

Discovery of the Mirror System and Social Cognitive Function

Hyang-Sun Lee*
Gak-Li Middle School

<ABSTRACT>

A mirror neuron is a neuron that is known to imitate the actions, intentions, and emotions of others in their minds, and is thereby responsible for human empathy. The discovery of mirror neurons in psychology was as important as the discovery of DNA in biology. Mirror neurons provide an important reason for our human being to become one of the best living creatures on earth, unlike other animals. Especially, the act of imitating the actions and emotions of others in a moment is the product of evolution. What is interesting is that mirror neurons are not only imitating the actions of others, but are also involved in reading the intentions contained in them. This study examined the system of mirror neurons and their social effects through an in depth review of recent domestic and foreign studies. This provides implications for the expansion of the brain-based education, and in particular, it is a basic research to examine how brain science research can be related to education.

Key words : Mirror neuron, Mirror system, Psychology system, Social system

Introduction

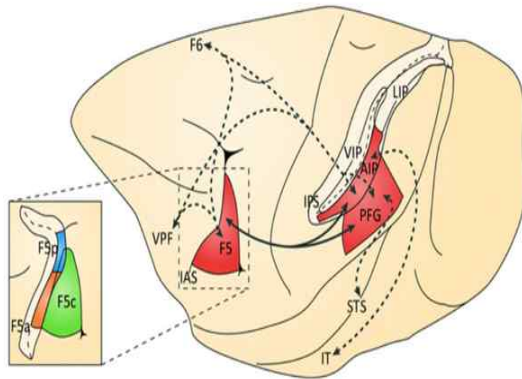
1996년 저명한 신경심리학자인 이탈리아 파르마 대학의 Giacomo Rizzolatti 교수팀은 원숭이를 대상으로 뇌가 어떻게 운동행위를 조직하는지 알아내기 위해 원숭이가 땅콩을 손에 쥐었을 때의 전운동 영역(premoter area)이라 알려진 부위를 관찰하고 있었다. 어느 날 우연히 연구자의 손에 땅콩을 쥔 모습을 보고 원숭이가 마치 원숭이 자신의 손에 땅콩을 직접 쥐었을 때와 동일한 신경반응을 보인다는 것을 발견하였다. 그동안 이 전운동 영역의 뉴런들은 시각적 자극에 반응하지 않는다고 알려져 있었기 때문에 놀랄만한 일이었다. 원숭이가 아무런 행

동을 취하지 않고 단지 눈으로 관찰한 행동을 심리적으로 모방했다. 원숭이의 뇌는 연구원이 하는 행위를 그대로 정신적으로 흉내 내고 있었다. 이를 거울뉴런(Mirror Neurons)이라 하는데 거울 뉴런이란 타인의 행동이나 의도, 감정을 머릿속에서 추측하고 모방하며 그로 인해 인간의 공감 능력을 담당한다고 알려진 신경세포이다. 원숭이의 거울 뉴런은 상측두엽(STS, superior temporal sulcus), 두측하두정엽(rostral inferior parietal neurons), F5영역을 포함한 복측 전운동영역(ventral premotor)에서 발견되었다[Figure 1]. 원숭이가 목표 지시 동작을 수행할 때와 원숭이가 다른 사람이 같은 동작을 수행하는 것을 관찰할 때 활성화되는 부위를 발견하면서 알아낸 것이다(Kolb & Whishaw, 2011).

* Corresponding author : Hyang Sun Lee, noeulsan77@naver.com

Received Sep 01 2017; Reviewed Sep 28 2017 Accepted Jan 27, 2018; Published Mar 30, 2018

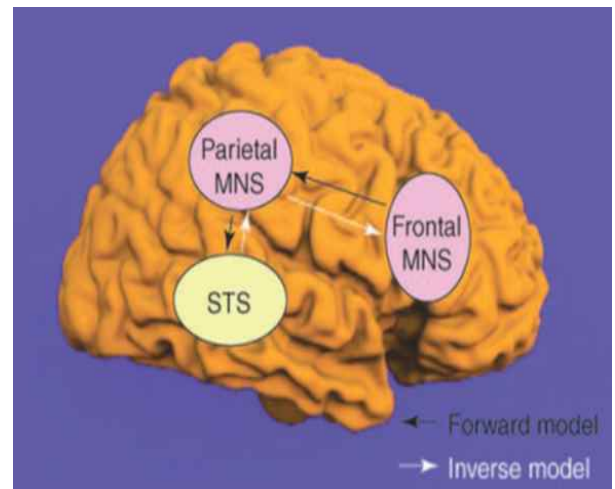
© 2018. Institute of Brain based Education, Korea National University of Education



[Figure 1] Monkey's Mirror Neurons

이후에 거울뉴런에 대한 계속 연구가 이루어지면서 Marco Iacoboni 연구팀에 의해 인간의 거울체계가 발견되었다. 이 분야에 대하여 지속적으로 연구를 수행한 Marco Iacoboni 연구팀은 경두개자극(TMS)기법을 이용한 실험을 했다. 거울체계에 해당하는 부위에 경두개자극을 주었을 때 행동 모방에서 실수를 범한다는 사실을 발견함으로써 경두개자극을 준 부위를 거울체계라고 하였다. 이후에 fMRI 연구에서도 같은 부위들이 활성화되어 인간의 거울체계 부위를 알게 되었다. 인간의 거울체계는 Frontal MNS(전두엽의 전운동피질, inferior frontal gyrus:IFG), Parietal MNS(전두정간구, anterior intraparietal sulcus, 하두정소엽 inferior parietal lobule: IPL), Posterior STS(superior temporal sulcus)가 해당된다[Figure 2](Iacoboni, 2005; Iacoboni & Mazziotta, 2007).

특히 이들 거울뉴런은 서로 신호를 주고받으며 정보를 처리하는데, Iacoboni와 Mazziotta(2007)의 fMRI 연구결과에 의하면 거울뉴런-대뇌피질의 뇌섬엽(insula)-변연계로 이어지는 해부학적 연결망이 존재한다. 이와 같은 연결망으로 인해 인간은 변연계를 통해 타인의 감정을 모방하는 임무를 수행한다고 보고 있다.



[Figure 2] Human's Mirror Neurons

거울뉴런은 우리 인간이 다른 동물과 달리 지구 상에서 가장 우수한 생명체로 자리 잡을 수 있었던 중요한 이유를 제공하고 있다. 즉 수백만 년 전부터 인간의 두뇌 용량은 거의 변함없이 현재와 같았지만, 인류가 불과 도구를 만들어 사용하며 언어를 창조하고 더 나아가 문명을 잉태하게 된 것은 불과 4~5만 년 전인데 공교롭게도 거울뉴런의 출현과 일치한다고 한다. 북극곰이 추위를 이기기 위해 두꺼운 털을 갖기 위해서는 수만 년의 진화과정이 필요하겠지만, 이누이트 소년은 단 몇 십 분이면 아버지가 하는 동작을 보고 털가죽 옷을 만들어 입을 수 있게 된다. 이런 맥락에서 Vilayanur Ramachandran은 ‘거울뉴런은 생물학에서 DNA의 발견에 버금갈 정도로 중요한 심리학에서의 발견이다’라고 그 중요성을 이야기하고 있다. 이처럼 타인의 행동과 감정을 순간적으로 모방하는 행위는 바로 ‘진화의 산물’이라 하겠다. 이 연구에서는 심리학 및 사회학적 관점에서 사회인지 기능과 관련한 거울뉴런의 역할을 살펴보고* 이에 대한 교육학적 시사점에 대하여 고찰해보고자 한다.

* 신경인문학연구회(2016) 및 Bynes (2001)의 일부 내용을 포함하고 있음

Mirror Neuron System related to Social Cognition

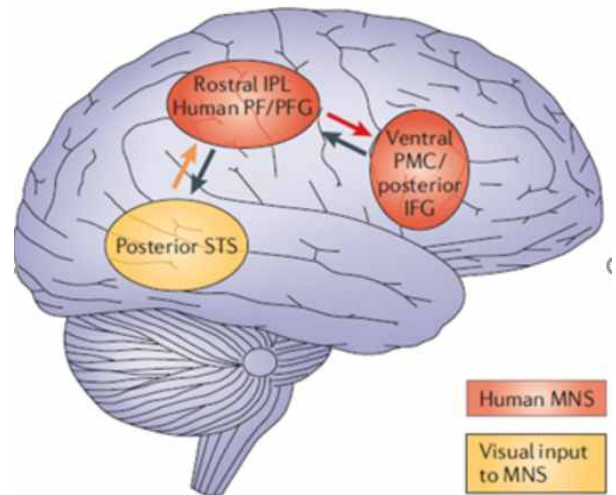
Imitation and Mirror Systems

우리는 거울뉴런의 활동을 통해 ‘어린아이가 어떻게 다양한 활동과 언어를 배우게 될까?’라는 질문에 대한 답을 얻을 수 있다. 바로 상대방을 따라 하는 ‘모방’이다. 이러한 모방은 거울체계가 무의식적으로 타인의 행위를 곧잘 따라 하게 만드는 원인인데, 이러한 성향은 타고나는 것이다. 즉 아기를 향해 혀를 내밀면 아기도 따라 하고, 주위 사람이 속삭이면 우리도 목소리를 낮추게 된다. 이처럼 거울뉴런의 모방은 교육에도 작용한다. 아기는 엄마의 입 모양을 따라 하면서 언어를 배우게 되며, 엄마가 ‘아’하고 소리를 내면 아기 역시 입을 벌려 음식을 먹게 된다. 더 커서는 아빠의 행동을 흉내 내며 사회규칙을 배우게 된다.

거울체계는 단순히 ‘공을 차는’ 타인의 행위를 보는 것만으로 자신이 그런 행위를 하는 것처럼 활성화된다. 더 나아가 이러한 모방은 공을 찰 때 공을 차고 있는 소리를 듣거나 심지어는 ‘공을 차다’라는 단어를 말하거나 듣기만 해도 거울체계가 활성화되었다. 즉 거울체계는 시각적 자극뿐 아니라 청각적 자극이나 문자만으로도 활성화된다. 예를 들어 ‘손톱으로 칠판을 긁다’, ‘거미가 내 이마를 기어간다’라는 문장만 읽어도 몸서리쳐진다.

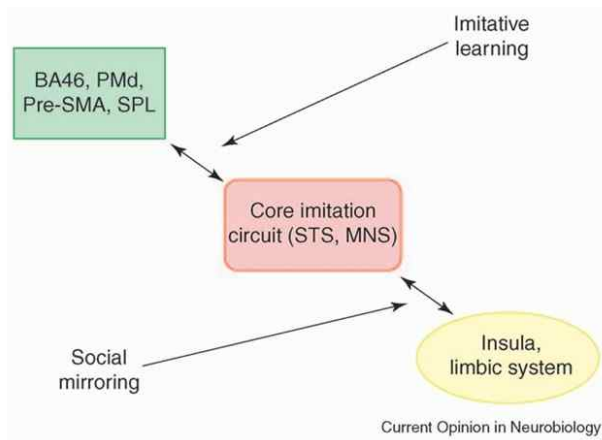
모방 학습에서 거울체계의 역할을 명확하게 규명하기 위한 Marco Iacoboni 연구팀의 연구가 있었다. 이러한 시도는 이론적 및 경험적이라는 두 영역으로 분류할 수 있다. 초기 영상 작업은 인간 모방을 위한 세 가지 주요 피질 영역, 즉 인간 STS와 두 개의 전두엽의 거울 신경 영역에 걸친 정보 처리의 흐름이 있음을 시사했다. 첫째, STS는 더 높은 수준의 시각적 설명을 제공한다. 두 번째로, 이 설명은 frontoparietal mirror neuron system으로 보내진다. 여기서 행동의 목적과 그것을 달성하는 방법에 대한 motor specification이 코드화되어 있다. 마지막으로, 운동 모방 계획의 효과적인 사본은

frontoparietal 거울 뉴런 시스템에서 STS로 전송되며, 계획된 모방 행동의 예상된 감각적 결과와 관찰된 행동의 시각적 묘사를 매칭시킨다[Figure 3](Iacoboni & Dapretto, 2006).



[Figure 3] Neural mechanisms of Imitation

모방은 인간에게 널리 퍼져있는 학습 형태이며, 근본적인 신경 메커니즘에 대한 이해는 중요하다. 최근의 fMRI 연구는 인간의 거울 신경 시스템이 운동 준비 영역과 앞쪽 외측 전두엽 피질과의 신경 상호작용을 통해 모방 학습에 결정적으로 관여함을 보여주었다. Marco Iacoboni 연구팀은 새로운 내용을 배우는 모방 학습에 관심을 가지고 연구를 했다. 기타를 연주해 본 적이 없는 피실험자에게 기타 코드를 관찰하게 하고 이어서 연주를 하게 하면서 fMRI 연구를 하였다. 예상대로, frontoparietal 거울체계는 기타 코드의 관찰과 실행 중에 활성화되었다. 그러나 새로운 행동의 모방은 배측 외전 두 전두엽 피질 (BA46)의 추가 활성화 및 운동 준비와 관련된 피질 영역의 활성화를 가져왔다. Iacoboni는 이 연구를 확장해 모방학습 및 사회적 미러링의 신경 메커니즘도 밝혀냈다. [Figure 4]에서 살펴볼 수 있듯이 모방 학습은 핵심 모방 회로, 외측 전두 피질 (BA46) 및 운동 준비 (PMD, pre-SMA, SPL)와 관련된 영역 세트 간의 상호작용에 의해 구현되며, 사회적 미러링은 핵심 모방 회로와 insula(섬엽, 절연체), 변연계(감정관련)의 상호작용으로 구현된다 (Iacoboni, 2005).



[Figure 4] Neural mechanisms of Imitative learning and Social mirroring

Determining the intention of an action through imitation

흥미로운 점은 거울뉴런은 단순히 타인의 행동을 모방하는데 그치지 않고 그 행위에 담겨있는 의도를 읽는 데도 관여한다는 점이다. 저녁을 위한 식탁에서 상대방이 손을 뻗을 때 상대방이 남아있는 와인을 마저 마시기 위해 하는 행동인지 아니면 저녁을 끝내고 비어있는 접시들을 치우기 위해 손을 뻗는지 알 수 있는 것도 바로 거울뉴런 때문이다. 우리들의 거울뉴런은 상대방의 표정이나 몸짓 그리고 그 상황에서 얻은 정보를 부호화함으로써 즉각적으로 상대방의 의도를 읽어낸다. 멀리서 유리창 깨지는 소리를 듣는 순간, 우리는 한 어린이가 공을 차는 동작과 유리창이 깨지는 장면을 떠올리게 된다. 그뿐만 아니라 우리는 거울뉴런의 도움으로 유리창을 깬 아이의 곤욕스러운 표정까지도 떠올리게 된다. 아기는 엄마가 놀이를 위해 자동차 열쇠를 집어들었을 때와 운전하기 위해 집어들었을 때 각각 다르게 반응한다는 사실이다.

여러 가지 실험을 통해 거울체계는 모방할 때 행동의 목적을 파악하려고 함을 알 수 있다. 거울뉴런은 다른 사람의 행동에 대해 상당히 정교하게 코딩하는 것이다. 예를 들어, 그들은 숨겨진 파악 행동과 같은 행동의 숨겨진 판토크림을 구별한다. 이 특성은 다음의 실험으로 나타났다. 원숭이는 물건을 잡아서 용기에 넣을 수 있는 훈련을 받았다.

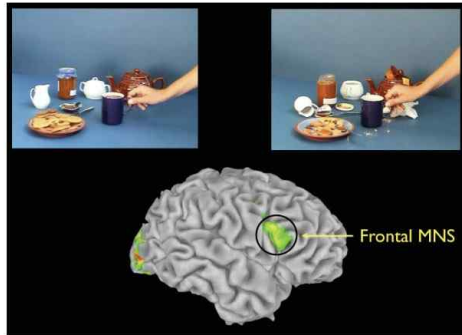
fMRI를 찍었는데, 기록된 뉴런의 약 1/3이 잡으려고 잡는 것과 먹기를 위해 잡을 때 동등하게 활성화되었다. 그러나 기록된 거울뉴런의 2/3은 잡기 위해 잡을 때와 먹기 위해 잡을 때 다르게 활성화되었다. 대다수 세포는 먹기 위해 움켜잡는다. 원숭이가 물건을 잡거나(용기의 존재가 이 의도를 알리는) 사람이 먹는 것을 쥐고(용기가 없으면 먹을 의도가 있음) 인간 실험자가 관찰하는 동안 같은 뉴런이 활성화되었다.

유아들을 상대로 한 탁자 중앙의 커다란 버튼 누르기 모방 실험에서도 인간은 타인의 행동 의도를 파악하여 모방함을 알 수 있다. 실험자가 손을 사용할 수 있는 상황에서 머리로 등을 켜는 것을 본 영아들은 실험자가 머리를 사용해서 등을 켜는 다소 이상한 행동을 하는 데는 그럴 만한 이유가 있다고 생각하고 행동 의도를 ‘머리로 등 켜는 것’이라고 이해해 실험자처럼 머리를 사용해 등을 켜었다. 영아들의 모방 행동을 통해 연구자들은 영아들이 자신의 처지에서 가장 합리적인 방법이 무엇일까를 고려할 뿐만 아니라 타인을 합리적인 존재라고 가정한다고 제안한다. 영아들이 타인이 합리적일 것으로 생각하는 것, 그리고 자신이 처한 상황에서 합리적으로 모방하는 능력은 한국 영아들에게도 나타나며 (Kim & Song, 2011), 문화에 상관없이 특정 능력이 어린 영아기에 출현한다는 이와 같은 결과는 그 능력이 문화 보편적이며 선천적인 능력일 가능성을 암시한다.

Social status and the mirror system

인간의 거울 뉴런 영역이 다른 사람의 정신 상태를 이해하는 시뮬레이션 기반의 형태를 구현한다는 아이디어를 뒷받침하기 위해 여러 연구가 있었다. 다음의 fMRI 연구(Iacoboni et al., 2007)에서 피험자는 두 가지 다른 상황에 파묻힌 행동을 지켜보았다. 피험자는 하나는 컵을 잡는 행위의 의도가 먹는 것으로 생각하고 다른 하나는 의도가 정리라고 생각했다. 피험자들은 어떠한 행동도 취하지 않고 문맥과 맥락(칫 주전자, 과자, 컵 등이 있는 장면) 없이 잡는 행동을 지켜보았다. 정면 거울 신경 영역은 문맥의 유무와 관계없이 다르게 잡는 행동을 나타내

있으며, 두 문맥에 포함된 같은 잡는 행동에도 다르게 반응했다[Figure 5]. 이러한 결과는 거울 뉴런 영역이 행동 자체를 코드 한다는 설명 때문에 쉽게 설명될 수 없지만, 인간의 거울 뉴런 영역이 관찰된 행동과 관련된 의도를 코드한다고 가정함으로써 쉽게 설명될 수 있다(Iacoboni & Mazziotta, 2007).



[Figure 5] Determine the different intention of the same action

사회적 행동의 근본적인 측면은 다른 사람의 감정 상태를 이해하고 그들과 공감할 수 있는 능력이다. 거울 뉴런은 변연계와 같은 보다 고전적인 감정적 뇌 영역과의 상호작용을 통해 공감의 시뮬레이션 기반 형태를 제공할 수 있다. 얼굴 감정 표현의 관찰과 모방에 관한 fMRI 연구는 거울 신경 영역, 전두엽 및 편모를 포함하는 대규모 신경 네트워크를 시연했다. 이러한 데이터는 거울 신경 세포가 우리를 이해하고 돕는 가설과 양립한다. 표정을 시뮬레이트하여 타인의 감정을 느낄 수 있다. 인간의 거울 신경 시스템과 공감 사이의 연결에 대한 증거는 세 가지 실험실의 세 가지 최근 연구 때문에 제공되었습니다. 한 연구에서, fMRI는 잡는 동작 관찰 중 거울 뉴런 영역에서의 활동을 측정하는 데 사용되었다. 이 영역에서의 활동이 공인된 공감 평가 점수에 의해 측정된 피험자의 공감 경향과 상관관계가 있을 때 강력한 상관관계가 나타났다. 다른 fMRI 연구에서 피험자는 행동 소리를 들었다. 높은 감정 이입 점수를 가진 피실험자가 공감 능력이 낮은 피험자와 비교되었을 때, 높은 공감 평가 점수를 가진 피실험자가 거울 신경 영역에서 더 큰 활동을 하는 것으로 나타났다.

이처럼 거울뉴런을 통해 타인의 행동 의도를

알아차리는 것은 사회적 상호작용에 도움이 된다. 즉 거울뉴런을 통해 상대방의 의도를 알게 된다면 우리는 상대방과의 공감을 끌어낼 수 있게 된다. 그러나 타인의 행동 의도를 이해하지 못해 사회적 상호작용에 문제가 되는 경우가 있는데, 이는 바로 자폐증의 사례라 하겠다. 자폐 환자의 경우, 타인의 행동을 관찰할 때 거울뉴런의 활동이 매우 적은 것으로 나타났다. 즉 자폐증의 경우 타인의 안면 근육의 변화가 어떤 정서를 의미하는지 파악하지 못하고, 타인의 행동을 따라 하는 모방행동이 없고, 모방과 관련된 뇌 부위의 활동 역시 매우 적다. 다양한 유형의 자폐증의 공통점은 타인의 관점을 이해하는 능력이 부족하고 이로 인해 타인과의 사회적 상호작용에 심각한 문제를 드러낸다는 점이다. 특히 일란성 쌍생아 중에서 한 명이 자폐증이면 다른 한 명도 자폐증일 확률이 무려 70%에 달한다고 한다.

Mirror System and Psychology System

연구자들은 우리가 타인의 심리상태를 어떻게 이해하는가에 대해 계속해서 관심을 가져왔다. 거울체계 연구자들은 모의이론 접근법을 따라 연구하며 심리화체계 연구자들은 마음이론 접근법을 따라 연구하기 때문에 수많은 기능적 자기공명영상 연구에도 그들의 결과는 거의 한 번도 수렴된 적이 없다.

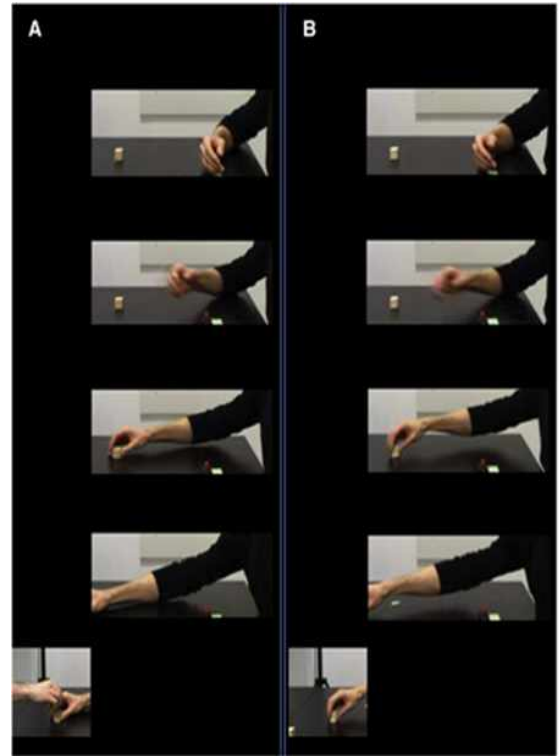
거울체계 연구자들과 심리화체계 연구자들로 대비되는 두 진영이 각각 선호하는 뇌 부위의 활동에만 주목하는 이유는 크게 두 가지이다. 첫째, 두 진영은 마음 읽기를 매우 다른 방식으로 연구하고 있다는 점이다. 심리화진영은 주로 언어적 자료와 만화 같은 그림을 연구자료를 이용하며, 이는 추상적이어서 거울체계가 실제 행동을 볼 때 활성화되므로 심리화연구에서 거울영역들은 활성화되지 않을 수 있다. 심리화연구는 다른 사람의 마음을 이해하려는 참가자들의 태도를 다양하게 조작할 수 있는 장점이 있지만 거울체계의 연구에서는 타인의 심리상태에 대한 질문을 던지는 일이 거의 없다. 둘째, 단어들의 미세한 의미 차이가 결과를 좌우하는 것처럼 ‘목표’나 ‘의도’ 같은 단어들의 정확한 의미가 무엇인가 하는 문제가 있다. 위스키를 마시는 이유

를 거울체계 연구자들은 ‘한잔하고 싶어서’라고 해석하고 심리화체계 연구자들은 ‘일자리를 잃어서 쓰러린 가슴을 달래려고’라고 해석한다. 두 답변은 ‘목표’라는 단어가 얼마나 다르게 사용될 수 있는지 보여준다.

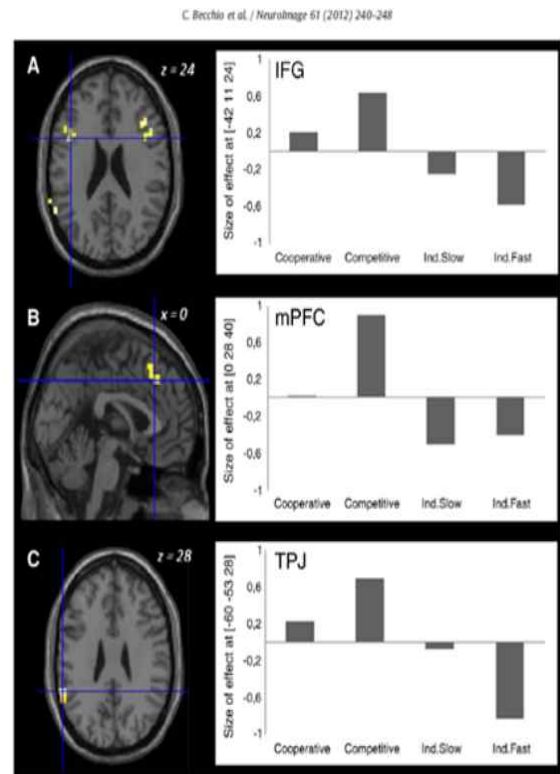
2009년 Frank Van Overwalle 연구팀은 거울체계와 심리화체계에 의한 다른 사람들의 행동과 목표 이해를 주제로 한 연구들을 메타분석하였다 (Overwalle & Baetens, 2009). 잠재적인 관련 기능(행동 실행 및 방향)을 포함하는 약 40개의 MRI연구와 의도적인 인간의 이해에 관한 180개의 fMRI연구를 메타분석한 결과, 움직이는 신체 부위가 관찰될 때 거울체계가 활성화되고, 그러한 입력이 없으면 심리화체계가 활성화됨을 설명하였다. 생물학적 행동의 상위과제 목표 또는 의도를 숙고할 때를 제외하고 두 시스템이 동시에 활성화되지 않는데, 이는 진화론적 관점에서 다수의 시스템이 사회적 처리의 다양한 측면을 최적화하도록 설계된 것으로 해석하였다.

거울체계 연구자들과 심리화체계 연구자들 사이에서 발견되는 가장 큰 차이점은 설명하고자 하는 목표의 종류가 다르다는 것이다. 거울체계 연구자들은 주로 낮은 수준의 운동과 관련해 우리가 타인의 의도를 어떻게 이해하는가에 초점을 맞춘다. 반면 심리화체계 연구자들은 더 높은 수준의 의도에 초점을 맞추는 경향이 있다. 두 진영은 모두 타인의 의도를 기술하고 있지만, 우리가 일상생활에서 더 관심을 두는 것은 대개 두 번째 종류의 목표일 것이다.

Becchio와 그의 동료들은 거울체계와 심리화체계를 비교하기 위해 운동역학에 따라 전달된 사회적 정보가 심리화체계를 도입할 가능성 실험을 하였다 실험 방법은 피험자가 [Figure 6]에 나타난 <(A) 경쟁 (사회적 빠름) 또는 협력적(사회적 느림) (B) 개별 속도 느림, 속도 빠름의 4가지 유형 비디오 클립을 보고 조치 연속 여부 결정하는 것이다. 참가자당 60회씩(9분) 6번 시행하며 360회, 3번의 반복이 있었기에 한 유형당 30가지 시도를 한 것이다. 이 실험은 fMRI분석이며, 분석결과는 [Figure 7]과 같다 (Becchio, Cavallo, Begliomini, Sartori, Feltrin, & Castiello, 2012).



[Figure 6] Video frames used in the experiment



[Figure 7] The results of fMRI

분석결과, 의도 유형의 주요 효과에 대한 신호 증가 영역이 ((경쟁 + 협동) > (개인 고속 + 개별 느림))으로 나타났다. 개별 운동보다는 사회적으로 의도된 운동을 관찰할 때 거울체계와 심리화체계의 활성화가 더 강력함을 알 수 있었다. 사회적 의도를 규명할 때는 거울체계와 심리화체계가 함께 활성화되는 것이다. 또한, 사회적 의도로 수행된 reach-to-grasp 운동을 관찰하면 (A)왼쪽 IFG (BA 9), (B) mPFC의 dorsal sector(BA 8/32),(C) TPJ를 포함하기 위해 아래로 확장된 supramarginal gyrus (BA40)의 활동이 증가함을 알 수 있다. 이 중 의도 유형의 주요 효과는 주로 경쟁적인 reach-to-grasp 운동의 관찰 때문이었다. 사회적 상호작용 중 경쟁 운동에 대한 mPFC의 활동이 증한 것으로 보아 경쟁 활동을 관찰하는 것이 협동 운동을 관찰하는 것보다 더 높은 심리화체계의 활성화를 요구한다는 것을 알 수 있다.

The social system

거울체계는 그 자체로 높은 수준의 마음읽기 능력을 제공하지 않는다. 반면 심리화체계는 어떤 사람이 왜 어떤 일을 하는지에 대해 만족스러운 답변을 산출하는데 결정적으로 중요한 역할을 한다. 그런데 거울체계는 일상적인 맥락에서 심리화작용의 결정적인 선행형태라고 할 만한 일을 한다. 일련의 신체 동작들을 몇 개 단어로 특징지을 수 있는 통일된 행동으로 지각할 수 있는 역할을 하며, 지각력 있는 존재들의 세계를 그들의 단순한 운동 대신에 그들의 행동과 행위의 관점에서 보는 것이다. 행동은 행동 배후에 있는 의미와 동기를 찾도록 우리를 자극한다. 어떤 사람이 무엇을 하고 있는지 알아차리는 능력은 그가 왜 그렇게 하는지를 이해하기 위한 첫걸음이 된다. 다시 말해 거울체계는 심리화체계가 왜에 관한 질문의 답을 찾기 위해 수행하는 논리적 추론의 전제를 제공한다. 우리는 거울체계 덕분에 이 세계를 다른 사람들의 심리적으로 채색된 행위들로 가득 찬 사회적 세계로 경험한다. 언어가 아직 발달하지 않은 아이들의 경우에 거울체계는 마음읽기를 위한 예비작업을 꾸준히 하고 있다.

Results and Discussion

거울체계는 모방, 행동이해, 행동 의도 파악, 타인의 마음 이해 등의 기능을 갖는다. 따라서 거울체계는 인간의 사회화, 문화화에 큰 영향을 미친다. 이러한 거울체계에 이상이 생기면 사회적 상호작용, 언어 장애 등의 문제가 생길 수 있다. 거울체계는 낮은 수준의 운동과 관련해 타인의 의도를 이해하는데 활성화되고, 심리화체계는 더 높은 수준의 행동 의도나 추론에 활성화된다.

현재까지의 뇌과학에서 밝혀진 거울 뉴런 및 이에 대한 사회 심리학적인 기능에 비추어보면, 중요한 교육학적 시사점을 확인할 수 있다. "어린이 앞에서는 찬물도 못 먹는다"라는 속담처럼 어른의 행동은 아이들의 행동 거울이 될 수 있다. 인간은 모방학습을 통해 문화를 습득하는 만큼 교육자로서 행동을 조심해야 할 것이다. 또한, 학교 현장의 교수-학습 상황에서 Simulation 프로그램의 역할에 관한 재조명이 필요할 것이다. Simulation 프로그램을 올바르게 활용할 경우, 학생들이 직접 경험해보지 않아도 거울체계의 활성화에 의한 의미있는 학습이 가능할 것으로 기대된다. 앞으로 이에 대한 체계적인 연구가 필요할 것이다.

References

- 신경인문학연구회(2016). *뇌과학, 경계를 넘다*. 서울:바다출판사.
- Becchio, C., Cavallo, A., Begliomini, C., Sartori, L., Feltrin G., & Castiello U. (2012). Social grasping: From mirroring to mentalizing. *NeuroImage* 61, 240-248.
- Bynes, J. P. (2001). Minds, brains, and learning. 김종백, 신종호(역). (2008). *마음, 뇌 그리고 학습*. 서울:학지사.
- Iacoboni, M.(2005). Neural mechanisms of imitation. *Current Opinion in Neurobiology* 15, 632-637.
- Iacoboni, M., & Dapretto, M. (2006). The mirror neuron system and the consequences of its dysfunction. *Nat Rev Neurosci* 7, 942-951.

- Iacoboni, M., & Mazziotta, J. C. (2007). Mirror Neuron System: Basic Findings and Clinical Applications. *Ann Neurol* 62, 213-218.
- Kim, E. Y., & Song, H. (2011). Preschoolers' Ability to Use Morphological Information When Imitating Others' Actions. *THE KOREAN JOURNAL OF DEVELOPMENTAL PSYCHOLOGY*, 23(4), 83-97.
- Kolb, B., & Whishaw, I. Q. (2011). An introduction to brain and behavior. 김현택, 김명선, 김재진(역). (2012). **뇌와 행동의 기초**. 서울: 시그마프레스.
- Overwalle, F. V., & Baetens, K. (2009). Understanding others' actions and goals by mirror and mentalizing systems: a meta-analysis. *NeuroImage* 48, 564-584.