

지향성 탐지 과정의 뇌 활성화: 기능적 자기공명 영상 연구*

Brain Activation during Intentionality Detection: An fMRI Study

이 승 북** 박 민*** 윤 효 윤**** 김 혜 리***
(Seungbok Lee) (Min Park) (Hyo-Woon Yoon) (Hei-Rhee Ghim)

요 약 본 연구에서는 지향성을 탐지하는 과제를 하는 동안 활성화되는 뇌 영역을 검토하기 위하여 기능적 자기공명영상 기법을 이용하였다. 마음이론의 기본적 기제로 알려진 지향성 탐지에 관여하는 뇌의 활성화 영역이 사전 지시가 주어지는가에 따라 다른지를 알아보는 것이 연구의 주된 목적이었다. 과제에 대한 사전 지시가 주어진 경우에는 좌반구에서는 구부와 상측두회가 활성화되었고 우반구에서는 하후두회, 변연상회, 하두정소엽, 시상상 내배측핵, 설전소엽이 활성화되었다. 사전 지시가 주어지지 않았던 경우에는 우반구의 하두정소엽과 상두정소엽만이 활성화되었다. 두 경우에 공통적인 영역으로 하두정소엽이 관찰되었다. 이런 결과는 사전 지시가 지향성 탐지 관련 뇌 영역들을 더 분명하게 활성화시켰음을 시사한다. 지향성 탐지 기제의 자발적 작동과 참가자의 특성에 대한 추후 연구의 필요성을 논의하였다.

주제어 마음이론, 지향성 탐지기, 기능적 자기공명 영상, 상측두회, 하두정소엽

Abstract We applied fMRI to examine brain activation at intentionality detection (ID) task. The main purpose of this study was to explore whether brain activation regions involved in intentionality detection (known as the basic mechanism of theory of mind) differ or not, according to prior instruction. Left uncus, superior temporal gyrus and right inferior occipital gyrus, supramarginal gyrus, inferior parietal lobule, thalamus (medial dorsal nucleus), and precuneus were activated with prior instruction. In contrast, ID task with no instruction activated merely inferior parietal lobule and superior parietal lobule. Common activated area between the two instruction conditions was inferior parietal lobule. Our results suggest that prior instruction activated ID-related brain regions more explicitly. Further investigations would be focused on spontaneity of intentionality detector and characteristic of participants.

Keywords Theory of Mind, intentionality detector, fMRI, Superior Temporal Gyrus, Inferior Parietal Lobule

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

** 충북대학교 심리학과, 연구세부분야: 인지심리학

충청북도 청주시 흥덕구 개신동 12, 전화: 043-261-2193, E-mail: lsbok@chungbuk.ac.kr

*** 충북대학교 심리학과

**** 한국과학기술원 뇌과학연구소

인간은 끊임없이 타인과 의사소통을 하면서 살아간다. 따라서 원활한 의사소통을 위해서는 타인의 마음을 읽어내고 타인의 마음상태를 이해하는 것이 필수적이다. 목적, 지향성, 믿음 등과 같은 자기와 타인의 마음상태를 이해할 수 있을 때, 이를 마음이론(Theory of Mind, ToM) 또는 마음귀인(mentalizing) 능력을 가지고 있다고 한다(Baron-Cohen, Tager-Flusberg, & Cohen, 2000; Scholl & Leslie, 1999). 최근 들어서 이 문제를 사회적 동물로서의 진화의 산물로 보는 진화심리학, 자폐증을 마음읽기 능력이 없는 것으로 보는 발달심리학, 그리고 타인과의 관계 외해를 적절하지 못한 마음이론 때문이라고 보는 사회인지 등의 분야에서 상당한 관심을 가지고 다루고 있다.

마음이론 능력에 대한 진화적 관점에서는 자신과 타인의 마음읽기를 하는 것이 행동을 가장 빠르고 효율적으로 이해할 수 있는 방법이고, 행동을 재빨리 이해하고 조작하는 능력은 인간을 포함한 영장류 동물과 같이 사회적 상호작용을 많이 하는 사회적 동물에게는 번식의 성공 확률을 높일 수 있으므로, 마음읽기는 사회적 상호작용을 많이 하는 영장류와 인간 종이 유인원 종에서 분화되기 시작할 때부터 진화된 진화의 산물이라고 가정한다(Blakemore, Winston, & Frith, 2004).

따라서 진화적 관점으로 본다면, 현재 인간이 가지고 있는 마음읽기 능력은 생득적이고, 그 기능을 담당하는 신경기제가 있으며, 그런 인간의 독특한 기제는 최근에 진화적 변화를 겪어온 뇌의 영역들과 관련되어있을 것이라고 가정할 수 있다. 이를 바탕으로 마음읽기 능력의 신경생물학적 기제에 대한 연구가 이루어져 왔다(Gallagher & Frith, 2003). 다른 한편

으로는, 마음읽기를 할 수 없다고 알려진 자폐증 환자와 정상인의 신경기제에 대한 비교 연구를 위하여 정상적인 마음읽기 능력을 가지고 있는 사람들 뇌의 신경적 기초 연구가 촉발되었다(Baron-Cohen, 1995/2005). 우리로 하여금 자동적으로 마음상태를 자신과 타인에게 귀인할 수 있게 하는 뇌의 기제를 찾기 위하여, 건강한 사람을 대상으로 마음이론을 측정하기 위한 스토리 이해 과제, 만화 과제, 시선 과제 등을 수행하게 하고 PET나 fMRI를 이용하여 과제 수행 중의 뇌 활동을 촬영하는 뇌 기능 영상 연구가 이루어지고 있다.

Fletcher, Happé 등(1995)은 스토리 속 등장인물의 마음상태를 질문하는 과제에서 좌 내측 전두회(Brodmann's area; BA 8), 양측 측두극(BA 38), 좌 상측두 영역(BA 22/39), 대상회 후부(BA 23/31)에서의 뇌 활동을 발견하였다. Gallagher 등은 내측 전두회(BA 8/9), 양측 측두극(BA 38), 양측 두정 접합부(BA 39/40)에서의 활동을 발견하였고(Gallagher et al., 2000), Saxe와 Kanwisher(2003)는 양측 측두두정 접합부, 양측 상측두구 전방부, 설전소엽(precuneus)에서의 활성화를 발견하였다.

Gallagher 등은 등장인물의 마음상태를 텍스트가 아니라 만화로 보여주는 과제에서 내측 전두회(BA 8), 우측두 두정 접합부(BA 40), 우외측중전두회(BA 6), 설전소엽(BA 7/31), 우방추상회(BA 20/36)에서 뇌 활성화가 일어남을 보고하였다(Gallagher et al., 2000). Brunet, Sarfati, Hardy-Bayle과 Decety(2000)는 세 칸으로 구성된 만화를 제시한 과제에서 우 중전두회(BA 8/9), 우 내측전두회(BA 9), 좌 측두극(BA 38), 양측 대상회 전부(BA 31, 24), 우 하측두엽(BA 20/21), 양측 중측두영역 후방(BA 21),

우 하전두회(BA 47), 좌 소뇌에서의 활동을 발견하였다.

Baron-Cohen 등은 자폐증 집단과 건강한 정상 집단을 대상으로 fMRI를 이용하여 사진 속 인물의 눈을 보고 마음상태를 기술하게 하는 과제를 실시하였다(Baron-Cohen et al., 1999). 두 집단 모두 좌 전두 영역, 양측 측두 영역, 좌 편도체와 해마에서 광범위한 뇌 활동의 증가가 발견되었으나, 자폐증 집단에서는 좌우의 상측두 영역(BA 22)의 활동이 증가한데 비해 건강한 정상 집단에서는 좌 하전두회(BA 44/45), 우도부(right insula), 좌 편도체의 활동 증가가 나타났다.

이와 같이 마음이론 과제 수행 중에 활성화되는 뇌의 영역은 광범위하지만, 내측 전두회와 대상회전부 근방, 상측두구상 후방과 측두 두정접합부, 측두구 등이 상이한 과제에서 공통적으로 활성화되는 영역으로 알려져 있다(Frith & Frith, 2001, 2003; Gallagher & Frith, 2003).

Baron-Cohen은 마음을 읽어내는 마음이론의 체계를 구성하는 기제로서 다음과 같은 네 가지를 제안하였다(Baron-Cohen, 1995/2005): 스스로 움직이는 물체가 목표나 바람을 가지고 있는가를 판단하는 지향성 탐지기(intentionality detector, ID), 타인의 눈의 존재를 탐지하고 시선이 자신이나 다른 물체를 향하고 있는가를 계산하는 시선방향 탐지기(eye-direction detector, EDD), 자기와 타인, 또 다른 사람의 삼자 간의 관계에서 다른 사람의 시선을 쫓거나, 손가락질을 하여 타인의 주의를 끄는 등으로 주의를 공유하는 공동주의 기제(shared attention mechanism, SAM)와 일련의 마음상태를 표상하고 그것을 통합하여 마음상태에 대한 지식

을 형성하는 마음이론 기제(theory of mind mechanism, ToMM).

Baron-Cohen의 마음이론 체계 제안에 따라, Calder 등은 제시 화면에 비치는 인물의 시선 방향을 참가자의 시선에 맞춘 위치와 좌우방향으로 50% 또는 100% 떨어진 위치의 자극을 제시할 때의 뇌 활동을 측정하여 시선방향 탐지 기제를 알아보았다(Calder et al., 2002). 시선이 서로 어긋날수록 우 내측전두회(BA 8/9), 좌 중전두회(BA 10)의 활동이 나타났고, 역으로 시선이 합쳐질수록 어느 것이나 우측의 상측두회(BA 22), 중측두회(BA 21), 구부(鉤部, uncus)(BA 20/28), 방추상회, 중심후회(BA 1)의 활동이 발견되었다. Hooker 등은 시선 제시 조건과 화살표 제시 조건을 비교하여 좌 상측두구후방(BA 22/39)에서 활성화가 일어남을 보고하였다. 사회적 의사소통에서 의미가 있는 공간적 단서로서 시선이 분석될 경우에 이런 활동이 나타나며, 상측두구를 공동주의의 중심적인 신경기제로 보았다(Hooker et al., 2003).

지향성 탐지기는 움직이는 자극을 어떤 것을 위해서 어느 쪽으로 가고자 하는가 라는 목적과 바람의 마음상태에 기초하여 해석하는 지각 장치이다. 스스로 움직임을 유발하는 자극들의 형태가 서로 매우 달라도 다름에도 불구하고 공통적으로 목적과 바람을 가지는 행위자(agent)인 것으로 해석될 수 있다. 예를 들어, 어두운 밤에 비명소리를 듣는 것처럼 청각자극만 있는 경우에도 그런 자극 정보도 움 청하기라는 목적과 바람을 가지고 있는 행위자로 해석한다. 이런 점 때문에 Baron-Cohen은 지향성 탐지기를 행위자인 것처럼 보이는 지각 자극의 유입이 있을 때 활성화되는 기본적인 장치로 보았다.

이외에도 기존의 신경해부, 생물행동, 임상 연구결과들을 종합하여, Abu-Akel(2003)은 마음 이론의 신경생물학적 토대가 크게 후측 영역(하두정소엽과 상측두구), 변연-부변연 영역(편도, 안와전두피질, 복내측 전전두피질과 전대상회), 전전두 영역(배내측 전전두피질, 하외측 전두피질)의 세 가지 주요 구성요소로 이루어져 있을 것이라는 모형을 제안하였다. 그는 자기 자신의 마음상태의 표상은 하두정소엽에서, 타인의 마음상태의 표상은 상측두구에서 이루어지며, 이런 영역에서 표상된 마음상태는 사회정서적 조절과 해석을 위해 변연-부변연계로 전달된다. 그렇게 처리된 정보는 내측 전전두피질과 하외측 전두피질 영역으로 투영되어 자신과 타인의 마음상태를 맞추어 보고 말이나 손짓, 얼굴표정 등의 실제 행위로 나타나는 것으로 보았다.

지향성 탐지 기제에 관한 뇌 영상 연구

Baron-Cohen(1995/2005)에 따르면, 지향성 탐지는 움직이는 자극을 목적과 바람에 기초하여 해석하는 지각장치이며 기본적으로 가지고 태어나는 생득적 기제이다. 이 지향성 탐지의 신경 기제를 알아보기 위해 뇌 기능 영상을 촬영하는 연구가 이루어졌다. 이런 연구들은 연구 참가자들에게 단순한 기하학적 모양이 움직이는 필름을 보여주면 스스로 도형에 행위유발성(agency)을 부여하고 어떤 행위를 하는 것으로 의인화하여 지향성과 믿음과 같은 마음 내부의 상태를 찾아낸다는 Heider와 Simmel(1944)의 고전적 연구에서 비롯되었다.

Castelli, Happé, Frith와 Frith(2000)는 참가자

에게 두 개의 삼각형이 움직이는 동영상 화면을 제시하고, 감정과 생각을 가지고 상호 작용을 하는 동영상을 보게 될 것이라고 미리 알려주고 동영상의 예를 보여주며 연습을 시킨 후에 뇌 영상을 촬영하였다. 이들은 기하학적 도형이 어떤 목적을 가진 방식으로 움직이는 경우와 무선적으로 움직이는 영상을 보는 동안 활성화되는 뇌의 부위를 비교하였다. 그 결과, 무선적인 움직임은 보는 경우에 비해서 지향적인 움직임을 가진 동영상 자극을 지각하고 있는 동안에는 내측 전전두 피질(medial prefrontal cortex)과 상측두구(superior temporal sulcus)가 활성화된다고 보고하였다. Castelli 등(2000)은 지향성을 가지고 움직이는 생물처럼 느껴지는가를 탐지하는 생체성(animacy)과 관련된 뇌 부위로는 양 상측두구(BA 22/39), 우 방추상회(BA 37), 우 측두구(BA 38), 양 후두엽(BA 19/18), 좌 내측 전두회(BA 9)에서 활성화가 나타났음을 보고하였다.

Blakemore 등도 두 가지 도형이 화면 속에서 움직이는 과제를 실시하여 생체성이 있으면서 한 도형이 움직임이 다른 도형의 움직임에 따라 달라지는 수반성을 나타내는 화면을 관찰하게 하였을 때, 우 중전두회(BA 8/9)와 좌 상측두구의 활동을 발견하였다(Blakemore et al., 2003).

Baron-Cohen의 주장처럼 기하학적 도형이 움직이는 자극 패턴을 보고 특정한 움직임에 대해서는 어떤 지향성이나 바람을 가진 행위자로 해석하는 지향성 탐지 기제가 인간이 가지고 있는 행동을 마음상태와 관련하여 이해하는데 가장 기본이 되는 기제라면, 미리 연습을 하거나 지시를 하지 않고 제시되는 자극 상황에서도 그 기제가 작동되어야 할 것이라

고 예측할 수 있다.

그러나, Castelli 등과 Blakemore 등의 실험에서는 연구 참가자에게 실제 자극의 예를 보여 주고 미리 지향성을 지닌 행위자로 볼 자극이 어떤 것인지 충분히 연습을 시킨 후에 영상장치에서 실험을 실시하였다. 이렇게 사전 지시와 연습의 기회가 주어질 경우, Heider와 Simmel(1944)이 주장하는 자연적인 행위유발성 또는 지향성 탐지기의 존재를 확인하였다고 보기가 어렵다. 기하학적 도형의 동영상에서 이러한 지향성 탐지를 하지 못했던 참가자라도 연습을 거치는 과정에서 그렇게 보도록 학습 또는 훈련이 되었기 때문에, 지향성을 탐지했다기보다는 학습된 기억에 좀 더 의존했을 가능성이 있다. 따라서 이러한 학습과 훈련이 선행되지 않은 상태에서도 동일한 지향성 탐지가 이루어지는지를 검토해보아야 할 것이다. 진정한 의미의 지향성 탐지기의 신경적 기초는 이러한 비지시적인 자연적 조건에서 확인될 수 있을 것이다.

본 연구에서는 기능적 자기공명 영상 장치를 이용하여 지향성 탐지 과정의 뇌 신경기제를 밝히고자 하였다. 우선 실험 1에서는 사전 연습과 학습을 하지는 않았지만 보게 될 기하학적인 도형의 움직임 패턴에 대한 간단한 지시를 주었다. 어떤 지향성을 지향하는 흐름을 가지고 있는 움직임이 있는 동영상(지향성 조건)과 비교조건으로서 지향적인 움직임으로 지각되지 않고 무선적인 움직임으로 지각되는 경우의 동영상(무선 조건)을 제시하였다. 두 동영상 자극에 대해 활성화되는 뇌 영역을 비교하여, 지향성 탐지를 하는 뇌 활성화 영역을 찾아내고자 하였다. 또한 실험 2에서는 실험 1의 지시까지도 생략하고 동영상에 대한

아무런 사전 지시가 없는 상태에서도 지향성 탐지 기제가 지시나 연습이 주어지는 경우와 마찬가지로 나타나는지를 확인해보고자 하였다.

실험 1. 사전 지시 하의 지향성 탐지

방 법

참가자

실험참가자는 한국과학기술원에 재학 중인 학생으로 남녀 각 5명씩 총 10명이었다. 실험 참가자는 모두 신경정신과적 질병의 병력이 없고 정기적인 복용 약물이 없는 사람들이었다. 실험 참가자의 연령 범위는 20~30세였고, 평균 연령은 23.2세였다. 실험이 끝난 후에 모든 참가자들에게 실험 참가비를 지급하였다.

재료와 절차

실험의 자극은 2차원 기하학적 도형(삼각형) 2개가 움직이는 동영상이었다. 동영상은 Flash MX 2004 프로그램을 이용하여 만들었다. 각 동영상에서는 검은색 선으로 그려진 큰 삼각형과 작은 삼각형이 등장하여 흰 배경 화면 위의 여러 위치로 움직여 다녔다.

한 회기 동안 참가자는 2가지 유형의 동영상(무선적 동영상과 지향성 동영상)을 보았다. 무선적 동영상에서는 두 삼각형이 화면 위에서 무작위로 움직였다. 지향성 동영상은 한 삼각형이 다른 삼각형을 쫓아가기, 두 삼각형이 싸우고 화해하기, 한 삼각형이 다른 삼각

형에게 조르기와 같은 내용을 담은 것이었다. 싸우고 화해하기는 두 삼각형이 같이 춤을 추듯이 움직이다가 서로를 툭툭 친 후에 멀어지고 다시 서로에게 다가가서 춤을 추듯이 같이 움직이는 내용이고, 조르기는 작은 삼각형이 큰 삼각형과 같이 움직이다가 뒤처지면서 때를 쓰는 것처럼 제자리에서 뛰는 움직임을 보이는 내용이었다. 참가자들은 2번의 회기에 참가하였고, 각 회기에서 동영상은 맥락이 형성되는 것을 막기 위하여 무선 동영상의 앞뒤로 지향성 동영상이 연이어 제시되지 않는 의사-무선(pseudo-random)의 제시되었고 하나의 동영상은 27초 동안 재생되었으며, 각 동영상 사이에는 아무 것도 제시되지 않는 18초간의 휴식 조건이 제시되었다. 따라서 각 회기는 무선과 지향성 각 3블록씩 총 6개 블록이었고, 한 블록이 끝나면 휴식 조건이 제시되는 것으로 구성되었다.

실험 1에서는 참가자들에게 동영상을 보게 될 것이라고 알려주고 실험에 나오는 동영상의 움직임 패턴을 미리 간단하게 설명해주었다. 제시되는 동영상을 보면서 '저것은 어떤 내용인가'를 잘 생각해보라고 하였고, 촬영이 끝난 후에 참가자에게 동영상의 내용을 설명해 보도록 하였다. 실험에 사용된 동영상 자극은 LCD 프로젝터를 이용하여 MR 스캐너 안에 위치한 거울을 통해 제시되었다.

fMRI 자료 획득과 분석

전체 실험 자료는 3 테슬라 세기의 MR 기기(Oxford magnet, Varian console, 국내업체 ISOL 제작)를 통해 이루어졌고, Echo planar imaging (EPI) sequence가 사용되었다. 각 영상 슬라이스

의 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, 축방향(머리 위에서 밑으로)의 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. 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 $p < .001$, uncorrected의 역치를 넘는, 10개 부피소의 범위를 넘는 활성화 영역을 보고하였다. 지향성 탐지 시의 뇌 활성화 영역을 알아보기 위하여 지향성 조건의 활성화 영역에서 무선 조건의 활성화 영역을 감산하였다.

결과와 논의

10명의 자료를 집단 분석하였다. 지향성 과제를 수행할 때 활성화되는 영역으로 좌반구에서는 구부(uncus)와 상측두회(superior temporal gyrus)가 활성화되었고, 우반구에서는 하후두회(inferior occipital gyrus), 변연상회(supramarginal gyrus), 하두정소엽(inferior parietal lobule), 시상

의 내배측핵(medial dorsal nucleus), 설전소엽(precuneus)이 활성화되었다(표 1과 그림 1).

구부와 상측두회는 시선 응시와 관련된 것으로 알려진 영역이다(Calder et al., 2002; Hoffman & Haxby, 2000; Wicker, Michel, Henaff, & Decety, 1998). 특히 상측두회는 양측 상측두구(superior temporal sulcus, STS)의 후측 부분으로 시선 응시 처리 시에 관여하는 영역이다(Puce, Allison, Bentin, Gore, & McCarthy, 1998). 상측두구는 지향적인 행동을 지각하는 영역이고, 생물학적 움직임의 속성을 공유하는 자극에 대한 반응으로 활성화되는 영역으로 안구 움직

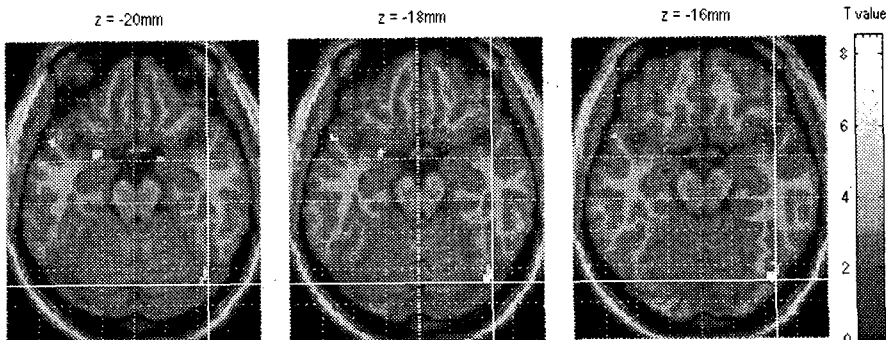
임과 응시 방향과도 관련되어있다. 뿐만 아니라, 이런 영역을 포함하는 두정엽과 측두엽 접합부에서의 뇌 활성화는 스토리 이해 과제와 움직임이 없는 정지된 만화 과제에서도 나타났다(Fletcher, Happé, et al., 1995; Gallagher et al., 2000) 따라서 이들 영역은 마음이론 과제에서 공통적으로 활성화되는 대표적인 영역이라고 볼 수 있다.

하후두회(BA 18)는 시각정보를 정교화하고 종합하는 이차 감각 영역이고, 후두 영역은 생체성과 지향성의 귀인과 관련된 주의에 관여하는 움직임 패턴 지각과 관련되어있는 것

<표 1> 사전 지시가 있는 지향성 과제에서의 활성화 영역

L/R	활성화 영역 Region	BA	Talairach 좌표			Z 값
			x	y	z	
L	Uncus	28	-24	4	-24	4.11
L	Superior Temporal Gyrus	22	-62	-48	14	3.83
R	Inferior Occipital Gyrus	18	42	-84	-10	3.45
R	Supramarginal Gyrus	40	58	-52	26	4.03
R	Inferior Parietal Lobule	40	44	-48	54	4.00
R	Thalamus	-	8	-18	6	3.88
R	Precuneus	31	12	-64	26	3.58

p < .001, uncorrected, cluster = 10



(그림 1) 사전 지시 지향성 과제에서 활성화되는 영역

으로 보인다(Castelli et al., 2000). 변연상회는 마음이론의 스토리 이해(Fletcher, Happé, et al., 1995)와, 하두정소엽(BA 40)은 생물학적 움직임과 관련이 있는 영역으로 보고되고 있다(Castelli et al., 2000).

설전소엽(BA 31)의 활성화는 설전소엽이 일화기억의 인출 단계에서 심상 버퍼 역할을 한다는 기존 연구들(Fletcher, Frith, et al., 1995; Fletcher, Happé, et al., 1995; Gallagher et al., 2000; Shallice et al., 1994)로 볼 때, 제시되었던 자극의 비교를 위하여 심상 기억이 관여한 것으로 보인다. 또한, 시상의 내배측핵(medial dorsal nucleus)은 마음이론 능력을 중재하는 영역으로 알려진 전대상피질(anterior cingulate cortex)과 상호 연결되어 있는 알려져 있다.

전반적으로 볼 때, Castelli 등(2000)의 실험에서처럼, 충분한 사전 연습이 없이 동영상의 내용에 관한 간단한 지시만으로도 지향성 탐지 기체에 필요한 상측두구, 변연상회, 하두정소엽 등의 활성화가 나타난 것으로 보인다. 그렇다면 이러한 지시마저도 없는 조건에서도 자발적인 지향성 탐지 기체가 동일한 방식으로 작동할 것인가 의문으로 남는다. 실험 2는 아무런 지시가 없는 조건에서의 자발적 지향성 탐지 기체를 확인하기 위하여 수행되었다.

실험 2. 자발적 지향성 탐지

방 법

참가자

실험참가자는 실험 1에 참가하지 않았던 한

국과학기술원에 재학 중인 학생으로 남녀 각 5명씩 총 10명이었다. 실험참가자는 모두 신경정신과적 질병의 병력이 없고 정기적인 복용 약물이 없는 사람들이었다. 실험 참가자의 연령 범위는 20~28세였고, 평균 연령은 22.8세였다. 실험이 끝난 후에 모든 참가자들에게 실험 참가비를 지급하였다.

재료와 절차

실험 자극과 절차 등은 실험 1과 동일하였으나 실험 2에서는 참가자들에게 지향성 과제에 대한 설명을 일체 해주지 않고 간단한 동영상 보게 될 것이라고만 알려주었다. 이는 지향성 탐지요소가 실제로 존재한다면 제시되는 자극이 행위자라는 지시나 암시를 받지 않더라도 지향적으로 움직이는 동영상을 행위자인 것으로 해석할 것이라는 예측에 따라 지향성 탐지 기체가 자발적으로 작동하는지를 확인하려는 목적에서였다.

fMRI 자료 획득과 분석

실험 1과 동일하게 수행되었다.

결과와 논의

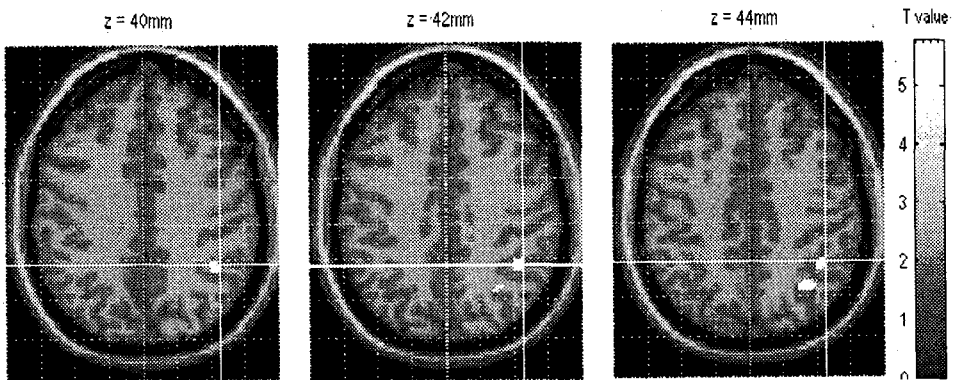
10명의 자료를 집단 분석하였다. 사전 설명이 없이 지향성 과제를 수행할 때는 우반구의 하두정소엽(inferior parietal lobule)과 상두정소엽(superior parietal lobule)만이 활성화되었다(표 2와 그림 2).¹⁾

우반구의 하두정소엽이 실험 1과 동일하게

<표 2> 사전 지시가 없는 지향성 과제에서의 활성화 영역

L/R	Region	BA	Talairach 좌표			Z 값
			x	y	z	
R	Inferior Parietal Lobule	40	42	-48	42	3.65
R	Superior Parietal Lobule	7	36	-56	48	3.50

p < .001, uncorrected, cluster = 10



(그림 2) 사전 지시가 없는 지향성 과제에서 활성화되는 영역

활성화되었고 상두정소엽(BA 7)이 활성화되었다. Brodmann 영역 7은 두정 피질의 일부이고, 일차 체감각 피질의 후측과 시각 피질의 전측에 위치하고 있으며, 시각-운동 협응에 관여하는 것으로 알려져 있다. 상두정소엽은 시각적으로 유도되는 운동 과제 수행에 결정적인 역할을 하고 시각적 공간의 위치로부터 주의를 이탈하게 한다고 한다(Galletti, Kutz, Gamberini, Breveglieri, & Fattori, 2003). Iaconi 등(1999)은

타인이 하는 손가락의 움직임을 관찰하고 똑같이 모방하게 했을 때 우측 상두정소엽이 활성화되었음을 보고하였고, Lacquaniti 등(1997)은 현재 주의를 기울이고 있는 것에서 이탈하여 이전에 나왔던 표적 쪽으로 주의를 향할 때 우측 상두정소엽이 활성화됨을 발견하였다. 따라서 실험 2에서 활성화된 두 영역은 움직임 탐지와 공간에서의 주의 이동과 관련되어 있는 것으로 생각된다.

- 1) 심사위원 중 한 분께서 시선응시, 시각정보처리 등과 관련된 구부, 상측두회, 하후두회의 뇌 부위가 실험 2에서 활성화되지 않았음을 지적해주셨다. 구부 등의 뇌 부위도 통계적 역치 p<.01 수준에서는 발견되었으나, 실험 1의 결과와 비교하기 위하여 실험 2에서도 통계적 역치를 p<.001 수준에서 동일하게 적용하여 발견된 뇌 부위만을 보고하였습니다.

종합논의

본 연구에서는 기하학적 도형이 움직이고 있는 동영상을 보면서 지향성을 탐지하는 과제를 하는 동안 활성화되는 뇌 영역을 검토하

고, 지향성 탐지에 관여하는 뇌의 활성화 영역이 사전 지시가 주어지는가에 따라 다른지를 알아보았다.

실험 결과, 참가자들에게 실험에서 보게 될 동영상의 움직임 패턴을 미리 설명해주었던 실험 1에서는 좌반구의 구부와 상측두회, 우반구의 하후두회, 변연상회, 하두정소엽, 시상 내배측핵, 설전소엽 등이 활성화되었다. 사전 설명이 전혀 없이 지향성 탐지 과제를 수행하게 하였던 실험 2에서는 우반구의 하두정소엽과 상두정소엽만이 활성화되었다.

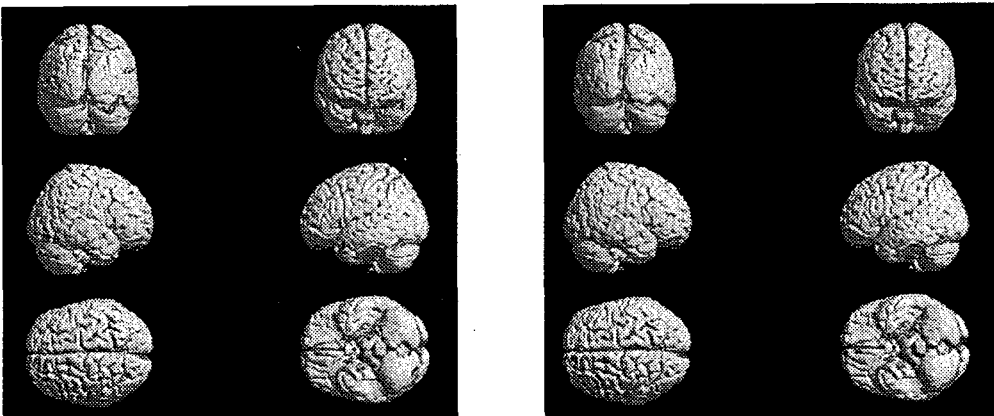
과제에 대해 사전에 설명을 해주었던 실험 1에 비해 사전 설명이 전혀 없었던 실험 2에서는 뇌 활성화 영역이 훨씬 적게 나타났다(그림 3). 이는 설명을 통한 지향성 탐지 과제에 대한 사전 인식이 더 다양한 뇌 영역을 활성화시켰음을 시사한다.

실험 1과 2에서 활성화된 뇌의 영역은 주로 우반구였는데 이는 우반구 손상이 마음이론 능력에 영향을 미친다는 연구결과들로 이해될 수 있다(Brunet et al., 2000). 예를 들면, Winner 등(1998)은 우반구가 손상된 환자는 마음읽기

능력을 측정하는 믿음의 귀인을 포함하고 있는 스토리 이해 과제의 수행이 떨어진다고 보고하였고, Siegal 등(1996)은 우반구 손상 환자들의 경우, 매우 단순한 틀린 믿음 과제 수행 능력이 저하되었음을 발견했다.

실험 1에서 하후두회, 변연상회, 하두정소엽, 설전소엽 등의 뇌 영역이 활성화된 것은 사전 지시를 통하여 지향성 탐지 기제가 작동한 결과로 생각된다. 특히 실험 1과 2에서 공통적으로 활성화되었던 하두정소엽은 타인의 행위를 지켜볼 때 활성화되고(Grèzes & Decety, 2001), 행위를 정확한 행위자에게로 귀인하는데 중요한 역할을 하는 영역으로 알려져 있으며(Farrer & Frith, 2002), 타인의 행위를 관찰하는 것을 마음속으로 모의(simulate)할 때 더욱 활성화된다고 한다(Ruby & Decety, 2001). 지향성을 포함하고 있는 움직임을 보면서 타인이 하는 행위의 지향성을 탐지하는 것과 같은 기제가 작동하여 이 영역이 활성화된 것으로 보인다.

실험 2에서는 하두정소엽과 상두정소엽의 활성화만 관찰되었다. 비록 타인 행위의 지향



(그림 3) 사전 지시 유(왼쪽), 무(오른쪽)에 따른 활성화 영역

성 탐지와 관련된 하두정소엽이 활성화되었으나, 기존에 알려진 다른 영역들의 활성화는 나타나지 않고 움직임 탐지와 시각적 공간에서의 주의 이동과 관련이 있는 것으로 알려진 (Galletti et al., 2003; Iacoboni et al., 1999; Lacquaniti et al., 1997) 상두정소엽이 활성화되었다. 특히 동영상의 움직임 패턴에 대한 사전 설명이 없었던 실험 2의 참가자들은 뇌 영상 촬영이 끝난 후에 참가자에게 동영상의 내용을 설명해 보도록 하였을 때, 실험 과제의 자극을 단순한 삼각형의 움직임으로 기술하는 경향을 보였다. 이런 행동적 반응을 고려하면 실험 2의 참가자들은 기하학적 도형의 움직임을 보고 행위유발성이나 지향성을 상대적으로 덜 부여했던 것으로 해석할 수 있다.

Heider와 Simmel(1944)의 연구에서는 참가자들에게 기하학적 도형이 움직이는 필름을 보여주고 그 필름에 대해 기술하도록 하였을 때, 오직 한 명의 참가자만이 도형에 행위유발성과 지향성을 부여하지 않고 도형의 움직임을 있는 그대로 기술하였다. 또한, 학령전 아동(Dasser, Ulbaek, & Premack, 1989)과 12개월 아동(Gergely, Nádasdy, Csibra, & Bíró, 1995)에게 이러한 필름을 보여주었을 때도 다양한 도형들을 마음상태에 의해 움직임이 유발되는 행위자인 것으로 지각한다는 결과가 나타났다.

그러나 이런 연구결과들과 지향성 탐지가 행위자인 것처럼 보이는 지각 자극의 유입이 있을 때 기본적으로 활성화된다는 Baron-Cohen의 주장과는 달리, 실험 2에서 기하학적 도형의 움직임에 지향성을 부여하지 않고 있는 그대로 보려는 경향이 나타나게 된 한 가지 가능성은 학문분야의 구체성(domain-specificity)이라는 요인이 개입되었을 수 있다는 점이다.

본 연구의 참가자들은 모두 한국과학기술원에 재학 중인 공학 전공자였다. 참가자의 학문분야의 구체성에 따라 과제 수행에서 차이를 보인다는 연구결과(e.g., Schunn & Anderson, 1999)를 감안하면 특정 분야에서 전문성을 쌓아가고 있는 참가자의 특성 때문에 이런 결과가 나타났을 가능성이 있으므로 향후 연구에서는 학문적 배경이 다른 참가자들의 반응과 비교해볼 필요가 있을 것이다.

이런 결과를 종합해보면, 사전 지시가 있는 경우에는 지향성 탐지 기제가 작동하지만, 사전 지시가 없는 경우에 동영상 자극의 움직임에 대한 단순한 탐색이 일어나는지, 아니면 자극의 움직임이 포함하고 있는 지향성의 탐지까지 이루어지는지에 대해서 좀 더 분명하게 규명해보아야 할 것으로 생각된다. 또한 사전 지시가 없는 경우에 활성화되었던 상두정소엽이 마음이론에서 주장하는 지향성 탐지 기제의 일부로서 어떤 역할을 하는 영역인가에 대해서도 추후의 연구가 더 필요한 것으로 생각된다.

참고문헌

- Abu-Akel, A. (2003). A neurobiological mapping of theory of mind. *Brain Research Reviews*, 43, 29-40.
- 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., Ring, H., Wheelwright, S.,

- Bullmore, E., Brammer, M., Simmons, A., & Williams, S. (1999). Social intelligence in the normal and autistic brain: An fMRI study. *European Journal of Neuroscience*, *11*, 1891-1898.
- 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.
- Blakemore, S. J., Boyer, P., Pachot-Clouard, M., Meltzoff, A., Segebarth, C., & Decety, J. (2003). The detection of contingency and animacy from simple animations in the human brain. *Cerebral Cortex*, *13*, 837-844.
- Blakemore, S., Winston, J., & Frith, U. (2004). Social cognitive neuroscience: Where are we heading? *Trends in Cognitive Sciences*, *8*, 216-222.
- Brunet, E., Sarfati, Y., Hardy-Bayle, M. C., & Decety, J. (2000). A PET investigation of the attribution of intentions with a nonverbal task. *NeuroImage*, *11*, 157-166.
- Calder, A. J., Lawrence, D., Keane, J., Scott, S. K., Owen, A. I., Christoffels, I., & Young, A. W. (2002). Reading the mind from eye gaze. *Neuropsychologia*, *40*, 1129-1138.
- Castelli, F., Happé, F., Frith, U., & Frith, C. (2000). Movement and mind: A functional imaging study of perception and interpretation of complex intentional movement patterns. *NeuroImage*, *12*, 314-325.
- Farrer, C., & Frith, C. D. (2002). Experiencing oneself vs another person as being the cause of an action: The neural correlates of the experience of agency. *NeuroImage*, *15*, 596-603.
- Fletcher, P. C., Frith, C. D., Baker, S. C., Shallice, T., Frackowiak, R. S. J., Dolan, R. J. (1995). The mind's eye-precuneus activation in memory related imagery. *NeuroImage*, *2*, 195-200.
- 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*, 109-128.
- Frith, U., & Frith, C. (2001). The biological basis of social interaction. *Current Directions in Psychological Science*, *10*, 151-155.
- Frith, U., & Frith, C. D. (2003). Development and neurophysiology of mentalizing. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London: Biological Sciences*, *358*, 459-473.
- Gallagher, H. L., & Frith, C. D. (2003). Functional imaging of 'theory of mind'. *Trends in Cognitive Sciences*, *7*, 77-83.
- 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*, 11-21.
- Galletti, C., Kutz, D. F., Gamberini, M., Breveglieri, R., & Fattori, P. (2003). Role of the medial parieto-occipital cortex in the control of reaching and grasping movements. *Experimental Brain Research*, *153*, 158-170.
- Gergely, G., Nádasdy, Z., Csibra, G., & Bíró, S. (1995). Taking the intentional stance at 12

- months of age. *Cognition*, 56, 165-193.
- Grèzes, J., & Decety, J. (2001). Functional anatomy of execution, mental simulation, observation, and verb generation of actions: A meta-analysis. *Human Brain Mapping*, 12, 1-19.
- Heider, F., & Simmel, M., (1944). An experimental study of apparent behavior. *American Journal of Psychology*, 57, 243-259.
- Hoffman, E. A., & Haxby, J. V. (2000). Distinct representations of eye gaze and identity in the distributed human neural system for face perception. *Nature Neuroscience*, 3, 80-84.
- Hooker, C. I., Paller, K. A., Gitelman, D. R., Parrish, T. B., Mesulam, M.-M., & Reber, P. J. (2003). Brain networks for analyzing eye gaze. *Cognitive Brain Research*, 17, 406-418.
- Iacoboni, M., Woods, R. P., Brass, M., Bekkering, H., Mazziotta, J. C., & Rizzolatti, G. (1999). Cortical mechanisms of human imitation. *Science*, 286, 2526-2528.
- Lacquaniti, F., Perani, D., Guigon, E., Bettinardi, V., Carrozzo, M., Grassi, F., Rossetti, Y., & Fazio, F. (1997). Visuomotor transformations for reaching to memorized targets: A PET study. *NeuroImage*, 5, 129-146.
- Puce, A., Allison, T., Bentin, S., Gore, J. C., & McCarthy, G. (1998). Temporal cortex activation in humans viewing eye and mouth movements. *Journal of Neuroscience*, 18, 2188-2199.
- Ruby, P., & Decety, J. (2001). Effect of subjective perspective taking during simulation of action: A PET investigation of agency. *Nature Neuroscience*, 4, 546-50.
- Saxe, R., & Kanwisher, N. (2003). People thinking about thinking people: The role of the temporo-parietal junction in "theory of mind". *NeuroImage*, 19, 1835-1842.
- Scholl, B. J., & Leslie, A. M. (1999). Modularity, development and "theory of mind." *Mind & Language*, 14, 131-153.
- Schunn, C. D., & Anderson, J. R. (1999). The generality/specificity of expertise in scientific reasoning. *Cognitive Science*, 23, 337-370.
- Shallice, T., Fletcher, P., Frith, C. D., Grasby, P. M., Frackowiak, R. S. J., & Dolan, R. J. (1994). Brain regions associated with the acquisition and retrieval of verbal episodic memory. *Nature*, 368, 633-635.
- Siegal, M., Carrington, J., & Radel, M. (1996). Theory of mind and pragmatic understanding following right hemisphere damage. *Brain and Language*, 53, 40-50.
- Wicker, B., Michel, F., Henaff, M. A., & Decety, J. (1998). Brain regions involved in the perception of gaze: A PET study. *NeuroImage*, 8, 221-227.
- Winner, E., Brownell, H., Happé, F., Blum, A., & Pincus, D. (1998). Distinguishing lies from jokes: Theory of mind deficits and discourse interpretation in right hemisphere brain-damaged patients. *Brain and Language*, 62, 89-106.
- 1 차원고접수: 2005. 11. 18
2 차원고접수: 2006. 2. 14
최종게재승인: 2006. 3. 2