

한국 정상 성인의 틀린 믿음 과제 수행 시의 뇌 활성화: fMRI 연구*

박 민¹ 이승복^{1†} 김민정¹ 정효선¹ 정우림¹ 윤효운² 김혜리¹
¹충북대학교 심리학과 ²가천의과학대학교 뇌과학연구소

본 연구에서는 기능적 자기공명영상 기법을 이용하여, 정상 성인이 한국어 틀린 믿음 과제를 수행하는 동안 활성화되는 뇌 영역을 알아보고자 하였다. 실험 1에서 일차 틀린 믿음 과제를 수행하는 동안 양측 설전소엽과 측두-두정 인접부, 좌반구의 하두정소엽, 후측 대상회, 중전두회 등의 뇌 활성화가 관찰되었다. 실험 2에서 이차 틀린 믿음 과제를 수행하는 동안에는 좌반구의 중전두회와 내전두회와 우반구의 설전소엽, 중전두회, 측두-두정 인접부 영역이 활성화되었다. 이런 결과는 성인이 마음이론 이야기를 이해하는 방식은 보편적임을 시사하는 것이다.

주제어 : 마음이론, 틀린 믿음 과제, 기능적 자기공명 영상, 측두-두정 인접부, 중전두회

* 이 논문은 2005년도 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었습니다(KRF-2005-079-HM0004). 논문심사위원분들께 감사드립니다. 연구 수행을 도와준 정지형 학생에게 감사합니다.

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

인간은 지속적으로 타인과 의사소통을 하면서 살아가므로, 타인과의 원활한 의사소통을 위해서는 타인의 마음을 읽어내고 타인의 마음상태를 이해하는 것이 꼭 필요하다. 자신과 타인의 목적, 바람, 믿음 등과 같은 지향성(intentionality)을 가진 마음상태를 이해할 수 있을 때, 이를 마음이론(Theory of Mind) 또는 마음추측(mentalizing) 능력을 가지고 있다고 한다(박민, 이승복, 김혜리, 윤효운, 2007; Baron-Cohen, Tager-Flusberg, & Cohen, 2000). 타인의 바람과 의도가 자신의 것과 다를 수 있음을 이해하는 이런 능력은 인간이 가지고 있는 독특한 능력이자 인간에게 결정적으로 중요한 능력이다(Frith & Frith, 2003). 또한 마음이론 능력은 수년간에 걸쳐 발달하고, 상대적으로 늦은 시기에 발달이 완료되는 복잡하고 높은 수준의 인지적 능력이다. 이런 마음이론 능력은 단일한 구성단위를 가지고 있는 것이 아니라 여러 추론 능력들이 집합되어있는 것으로 생각된다(Baron-Cohen 1995/2000; Stone, Baron-Cohen, & Knight, 1998).

타인의 마음을 이해하는 것에 대한 가장 기본적인 검사 방법은 다른 사람들이 특정한 사실에 대해서 사실과는 다른 틀린 믿음을 가지고 있을 수 있음을 이해하는가를 검증하는 것이다. 이런 틀린 믿음의 이해를 알아보는 대표적인 검사가 셸리-앤 검사(Sally-Anne test)이다. 이 검사에서는 등장인물인 앤이 또 다른 등장인물인 셸리가 없을 때 물건을 다른 장소로 옮긴 것에 대해 피검사자 자신의 인식과 등장인물 셸리의 인식을 구별해야하는 상황을 제시한다. 예를 들어, 셸리가 공을 바구니에 넣어두고 나갔다. 셸리가 나가있는 동안 앤이 공을 상자로 옮겼다. 셸리가 돌아왔을 때 자기가 나가기 전에 공이 있던 바구니에서 공을 찾을지 아니면 앤이 옮겨놓은 상자에서 공을 찾을지를 피검사자에게 질문한다. 셸리-앤 검사에 통과하기 위해서는 피검사자가 셸리는 물건이 다른 장소로 옮겨졌다는 사실을 모른다는 것을 알고 있어야한다. 즉 물건의 위치에 대한 다른 사람의 일차적인 틀린 믿음을 이해하는 능력이 필요하다. 일반적으로 4살 미만의 아동은 이 검사의 질문에 제대로 답을 하지 못한다(Brüne & Brüne-Cohrs, 2006).

타인의 마음을 이해하는 것에 대해 좀 더 정교한 능력을 요구하는 또 다른 검사 방법은 이차 틀린 믿음 과제(second-order false belief task)이다. 이 과제는 타인이 세상에 대해 틀린 믿음을 가지고 있을 뿐만 아니라 타인의 믿음에 대한 이차적인 믿음, 즉 “앤은 셸리가 여전히 공이 바구니에 있다고 생각하고 있을 것이라고 생

각한다”는 형태의 믿음을 가지고 있음을 인식하는가를 알아보는 검사이다. 일차 틀린 믿음 과제에서는 앤이 옮겨둔 물건의 위치에 대해서 샐리가 가지고 있는 틀린 믿음을 질문하지만, 이차 틀린 믿음 과제에서는 샐리의 마음상태에 대한 또 다른 사람의 틀린 믿음을 질문한다. 이차 틀린 믿음 과제는 ‘등장인물 X는 또 다른 등장인물 Y가 이렇게 생각하고 있다고 믿고 있다.’ 라는 형태를 하고 있다. 예를 들면 다음과 같이 구성된다: 철수와 영호가 TV로 월드컵 축구 중계를 보고 있었다. 처음에는 프랑스가 크게 이기고 있었다. 영호가 화장실에 갔다. 영호가 화장실에 간 사이에 철수는 미국이 경기에서 이기는 것을 보았다. 영호가 다시 왔을 때는 경기가 끝나 있었다. 참가자에게 철수는 영호가 어느 나라가 경기에 이겼을 것이라고 믿고 있을 것이라고 생각하는가를 질문한다. 이와 같은 이차 틀린 믿음 과제는 아동들을 대상으로 한 행동 연구에서는 6~7세 이후가 되어야 답을 할 수 있는 것으로 나타났다(Astington, Pelletier, & Homer, 2002).

Fletcher, Happé, Frith, Baker, Dolan, Frackowiak 및 Frith(1995)는 PET를 이용하여 4~65세의 성인이 일차 틀린 믿음 이야기 이해 과제를 수행하는 동안에 나타난 뇌 활성화를 보고하였다. 일차 틀린 믿음 문장과 문장의 내용이 서로 연결되지 않는 비연결 문장을 비교한 결과, 양측 측두극(BA 38)과 좌반구의 상측두회(BA 22/39) 및 우반구의 후측 대상회(BA 23/31)가 활성화되었다. 또한 일차 틀린 믿음 문장을 물리적 인과관계 문장과 비교하였을 때에는 좌반구의 내측 전두회(BA 8)와 우반구의 후측 대상회(BA 23/31)의 활성화가 나타났다. 또한 Gallagher, Happé, Brunswick, Fletcher, Frith 및 Frith(2000)는 fMRI를 이용하여 평균 연령 30세의 성인들을 대상으로 일차 틀린 믿음을 담고 있는 이야기 문장 조건과 그런 틀린 믿음을 포함하지 않는 이야기 문장 조건을 비교한 결과, 내측 전두회(BA 8/9), 양측 측두극(BA 38), 양측 측두-두정 인접부(BA 39/40)에서의 뇌 활성화를 발견하였다.

Saxe와 Kanwisher(2003)의 fMRI 연구에서는 일차 틀린 믿음을 담은 이야기 문장을 부식이나 증발과 같은 눈에 보이지 않는 힘의 작용 이해를 담고 있는 물리적 상태의 변화에 대한 이야기 문장과 비교하였을 때, 양측 측두-두정 인접부(temporo-parietal junction)와 전측 상측두구(anterior superior temporal sulcus) 및 설전소엽(precuneus)이 활성화되는 것으로 나타났다.

Saxe, Carey 및 Kanwisher(2004)의 개관에 따르면, 일차 틀린 믿음 과제 수행 시에

공통적으로 활성화되는 뇌 영역으로 내측 전전두 피질(BA 9), 양측 측두극(BA 38), 전측 상측두구(BA 22) 및 후측 상측두구로 확장되는 양측 측두-두정 인접부 (BA 39/40/22) 등을 들고 있다. Perner와 Aichhorn(2008) 역시 일차 및 이차 틀린 믿음 과제를 수행할 때 내측 전전두 피질의 전측 대상/부대상 영역, 후측 상측두구, 중측 두회와 측두극 및 후측 대상피질/설전소엽 영역 등에서 활성화의 차이가 일관되게 나타났으며, 특히 양측 측두-두정 인접부는 기존 뇌 영상 연구들에서 공통적으로 발견되었다고 보고하였다.

최근 들어 Kobayashi와 동료들(2006, 2007a)은 일차 틀린 믿음 과제가 성인 참가자에게서 그 과제에 특정한 혈액학 반응을 실시간으로 유도해내기에는 너무 쉽다는 주장을 제기하였다. 즉, 일차 틀린 믿음 과제를 사용한 선행 연구들이 참가자로 하여금 일차 틀린 믿음을 담고 있는 이야기를 읽고 난 후에 등장인물의 행동을 회고하여 설명하게 하는 패러다임(off-line paradigm)을 사용하였으므로, 스캔이 이루어지는 동안 참가자들이 충분히 마음이론 능력이 관여하는 활동에 집중하였다고 볼 수 없다는 점을 지적하였다. 따라서 성인 참가자들을 대상으로 하는 연구에서는 6~7세 이후가 되어야 답을 할 수 있는 이차 틀린 믿음 과제가 더 적절하다고 주장하였다. 타인이 세상에 대해 틀린 믿음을 가지고 있을 뿐만 아니라 타인의 믿음에 대한 이차적인 믿음도 가지고 있음을 인식하는가를 알아보는 과제를 제시하여 상대적으로 좀 더 마음이론 능력이 관여하는 활동에 집중하게 하고 실시간으로 스캔을 하는 것이 적절하다는 것이다(Kobayashi, Glover, & Temple, 2006; Kobayashi, Glover, & Temple, 2007a).

마음이론 능력은 선천적인 생물학적 토대를 가지고 있고(Frith & Frith, 2001), 마음이론의 핵심적인 토대를 구성하는 능력은 보편적(Leslie, Friedman, & German, 2004)이라고 가정되어왔다. 마음이론 능력이 보편적이라는 가설에 따르면, 사용하는 언어나 문화적 환경이 서로 다르더라도 마음이론을 측정하는 과제 수행 결과는 일정할 것이라고 예측할 수 있다. 그러나, Kobayashi 등(2006)은 사용 언어와 문화적 배경이 다른 참가자들이 마음이론 과제를 수행할 때 활성화되는 뇌 영역에 차이가 있음을 지적하였다. 선행 연구들이 주로 영어를 사용하는 참가자들을 대상으로 이루어졌으므로, 마음이론 능력이 보편적인가를 확인하기 위해서는 사용하는 언어나 문화적 배경이 서로 다른 참가자 집단을 대상으로 마음이론 능력 수행과 그 신경

적 기초를 탐색하는 연구가 필요하다.

Kobayashi 등(2006, 2007a, 2007b, 2008)은 이차 틀린 믿음 과제를 이용한 일련의 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 관여하며, 성인과 아동 간에도 활성화 영역의 차이가 있음을 보고했다.

이중언어를 사용하는 일본인 성인은 일본어로 구성된 틀린 믿음 과제를 수행할 때에는 양측 배외측 전전두 피질이 활성화되지만, 영어로 구성된 틀린 믿음 과제를 수행할 때에는 좌반구의 중심전회와 미상핵이 더 활성화되었다. 이 결과는 과제에 사용된 언어에 따라 틀린 믿음을 다른 방식으로 이해할 수 있음을 보여주었다(Kobayashi et al., 2006).

Kobayashi 등(2007b)의 연구에서는 12명의 일본어-영어 이중언어 사용 아동과 12명의 영어 단일언어 사용 아동들에게 이차 틀린 믿음 과제를 제시하였을 때, 배내측 전전두 피질과 설전소엽과 같은 뇌 영역은 두 집단의 아동 모두에게서 활성화되었으나, 일본어로 구성된 과제에서는 이중언어 사용 아동의 경우에만 내측 전전두 피질 영역이 활성화되었고, 영어 단일언어 사용 아동의 경우에는 측두-두정 인접부 영역의 활성화가 나타나지 않는 등의 차이를 보였다. 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. 두 언어 모두에서 아동이 성인보다 마음이론 과제를 처리하는데 더 많은 뇌 영역이 활성화되었으며, 아동이 두 언어 모두에서 내측 전전두 피질 영역에서의 뇌 활동이 더 많았다. 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 생의 후기 일수록 더 커짐을 가리킨다고 해석하였다. Kobayashi 등(2007a)의 연구에서는 16명의 성인과 12명의 아동을 대상으로 이차 틀린 믿음을 담은 이야기 과제와 이차 틀린 믿음을 그림으로 묘사한 만화 과제를 실시하고 fMRI로 뇌 영상을 촬영하였다. 과제 양식에 관계없이 성인과 아동 모두 양측 측두-두정 인접부와 우반구의 하두정소엽(inferior parietal lobule)이 활성화되었으나, 좌반구의 하전두회와 같은 영역은

이야기 과제에서는 성인이, 만화 과제에서는 아동이 더 큰 활성화를 보였다.

틀린 믿음 이야기 과제를 이용하여 마음이론 능력의 신경 기초를 알아본 기존의 뇌 영상 연구들은 대부분 일차 틀린 믿음 과제를 이용하였고, 최근 들어 이루어진 이차 틀린 믿음 과제를 이용한 신경영상 연구들에서는 연구 참가자들의 연령이나 언어적 및 문화적 배경에 따라 마음이론에 관여하는 뇌 영역이 달라질 가능성이 제기되었다. 이에 본 연구에서는 기능적 자기공명 영상 장치를 이용하여 건장한 성인 참가자들을 대상으로 한국어 문장 자극으로 구성된 일차 및 이차 틀린 믿음 과제를 수행하는 동안 활성화되는 뇌 영역을 알아보고자 하였다.

실험 1. 일차 틀린 믿음 과제 수행 시의 뇌 활성화

방 법

참가자

실험 참가자는 충남대에 재학 중인 학생으로 총 13명이었다(남 6명, 여 7명). 참가자는 모두 신경정신과적 질병의 병력이 없고 정기적인 복용 약물이 없는 오른손잡이였다. 실험 참가자의 연령 범위는 20~26세였고, 평균 연령은 22.85세였다. 실험이 끝난 후에 모든 참가자들에게 실험 참가비를 지급하였다.

재료와 절차

실험의 자극으로 일차 틀린 믿음 문장, 물리적 인과관계 추론 문장, 비관련 문장 등 총 3가지 유형의 문장이 제시되었다. 일차 틀린 믿음 문장에는 일차 틀린 믿음의 이해를 알아보는 이야기가 담겨있고(부록 1), 물리적 인과관계 추론 문장에는 물리적인 인과관계를 이해할 수 있는가를 알아보는 이야기가 담겨있었다(부록 2). 비관련 문장에는 내용이 서로 연결되지 않아서 전체적으로 하나의 이야기가 구

성되지 않는 문장들이 담겨있었다(부록 3). 3가지 문장 유형별로 각각 8가지의 문장이 사용되었다. 각 문장은 12초 동안 화면에 제시되었고 자극 문장이 사라진 이후에 문장과 관련된 질문이 3초 동안 제시되었다. 자극은 같은 유형의 문장이 연이어 제시되지 않도록 의사-무선(pseudo-random)의 순서로 제시되었고, 참가자들은 마우스 버튼을 눌러서 질문에 답하였다. 참가자들에게는 문장 내에 나오는 마음 상태에 주의를 기울이라는 사전 지시나 단서를 주지 않았다. 각 문장 유형별로 각 8블록씩 총 24개 블록이었고, 한 블록이 끝나면 십자 표시의 응시점이 15초 동안 제시되는 휴식 조건으로 구성되었다. 문장 유형별로 각각의 문장 자극은 총 15초 동안 제시되었고, 한 회기가 시행되는데 걸린 전체 시간은 12분이었다. 뇌 영상 스캔에는 각 조건의 시행에서 제시된 자극 문장과 질문 문장이 포함되었다. 모든 자극은 RF 코일 내에 설치된 LCD 프로젝터(IFIS)로 제시되었다. 실험 과제는 E-Prime으로 작성되었다.

영상자료 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. 해부학적 영상은 TE = 3.7 ms, TR = 8.1 ms, flip angle = 8, image size 256 × 256의 MPRAGE(Magnetization-Prepared RApid Gradient Echo) sequence를 이용하여 획득하였다.

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. 디자인 매트릭스를 지정하기 위하여 혈역학 반응 함수(hemodynamic response function)

를 중첩적분(convolution)하였고, 일반 선형 모형(general linear model)으로 뇌의 각 부피소에서의 편평화된 신호를 분석하였다. 각 참가자와 조건에서 나타난 혈역학 반응 변화의 유의미성은 t 검증으로 분석되었다. 집단분석 시에는 각 개인 내에서 접속 분석(conjunction analysis)을 한 후에 무선 효과 모형(random effect model)으로 분석하였다.

본 연구에서는 한 부피소(voxel) 수준에서 $p < .001$, uncorrected의 역치를 넘는, 10개 부피소의 범위를 넘는 활성화 영역을 보고하였다.

결과와 논의

13명의 자료를 집단 분석하였다. 일반적인 추론 기능을 발휘하는 경우가 아니라 마음상태를 추론하는 경우에 활성화되는 뇌 영역을 알아보기 위하여, 마음상태 추론을 담고 있는 문장과 물리적 상태 추론을 담고 있는 문장 자극 조건을 접속 분석하였다. 그 결과, 양측 설전소엽(BA 7/31)과 측두-두정 인접부(BA 39/40), 중전두회(BA 6)와 좌반구의 하두정소엽(BA 7)이 활성화되었다. 비관련 문장 과제 조건과 접속 분석을 한 결과, 좌반구의 후대상회(BA 23), 중전두회(BA 8)와 우반구의 미상핵 및 양측 측두-두정 인접부(BA 39/40)와 상전두회(BA 8)가 활성화되었다. 공통적인 영역으로 양측 측두-두정 인접부(BA 39/40)와 좌반구의 중전두회(BA 6/8)가 관찰되었다(표 1과 그림 1). 이는 성인 참가자들이 일차 틀린 믿음 과제를 수행하는 동안 마음이론 능력과 관련된 뇌 영역이 활성화되었음을 시사한다.

양측 측두-두정 인접부(BA 39/40)는 틀린 믿음 과제와 같이 타인의 마음상태를 추론할 때 활성화되는 것으로 나타난 영역이다(Saxe & Kanwisher, 2003; Saxe & Wexler 2005; Saxe, Schulz, & Jiang, 2006). 일차 틀린 믿음 과제 수행 시에 공통적으로 나타나는 설전소엽(precuneus)은 마음이론 이야기 문장을 이해할 때 심상을 이용한 일화적 기억이 작용하는 것으로 설명되어왔다(Fletcher et al., 1995; Gallagher et al., 2000; Happé et al., 1996; Saxe & Kanwisher, 2003).

좌반구의 후대상회(posterior cingulate gyrus)는 문장의 응집성을 유지하기 위하여 관련 정보를 실시간으로 부호화하고 새로운 정보를 기존에 축적되고 있는 이야기

표 1. 일차 틀린 믿음 과제 수행 시의 뇌 활성화 영역

Condition	L/R	Region	BA	x	y	z	Z	# of voxels
FB-PC	L	Precuneus	7	-12	-58	42	4.97	-
	L	Temporo-Parietal Junction	39/40	-58	-58	14	4.97	582
	L	Middle Frontal Gyrus	6	-42	4	48	3.85	-
	L	Inferior Parietal Lobule	7	-36	-62	44	3.45	34
	L	Middle Frontal Gyrus	8	-22	30	40	3.22	-
	R	Temporo-Parietal Junction	39/40	51	-57	20	5.15	954
	R	Precuneus	31	12	-68	22	3.93	59
FB-US	R	Middle Frontal Gyrus	6	46	6	48	3.92	334
	L	Posterior Cingulate	23	-4	-58	20	4.75	-
	L	Temporo-Parietal Junction	39/40	-60	-58	16	4.27	598
	L	Superior Frontal Gyrus	8	-22	38	52	3.86	48
	L	Middle Frontal Gyrus	8	-48	22	42	3.40	58
	R	Temporo-Parietal Junction	39/40	50	-57	26	4.90	1289
	R	Superior Frontal Gyrus	8	22	40	46	3.96	24
R	Caudate Head	-	8	8	-4	3.63	19	

주: FB = False Belief; PC = Physical Causation inference; US = Unrelated Sentence

$p < .001$, uncorrected, cluster = 10

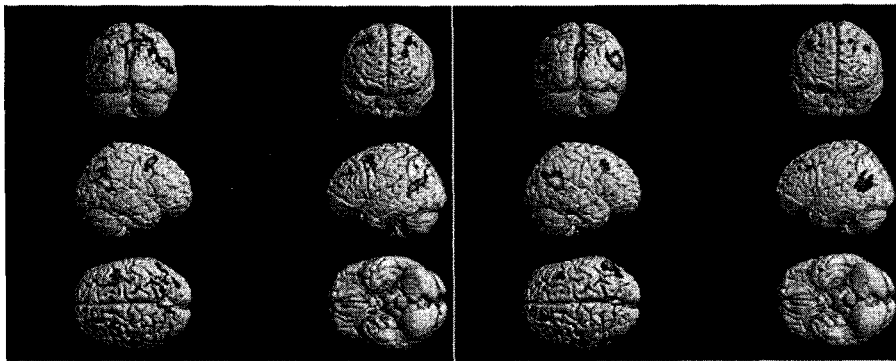


그림 1. 일차 틀린 믿음 과제 수행 시의 뇌 활성화 영역(FB-PC(좌)와 FB-US(우) 접속분석 결과)

구조에 통합하는 기능을 하는 것으로 알려져 있다. 상전두회(superior frontal gyrus)는 마음이론을 포함하는 이야기를 문장으로 구성하게 하는 경우에 활성화되는 부위이며(Calarge et al., 2003), 특히 좌반구의 내측 전두 피질인 8번 Brodmann 영역은 마음 귀인에 결정적으로 관여하는 것으로 지적되고 있다(Fletcher et al., 1995).

본 연구결과를 선행 연구들과 비교하여 본 결과, 일차 틀린 믿음 과제 수행 시에 공통적으로 활성화되는 뇌 영역으로 알려진 측두극의 활성화는 나타나지 않았으나, Fletcher 등(1995)의 연구에서 활성화되었던 뇌 영역들과 유사하였다. 이는 Kobayashi 등(2006)의 주장과는 달리 성인 참가자들을 대상으로 fMRI 기법을 이용하여 일차 틀린 믿음 과제 수행 시에 마음이론 능력에 관여하는 뇌 영역들의 활성화를 관찰하는 것이 가능함을 시사하는 것으로 해석할 수 있다.

실험 2. 이차 틀린 믿음 과제 수행 시의 뇌 활성화

방 법

참가자

실험 참가자는 충남대에 재학 중인 학생으로 총 14명이었다(남 9명, 여 5명). 참가자는 모두 신경정신과적 질병의 병력이 없고 정기적인 복용 약물이 없는 오른손잡이였다. 실험 참가자의 연령 범위는 20~27세였고, 평균 연령은 24.29세였다. 실험이 끝난 후에 모든 참가자들에게 실험 참가비를 지급하였다.

재료와 절차

실험의 자극으로 이차 틀린 믿음 문장, 비관련 문장의 총 2가지 유형의 문장이 제시되었다. 이차 틀린 믿음 문장에는 이차 틀린 믿음의 이해를 알아보는 이야기가 담겨있었다(부록의 4). 비관련 문장은 내용이 서로 연결되지 않아서 전체적으로

하나의 이야기가 구성되지 않는 문장들로 구성되었다(부록의 3). 2가지 문장 유형별로 각각 6가지의 문장이 사용되었다. 각 자극 문장은 7초씩 4개의 화면으로 나누어 제시되었고 자극 문장이 사라진 이후에 문장과 관련된 질문이 11초 동안 제시되었다. 자극은 같은 유형의 문장이 연이어 제시되지 않도록 의사-무선(pseudo-random)의 순서로 제시되었고, 참가자들은 질문 화면이 제시되는 11초 이내에 마우스 버튼을 눌러서 질문에 답하였다. 참가자들에게는 문장 내에 나오는 마음 상태에 주의를 기울이라는 사전 지시나 단서를 주지 않았다. 각 문장 유형별로 각 6블록씩 총 12개 블록이었고, 한 블록이 끝나면 십자 표시의 응시점이 18초 동안 제시되는 휴식 조건으로 구성되었다. 문장 유형별로 각각의 문장 자극은 총 39초 동안 제시되었고, 한 회기가 시행되는데 걸린 전체 시간은 11분 24초였다. 뇌 영상 스캔에는 각 조건의 시행에서 제시된 자극 문장과 질문 문장이 포함되었다. 모든 자극은 RF 코일 내에 설치된 LCD 프로젝터(IFIS)로 제시되었다. 실험 과제는 E-Prime으로 작성되었다.

영상자료 획득과 분석

실험 1과 동일하게 수행되었고, 실험 2에서는 한 부피소(voxel) 수준에서 $p < .005$ 의 역치(uncorrected)를 넘는, 10개 부피소의 범위를 넘는 활성화 영역을 보고하였다.

결과와 논의

14명의 자료를 집단 분석하였다. 집속 분석을 하여 이차 틀린 믿음 과제를 비관련 문장 과제와 비교하였을 때, 좌반구에서는 배외측 전전두 피질(dorsolateral prefrontal cortex; DLPFC) 영역인 내전두회(BA 9)가 발견되었고, 우반구의 설전소엽(BA 7), 측두-두정 인접부(BA 39/40) 및 양측 중전두회(BA 6/8)가 활성화되었다(표 2와 그림 2).

이차 틀린 믿음 과제 수행 시에도 마음이론 이야기 문장을 이해할 때 관여하는

표 2. 이차 틀린 믿음 과제 수행 시의 뇌 활성화 영역

Condition	L/R	Regions	BA	x	y	z	Z	# of voxels
FB-US	L	Middle Frontal Gyrus	6	-24	20	50	3.35	144
	L	Medial Frontal Gyrus	9	-38	40	32	2.73	27
	R	Precuneus	7	8	-56	44	3.67	217
	R	Middle Frontal Gyrus	8	42	16	42	3.30	127
	R	Temporo-Parietal Junction	39/40	52	-56	28	2.57	139

주: FB = False Belief; US = Unrelated Sentence

$p < .005$, uncorrected, cluster = 10

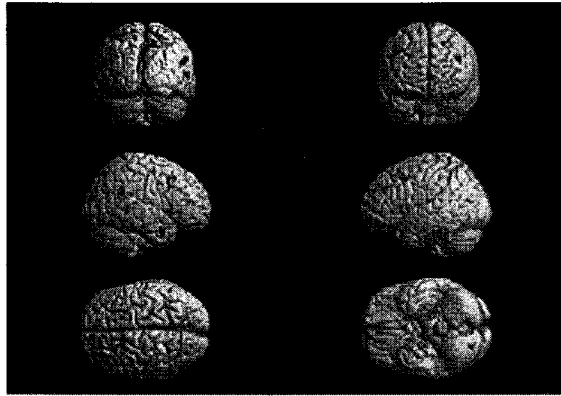


그림 2. 이차 틀린 믿음 과제 수행 시의 뇌 활성화 영역(FB-US 접속분석 결과)

측두-두정 인접부와 설전소엽이 활성화되었다. 내측 전전두 피질 영역인 내전두회 는 틀린 믿음 과제를 이용한 뇌 영상 연구들에서 성인의 마음이론 능력에 관여하 는 것으로 나타나는 영역이다(Fletcher et al., 1995; Gallagher et al., 2000; Happé et al., 1996). 중전두회는 마음읽기 문장 과제 수행에서 나타나는 영역으로 알려져 있 다(Fletcher et al., 1995).

틀린 믿음 과제 수행 시에 공통적으로 활성화되는 뇌 영역들 중의 하나로 알려 진 내측 전전두 피질 영역, 설전소엽, 측두-두정 인접부가 발견되어, 본 연구 결과

를 이차 틀린 믿음 과제를 수행할 때 언어적 마음이론 과제 수행에 필요한 뇌 영역이 관여하였음을 시사하는 것으로 해석할 수 있다.

종합논의

본 연구에서는 정상 성인을 대상으로 마음이론 능력을 측정하는 대표적인 과제인 틀린 믿음 과제를 수행하게 하고 fMRI 기법을 이용하여 그 과제를 수행하는 동안 활성화되는 뇌 영역을 알아보았다.

참가자들이 일차 틀린 믿음 과제를 수행하였던 실험 1에서는 양측 설전소엽과 측두-두정 인접부, 좌반구의 하두정소엽, 후측 대상회, 중전두회 등의 뇌 영역 활성화가 관찰되었고, 이차 틀린 믿음 과제를 수행하였던 실험 2에서는 좌반구의 중전두회, 내전두회와 우반구의 설전소엽, 중전두회, 측두-두정 인접부 영역이 활성화되었다.

실험 1에서 관찰된 뇌 영역들은 일차 틀린 믿음 과제를 실시하였던 Fletcher 등(1995)의 PET 연구에서 활성화되었던 뇌 영역들과 유사하였다. 또한 Saxe와 Powell(2006)이 성인이 마음이론 이야기 과제를 수행할 때 활성화된다고 지적한 뇌의 세 영역(좌측 및 우측 측두-두정 인접부, 후측 대상)이 모두 발견되었다. 이는 일차 틀린 믿음 과제가 성인 참가자에게서 그 과제에 특정한 혈액학 반응을 실시간으로 유도해내기에는 너무 쉬우므로, 성인 대상의 fMRI 연구에서는 이차 틀린 믿음 과제가 더 적절하다는 Kobayashi 등(2006)의 주장과는 달리, fMRI 기법으로도 성인 참가자들이 일차 틀린 믿음 과제를 수행할 때 마음이론 능력에 관여하는 뇌 영역들의 활성화를 관찰하는 것이 가능한 것으로 생각되었다.

다만 Fletcher 등(1995)의 연구에서는 활성화되는 것으로 나타났고, 마음이론 과제 수행에서 의미적 기억의 인출을 반영한다고 알려진(Frith & Frith, 2003), 측두극의 활성화는 발견할 수 없었다. 측두극이 타인의 마음상태를 이해하기 위하여 자신의 개인적 기억을 활용하는 역할을 한다는 주장이 제기되기도 하였으나(Moriguchi et al., 2006), 측두극의 일반적인 기능이 고도로 처리된 감각 자극에 정서적 반응을 결합하는 것이라는 제안(Olson, Plotzker, & Ezzyat, 2007)도 있었다. 이런 점들을 고

려하면, 틀린 믿음 과제 수행에 있어서 특별히 정서적 처리가 요구되지 않아 측두극의 활성화를 발견하지 못한 것으로 추정할 수 있다. 또한 fMRI 기법이 측두극에서의 신호에 상대적으로 덜 민감하기 때문일 수도 있다(Devlin et al., 2000).

실험 2에서는 틀린 믿음 과제 수행 시에 공통적으로 활성화되는 뇌 영역으로 알려진 내측 전전두 피질, 측두-두정 인접부, 설전소엽 영역 등이 발견되었고, 전반적인 활성화 패턴이 이차 틀린 믿음 과제를 실시하였던 선행 연구들(Kobayashi et al., 2006, 2007a, 2008)과 거의 차이를 보이지 않았다.

틀린 믿음 과제를 사용하였던 마음이론 능력에 대한 초기의 뇌 영상 연구들은 성인의 마음이론 능력에 관여하는 영역이 내측 전전두 피질이라고 보았다(Fletcher et al., 1995; Gallagher et al., 2000; Happé et al., 1996). 그러나, 그 이후의 마음이론 능력에 대한 fMRI 연구들에서는 측두-두정 인접부 영역이 발견되었다(Saxe & Kanwisher, 2003; Saxe & Wexler 2005). Saxe와 동료들은 내측 전전두 피질은 전반적인 사회적 인지에 광범위한 역할을 하지만(Saxe & Powell, 2006), 측두-두정 인접부는 마음 상태의 내용에 대한 추론이라는 특정한 역할을 하는 영역이라고 주장하였다(Saxe & Kanwisher, 2003). 실험 2에서 활성화가 관찰된 우반구의 측두-두정 인접부는 특히 틀린 믿음과 같은 타인의 믿음을 추측하는 과제에만 선택적으로 관여하는 영역으로 알려지고 있다(Perner, Aichhorn, Kronbichler, Staffen, & Ladurner, 2006; Saxe & Wexler, 2005; Saxe et al., 2006).

Kobayashi 등(2006, 2007a, 2007b)은 성인을 대상으로 틀린 믿음 과제를 이용한 뇌 영상 연구들에서 영어를 말하는 미국인과 독일어를 말하는 유럽 사람의 경우에 일관되게 측두-두정 인접부가 활성화가 보고되었지만, 이런 측두-두정 인접부의 활성화가 영어를 말하는 성인에서는 나타나지만 영어를 말하는 아동이나 영어-일본어 이중언어 사용자에게서는 나타나지 않았음을 보고하였다. Perner와 Aichhorn(2008)은 Kobayashi 등의 이런 연구결과들을 종합하여 문화적 또는 언어적 요인이 뇌 기능이 발휘되는 장소에 영향을 미칠 가능성이 있음을 지적하였다.

이차 틀린 믿음 과제는 ‘등장인물 X는 또 다른 등장인물 Y가 이렇게 생각하고 있다고 믿고 있다.’ 라는 복잡한 문장의 형태를 하고 있으므로 이런 문장의 이해에는 언어적 능력의 발달이 필요하다는 점이 지적되어왔다(Saxe et al., 2004). 또한 마음이론의 신경 기초는 아동보다 성인이 더 언어에 의존적이라는 연구결과

(Kobayashi et al., 2007a) 등을 고려하면 한국어를 모국어로 사용하는 성인이 한국어로 구성된 이차 틀린 믿음 과제를 수행할 때에는 기존의 다른 언어 및 문화권에서 이루어진 연구결과들과는 다른 형태의 뇌 활성화 패턴이 나타날 가능성이 있다고 예측해볼 수 있었다.

그러나 정상 성인을 대상으로 한국어로 구성된 이차 틀린 믿음 과제를 실시하였던 본 연구의 실험 2에서 활성화가 나타난 우반구의 중전두회, 측두-두정 인접부, 설전소엽 영역은 Kobayashi 등의 연구결과들(Kobayashi et al., 2006, 2007a, 2008)에서도 공통적으로 활성화되는 뇌 영역이었으므로, 본 연구 실험 2의 결과는 기존 연구의 뇌 활성화 패턴과 차이가 있음을 보여주지 못하였다. 이는 Kobayashi 등의 주장과는 달리, 사용하는 언어나 문화적 환경이 서로 다르더라도 마음이론을 측정하는 과제 수행 결과와 그 신경적 기초는 일정할 것이라는 마음이론 능력의 보편성 가설과 일치하는 결과로 보인다.

종합해보면, 한국어를 모국어로 사용하는 뇌 손상이 없는 정상 성인이 한국어로 구성된 일차 및 이차 틀린 믿음 과제를 수행할 때 선행 연구결과들에서 나타난 것과 동일한 내측 전두 피질, 측두-두정 인접부, 설전소엽 등의 뇌 영역의 활성화가 발견되었다. 이런 결과는 틀린 믿음 과제 작성에 사용된 언어가 틀린 믿음 과제 수행 시의 뇌 활성화 양상에 차별적으로 영향을 미친다는 주장은 더 다양한 검증이 필요하다는 점을 시사한다.

문화적 및 언어적 배경, 이중언어 사용 등의 요인들 중에서 Kobayashi 등의 연구 결과에서 나타난 뇌 활성화의 차이를 구체적으로 설명할 수 있는 요인이 무엇인지는 아직 알려지지 않고 있다(Perner & Aichhorn, 2008). Kobayashi와 동료들의 주장처럼 구체적으로 참가자들의 어떤 언어적 및 문화적 요인이 마음이론 능력의 신경적 기초에 영향을 미치는지, 또한 영향을 미친다면 언제부터 어떻게 영향을 미치기 시작하는지는 추후 연구해볼 문제라고 생각된다.

참고문헌

박민, 이승복, 김혜리, 윤효운 (2007). 마음이론의 신경 기초. 한국심리학회지: 일반,

26(2), 39-62.

- Astington, J. W., Pelletier, J., & Homer, B. (2002). Theory of mind and epistemological development: The relation between children's second-order false-belief understanding and their ability to reason about evidence. *New Ideas in Psychology, 20*(2), 131-144.
- 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., Tager-Flusberg, H., & Cohen, D. J. (Eds.). (2000). *Understanding other minds: Perspectives from developmental cognitive neuroscience* (2nd ed.). Oxford: Oxford University Press.
- 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.
- Devlin, J. T., Russell, R. P., Davis, M. H., Price, C. J., Wilson, J., Moss, H. E., Matthews, P. M., & Tyler, L. K. (2000). Susceptibility-induced loss of signal: Comparing PET and fMRI on a semantic task. *NeuroImage, 11*(6), 589-600.
- 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.
- Frith, U., & Frith, C. (2001). The biological basis of social interaction. *Current Directions in Psychological Science, 10*(5), 151-155.
- Frith, U., & Frith, C. D. (2003). Development and neurophysiology and mentalizing. *Philosophical Transaction of the Royal Society of London: Biological Sciences, 358*(1431), 459-473.
- 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.

- Happé, F., Ehlers, S., Fletcher, P., Frith, U., Johansson, M., Gillberg, C., Dolan, R., Frackowiak, R., & Frith, C. (1996). 'Theory of mind' in the brain: Evidence from a PET scan study of Asperger syndrome. *Neuroreport*, 8(1), 197-201.
- 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. (2007a). 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. (2007b). Cultural and linguistic effects on neural bases of 'Theory of Mind' in American and Japanese children. *Brain Research*, 1164, 95-107.
- 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.
- Leslie, A. M., Friedman, O., & German, T. P. (2004). Core mechanisms in 'theory of mind. *Trends in Cognitive Sciences*, 8(12), 528-533.
- Moriguchi, Y., Ohnishi, T., Lane, R. D., Maeda, M., Mori, T., Nemoto, K., Matsuda, H., & Komaki, G. (2006). Impaired self-awareness and theory of mind: An fMRI study of mentalizing in alexithymia. *NeuroImage*, 32(3), 1472-1482.
- 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 temporoparietal 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.
- 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., & Powell, L. J. (2006). It's the thought that counts: Specific brain regions for

- one component of theory of mind. *Psychological Science*, 17(8), 692-699.
- Saxe, R., & Wexler, A. (2005). Making sense of another mind: The role of the right temporo-parietal junction. *Neuropsychologia*, 43(10), 1391-1399.
- Saxe, R., Carey, S., & Kanwisher, N. (2004). Understanding other minds: Linking developmental psychology and functional neuroimaging. *Annual Review of Psychology*, 55, 87-124.
- Saxe, R., Schulz, L., & Jiang, Y. (2006). Reading minds versus following rules: Dissociating theory of mind and executive control in the brain. *Social Neuroscience*, 1(3-4), 284-298.

1 차원고접수 : 2008. 8. 7

2 차원고접수 : 2008. 9. 29

최종게재승인 : 2008. 11. 3

(Abstract)

Brain Activation During False-Belief Task Performance in Korean Healthy Adults: An fMRI Study

Min Park^{*} Seungbok Lee^{*} Minjung Kim^{*}
Hyosun Jung^{*} Woorim Jeong^{*} Hyo-Woon Yoon^{**} Hei-Rhee Ghim^{*}

^{*}Department of Psychology, Chungbuk National University

^{**}Neuroscience Research Institute, Gachon University of Medicine and Science

We applied fMRI to examine brain activation during false-belief task in Korean healthy adults. In the first experiment, brain areas including bilateral precuneus, temporo-parietal junction, left inferior parietal lobule, posterior cingulate, middle frontal gyrus were found during first-order false-belief task. In the second experiment, the left middle frontal gyrus, medial frontal gyrus and right precuneus, middle frontal gyrus, temporo-parietal junction were activated during second-order false-belief task. These results are compatible with the suggestions that the ways in which adults understand theory of mind stories are universal.

Keywords : Theory of Mind, false-belief task, fMRI, Temporo-Parietal Junction, Middle Frontal Gyrus

부록: 자극 문장과 질문의 예

1. 일차 틀린 믿음 문장과 질문

아기방에서 아기를 이불에 재운 엄마는
먹을 것을 사러 가까운 슈퍼에 갔다.
그사이에 아기가 깨어나서 엄마를 찾다가
옆방으로 기어가서 거기서 잠이 들었다.
엄마는 아기가 아디에 있다고 생각할까?

엄마는 아기가 아디에 있다고 생각할까?

(1) 아기방 (2) 옆방

2. 물리적 인과관계 추론 문장과 질문

빨간색과 파란색의 무늬가 있는 물병에
물을 가득 담아 창가에 놓아두었다.
아무도 이 물병의 물을 마시거나, 부어버리지 않았다.
며칠 후에 물병을 들여다보니,
물병 속의 물이 절반으로 줄어 있었다.

물병의 물이 왜 반으로 줄었을까?

(1) 증발했다 (2) 쏟았다

3. 비관련 문장과 질문

어머니는 병으로 오래 고통을 겪고 있다.
아주머니는 파리를 잡지 않을 것이다.
은영의 생일은 2월이다. 주부가 슈퍼마켓에 들어갔다.
노인이 밤늦게까지 텔레비전을 보았다.
오빠가 누이동생에게 자리를 양보했다.

은영의 생일은 몇 월인가?

(1) 2월 (2) 5월

4. 이차 틀린 믿음 문장과 질문

동식이와 주희가 동식이 방에서
각자 시험공부를 하고 있었다.

동식이는 친구 편지를 보다가,

엄마가 불러서 편지를 담요 밑에 넣어두고 나갔다.

동식이 나가고, 주희가 편지를 꺼내 서랍에 넣는데,

동식이 들어오다 편지를 서랍에 넣는 것을 보았다.

동식은 주희에게

“내가 편지 보여줄게”하고 편지를 찾았다.

주희는 동식이가 편지를 어디에서 찾을 것이라고 생각할까?

(1) 담요 (2) 책상