

헛디딤 탐지의 신경 상관: 기능적 자기공명 영상 연구*

박 민¹ 이 승 복^{2†} 윤 효 윤³ 김 혜 리²

¹나사렛대학교 심리재활학과

²충북대학교 심리학과

³가천의과학대학교 뇌과학연구소

본 연구는 마음이론 능력 측정 과제인 헛디딤 탐지를 수행하는데 관여하는 신경 상관 영역을 확인하려는 것이었다. 기능적 자기공명영상 기법을 이용하여 헛디딤 이야기 문장과 헛디딤을 포함하지 않는 통제 이야기 문장을 제시하였을 때 나타나는 뇌 활성화 영역을 비교하였다. 양 반구의 상전두회(BA 6/9)와 설전소엽(BA 7), 좌반구의 내전두회(BA 9), 상측두회(BA 38), 하측두회(BA 20)와 우반구의 하두정소엽(BA 40), 중심후회(BA 1), 설회(BA 18), 횡전두회(BA 41) 등의 영역에서 활성화가 나타났다. 헛디딤 탐지를 하는 동안 안와전두 피질과 편도의 활성화는 나타나지 않았다. 이런 결과는 마음이론과 관련된 뇌 활성화는 과제가 이끌어내는 마음상태의 유형에 달려있음을 시사한다.

주제어 : 마음이론, 헛디딤 과제, 기능적 자기공명 영상, 상전두회, 측두엽

* 이 논문은 2005년도 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었습니다(KRF-2005-079-HM0004). 논문심사위원분들께 감사드립니다. 연구 수행을 도와준 정우림, 김민정, 정효신, 정지형에게 감사합니다.

† 교신저자: 이승복, 충북대학교 심리학과, 연구세부분야: 인지심리
E-mail: lsbok@chungbuk.ac.kr

자신과 타인의 목적, 바람, 믿음 등과 같은 마음상태와 정서를 추론하는 능력을 마음이론(Theory of Mind: ToM) 능력이라고 한다(박민, 이승복, 김혜리, 윤효운, 2007; Gallagher & Frith, 2003). 타인과의 원활한 의사소통을 위해서 타인의 마음상태를 이해하는 것은 인간이 보여주는 가장 고도로 진화된 심리적 능력이다(Brüne & Brüne-Cohrs, 2006). 또한 마음이론 능력은 수년간에 걸친 지속적인 발달 과정을 거치고, 비교적 늦은 시기에 발달이 완료되는 복잡하고 높은 수준의 인지적 능력이며, 여러 추론 능력들이 집합되어있는 것이다(Baron-Cohen 1995/2000).

다른 사람들이 자신이 알고 있는 정확한 지식과는 다른 틀린 믿음을 가지고 있음을 파악하는 샐리-앤 검사, 타인이 세상에 대해 틀린 믿음을 가지고 있을 뿐만 아니라 타인의 믿음에 대한 이차적인 믿음도 가지고 있음을 인식하는가를 알아보는 이차 틀린 믿음 과제, 마음이론 이해를 바탕으로 은유를 이해하는가를 알아보는 과제, 말하는 사람의 실제 의도를 추론하여 문자 그대로의 의미 이상을 이해하는가를 측정하는 풍자 과제, 다른 사람이 속임수를 시도하는 것을 추론해내는 속임수 과제 등 다양한 과제들이 마음이론 능력을 측정하는데 사용되어왔다(Brüne & Brüne-Cohrs, 2006; Gallagher & Frith, 2003; Siegal & Varley, 2002).

여러 가지 신경영상 기법들을 이용하여 마음이론 능력의 신경생물학적 토대를 밝히려는 노력도 이루어졌다. 여러 가지 마음이론 과제에서 공통적으로 활성화되는 영역은 내측 전두회(medial frontal gyrus)와 전측 대상회(anterior cingulate gyrus), 후측 상측두구(posterior superior temporal sulcus)와 측두-두정 접합부(temporo-parietal junction) 등인 것으로 알려지고 있다(Gallagher & Frith, 2003; Saxe, Carey, & Kanwisher, 2004).

기능적 신경영상 연구들에서는 측두-두정 접합부, 내측 전전두 피질, 후측 대상 피질, 상측 측두 피질 이외에 편도 또한 타인의 마음에 대한 추론에 관여하는 영역으로 나타났다(Baron-Cohen, Ring, et al., 1999; German et al., 2004; Grèzes, Frith, & Passingham, 2004; Kobayashi, Glover, & Temple, 2007; Mitchell, Banaji, & Macrae, 2005). 예를 들어, Mitchell 등(2005)은 얼굴 사진을 제시하고 참가자에게 사진 속의 사람이 얼마나 행복해 보이는가와(마음이론 과제) 얼굴이 얼마나 대칭적으로 보이는가를(비마음이론 과제) 질문하고 fMRI로 뇌 영상을 촬영하였다. 얼굴 대칭성 판단 과제와 비교하였을 때, 마음이론 과제에서는 양 반구의 배내측 전전두 피질과 측두-두

정 접합부, 우반구의 상측두구와 함께 좌반구의 편도 영역에서의 활동이 증가하였다. Kobayashi 등(2007)은 틀린 믿음 과제를 아동과 성인에게 실시하고 fMRI로 촬영한 결과, 유사한 영역에서 뇌 활성화가 나타나기는 했으나, 아동은 성인보다 우반구의 복내측 전전두 피질, 상측두회, 측두극, 설소엽에서 더 많은 활성화를 보였지만, 성인은 아동에 비해 좌반구 편도의 뇌 활동이 증가하는 것으로 나타났다. 뿐만 아니라, 편도가 손상된 환자들은 타인의 마음상태와 정서를 인식하는데 어려움을 겪고, 마음이론 능력의 결함을 보이는 것으로 나타났다(Shaw et al., 2004; Stone, Baron-Cohen, Calder, Keane, & Young, 2003).

마음이론 능력을 측정하는 과제들 중에서 특히 편도 영역이 관여할 것이라고 예상해볼 수 있는 과제가 헛디딤(faux pas) 탐지이다(Baron-Cohen, O'Riordan, Stone, Jones, & Plaisted, 1999). 헛디딤 상황이란 무언가 말하면 안 되는 것을 말해버리는 상태를 가리킨다. Baron-Cohen과 O'Riordan 등(1999)은 다음과 같은 예를 들고 있다: 과학자인 스티브는 자기 아내와 비행기로 여행을 하고 있다. 갑자기 다른 과학자가 스티브의 어깨를 쳤다. 스티브는 이 사람이 자기가 아는 사람인가 하고 자세히 보다가 “아 안녕! 이렇게 우연히 만나다니! 내 아내 베치를 소개하지. 베치, 이 친구는 하버드 대학 시절의 내 친구인 제프리아.”라고 말한다. 베치는 “오, 안녕하세요 제프리, 만나서 반가워요.”라고 말한다. 그 사람은 “저어, 내 이름은 제프리가 아니고, 마이크인데요.”라고 말한다. 이런 경우처럼 헛디딤 상황은 말하는 사람이 결코 의도하지 않은 부정적인 결과를 가져오게 되는 무언가를, 듣는 사람이 듣거나 알기를 원하지 않을 수도 있음을 고려하지 않고 말해버리는 경우를 가리킨다. 이런 경우 말하는 사람은 “그렇게 말하면 안 되는 것이었는데!”라는 후회, 당황, 듣는 사람에게 미안함과 같은 혼합된 감정들을 느끼게 된다.

Baron-Cohen과 O'Riordan 등(1999)에 따르면, 헛디딤 탐지 과제는 9~11세의 정상 아동은 능숙하게 수행하지만, Asperger 증후군이나 고기능 자폐의 경우에는 과제 수행 능력이 손상되는 것으로 나타났다. Baron-Cohen과 O'Riordan 등(1999)이 개발한 이 과제는 다양한 성인 참가자 집단의 마음읽기 능력을 측정하기 위해 사용되어왔다. 노인(Wang & Su, 2006)이나 전두측두엽 치매 환자(Torralva et al., 2007) 뿐만 아니라, 내측두엽 간질(Schacher et al., 2006)과 정신분열(Zhu et al., 2007) 환자를 대상으로 헛디딤 탐지 과제를 실시한 결과, 이런 참가자 집단들에서는 헛디딤 탐지 능

력이 손상되어 있는 것으로 나타났다.

헛디딤 상황을 탐지하고 이해하려면 헛디딤을 저지르는 사람의 관점과 불쾌해 하거나 화를 내는 사람의 마음상태를 동시에 표상해야 하므로 상당히 발달된 마음 이론 능력이 필요하다(Baron-Cohen, O'Riordan et al., 1999). 위의 예에서 헛디딤의 탐지는 베치의 실수가 베치의 틀린 믿음에 의한 것이고(마이크가 제프리라고 믿음) 베치에게 나쁜 의도는 없었더라도 마이크의 기분을 상하게 하였음을 이해해야 한다(베치는 당황의 감정을 느낌). 결국 헛디딤 탐지 과정은 틀린 믿음에 대한 이해와 누군가에게 미치는 그 영향에 대한 공감적 추론, 사회적 상황에서의 정서 처리 등이 모두 다 필요한 과제라고 할 수 있다.

실제로 Berthoz, Armony, Blair, 및 Dolan(2002)의 연구에서 사회적 규범을 의도적으로 위반하는 상황과 비의도적으로 위반하는 상황을 담은 이야기를 제시하고 사건-관련 fMRI로 촬영하였다. 이 연구에서 제시한 비의도적으로 사회적 규범을 위반하여 당황하게 하는 상황을 담은 이야기는 그 성질상 헛디딤을 포함하고 있는 이야기였다. 헛디딤을 포함한 이야기 문장을 제시한 조건에서 좌반구의 중전두회(BA 6/9), 배외측 전전두 피질(BA 44/45), 외측 안와전두 피질(BA 47)과 우반구의 내전두회(BA 9), 상전두회(BA 8)와 함께 양 반구의 상측두회(BA 38), 중측두회(BA 21), 설소엽(BA 17) 등의 영역이 활성화되는 것을 발견하였으나 편도 영역의 활성화는 나타나지 않았다. Berthoz 등(2002)은 편도는 주로 분노나 공포와 같은 감정에 대한 반응으로 활성화되고 사회적 규범의 위반이라는 일종의 사회적 의사결정이 요구되는 과제에는 관여하지 않는 것으로 해석하였다.

편도는 안와전두 피질과 함께 사회적 상황에서의 정서적 처리에 관여하는 신경해부학적으로 연결된 영역으로(Olson, Plotzker, & Ezzyat, 2007), 사회-정서적 자극과 정서적 공감 처리에도 관여하는 것으로 알려져 있다(Adolphs, 2003; Völlm et al., 2006). 이런 편도의 기능과 마음이론 과제에의 관여 등을 고려해보면, 헛디딤 탐지 과제를 수행하는 동안 편도 영역이 활성화가 될 것이라고 예상해 볼 수 있다. 그러나 편도가 타인의 마음에 대한 추론에 관여하는 뇌 영역이라는 주장과(Saxe, 2006), 앞서 제시한 여러 가지 마음이론 과제를 이용한 기능적 신경영상 연구들에서 편도의 활성화가 나타난 것과는 달리, Berthoz 등(2002)이 수행한 헛디딤 탐지 과제에서는 편도의 활성화가 발견되지 않았다. 이전 연구결과들을 고려한 예측과

상충하는 결과가 나오게 된 한 가지 가능성은 Berthoz 등(2002)이 제시한 이야기 자극은 사회적 규범의 위반이라는 사회적 상황에 초점을 맞추어 Berthoz 등이 자체적으로 제작한 것으로서, 처음부터 마음이론 능력을 측정하기 위해 Baron-Cohen과 O'Riordan 등(1999)이 개발한 헛디딤 탐지 이야기와는 다른 것일 수 있다는 점이다.

최근 들어 연구 참가자들의 언어적 배경에 따라 마음이론에 관여하는 뇌 영역이 달라질 수도 있다는 가능성이 제기되었다. Kobayashi 등은 이차 틀린 믿음 과제를 이용한 일련의 신경영상 연구들을 통하여 일본어-영어 후기 이중언어 사용자와 영어 사용자를 대상으로 연구한 결과, 과제를 수행하는 동안 내측전전두 피질과 전대상 피질과 같은 공통 영역 이외에, 언어 및 문화적 배경에 따라 하전두회(inferior frontal gyrus)와 같은 다른 뇌 영역이 관여하는 것을 관찰하였다. 이중언어를 사용하는 일본인 성인은 일본어로 구성된 틀린 믿음 과제를 수행할 때에는 양측 배외측 전전두 피질이 활성화되지만, 영어로 구성된 일본어 틀린 믿음 과제를 수행할 때에는 좌반구의 중심전회와 미상핵이 더 활성화되었다. 이 결과는 과제에 사용된 언어에 따라 틀린 믿음을 다른 방식으로 이해할 가능성을 시사하는 것이었다(Kobayashi et al., 2006). Kobayashi 등(2008)은 영어를 평균 4세부터 사용하기 시작한 12명의 초기 이중언어 사용 아동과 영어를 평균 19세부터 사용하기 시작한 16명의 후기 이중언어 사용 성인에게 이차 틀린 믿음 과제를 실시하였다. 아동은 두 언어 모두에서 내측 전전두 피질 영역에서의 뇌 활동이 더 많은 것으로 나타났으나, 성인은 과제의 언어에 따라 뇌 활동이 달라졌다. Kobayashi와 동료들은 이런 결과를 이중언어 사용자는 과제에 사용된 언어에 따라 틀린 믿음 이해에 서로 다른 뇌 영역을 동원하고, 이런 차이는 성인기로 갈수록 더 커진다고 해석하였다. 이런 결과들을 종합해보면 마음이론 과제를 구성하고 있는 언어가 뇌 활성화에 영향을 미칠 가능성이 있는 것으로 보인다.

이런 가능성을 확인하기 위하여 본 연구에서는 한국어를 모국어로 사용하는 건강한 성인 참가자들에게 한국어로 구성된 Baron-Cohen과 O'Riordan 등(1999)이 개발한 헛디딤 탐지 과제를 제시하고 그 과제를 수행하는 동안 활성화되는 뇌 영역들을 기능적 자기공명 영상 장치를 이용하여 알아보고자 하였다.

방 법

참가자

실험 참가자는 충남대학교에 재학 중인 학생으로 총 17명이었다(남 8명, 여 9명). 참가자는 모두 신경정신과적 질병의 병력이 없고 정기적인 복용 약물이 없는 오른손잡이였다. 실험 참가자의 연령 범위는 20~27세였고, 평균 연령은 23세였다. 실험이 끝난 후에 모든 참가자들에게 실험 참가비를 지급하였다.

재료와 절차

실험의 자극으로 헛디딤 이야기 문장(부록의 1)과 헛디딤 요소를 포함하고 있지 않은 통제 이야기 문장(부록의 2) 등 총 2가지 유형의 문장이 제시되었다. 자극 문장은 Baron-Cohen과 O'Riordan 등 (1999)의 연구에서 이용하였던 문장이었다. 각 이야기 문장은 한 문장을 7초씩 총 4개의 화면으로 나뉘어 총 28초 동안 화면에 제시하였고 자극 문장이 사라진 이후에 문장과 관련된 질문 문장 하나가 11초 동안 제시되었다. 이야기와 질문 문장은 흰색 바탕에 검은색 글씨로 화면에 제시하였다. 자극은 같은 유형의 문장이 연이어 제시되지 않도록 의사-무선(pseudo-random)의 순서로 제시되었고, 참가자들은 마우스 버튼을 눌러서 질문에 답하였다. 참가자들에게는 질문에 대한 맞는 응답을 판단하여 정답이 1번이라고 생각하면 마우스의 왼쪽 버튼을, 2번이라고 생각하면 오른쪽 버튼을 클릭하게 하였다. 1번과 2번의 정답 비율은 1:1이었다. 스캐너에 들어가기 전에 실험에 대한 사전 설명을 하였고 각 조건마다 2개의 시행으로 구성된 연습과제를 수행하였다. 참가자들에게 제시된 이야기 문장을 보고 머릿속으로 그 상황을 상상하면서 읽으라는 지시를 하였다. 실험 설계는 각 문장 유형별로 각 6블록씩 총 12개 블록으로 구성된 블록 디자인이었고, 한 블록이 끝나면 십자 표시의 응시점이 18초 동안 제시되는 휴식 조건으로 구성되었다. 모든 자극은 RF 코일 내에 설치된 LCD 프로젝터 (IFIS)로 제시되었고 참가자의 반응은 마우스를 통하여 수집되었다. E-Prime 프로그램을 이용하여 실험과제를 제시하였고 반응시간 및 각 시행의 응답을 기록하였다.

영상 자료 획득과 분석

전체 실험 자료는 3 테슬라 세기의 MR 기기(Oxford magnet, Varian console, ISOL)를 통해 이루어졌고, Echo planar imaging (EPI) sequence가 사용되었다. 각 영상 슬라이스의 두께는 5mm였고, 그 사이의 간격은 주어지지 않았다. 다른 자기공명 변수(MR parameter)는 TR = 3000ms, TE = 35ms, flip angle = 80°, Field of View = 220×220mm, matrix = 64×64이었고, 축 방향 횡단면(axial section image)으로 30장의 슬라이스를 얻었다.

얻어진 자료는 SPM2(Wellcome Department of Cognitive Neurology, London, UK) 소프트웨어를 이용하여 분석하였다. 얻어진 자료들을 움직임에 대한 교정(motion correction)과 동시기록(coregistration), 기능적 영상의 해부학적인 위치를 파악하기 위해 표준 뇌 좌표와 실험에서 얻은 영상 자료를 일치시키는 표준화(normalization)와 편평화(smoothing) 과정을 거쳐서 분석하였다. 편평화 커널의 크기는 7mm였다. 이러한 과정을 거친 후에 각 조건들에 대한 차이 검증(t -test)을 하였으며, 집단분석 시에는 각 개인의 통계결과들을 무선효과 모형(random effect model)으로 분석하였다. 본 연구에서는 한 부피소(voxel) 수준에서 $p < .05$, uncorrected의 역치를 넘는, 20개 부피소의 범위를 넘는 활성화 영역을 보고하였다.

결과와 논의

17명의 자료를 집단 분석하였다. 접속 분석(conjunction analysis)을 하여 헛디딤 이야기를 담은 문장과 헛디딤을 포함하지 않는 통제 이야기 문장을 비교하였을 때, 양 반구의 상전두회(BA 6/9)와 설전소엽(BA 7), 좌반구의 내전두회(BA 9), 상측두회(BA 38), 하측두회(BA 20)와 우반구의 하두정소엽(BA 40), 중심후회(BA 1), 설회(BA 18), 횡측두회(BA 41) 등의 영역에서 활성화가 나타났다(표 1과 그림 1).

본 연구에서 활성화가 나타난 상전두회(superior frontal gyrus)는 마음이론을 포함하는 이야기를 문장으로 구성하여 제시하는 과제에서 활성화되는 뇌 영역이고(Calarge, Andreasen, & O'Leary, 2003), 설전소엽(precuneus)도 틀린 믿음과 같은 마음이

론 과제를 수행할 때 공통적으로 나타나는 영역으로서 마음이론 능력이 요구되는 이야기 문장을 이해할 때 심상을 이용한 일화적 기억이 작용하면서 활성화되는 것으로 알려져 있다(Fletcher et al., 1995; Gallagher et al., 2000; Saxe & Kanwisher, 2003). 또한 타인의 믿음과 의도 추론(Ruby, & Decety, 2001) 및 정서를 타인과 자기에게 귀인할 때 나타나는 영역이기도 하다(Ochsner et al., 2004).

내측 전전두 피질 영역인 내전두회(medial frontal gyrus)는 틀린 믿음 과제를 이용한 뇌 영상 연구들에서 성인의 마음이론 능력에 관여하는 것으로 나타나는 영역이다(Fletcher et al., 1995; Gallagher et al., 2000). 하두정소엽(inferior parietal lobule)은 타인의 행위를 이해하는데 관여하는 영역이고(Gobbini et al., 2007), 상측두회(superior temporal gyrus)도 시선 응시(Baron-Cohen, Ring et al., 1999)나 행위 가장(German et al., 2004)과 같은 마음상태 추론 과제 수행 시에 나타나는 영역으로, 이 두 영역은 측두-두정 인접부에 속한다. 이 영역은 타인의 믿음 및 마음상태를 추측하는 과제를 수행할 때 공통적으로 나타나는 것으로 알려지고 있다(Perner et al., 2006; Saxe & Kanwisher, 2003). 설회(lingual gyrus) 역시 마음상태 추론 과제를 수행할 때 나타나는 영역이다(Rilling et al., 2004; Völlm et al., 2006).

본 연구에서는 기능적 신경영상 연구들에서 마음이론 과제 수행에 관여하는 것으로 뇌 영역으로 제안되어온 편도의 활성화가 나타날 것으로 예상되는 헛디딤 탐지 과제를 수행하는 동안 나타나는 뇌 활성화를 알아보았다.

헛디딤 탐지 과제는 틀린 믿음에 대한 이해, 타인에게 미치는 사회적 실수의 영향에 대한 공감적 추론, 사회적 상황에서의 정서 처리 등이 모두 다 필요한 과제이므로 기존에 알려진 마음이론 과제 수행과 관련된 뇌 영역 이외에 사회적 상황에서의 정서적 처리에도 관여하는 편도 영역의 활성화가 나타날 것이라고 예상되었다. 또한 Kobayashi와 동료들의 일련의 연구들을 통해서 제기한 마음이론 과제에 사용된 언어에 따라 서로 다른 뇌 영역이 동원될 수 있다는 주장에 따라 한국어로 구성된 마음이론 과제를 사용하였을 때 나타나는 뇌 활성화 패턴을 기존 연구결과와 비교해보려고 하였다.

본 연구에서는 헛디딤을 포함하고 있는 이야기 문장을 제시하였을 때, 그런 헛디딤 이야기를 포함하고 있지 않은 이야기 문장에 비해 양 반구의 상전두회, 설전소엽과 좌반구의 내전두회, 상측두회, 하측두회, 및 우반구의 하두정소엽, 중심후

표 1. 헛디딤 탐지 과제 수행 시의 뇌 활성화 영역

반구	활성화 영역	BA	Talairach 좌표			Z	# of voxels
			x	y	z		
좌	Superior Frontal Gyrus	6	-24	0	64	2.81	-
좌	Medial Frontal Gyrus	9	-28	50	36	2.31	52
좌	Precuneus	7	-4	-56	50	2.05	50
좌	Superior Temporal Gyrus	38	-26	4	-36	2.04	59
좌	Inferior Temporal Gyrus	20	-42	-8	-32	1.83	-
우	Inferior Parietal Lobule	40	58	-24	30	2.65	164
우	Superior Frontal Gyrus	9	10	50	40	2.63	-
우	Postcentral Gyrus	1	46	-26	62	2.61	89
우	Lingual Gyrus	18	18	-66	-6	2.49	168
우	Transverse Temporal Gyrus	41	34	-26	12	2.11	53
우	Precuneus	7	4	-56	48	1.91	-

$p < .05$, uncorrected, cluster = 20

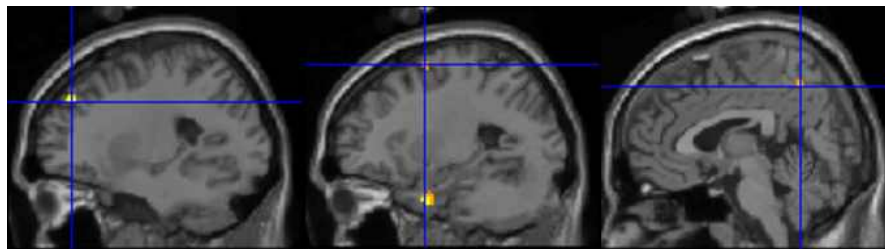


그림 1. 내전두회, 상전두회, 설전소엽의 활성화

회, 설회, 횡측두회 영역의 활성화가 나타났다. Berthoz 등(2002)의 연구에서 의도는 하지 않았지만 사회적 규범을 위반하여 당황하게 하는 상황을 담은 이야기를 제시 하였던 조건에서 활성화되었던 뇌 영역들과 비교하여 보면 내측 전전두 피질과 측 두 피질 영역의 활성화가 공통적으로 나타났고 편도 영역의 활성화는 나타나지 않

은 것도 동일하였다. 그러나 Berthoz 등(2002)의 연구에서는 외측 안와전두 피질(BA 47) 영역의 활성화가 나타났으나 본 연구에서는 안와전두 피질 영역의 활성화가 나타나지 않았다.

내측 전전두 피질과 안와전두 피질 영역은 대다수의 마음이론 연구들에서 활성화되는 것으로 나타나서, 일부 저자들은 이 영역이 마음이론 능력 사용에 결정적으로 중요한 영역이라는 결론을 내렸다(Gallagher et al., 2000). 본 연구에서는 내측 전전두 피질 영역에서의 뇌 활동은 관찰되었으나, Berthoz 등(2002)의 연구에서와는 달리 헛디딤 탐지를 하는 동안 안와전두 피질 영역의 활성화는 나타나지 않았다. fMRI 기법의 특성상 안와전두 피질 영역이 비강에 근접한 영역이어서 생기는 자기장 불균일 때문에 BOLD 신호를 탐지하는 것이 어려울 수 있다는(Deichmann et al., 2003) 가능성을 고려해보았으나, 마음이론 과제를 이용한 다수의 신경영상 연구들에서 안와전두 피질 영역의 활성화를 보고하였으므로, 이 가능성은 배제하였다.

다른 가능성은 비록 Berthoz 등(2002)이 제시한 비의도적 사회적 규범 위반에 따른 당황하는 상황을 묘사한 이야기가 그 성질상 Baron-Cohen과 O'Riordan 등(1999)이 작성한 헛디딤 탐지 이야기와 유사해보이지만, 사회적 규범의 위반이라는 사회적 상황에 초점을 맞춘 Berthoz 등(2002)의 이야기 자극과 마음이론 능력 사용을 측정하기 위한 Baron-Cohen과 O'Riordan 등(1999)의 헛디딤 탐지 이야기 자극은 다를 수 있다는 것이다.

Berthoz 등(2002)은 안와전두 피질 영역이 분노 유발 상황이나 타인의 분노 표현에 대한 반응으로 활성화된 것으로 논의하였으나, 헛디딤 상황에서 생겨나는 당황의 감정을 분노의 감정과 동일한 것으로 간주하기는 어렵다. 본 연구의 실험 참가자들은 Berthoz 등(2002)의 실험 참가자들과는 달리 안와전두 피질 영역은 포함되지 않는 뇌의 기능적 네트워크를 동원하여 헛디딤 탐지 과제를 수행한 것으로 생각되었다.

또한 본 연구에서는 헛디딤 탐지를 하는 동안 편도의 활성화도 발견하지 못하였다. 마음이론에 관여하는 뇌 영역을 신경영상 기법으로 연구한 결과들을 개관한 최근의 연구(Carrington & Bailey, 2009)에 따르면, 현재까지 이루어진 연구들 중에서 약 13%의 연구(40편의 연구들 중에서 5편)에서만 편도 활성화가 관찰된다고 지적하면서, 편도 영역은 전전두 피질 및 상측두 피질 영역과 같은 마음이론 추론의

핵심 영역은 아닌 것으로 보았다. 또한 Berthoz 등(2002)이 지적인 바처럼 편도가 주로 분노나 공포와 같은 감정에 대한 반응으로 활성화되는 영역이기 때문에 비교적 인지적인 과제인 헛디딤 탐지 과제에는 관여하지 않는 것으로 생각되었다.

인간의 마음이론 능력이 발휘될 때 일어나는 정서 및 인지적 통제 과정에 어떤 뇌 영역이 관여하는지(Ochsner & Lieberman, 2001)와 마음이론 능력과 정서 인식과 같은 다른 사회인지적 능력이 어떻게 관련되는지(Brüne, 2005)의 문제는 앞으로 더욱 다양한 자극과 과제를 이용한 연구가 이루어져야 할 필요가 있을 것이다.

자신과 타인의 마음상태 추론을 필요로 하는 마음이론 과제 수행에 필요한 인지적 과정과 그에 관여하는 뇌 기능 네트워크는 여러 가지 인지적 과정들이 복합적으로 구성되어 이루어지는 것이다. 그러므로 이런 결과는 마음이론 과제 수행을 하는 동안 나타나는 뇌 활성화 패턴이 단순한 마음이론 과제 구분이 아니라 각각의 과제가 이끌어내는 마음상태의 유형과 그와 관련된 인지적 하위 과정에 따라 달라질 수 있음을 시사한다.

마음이론 과제 구성에 사용되는 언어가 뇌 기능이 발휘되는 장소에 영향을 미칠 가능성이 있다는 Kobayashi 등의 연구결과들(Kobayashi et al., 2006, 2007, 2008)을 바탕으로 마음이론의 신경 기초가 성인 실험 참가자의 경우에 마음이론 과제의 언어에 의존적일 수 있다는 주장이 제기되었다(Perner & Aichhorn, 2008). 비록 본 연구의 참가자에 한국어가 아닌 다른 언어 사용자나 이중언어 사용자가 포함되지 않았으므로 직접 비교는 어렵지만, 과제의 요구특성 차이에서 비롯된 것으로 생각되는 안와전두 피질 및 편도 영역의 활성화 차이를 제외하고는 본 연구와 Berthoz 등(2002)의 연구에서 나타난 뇌 활성화 패턴이 차이를 보였다고 하기는 어렵다. 따라서 마음이론 과제 작성에 사용된 언어가 마음이론 과제 수행 시의 뇌 활성화 양상에 차별적으로 영향을 미칠 수 있다는 주장은 더욱 다양한 참가자 집단을 대상으로 검증이 이루어질 필요가 있다.

마음이론 능력에 관여하는 몇몇 핵심적인 뇌 영역들이 확인되어왔으나 기능적 신경영상 연구들에서 나타나는 마음이론 과제 수행 시의 뇌 활성화 패턴의 변산성을 잘 설명해줄 수 있는 방법론적 요인은 아직까지 분명하지 않은 것으로 보인다(Carrington & Bailey, 2009; Perner & Aichhorn, 2008). 더욱 다양한 참가자 집단과 과제 패러다임을 이용한 많은 연구결과들이 축적되면 마음이론 능력과 관련된 뇌 영

역들 간의 기능적 및 구조적 연결성이 밝혀질 수 있을 것으로 생각된다.

참고문헌

- 박민, 이승복, 김혜리, 윤희운 (2007). 마음이론의 신경 기초. **한국심리학회지: 일반**, 26(2), 39-62.
- Adolphs, R. (2003). Investigating the cognitive neuroscience of social behavior. *Neuropsychologia*, 41(2), 119-126.
- Baron-Cohen, S. (2005). **마음맹: 자폐증과 마음이론에 관한 과학에세이**[*Mindblindness: An essay on autism and theory of mind*]. (김혜리, 이현진 역). 서울: 시그마프레스. (원전은 1995년에 출판)
- Baron-Cohen, S., O'Riordan, M., Stone, V., Jones, R., & Plaisted, K. (1999). Recognition of faux pas by normally developing children and children with Asperger syndrome or high-functioning autism. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 29(5), 407-418.
- Baron-Cohen, S., Ring, H. A., Wheelwright, S., Bullmore, E. T., Brammer, M. J., Simmons, A., & Williams, S. C. R. (1999). Social intelligence in the normal and autistic brain: An fMRI study. *European Journal of Neuroscience*, 11(6), 1891-1898.
- Berthoz, S., Armony, J. L., Blair, R. J., & Dolan, R. J. (2002). An fMRI study of intentional and unintentional (embarrassing) violations of social norms. *Brain*, 125(8), 1696-1708.
- Brüne, M. (2005). Theory of mind in schizophrenia: A review of the literature. *Schizophrenia Bulletin*, 31(1), 21-42.
- Brüne, M., & Brüne-Cohrs, U. (2006). Theory of mind—evolution, ontogeny, brain mechanisms and psychopathology. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 30(4), 437-455.
- Calarge, C., Andreasen, N. C., & O'Leary, D. S. (2003). Visualizing how one brain understands another: A PET study of theory of mind. *The American Journal of Psychiatry*, 160(11), 1954-1964.
- Carrington, S. J., & Bailey, A. J. (2009). Are there theory of mind regions in the brain?

- A review of the neuroimaging literature. *Human Brain Mapping*, 30(8), 2313-2335.
- Deichmann, R., Gottfried, J. A., Hutton, C., & Turner, R. (2003). Optimized EPI for fMRI studies of the orbitofrontal cortex. *NeuroImage*, 19(2), 430-441.
- Fletcher, P. C., Happé, F., Frith, U., Baker, S. C., Dolan, R. J., Frackowiak, R. S. J., & Frith, C. D. (1995). Other minds in the brain: A functional imaging study of "theory of mind" in story comprehension. *Cognition*, 57(2), 109-128.
- Gallagher, H. L., & Frith, C. D. (2003). Functional imaging of 'theory of mind'. *Trends in Cognitive Sciences*, 7(2), 51-96.
- Gallagher, H. L., Happé, F., Brunswick, N., Fletcher, P. C., Frith, U., & Frith, C. D. (2000). Reading the mind in cartoons and stories: An fMRI study of 'theory of mind' in verbal and nonverbal tasks. *Neuropsychologia*, 38(1), 11-21.
- German, T. P., Niehaus, J. L., Roarty, M. P., Giesbrecht, B., & Miller, M. B. (2004). Neural correlates of detecting pretense: Automatic engagement of the intentional stance under covert conditions. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 16(10), 1805-1817.
- Gobbini, M. I., Koralek, A. C., Bryan, R. E., Montgomery, K. J., & Haxby, J. V. (2007). Two takes on the social brain: A comparison of theory of mind tasks. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 19(11), 1803-1814.
- Grèzes, J., Frith, C., & Passingham, R. E. (2004). Brain mechanisms for inferring deceit in the actions of others. *Journal of Neuroscience*, 24(24), 5500-5505.
- Kobayashi, C., Glover, G. H., & Temple, E. (2006). Cultural and linguistic influence on neural bases of 'Theory of Mind': An fMRI study with Japanese bilinguals. *Brain and Language*, 98(2), 210-220.
- Kobayashi, C., Glover, G. H., & Temple, E. (2007). Children's and adults' neural bases of verbal and nonverbal 'theory of mind'. *Neuropsychologia*, 45(7), 1522-1532.
- Kobayashi, C., Glover, G. H., & Temple, E. (2008). Switching language switches mind: Linguistic effects on developmental neural bases of 'Theory of Mind.' *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 3(1), 62-70.
- Mitchell, J. P., Banaji, M. R., & Macrae, C. N. (2005). The link between social cognition and self-referential thought in the medial prefrontal cortex. *Journal of Cognitive*

- Neuroscience*, 17(8), 1306-1315.
- Ochsner, K. N., & Lieberman, M. D. (2001). The emergence of social cognitive neuroscience. *American Psychologist*, 56(9), 717-734.
- Ochsner, K. N., Knierim, K., Ludlow, D. H., Hanelin, J., Ramachandran, T., Glover, G., & Mackey, S. C. (2004). Reflecting upon feelings: An fMRI study of neural systems supporting the attribution of emotion to self and other. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 16(10), 1746-1772.
- Olson, I. R., Plotzker, A., & Ezzyat, Y. (2007). The enigmatic temporal pole: A review of findings on social and emotional processing. *Brain*, 130(7), 1718-1731.
- Perner, J., & Aichhorn, M. (2008). Theory of mind, language and the temporo-parietal junction mystery. *Trends in Cognitive Sciences*, 12(4), 123-126.
- Perner, J., Aichhorn, M., Kronbichler, M., Staffen, W., & Ladurner, G. (2006). Thinking of mental and other representations: The roles of left and right temporo-parietal junction. *Social Neuroscience*, 1(3-4), 245-258.
- Rilling, J. K., Sanfey, A. G., Aronson, J. A., Nystrom, L. E., & Cohen, J. D. (2004). The neural correlates of theory of mind within interpersonal interactions. *NeuroImage*, 22(4), 1694-1703.
- Ruby, P., & Decety, J. (2001). Effect of subjective perspective taking during simulation of action: A PET investigation of agency. *Nature Neuroscience*, 4(5), 546-550.
- Saxe, R. (2006). Uniquely human social cognition. *Current Opinion in Neurobiology*, 16(2), 235-239.
- Saxe, R., & Kanwisher, N. (2003). People thinking about thinking people: The role of the temporo-parietal junction in "theory of mind". *NeuroImage*, 19(4), 1835-1842.
- Saxe, R., Carey, S., & Kanwisher, N. (2004). Understanding other minds: Linking developmental psychology and functional neuroimaging. *Annual Review of Psychology*, 55, 87-124.
- Schacher, M., Winkler, R., Grunwald, T., Kraemer, G., Kurthen, M., Reed, V., & Jokeit, H. (2006). Mesial temporal lobe epilepsy impairs advanced social cognition. *Epilepsia*, 47(12), 2141-2146.

- Shaw, P., Lawrence, E. J., Radbourne, C., Bramham, J., Polkey, C. E., & David, A. S. (2004). The impact of early and late damage to the human amygdala on 'theory of mind' reasoning. *Brain*, *127*(7), 1535-1548.
- Siegal, M., & Varley, R. (2002). Neural systems involved in 'theory of mind'. *Nature Reviews Neuroscience*, *3*(6), 463-471.
- Stone, V. E., Baron-Cohen, S., Calder, A., Keane, J., & Young, A. (2003). Acquired theory of mind impairments in individuals with bilateral amygdala lesions. *Neuropsychologia*, *41*(2), 209-220.
- Torralva, T., Kipps, C. M., Hodges, J. R., Clark, L., Bekinschtein, T., Roca, M., Calcagno, M. L., & Manes, F. (2007). The relationship between affective decision-making and theory of mind in the frontal variant of fronto-temporal dementia. *Neuropsychologia*, *45*(2), 342-349.
- Völlm, B. A., Taylor, A. N., Richardson, P., Corcoran, R., Stirling, J., McKie, S., Deakin, J. F., & Elliott, R. (2006). Neuronal correlates of theory of mind and empathy: A functional magnetic resonance imaging study in a nonverbal task. *NeuroImage*, *29*(1), 90-98.
- Wang, Y., & Su, Y. (2006). Theory of mind in old adults: The performance on Happé's stories and faux pas stories. *Psychologia*, *49*(4), 228-237.
- Zhu, C. Y., Lee, T. M., Li, X. S., Jing, S. C., Wang, Y. G., & Wang, K. (2007). Impairments of social cues recognition and social functioning in Chinese people with schizophrenia. *Psychiatry and Clinical Neuroscience*, *61*(2), 149-158.

1 차원고접수 : 2009. 9. 30

2 차원고접수 : 2010. 1. 11

최종게재승인 : 2010. 1. 18

(*Abstract*)

Neural Correlates of Faux Pas Detection: An fMRI Study

Min Park¹ Seungbok Lee² Hyo-Woon Yoon³ Hei-Rhee Ghim²

¹Department of Psychological Rehabilitation, Korea Nazarene University

²Department of Psychology, Chungbuk National University

³Neuroscience Research Institute, Gachon University of Medicine and Science

The aim of this study was to identify neural correlates underlying the detection of faux pas, a test of theory of mind (ToM), in Korean healthy adults. Using functional magnetic resonance imaging, we compared the brain activities associated with faux pas stories and the activities associated with control stories. Faux pas stories compared with the control stories produced activations bilaterally in the superior frontal gyrus (BA 9) and in the precuneus (BA 7). The left medial frontal gyrus (BA 9), the left superior temporal gyrus (BA 38), the left inferior temporal gyrus (BA 20) and the right inferior parietal lobule (BA 40), the right postcentral gyrus (BA 1), the right lingual gyrus (BA 18), the right transverse temporal gyrus (BA 41) were also activated. The orbitofrontal cortex and the amygdala were not found to be involved in the detection of faux pas. This result suggests that brain activations associated with ToM are dependent on the type of mental state drawn by the task.

Keywords : Theory of Mind, Faux Pas Task, fMRI, Superior Frontal Gyrus, Temporal Lobe

부록: 이야기 문장 자극과 질문의 예

1. 헛디딤 문장과 질문

은영이는 학교 이야기 경연대회에 참가했는데,
꼭 상을 받고 싶었다.
은영이가 학교에 없을 때 결과가 발표되었는데,
혜정이가 상을 받았다.
다음날, 혜정이가 “미안해”라고 하자,
은영이는 “무슨 말이야?”라고 말했다.
혜정이는
“아, 아무 것도 아니야”라고 말했다.

경연대회에서 상을 받은 사람은?

- (1) 혜정 (2) 은영

2. 통제 이야기 문장과 질문

자영이는 학교 이야기 경연대회에 참가했는데,
꼭 상을 받고 싶었다.
자영이가 학교에 없을 때 결과가 발표되었는데,
문희가 상을 받았다.
그 다음날, 자영이가 문희와 부딪쳤다.
문희가 “괜찮니?”라고 말했다.
자영이는 “괜찮아, 고마워”라고 말했고,
문희는 “아, 잘됐네”라고 말했다.

경연대회에서 상을 받은 사람은?

- (1) 문희 (2) 자영