유발된 슬픔이나 분노감, 예기불안, 성적 흥분감, 음악에 의해 유발된 감정에 의해 뇌섬이 활성화된다는 보고들도 주관적 정서 경험에 있어 뇌섬의 역할을 뒷받침하고 있다.^{22,65-68)}

결 론

정서에 대한 기능적 뇌영상 연구들은 정서 처리의 복잡성이 신경처리과정에 반영되는 것을 보여주고 있다. 정서 처리과정은 기쁨, 분노, 슬픔, 무서움 등의 개별 정서로 처리되기도 하지만 이들 개별 정서는 행동학적으로는 긍정과 부정적 정서로서 접근과 회피(approach와 withdrawal) 반응과 관련된 공통 뇌신경망에 의해 처리되기도 한다. 전전두피질은 좌-우측, 내-외측, 전-후방에 따라 긍정적-부정적 정서가의 처리영역이 구분 지어질 수 있고 편도체는 주로 부정적 정서가를, 복측 선조체는 주로 긍정적 정서가를 처리한다. 정서처리의 단계에 따라서 내측 전전두피질, 복측 전방 대상, 편도체, 뇌섬은 신체반응과 연결되어 자동적으로 처리되는 내현적 정서 처리과정과, 외측 전전두피질은 인지적 통제가 관여하는 외현적 정서 처리과정에 관여한다. 정서의 자각과 관련된 영역으로는 내측 전전두피질과 뇌섬이 있다.

이 같이 기능성 뇌영상 연구들에서 보여주는 정서 처리과정의 다양한 측면 및 관련 뇌영역 간 상호관련성을 이해하려면 정서에 대한 통합된 가설이 필요하다. 생존을 위해 주변 환경에서 위협 또는 보상과 같은 정서적으로 중요한

정보를 빠르게 식별해내어 신속하고 적절한 행동 반응을 보이기 위해 정서 처리과정이 존재한다는 다윈론적 관점은 최근의 정서와 관련된 기능적 뇌영상 연구 결과들을 통합하여 설명하는 데 유용하다. 정서의 평가이론(appraisalist theory)에 따라 Phillips 등⁶⁹⁾은 정서 처리과정에 있어 먼저 자극의 정서적 현저성이 식별되고 평가되면 이에 따라 자율신경계, 신경내분비계, 신체운동계 반응으로 구성된 정서 반응이 나타나고 이를 조정하여 주변의 정황에 적절한 정서 상태와 행동이 형성된다고 제안하였다. 이때 정서적 현저성 평가와 정서 반응은 편도체, 뇌섬, 복측 선조체, 복측 전방 대상, 복측 전전두피질로 구성된 복측 흐름(ventral stream)이 담당하고 정서 반응의 조절은 해마(hippocampus), 배측 전방 대상, 배측 전전두피질로 구성된 배측 흐름(dorsal stream)이 담당한다고 본다.⁶⁹⁾

이 같은 정서처리과정에 대한 기능적 해석을 통해 정서 자극의 처리과정이 정서와 인지 과정 간 상호작용을 통해 이루어지고 사회인지 기능에 중요한 요소를 차지한다는 것을 알 수 있다. 따라서, 정서처리과정의 기능성 뇌영상 연구는 다양한 정신과적 증상 및 정신질환의 사회적 기능 장애의 병태생리를 밝히는 데 유용한 접근 방법으로 이용될 수 있을 것으로 생각된다.

중심 단어 : 정서 · 기능적뇌영상 · fMRI · PET.

REFERENCES

- 1) Bradley MM, Lang PJ. Measuring emotion: Behavior, feeling, and physiology. In: Lane RD and Nadel L, editors. *Cognitive Neuroscience of Emotion*. New York: Oxford University Press, Inc.;2000. p.242-276.
- 2) Davidson RJ, Irwin W. The functional neuroanatomy of emotion and affective style. *Trends in Cognitive Sciences* 1999;3:11-21.
- 3) Starkstein SE, Robinson RG, Honig MA, Parikh RM, Joselyn J, Price TR. Mood changes after right-hemisphere lesions. *British Journal of Psychiatry* 1989;155:79-85.
- 4) Morris PL, Robinson RG, de Carvalho ML, Albert P, Wells JC, Samuels JF, et al. Lesion characteristics and depressed mood in the stroke data bank study. *Journal of Neuropsychiatry and Clinical Neurosciences* 1996;8:153-159.
- 5) Sackeim HA, Greenberg MS, Weiman AL, Gur RC, Hungerbuhler JP, Geschwind N. Hemispheric asymmetry in the expression of positive and negative emotions. Neurologic evidence. *Archives of Neurology* 1982;39:210-218.
- 6) Davidson RJ, Ekman P, Saron CD, Senulis JA, Friesen WV. Approach-withdrawal and cerebral asymmetry: emotional expression and brain physiology. I. *Journal of Personality and Social Psychology* 1990;58:330-341.
- 7) Davidson RJ, Fox NA. Asymmetrical brain activity discriminates between positive and negative affective stimuli in human infants. *Science* 1982;218:1235-1237.
- 8) Tucker DM, Stenslie CE, Roth RS, Shearer SL. Right frontal lobe activation and right hemisphere performance. Decrement during a depressed mood. *Archives of General Psychiatry* 1981;38:169-174.
- 9) Davidson RJ. Anterior cerebral asymmetry and the nature of emotion. *Brain and Cognition* 1992;20:125-151.

- 10) Wager TD, Phan KL, Liberzon I, Taylor SF. Valence, gender and lateralization of functional brain anatomy in emotion: a meta-analysis of findings from neuroimaging. *Neuroimage* 2003;19:513-531.
- 11) Dolcos F, LaBar KS, Cabeza R. Dissociable effects of arousal and valence on prefrontal activity indexing emotional evaluation and subsequent memory: an event-related fMRI study. *Neuroimage* 2004; 23:64-74.
- 12) Grimm S, Schmidt CF, Bermpohl F, Heinzel A, Dahlem Y, Wyss M, et al. Segregated neural representation of distinct emotion dimensions in the prefrontal cortex-an fMRI study. *Neuroimage* 2006;30:325-340.
- 13) Gottfried JA, Deichmann R, Winston JS, Dolan RJ. Functional heterogeneity in human olfactory cortex: an event-related functional magnetic resonance imaging study. *The Journal of Neuroscience* 2002;22: 10819-10828.
- 14) Anderson AK, Christoff K, Stappen I, Panitz D, Ghahremani DG, Glover G, et al. Dissociated neural representations of intensity and valence in human olfaction. *Nature Neuroscience* 2003;6:196-202.
- 15) O'Doherty J, Kringelbach ML, Rolls ET, Hornak J, Andrews C. Abstract reward and punishment representations in the human orbitofrontal cortex. *Nature Neuroscience* 2001;4:95-102.
- 16) Pochon JB, Levy R, Fossati P, Lehericy S, Poline JB, Pillon B, et al. The neural system that bridges reward and cognition in humans: An fMRI study. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 2002;99:5669-5674.
- 17) Maddock RJ, Buonocore MH. Activation of left posterior cingulate gyrus by the auditory presentation of threat-related words: an fMRI study. *Psychiatry Research* 1997;75:1-14.
- 18) Whalen PJ, Bush G, McNally RJ, Wilhelm S, McInerney SC, Jenike MA, et al. The emotional counting Stroop paradigm: a functional magnetic resonance imaging probe of the anterior cingulate affective division. *Biological Psychiatry* 1998;44:1219-1228.
- 19) Phan KL, Wager T, Stephan FT, Liberzon I. Functional neuroanatomy of emotion: A meta-analysis of emotion activation studies in PET and fMRI. *Neuroimage* 2002;16:331-348.
- 20) Reiman EM, Lane RD, Ahern GL, Schwartz GE, Davidson RJ, Friston KJ, et al. Neuroanatomical correlates of externally and internally generated human emotion. *Am J Psychiatry* 1997;154:918-925.
- 21) Liotti M, Mayberg HS, Brannan SK, McGinnis S, Jerabek P and Fox PT. Differential limbic-cortical correlates of sadness and anxiety in healthy subjects: implications for affective disorders. *Biological Psychiatry* 2000;48:30-42.
- 22) Mayberg HS, Liotti M, Brannan SK, McGinnis S, Mahurin RK, Jerabek PA, et al. Reciprocal limbic-cortical function and negative mood: Converging PET findings in depression and normal sadness. *Am J Psychiatry* 1999;156:675-682.
- 23) Northoff G, Heinzel A, Bermpohl F, Niese R, Pfennig A, Pascual-Leone A, et al. Reciprocal modulation and attenuation in the prefrontal cortex: An fMRI study on emotional-cognitive interaction. *Human Brain Mapping* 2004;21:202-212.
- 24) Jung YC, An SK, Seok JH, Kim JS, Oh SJ, Moon DH, et al. Neural substrates associated with evaluative processing during co-activation of positivity and negativity: A PET investigation. *Biological Psychology* 2006;73:253-261.
- 25) Schaefer A, Collette F, Philippot P, Van der Linden M, Laureys S, Delfiore G, et al. Neural correlates of "hot" and "cold" emotional processing: A multilevel approach to the functional anatomy of emotion. *Neuroimage* 2003;18:938-949.
- 26) Bush G, Luu P, Posner MI. Cognitive and emotional influences in anterior cingulate cortex. *Trends in Cognitive Sciences* 2000;4:215-222.
- 27) Park IH, Park HJ, Chun JW, Kim EY, Kim JJ. Dysfunctional modulation of emotional interference in the medial prefrontal cortex in patients with schizophrenia. *Neuroscience Letters* 2008;440:119-124.
- 28) Drevets WC, Raichle ME. Reciprocal suppression of regional cerebral blood flow during emotional versus high cognitive processes: Implications for interaction between emotion and cognition. *Cognition Emotion* 1998;12:353-385.
- 29) Lewis PA, Critchley HD, Rotshtein P, Dolan RJ. Neural correlates of processing valence and arousal in affective words. *Cerebral Cortex* 2007;17:742-748.
- 30) Frith CD, Frith U. Interacting minds—a biological basis. *Science* 1999;286:1692-1695.
- 31) Kelly WM, Macrae CN, Wyland CL, Caglar S, Inati S, Heatherton TF. Finding the self? An event-related fMRI study. *Journal of Cognitive Neuroscience* 2002;14:786-794.
- 32) D'Argembeau A, Collette F, Van der Linden M, Laureys S, Del Fiore G, Degueldre C, et al. Self-referential reflective activity and its relationship with rest: a PET study. *Neuroimage* 2005;25:616-624.
- 33) Gusnard DA, Akbudak E, Shulman GL, Raichle ME. Medial prefrontal cortex and self-referential mental activity: Relation to a default mode of brain function. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 2001;98:4259-4264.
- 34) Fossati P, Hevenor SJ, Graham SJ, Grady C, Keightley ML, Craik F, et al. In search of the emotional self: An fMRI study using positive and negative emotional words. *Am J Psychiatry* 2003;160:1938-1945.
- 35) Ochsner KN, Knierim K, Ludlow DH, Hanelin J, Ramachandran T, Glover G, et al. Reflecting upon feelings: An fMRI study of neural systems supporting the attribution of emotion to self and other. *Journal of Cognitive Neuroscience* 2004;16:1746-1772.
- 36) Lane RD, Reiman EM, Axelrod B, Yun LS, Holmes A, Schwartz GE. Neural correlates of levels of emotional awareness. Evidence of an interaction between emotion and attention in the anterior cingulate cortex. *Journal of Cognitive Neuroscience* 1998;10:525-535.
- 37) Phan KL, Taylor SF, Welsh RC, Ho SH, Britton JC, Liberzon I. Neural correlates of individual ratings of emotional salience: a trial-related fMRI study. *Neuroimage* 2004;21:768-780.
- 38) Rauch SL, van der Kolk BA, Fisler RE, Alpert NM, Orr SP, Savage CR, et al. A symptom provocation study of posttraumatic stress disorder using positron emission tomography and script-driven imagery. *Archives of General Psychiatry* 1996;53:380-387.
- 39) Breiter HC, Rauch SL. Functional MRI and the Study of OCD: From Symptom Provocation to Cognitive-Behavioral Probes of Cortico-Striatal Systems and the Amygdala. *Neuroimage* 1996;4:S127-S138.
- 40) Birbaumer N, Grodd W, Diedrich O, Klose U, Erb M, Lotze M, et al. fMRI reveals amygdala activation to human faces in social phobias. *Neuroreport* 1998;9:1223-1226.
- 41) Morris JS, Frith CD, Perrett DI, Rowland D, Young AW, Calder AJ, et al. A differential neural response in the human amygdala to fearful and happy facial expressions. *Nature* 1996;383:812-815.
- 42) Morris JS, Ohman A, Dolan RJ. Conscious and unconscious emotional learning in the human amygdala. *Nature* 1998;393:467-470.
- 43) Whalen PJ, Rauch SL, Etkoff NL, McInerney SC, Lee MB, Jenike MA. Masked presentations of emotional facial expressions modulate amygdala activity without explicit knowledge. *J Neurosci* 1998;18: 411-418.
- 44) Breiter HC, Etkoff NL, Whalen PJ, Kennedy WA, Rauch SL, Buckner RL, et al. Response and Habituation of the Human Amygdala during Visual Processing of Facial Expression. *Neuron* 1996;17:875-887.
- 45) Hamann SB, Ely TD, Grafton ST, Kilts CD. Amygdala activity related to enhanced memory for pleasant and aversive stimuli. *Nature Neuroscience* 1999;2:289-293.
- 46) Phillips ML, Young AW, Senior C, Brammer M, Andrew C, Calder AJ, et al. A specific neural substrate for perceiving facial expressions of disgust. *Nature* 1997;389:495-498.
- 47) Stark R, Zimmermann M, Kagerer S, Schienle A, Walter B, Weygandt M, et al. Hemodynamic brain correlates of disgust and fear ratings. *Neuroimage* 2007;37:663-673.
- 48) Blair RJR, Morris JS, Frith CD, Perrett DI, Dolan RJ. Dissociable neural responses to facial expressions of sadness and anger. *Brain* 1999;122:883-893.
- 49) Costafreda SG, Brammer MJ, David AS, Fu CHY. Predictors of amygdala activation during the processing of emotional stimuli: A meta-

- analysis of 385 PET and fMRI studies. *Brain Research Reviews* 2008; 58:57-70.
- 50) LaBar KS, Gatenby JC, Gore JC, LeDoux JE, Phelps EA. Human amygdala activation during conditioned fear acquisition and extinction: A mixed-trial fMRI study. *Neuron* 1998;20:937-945.
 - 51) Morris JS, Dolan RJ. Dissociable amygdala and orbitofrontal responses during reversal fear conditioning. *Neuroimage* 2004;22:372-380.
 - 52) Davis M, Whalen PJ. The amygdala: vigilance and emotion. *Molecular Psychiatry* 2001;6:13-34.
 - 53) Breiter HC, Gollub RL, Weisskoff RM, Kennedy DN, Makris N, Berke JD, et al. Acute effects of cocaine on human brain activity and emotion. *Neuron* 1997;19:591-611.
 - 54) Drevets WC, Gautier C, Price JC, Kupfer DJ, Kinahan PE, Grace AA, et al. Amphetamine-induced dopamine release in human ventral striatum correlates with euphoria. *Biological Psychiatry* 2001;49:81-96.
 - 55) Knutson B, Fong GW, Bennett SM, Adams CM, Hommer D. A region of mesial prefrontal cortex tracks monetarily rewarding outcomes: characterization with rapid event-related fMRI. *Neuroimage* 2003;18:263-272.
 - 56) Phillips ML, Bullmore ET, Howard R, Woodruff PW, Wright IC, Williams SC, et al. Investigation of facial recognition memory and happy and sad facial expression perception: an fMRI study. *Psychiatry Research* 1998;83:127-138.
 - 57) Lane RD, Reiman EM, Ahern GL, Schwartz GE, Davidson RJ. Neuroanatomical correlates of happiness, sadness, and disgust. *Am J Psychiatry* 1997;154:926-933.
 - 58) Sprengelmeyer R, Rausch M, Eysel UT, Przuntek H. Neural structures associated with recognition of facial expressions of basic emotions. *Proc Biol Sci* 1998;265:1927-1937.
 - 59) Stein MB, Simmons AN, Feinstein JS, Paulus MP. Increased Amygdala and Insula Activation During Emotion Processing in Anxiety-Prone Subjects. *Am J Psychiatry* 2007;164:318-327.
 - 60) Anders S, Lotze M, Erb M, Grodd W, Birbaumer N. Brain activity underlying emotional valence and arousal: A response-related fMRI study. *Human Brain Mapping* 2004;23:200-209.
 - 61) Small DM, Gregory MD, Mak YE, Gitelman D, Mesulam MM, Parrish T. Dissociation of Neural Representation of Intensity and Affective Valuation in Human Gustation. *Neuron* 2003;39:701-711.
 - 62) Craig AD. How do you feel? Interoception: the sense of the physiological condition of the body. *Nature Reviews Neuroscience* 2002;3:655-666.
 - 63) Critchley HD, Wiens S, Rotshtein P, Ohman A, Dolan RJ. Neural systems supporting interoceptive awareness. *Nature Neuroscience* 2004; 7:189-195.
 - 64) Craig AD, Chen K, Bandy D, Reiman EM. Thermosensory activation of insular cortex. *Nature Neuroscience* 2000;3:184-190.
 - 65) Stoleru S, Gregoire MC, Gerard D, Decety J, Lafarge E, Cinotti L, et al. Neuroanatomical correlates of visually evoked sexual arousal in human males. *Archives of Sexual Behavior* 1999;28:1-21.
 - 66) Blood AJ, Zatorre RJ. Intensely pleasurable responses to music correlate with activity in brain regions implicated in reward and emotion. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 2001;98:11818-11823.
 - 67) Ploghaus A, Tracey I, Gati JS, Clare S, Menon RS, Matthews PM, et al. Dissociating pain from its anticipation in the human brain. *Science* 1999;284:1979-1981.
 - 68) Damasio AR, Grabowski TJ, Bechara A, Damasio H, Ponto LLB, Parvizi J, et al. Subcortical and cortical brain activity during the feeling of self-generated emotions. *Nature Neuroscience* 2000;3:1049-1056.
 - 69) Phillips ML, Drevets WC, Rauch SL, Lane RD. Neurobiology of emotional perception I: The neural basis of normal emotion perception. *Biological Psychiatry* 2003;54:504-514.