

생물형 운동(Biological motion): 지각과정의 특징, 신경학적 기제 및 임상적 응용 가능성*

김 제 중[†]

덕성여자대학교 심리학과

생물형 운동(biological motion, 이하 BM)은 일반적인 운동과 다른, 동물이나 인간의 특징적인 운동을 말한다. 포유류의 시각체계는 운동자극에 대단히 민감하며, 생물형 운동자극 역시 매우 신속하고 효율적으로 탐지한다. 이와 함께, 인간의 지각 및 인지과정은 생물형 운동자극으로부터 정서적, 사회적 의미를 지닌 정보까지도 처리한다. 따라서 생물형운동의 정확한 지각은 동물들의 경우 생존을 위해 필수적인 능력이며, 인간에게 있어서는 사회적 기능의 습득 및 타인과의 상호작용을 위한 매우 중요한 능력이라 할 수 있다. Johansson(1973)의 고전적 실험 이후로 현재까지, 일반 운동자극과 차이를 보이는 BM자체의 고유 운동 패턴의 지각 과정에 대한 연구들 및 기저의 신경학적 기제를 밝히려는 연구들이 다양한 정신물리학적 방법과 뇌 영상법을 이용하여 이루어져 왔다. 최근에는 인지 기능 및 사회적 기능에 결함을 가진 정신병리 환자들을 대상으로, 이들의 BM지각 연구를 통해 시지각과 상위 인지, 사회적 기능간의 관계를 밝히려는 연구들도 진행되어 오고 있다. 본 개관논문에서는 BM자극의 특징과 지각적 처리 기제, 현재까지 밝혀진 신경학적 기제 및 임상 장면에서의 연구 성과들을 선별하여 소개하고 그 응용 가능성에 대해 논의하였다.

주제어 : 생물형 운동(BM), 시지각, 점광자극, 후부상측두구(pSTS), 정신병리, 사회적 기능

* 본 연구는 덕성여자대학교 2012년도 교내연구비 지원에 의해 수행되었음(과제번호 3000001791).

† 교신저자 : 김제중, (132-714) 서울특별시 도봉구 삼양로 144길 33 덕성여자대학교 심리학과
E-mail : jejoong@duksung.ac.kr

생물형 운동(biological motion, BM)은 동물과 같은 유기체 특유의 운동 패턴을 말한다. 인간을 비롯해서 다양한 종의 동물들은 타인이나 타 개체의 출현과 움직임에 매우 민감하다. 즉, 시각체계는 생물형 운동정보에 신속하게 반응하며 이를 처리하는 것이다(Johansson, 1973; Oram & Perrett, 1994). 생물형 운동(이하 BM)을 빠르고 정확하게 지각하는 능력은 일차적으로 생존과 관련이 되어 있다. 예를 들어, 초원의 얼룩말은 멀리 있는 사자의 동작 지각을 통해 잠재적으로 위험한 상황을 방지할 수 있을 것이다. 인간의 경우, 타인의 움직임으로부터 단순 운동정보뿐 아니라 행위의 의도 및 정서상태까지도 파악을 할 수 있는데, 이는 BM지각이 사회적 기능의 발달에도 필수적임을 보여준다.

따라서 BM자극에 대한 시각적 분석 기제는 인지심리학 및 인지신경과학에서 지속적으로 연구되어 오고 있다(Blake & Shiffrar, 2007). 이러한 연구들에는 일반 운동자극과 차별되는 BM고유의 특성 파악, BM지각에 관여하는 시각체계의 역할과 관련된 뇌 기능의 이해 등이 포함된다. 보다 최근에는 BM자극에 내재된 사회적, 정서적 정보에 초점을 두어, 사회적 기능 장애를 보이는 정신병리 집단(예: 자폐증)에서의 지각 및 인지 기능의 특징을 밝히려는 연구들도 수행되어오고 있다.

본 개관에서는 Johansson(1973)의 연구 이후 현재까지의 연구 성과들을 각 주제별로 선별, 요약하여 소개하고자 하였다. 첫째로, 정신물리학적 방법을 이용하여 BM지각 과정의 특징들을 밝힌 연구 내용들을 소개하였다. 둘째, BM지각에 필요한 시각정보 (운동정보와 형태

정보) 처리과정에 대한 이론의 소개와 함께, 이들 이론에서 제안된 BM지각의 모델들을 살펴보고 각 모델을 지지하는 증거와 보완해야 할 점에 대해 논의하였다. 이어서 전기생리학 및 뇌영상 기법을 이용해 발견된 BM지각에 관여하는 뇌의 구조와 기능을 개관하고, 마지막으로 자폐증(autism), 정신분열증(schizophrenia), 및 강박장애(obsessive-compulsive disorder) 환자를 대상으로 한 BM지각 연구 성과들의 개관을 통해 시지각과 정신병리, 시지각과 사회적 기능간의 관계에 대한 함의와 응용 가능성에 대해 논의하였다.

생물형 운동(Biological Motion)

시각 장면상의 인간이나 동물은 운동정보 외에도 형태(form) 및 기타 다양한 정보들을 포함한다. 따라서 통제된 실험을 위한 운동자극으로서의 BM자극 개발이 약 30년전 스웨덴의 심리학자 Gunnar Johansson(1973)에 의해 이루어졌다. Johansson은 ‘점광(點光, point-light, PL)’ 애니메이션이라 불리는 기법을 개발했는데, 이는 신체의 주요 관절 부위(팔, 손목, 다리, 발목 및 어깨)와 머리에 작은 전구를 부착하고 암실에서 동작을 촬영하는 과정으로, 그 결과는 그림 1에서 보이듯이 형태 정보를 최소화한 10여 개의 점들의 운동으로 표현되는 자극이다.

매우 단순한 자극임에도 불구하고, 시각 체계는 점광으로 제시된 운동이 인간의 움직임인지의 여부를 매우 신속하고 정확하게 처리할 수 있으며(실제에서도 유사한 사례가 존재한다. 예를 들면, 야간 도로에서의 작업복이나

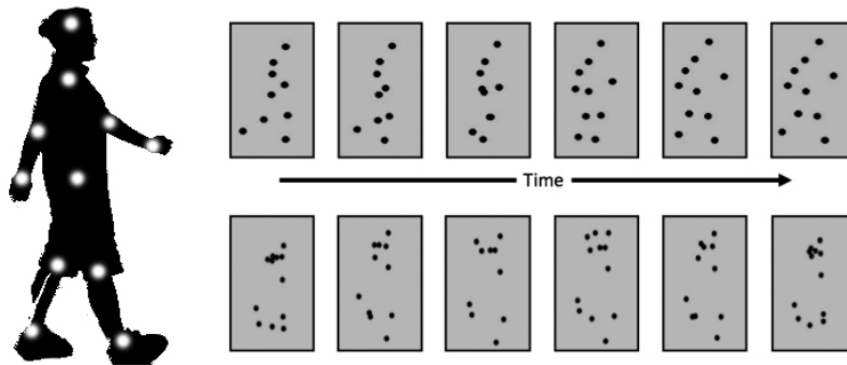


그림 1. 좌측: 점광자극 생물형운동(Point-light biological motion)자극 생성의 예. 우측(상): 점광 애니메이션 프레임의 예. 우측(하): 뒤섞인(scrambled) BM자극. 각 점의 궤적은 원래의 자극(상)과 동일하지만 위치가 임의로 정해져 전체 운동 형태는 원래의 자극과 달라진다.

운동복에 부착된 빛을 반사하는 재질의 띠와 같은 것들이다), 보다 상위 수준의 정보 처리도 가능하다. 점광BM자극이 방해자극 속에 있더라도 정확도는 높은 수준으로 유지되고(Bertenthal & Pinto, 1994; Cutting, Moore, & Morrison, 1988; Neri, Morrone, & Burr, 1998), 일부가 가려지더라도 재인하는데 큰 문제가 없다(Lu, 2010; Shiffrar, Lichtey, Heptulla, & Chatterjee, 1997). 뿐만 아니라, 성별을 구별하거나(Dittrich, Troscianko, Lea, & Morgan, 1996; Loula, Prasad, Harber, & Shiffrar, 2005; MacArthur & Baron, 1983)하는 것도 가능하다.

이처럼 놀라울 정도로 신속하고 안정적인 지각 현상으로부터 시각체계 내에 BM자극 지각을 담당하는 고유의 기제가 내재되어 있을 것이라는 가정이 가능하다. Fox와 McDaniel (1982)은 생후 4개월에서 6개월 된 영아들에게 BM자극과 비(非)-BM자극을 제시했을 때 영아들의 시선이 BM자극에 더 오래 머무는 것을 발견하였다. 최근의 다른 연구(Yoon & Johnson, 2009) 역시 생후 12개월 된 유아들이 점광 BM

자극에 시선을 고정하고 자극 움직임에 따라 시선을 이동하는 것을 확인했는데, 주목할 만한 결과는 일반 운동자극과 달리 유아들의 시선이 자극 내에서 인간의 눈 위치에 해당하는 부분에 고정되어 있었다는 점이다. 즉 유아들이 BM자극을 단순한 운동자극이 아니라 인간의 동작으로 지각했다는 것을 보여주는 것이다. 다른 한편으로, 60세 이상의 관찰자를 대상으로 한 연구들(Norman, Payton, Long, & Hawkes, 2004; Pilz, Bennett, & Sekuler, 2010)은 고연령의 피험자들 역시 다양한 점광 BM 동작을 매우 정확하게 변별할 수 있으며, 짧은 시간 동안 제시되거나 자극 내의 점들 일부가 숨겨지더라도 여전히 정확하게 지각할 수 있고, 동작의 방향(direction) 변별 역시 높은 수준의 정확도를 유지한다는 사실을 밝혔다. 이는 일반적으로 알려진 지각의 연령 효과, 즉 연령이 높아짐에 따라 속도 변별(Norman, Ross, Hawkes, & Long, 2003), 응집운동(coherent motion) 탐지(Gilmore, Wenk, Baylor, & Stuve, 1992), 낮은 명도의 움직이는 윤곽선(contour) 탐

지(Sekuler, Hutman, & Owsley, 1980)등의 시지각 능력이 감퇴하는 현상과 대조적인 것으로, 시각체계 내에 생후 극히 짧은 시간 내에 습득되거나 선천적인 BM지각의 기제가 존재할 수 있으며, 다른 시지각 능력의 향상 또는 감소와는 독립적일 수 있음을 시사한다.

생물형 운동 지각의 특징

일반 운동 지각과의 차이 그림 1의 예에서도 보이듯이, 점광들로 구현된 BM은 기본적으로 여러 개의 점들 각각이 가지는 국소 운동신호(local motion signals)들이 모여 전체(global) 운동 신호를 이룬다는 점에서, 응집운동(coherent motion)과 큰 차이가 없어 보인다. 그러나 각 점들은 무작위로 움직이거나 응집운동에서처럼 동시에 같은 방향, 속도로 움직이지 않고, 진자운동(pendular motion)과 같은 고유의 방식을 가지고 있다. 따라서 BM과 일반적인 운동 자극의 지각 과정 간에는 차이가 있을 수 있는데, Neri, Morrone 과 Burr(1998)의 연구는 그러한 차이를 잘 보여준다. 이들은 방해자극(점)과 함께 제시된 BM(걷기)을 탐지하거나 걷는 방향을 변별하기 위한 역치를 측정하였다. 비교 과제로서 방해자극과 함께 제시된 응집운동의 탐지 및 방향 변별과제도 실시하고, 시간적, 공간적 정보의 변화에 따른 탐지와 변별의 역치 변화를 비교하였다. 공간적 정보의 통합 양상을 비교하기 위한 조건에서는 자극을 구성하는 점들 중 일부만을 제시하다가 점차 자극 점의 수를 늘려나갔는데, 응집운동에서는 자극 점의 수가 증가함에 따라서 탐지 및 변별 역치 모두에서 선형적 향상이 관찰되

었다. 반면 BM 조건의 경우도 역치는 선형 변화를 보였으나, 방향 변별의 수행 향상 기울기는 응집운동보다 훨씬 더 컸다. 두 번째 조건인 자극 노출 시간의 변화에 따른 시간적 정보 통합의 결과는 두 종류의 운동지각 간 차이를 더 잘 보여준다. 자극 노출 시간 증가에 따라 응집운동, BM 모두 급격한 역치 상승 후 점진적인 상승으로 바뀌는 패턴을 보이는데(Neri 등은 초기의 급격한 역치 상승은 자극 점들의 국소 운동정보에 기초한 생리학적 통합 과정이며, 후기의 점진적 상승은 보다 상위 수준의 통합과정을 반영하는 것으로 해석하였다) 역치 상승의 패턴이 바뀌는 시점이 일반 운동의 경우 약 600ms전후의 자극 노출 시간을 기점으로 하며 자극의 운동 속도에 영향을 받지 않지만, BM의 경우 자극 제시 시간이 3초 정도에 이르러야 패턴의 변화가 관찰되는, 즉 매우 긴 시간의 시간적 통합과정이 필요하였다. 또한 자극의 운동 속도에 따라 이 시점이 큰 폭으로 변화하였다. 즉, 이들의 연구 결과는 BM지각 과정에서 운동 정보의 시간적, 공간적 통합과정이 국소 정보의 선형적 통합과 같은 일반 운동 지각 과정과는 구별되는 것이며, 보다 효율적인 처리를 위해 가변적으로 작동하는 별도의 기제가 존재할 수 있음을 암시한다.

국소(local)대 전체(global) 실제로 BM지각 과정은 각 점들의 국소 운동 신호 처리에 달려있다는 입장(Mather, Radford, & West, 1992)과 시공간적 조직화를 통한, 운동정보에서 추출된 전체적인 형태지각(form from motion) 과정에 의한다는 입장이 있어 왔다(Beintema &

Lappe, 2002; Bertenthal & Pinto, 1994; Chatterjee, Freyd, & Shiffrar, 1996; Shiffrar et al., 1997). 그러나 복합적인 성질을 가진 BM의 지각은 어느 하나의 가설로만 설명할 수는 없으며, 두 과정 모두 필수적으로 개입한다(Troje, 2008; Troje & Westhoff, 2006). 다시 말하면, 초기에 각 점이나 신체 부위의 국소 운동 정보처리가 일어나고 그 뒤를 이어 변화하는 신체 형태에 대한 전체적인 파악이 일어난다는 것이다.

Chang과 Troje(2009)는 동일한 자극을 사용하더라도 실험 과제에 따라 두 기제(국소, 전체)의 비중이 달라질 수 있음을 보임으로써 각 기제의 특징을 밝힘과 동시에 각각의 신경학적 작용 역시 다를 수 있음을 보였다. 이들은 탐지와 운동 방향 변별의 두 실험 과제에서 세 종류의 BM(사람, 비둘기, 고양이)을 방해자극과 함께 제시하였다. 이 가운데 탐지 과제에서의 정확도는 BM의 종류에 따라 달라졌는데, 특히 사람BM이 제시된 시행에서의 오류가 적었다. 이와 대조적으로, 운동방향 변별과제에서는 BM종류에 따른 정확도의 차이가 관찰되지 않았다. 이러한 결과는 국소 운동 정보로부터 전체의 형태를 추출하는 능력이 탐지 과제에서 중요하게 작용하는 반면, 방향 변별은 국소 운동 정보 처리만으로도 가능함을 보이는 것이다. 또한 친숙한 운동(사람)의 탐지 오류가 적다는 사실에서, 국소 정보에서 전체 형태를 추출하는 과정에 학습의 효과가 작용함을 가정할 수 있는데, 이 역시 실험 결과로 입증되었으며 국소 정보 처리만을 요구하는 방향 변별과제에서는 관찰되지 않았다(Chang & Troje, 2009). 전체(global) 처리의 중요성을 보여주는 또 다른 예는 180도 회전된 BM을

제시한 경우인데, 이 경우 관찰자가 자극을 BM이라 지각하는 정확도는 매우 낮아진다(Bertenthal & Pinto, 1994; Dittrich, 1993; Mitkin & Pavlova, 1990; Pavlova & Sokolov 2000, 2003; Sumi, 1984). 이 역전(inversion) 효과는 사전정보나 맥락에도 영향을 거의 받지 않는다. 즉, 걷는 사람이 지면 위에 바로 서 있는 자극을 본다 하더라도 관찰자가 머리를 회전시켜 BM자극이 망막에 회전된 이미지로 투영되면 정확도의 감소가 관찰되며(Troje, 2003), 사전에 회전된 장면을 볼 것이라는 단서가 제공되어도 지각의 정확도는 향상되지 않는다(Pavola & Solokov, 2000). 즉, BM은 일반적 도형자극과 달리 심적 회전(mental rotation)을 통한 지각이 어려움을 암시하는 것이다. BM의 이러한 정향 의존성은, 역전된 자극이라도 자극 내의 국소적 연결은 여전히 동일하게 유지된다는 점에도 불구하고 지각의 어려움을 겪는다는 점에서 전체 우선 처리의 입장을 지지하는 증거이다.

지각의 신경학적 모델: 운동(motion)대 형태(form)

잘 알려진 대로, 포유류의 시각체계는 두 종류의 시각 경로, 즉 운동정보 처리를 담당하는 배측(dorsal) 경로와 형태정보를 주로 처리하는 복측(ventral) 경로로 구성된다(Milner & Goodale, 1993; Ungerleider & Mishikin, 1982). 앞서 소개한 BM지각의 과정을 각 시각 경로의 활동과 기능에 비중을 두어 설명을 시도하는 신경학적 모델이 제안되어 왔다(Giese & Poggio, 2003; Lange & Lappe, 2006). 이 가운데

Giese 와 Poggio (2003)의 모델은 운동 경로와 형태 경로의 역할을 모두 고려하되 운동 경로의 역할에 중점을 둔 모델이라 할 수 있고, Lange와 Lappe(2006)의 모델은 형태정보 처리에 의한 BM지각에 비중을 둔 모델이라 할 수 있으며, 각각을 지지하는 증거들이 존재한다.

Giese와 Poggio(2003)의 모델 운동정보 처리가 BM지각의 필수적 요소라는 Mather 등 (1992)의 결과나, 잘 조직화된 형태 정보 없이도 특정 행위(action)의 지각이 가능하다는 결과(Bobick, 1997)는 BM지각에서의 운동 경로의 기능의 중요성을 말해준다. 한편, 정지된 일련의 프레임으로 구성된 자극으로부터 동작의 걸음(gait)패턴을 재인하는 것과 같이(Todd,

1993), 운동 정보가 없거나 부족해도 BM을 지각하는 능력은 형태 경로 역시 BM지각에 중요한 역할을 한다는 것을 시사한다. 이러한 점들이 고려된 Giese와 Poggio(2003)의 BM지각의 신경학적 모델이 그림 2에 제시되어 있다. 이 모델은 운동(배측), 형태(복측) 경로에 해당하는 두 개의 처리 경로와 각 경로 단계에서의 특정 탐지기들의 위계적 구조를 가정하고 있고, 상위 단계에서 하위 단계로의 피드백은 가정하지 않았다.

형태 경로의 1단계에서는 국소 정향 탐지기(local orientation detectors)의 활동을 가정하고 있으며 국소 정향 탐지는 일차시각피질(V1)의 단순세포(simple cell)의 기능이다. 2단계에서는 위치 및 크기 불변 탐지기(position and scale

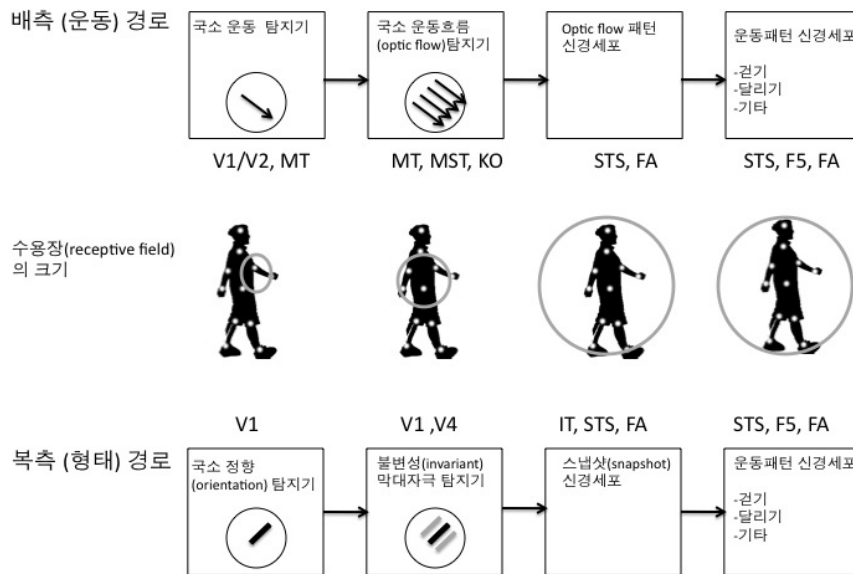


그림 2. Giese & Poggio(2003)의 biological motion 지각 모델. IT: 하측두피질 (inferotemporal cortex), KO: 후두운동피질(kinetic occipital cortex), STS: 상측 두구(superior temporal sulcus), V1: 일차시각피질(primary visual cortex), F5: 전운동피질(premotor cortex), FA: 후두얼굴영역(occipital face area, 또는 방추얼굴 영역: fusiform face area)(Giese & Poggio, 2003에서 수정 인용)

invariant detectors)들이 1단계로부터 입력을 받으며 V2, V4에서 관찰되는 복합세포(complex cell)들이 이 기능을 가지고 있다. 3단계는 이른바 ‘스냅샷(snapshot)’ 신경세포의 활동으로서, 각 세포는 특정 신체의 모양(shape)에 선택적으로 반응하며, 학습 과정을 통해 더욱 복잡한 모양에도 반응할 수 있게 된다. 이를 담당하는 신경세포들은 하측두피질(inferotemporal cortex, IT)과 상측두구(superior temporal sulcus, STS)에 존재한다. 마지막 단계는 운동패턴 신경세포로 구성된다. 이 단계에서는 3단계의 스냅샷 신경세포들의 활동이 시간적 순서에 따라 비대칭적 외측 억제(asymmetrical lateral inhibition)기제에 따라 통합되어 특정한 행위(걷기, 격투 등)를 부호화한다. 즉, 현재 BM의 한 프레임에 해당하는 스냅샷 세포는 바로 다음 프레임을 담당하는 세포를 활성화시키는 동시에 지나간 프레임에 대한 활동은 억제한다는 것이며, 실제로 프레임의 순서를 뒤섞은 경우 운동 방향 변별 정확도는 우연수준으로 감소한다는 것이 알려져 있다(Lange & Lappe, 2007). BM 지각을 설명하기 위한 형태 경로 모델 자체는 새로운 것은 아니며, 이전에 제안된 형태 재인 모델들(Hubel & Wiesel, 1962; Riesenhuber & Poggio, 1999; Rolls & Milward, 2000)의 확장이라고 볼 수 있다.

모델의 또 하나의 경로인 운동 경로(motion pathway)역시 유사한 위계적 구조를 가지고 있다(그림 2). 운동 경로 위계의 첫 단계에서는 국소 운동 탐지기(local motion detectors)를 가정하고 있으며 이는 일차시각피질과 중측두영역(middle temporal area, MT)의 방향 선택성 세포 및 운동 선택성 세포를 모사한다. 두 번째 단

계에서는 더 큰 수용장을 가진 신경세포가 운동 자극에 의해 발생한 시각적 흐름(optic flow)의 구조를 분석하여 운동의 방향, 속도 및 운동 신호의 경계(motion edges)를 처리하게 된다. 이 단계의 기능은 MT영역과 MST(medial superior temporal)영역의 신경세포 기능과 유사하다. 세 번째 단계에서는 개별적인 운동 패턴의 파악이 이루어진다. Giese와 Poggio(2003)는 상측두구(STS)또는 방추영역(FA)에 분포한 신경세포들이 이 기능을 수행하는 것으로 가정하고 있다. 마지막 단계는 형태 경로의 최상위 단계와 동일하다. 즉, 상측두구, 전운동피질, 방추영역 등에 존재하는 운동패턴 신경세포들은 두 경로로부터의 입력을 시공간적으로 통합하여 걷기, 달리기 등의 구체적인 BM 패턴을 인식하도록 한다.

Giese와 Poggio(2003)는 이 모델을 이용한 시뮬레이션을 통해 모델이 BM에 선택적으로 반응함과 동시에, 방해 자극에는 반응하지 않고, 여러 동작간의 구별이 가능하며 (Cutting & Kozlowski, 1977; Ditttrich, 1993; Johansson, 1973), 180도 회전된 BM에는 활동이 감소한다는 (Pavlova & Solokov, 2000; Sumi, 1984) 결과를 보고하여 이전의 정신물리학 실험 결과들을 설명할 수 있다고 주장하였다. 또한 이들은 운동 경로와 형태 경로가 각각 BM지각에 기여하는 정도를 파악하기 위해 모델에서의 두 경로 중 한 경로만을 활성화시키고 점광 자극을 입력하는 시뮬레이션을 실행했는데, 형태 경로 단독으로는 점광 자극에 대해 반응을 보이지 않는다는 점을 근거로, 점광 BM자극은 운동 경로를 통해 일차적인 처리가 진행된다고 주장하였다.

비록 실제의 시각체계와 비슷한 구조를 가지고, 기존의 경험적 연구 결과들도 성공적으로 모사했으나, Giese와 Poggio의 모델은 몇 가지 점에서 분명한 한계점이 있다. 첫째, 이 모델은 운동 경로와 형태 경로간의 상호 작용을 가정하지 않았으나, 실제 시각체계에서는 두 경로간의 상호작용이 존재한다. 둘째, 모델은 뇌의 시각 영역들의 기능만을 포함하고, 상위 피질에서 하위 피질로의 피드백은 가정하지 않았다. 그러나 BM지각에서 하향식(top-down) 처리의 비중이 결코 작지 않다는 증거가 존재한다(Cavanagh, 1991; Cavanagh, Labianca, & Thornton, 2001; Dittrich, 1993; McLeod, Dittrich, Driver, Perrett, & Zihl, 1996; Thornton, Pinto, & Shiffrar, 1998; Thornton, & Rensink, 2002). 마지막으로, 운동 경로의 활동이 BM지각에 필수적인 요인이라고 했으나 뇌손상 연구(Vaina, Solomon, Chowdhury, Sinha, & Belliveau, 2001)나 뇌 영상 연구의 결과(예: Grossman, Jardine, & Pyles, 2010)들은 BM의 지각이 일반적 운동 지각과는 구별되며 형태 경로의 역할 역시 필수적임을 시사한다.

Lange와 Lappe(2006)의 모델 Giese와 Poggio(2003)와는 대조적으로, Lange와 Lappe(2006)는 국소 운동 정보의 처리가 BM에 필수적이지 않을 수 있다는 결과들(Thirkettle, Benton, & Scott-Samuel, 2009; Todd, 1983; Troje & Westoff, 2006; Reed, Stone, Bozova, & Tanaka, 2003)을 주목하였다. 예를 들어, 점광 자극을 구성하는 점들이 번갈아서 아주 짧은 시간동안 제시된 경우 각 점들의 국소 운동 정보는 거의 사라지지만 BM재인이 가능하다(Beintema

& Lappe, 2002). 뇌 손상 사례 연구들 역시 운동 경로의 손상이 반드시 BM 지각 능력의 저하를 초래하지는 않는다는 결과를 보고한다(Batelli, Cavanagh, & Thornton, 2003; Vaina & Gross, 2004). 따라서 Lange & Lappe(2006)는 형태 경로의 일부 뇌 영역이 정지된 인체의 형상에 선택적으로 반응한다는 사실과(Marr & Vaina, 1982; O'Rourke & Badler, 1980), BM지각은 일차적으로 형태 정보의 분석에 의한다는 가정에 바탕하여, 이른바 형판 대응(template-matching) 모델을 제안하였다.

형판 대응 모델은 Giese와 Poggio(2003)의 모델에 비해 상대적으로 간단한 두 단계로 구성된다. 첫 번째 단계는 전신 자세를 묘사하는 형판 세포들로 구성되며, 각 세포는 형판과 실제 자극간의 차이가 커질수록 점차 반응이 약해진다. 따라서 각 시점(프레임)마다 가장 큰 반응을 보이는 세포 활동이 다음 단계로 입력되며, 1단계에서 자극 프레임들의 시간적 순서는 처리되지 않는다. 두 번째 단계에서는 시간적 순서에 따라 정보를 통합함으로써 전체 운동 정보를 추출하게 되며, 이 분석은 시간적으로 인접한 프레임간의 시간차에 가중치를 주어 처리함으로써 이루어진다. Lange와 Lappe의 시뮬레이션 결과에 따르면 이 모델 역시 여러 정신물리학적 실험 결과들(Beintema & Lappe, 2002; Beintema, Georg, K, & Lappe, 2006; Lange & Lappe, 2007)을 잘 설명한다. 예를 들어, Beintema와 Lappe(2002)의 실험에서는 두 가지의 변인, 즉 프레임 당 BM을 구성하는 자극 점의 수와 한 프레임의 노출 시간이 조작되었는데, 프레임 당 노출시간이 길게 되면 부드러운 연속동작으로 지각되지 않으므로 시

간적 통합이 어렵게 된다. 실제로 자극 내 점광의 숫자가 4개인 조건에서는 프레임 노출시간이 길어질수록 재인의 정확도가 대략 선형으로 감소하지만, 점광 갯수가 8개인 조건에서는 노출시간이 100ms에 이를 때까지 정확도가 감소하지 않았으며 형판 대응 모델을 이용한 시뮬레이션은 이 결과를 거의 동일하게 재현하였다. 또한, 방향 변별 과제(앞으로 걷기/뒤로 걷기, Beintema et al., 2006)의 결과도 모델로 재현되었으며, 방해자극 속에서 점광의 수가 증가함에 따라(즉, 형태 정보가 증가함에 따라) 일반운동과는 다르게 급격히 민감도가 증가함을 보인 Neri et al. (1998)의 실험 결과 역시 형판 대응 모델로 설명이 가능하다. 그러나 이 모델 역시 형태경로와 운동경로간의 상호작용을 배제했다는 점, 하향식 처리과정의 영향이 고려되지 않은 점 등이 제한점이다. 그리고, 모델에 대응하는 신경 구조로서, 1단계에는 EBA(extrastriate body area: 선조의 신체영역)를 비롯한 형태 경로 영역들을, 2단계에는 상측두구(STS)를 가정하지만, 상측두구의 경우 운동 경로의 입력도 받기 때문에(Ungerleider & Haxby, 1994) 운동 정보의 통합에 대한 설명도 필요할 것이다.

지각 모델 이후의 추가 발견들 앞서 기술한 모델 이후로도 운동 경로와 형태 경로의 역할에 대한 추가 연구들이 계속되어오고 있는데, 한 예로, Thurman, Giese와 Grossman(2010)은 BM자극 안에서도 각각 형태 정보와 운동 정보의 비중이 다르다는 사실을 밝혔다. 이들은 점광 및 막대 형상으로 표현된 BM을 이용해서 지각의 정확도에 가장 강하게 상관된 신체 부위를 조사하였다. 그림 3에 나타난 대로 두 종류의 BM 모두에서 지각의 정확도와 높은 상관을 보인 자극 속성은 상반신의 형태와 다리의 운동이었다. 이 상관관계는 자극 자체에 포함된 형태정보의 양(점광 대 막대)에 관계없이 일정하게 관찰되었다. 또한 이들은 앞서 소개한 Giese 와 Poggio(2003)의 모델을 이용한 시뮬레이션을 통해, BM자극 노출 시간이 변화함에 따라 운동 경로과 형태 경로의 활동이 개입하는 정도를 분석하였다. 그 결과, 약 300ms 이하의 짧은 노출 시간에서는 형태 경로의 활동이 강한 반면, 노출시간이 길어질수록 운동 경로의 비중이 증가하는 것을 발견하였다. 즉, 운동 정보 자체가 제한되는 상황에서는 상반신과 같이 상대적으로 적은 운동에너지와 거의 변하지 않는 형태 정보 처리가

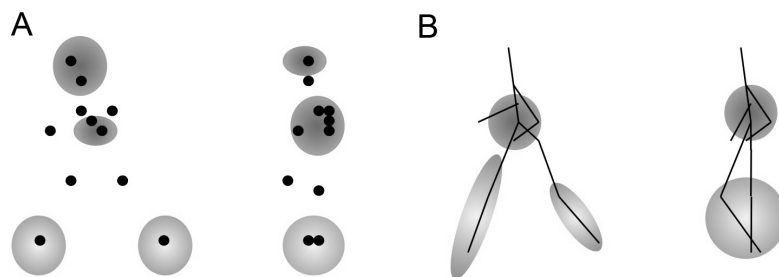


그림 3. Biological motion 지각의 민감도와 높은 상관을 보이는 BM자극의 부위. (Thurman, Giese, & Grossman, 2010 에서 수정 인용)

우선하고, 운동 정보가 충분한 상황에서는 BM 자극 고유의 특징적 운동 패턴에 중점을 둔 처리가 진행되는 것이다. 결론적으로, 운동 정보와 형태 정보 모두 BM의 지각에 필수적이며(Garcia & Grossman, 2008), 각각의 정보가 가지는 비중은 자극이 가지는 시간적, 공간적 조건에 따라 유연하게 변한다고 할 수 있을 것이다.

최근에는 단순한 2차원의 운동 정보와 형태 정보처리 뿐 아니라 깊이정보를 고려한 BM의 3차원 지각을 분석한 결과도 보고되었다. 앞서 기술한 두 모델 모두 3차원 지각에 대한 설명은 없다. Jackson과 Blake(2010)의 실험에서는, 점광으로 표현된 BM(건기)의 정면이나 측면이 아닌 비스듬한 각도로 표현된 경우 관찰자 쪽을 향하거나 관찰자로부터 멀어지는 쪽으로 교차 지각되는 쌍안정(雙安定, bistable) 특징을 가진다는 점에 주목하고 (Jackson & Blake, 2010의 그림 1 참조), 깊이지각의 과정 역시 고려되어야 하는지를 순응 후 사후효과(adaptation aftereffect)를 통해 조사하였다. 이들은 실험참가자들을 관찰자로부터 멀어지거나 관찰자 쪽으로 가까워지는 자극에 순응시킨 후, 쌍안정 상태를 가지는 자극을 제시했을 때 적용된 방향의 반대 방향으로 지각하는 시간이 길어지는 사후효과가 매우 강함을 발견하였다. 이 사후효과는 자극의 크기, 시야(visual field), 망막상의 자극 위치에 관계없이 관찰되었다. 이들의 결과는 단순한 점광 자극이라도 그 기저에 실제로 깊이 정보를 추출하는 과정이 있다는 점을 보임으로써, 3차원 지각 과정 역시 BM 지각 모델에 추가되어야 함을 제안한다.

하향식 처리(top-down processing)의 영향
 앞서 BM지각 모델들의 제한점에서도 언급했듯이, BM지각에서 하향식 처리과정의 역할을 강조하는 연구결과들 역시 존재한다(Cavanagh, 1991; Cavanagh et al., 2001; Dittrich, 1993; McLeod et al., 1996; Thornton et al., 1998; 2002). 하향식 처리과정에 따르면 국소 세부특징과 운동정보의 탐지와 통합의 역할이 BM지각에 결정적인 요인은 아니라는 점에서, 하향식 처리의 관점은 전체(global) 우선 처리과정과도 관련되어 있다. Bertenthal과 Pinto(1994)는 앞서 소개한 모델들에서의 단계와는 반대로 국소 정보처리 과정을 의도적으로 방해하더라도 BM자극의 탐지는 여전히 높은 정확도를 유지함을 보였다. 이들은 점광 BM자극 주변에 다수의 방해자극을 함께 제시했는데, 방해자극은 무작위로 움직이는 점들이 아니라 BM을 구성하는 점광들로부터 추출된 것들이었다. 즉, 표적자극과 방해자극의 국소 운동 정보가 동일하기 때문에 관찰자는 BM자극의 특정 위치에 있는 점광의 특징적 국소 운동 정보를 통해 BM을 탐지하는 것은 불가능한 것이다. 그럼에도 불구하고 탐지의 민감도(d')는 우연수준보다 유의미하게 높은 수준으로 유지되는 것이 관찰되었다. 추가로 수행된 이들의 실험에서는, BM을 구성하는 점광들이 각 관절부위에 위치하지 않고 관절 사이에 위치하도록 자극이 구성되었다. 이런 조건에서는 각 점광들의 국소 운동 정보가 시간적, 공간적으로 통합되더라도 그로부터 추출되는 형태 정보는 정상적인 사람의 형태로 볼 수 없기 때문에 상향식 처리 모델만을 고려할 경우 정확한 탐지가 어려울 것으로 예상할 수 있다. 그러나

실제의 결과는 여전히 높은 수준의 정확도를 보인다는 것이었다. 즉, 이 결과는 인간의 형태와 운동에 관한 사전정보를 이용하여, 실제로는 정상적인 인간의 운동 및 형태와 차이가 있는 자극을 인간 자극으로 지각했다는 해석이 가능하다. Shiffrar, Lichtey, Heptulla와 Chaterjee(1997)는 BM을 차폐한 후 몇 개의 틈(aperture)을 통해 일부분만 관찰할 때에도 재인이 가능하다는 것을 보고했는데, 국소 운동 정보 부족으로 인한 상향식 처리 과정의 제한이 있는 상황에서의 재인이라는 점에서 Bertenthal과 Pinto의 실험과도 일관된 결과라 할 수 있을 것이다.

van Boxtel 과 Lu (2011)의 실험은 다양한 행위의 범주에 따라 BM지각의 효율성이 달라지는 결과를 보였다는 점에서 흥미롭다. 이들은 네 종류의 동작(걷기, 달리기, 춤, 권투)을 이용해, 이 중 지정된 한 동작을 표적으로 하고 나머지 세 종류 중 임의의 한 동작을 방해자극으로 설정해 표적을 찾는 시각 탐색 과제를 실시하였다(자극 세트의 크기에 따라 방해자극의 수는 달라졌다). 표적 동작을 탐지하는 반응 시간은 방해자극의 수가 늘어남에 따라 증가했는데, 이는 방해자극과 다른 표적자극이 돌출(pop-out)되는 것이 아니라, 기대되는 표적과 실제의 자극들을 대조하는 탐색과정에 따른 결과임을 보여준다. 이와 함께, 반응 시간은 표적 자극의 동작 범주에 따라서도 달라진다는 결과가 추가로 관찰되었다. 즉, 권투와 춤 동작의 재인은 걷기와 달리기에 비해 더 긴 반응시간이 필요했는데, 걷기와 달리기가 더 높은 빈도로 관찰되는 동작이라는 점에서 동작의 친숙도에 따른 차이라는 직관적인 추

정을 할 수 있으며, 실제로 Dittrich(1993)는 친숙한 동작이 더 빠르고 정확하게 재인된다는 결과를 보고하였다. Dittrich(1993)는 이와 관련해서 “선택적 움직임 여과기(selective movement filters)”라는 개념으로 특정 동작에 대한 지각의 상대적 효율성을 설명하였다. 또 다른 연구들(Calvo-Merino, Ehrenberg, Leung, & Haggard, 2010; Calvo-Merino, Glaser, Grezes, Passingham, & Haggard, 2005)은 특정 동작을 직접 경험한 경우에 그 동작에 대한 재인의 정확도가 영향을 받는다는 결과를 밝혔다. van Boxtel과 Lu(2011)의 실험에서는 그와 같은 결과가 반복검증되지는 않았으나, BM의 지각은 국소정보의 상향식 처리만으로는 설명이 불완전하다는 것(Bertenthal & Pinto, 1994), 그리고 동작의 친숙성 및 직접 경험 여부에 따라 재인율의 변화가 관찰된다는 점(Calvo-Merino et al., 2005, 2010; van Boxtel & Lu, 2011)은 하향식 처리과정 역시 BM지각에서 필수적인 역할을 담당하고 있음을 보여준다.

BM 지각의 신경학적 기반

Fox와 McDaniel(1982)의 영아 연구 결과는 BM의 지각 능력이 선천적인 가능성을 암시한다. 이미 다수의 뇌영상 기법을 이용한 연구들이 BM에 선택적으로 반응하는 영역을 찾으려는 시도를 해왔으며, 현재까지 밝혀진, BM 자극에 가장 일관되게 반응하는 부위는 측두엽과 두정엽, 그리고 후두엽이 접한 부위에 가까운 측두엽의 영역인 후부 상측두구(posterior superior temporal sulcus, pSTS)이다.

인간을 대상으로 한 뇌영상 연구들 이전의

동물 연구(Bruce, Desimone, & Gross, 1981)에서도 원숭이의 상측두 다감각 영역(superior temporal polysensory area, STP, 인간 뇌의 STS에 해당) 세포들의 대부분이 운동 자극과 그 방향에 민감한 반면 자극의 크기나 자극이 제시된 시야(visual field)에 따른 차별적 반응은 보이지 않는다는 것이 밝혀졌다. 이 영역의 세포들은 패턴 재인보다는 자극의 정향(orientation)이나 공간 정보에 관련이 있는 것으로 생각되었다. BM 자극을 이용한 보다 직접적인 증거는 Perrett 등(Perrett, Rolls, & Caan, 1982, Perrett, Smith, Mistlin, Chitty, Head, et al., 1985), 그리고 Oram 과 Perrett(1994)의 실험에서 보고되었는데, 이들은 STP 영역의 세포들이 인간 형상의 움직임에 활발한 반응을 보이는 것을 발견했고, 이어 점광 BM 자극에도 잘 반응하는 반면, 뒤섞인 점광 자극에는 반응이 약하다는 사실을 밝혔다.

뇌손상 사례 연구들 역시 BM 관련 뇌 영역 존재에 대한 강력한 증거를 제시한다. Schenk 와 Zihl(1997a, b)은 두정엽에 손상을 입은 두 환자가 방해자극 속의 점광 BM 탐지에 어려움을 겪지만, 단순 응집운동의 방향 변별에는 문제가 없는 것을 보고하였다. 유사한 사례가 Coway 와 Vaina(2000), Vaina 와 Gross(2004)에서도 보고되었다. 이와는 반대의 경우로 Vaina 등(Vaina, Le May, Bienfang, Choi., & Nakayama, 1990)은 선조외시각피질(extrastriate cortex), 후두정피질(posterior parietal cortex)과 측두엽의 일부에 손상을 입은 환자가 방해자극 속의 응집운동(coherent motion) 탐지 및 속도 변별에 문제가 있으나, 점광 BM의 재인에는 문제가 없는 것을 관찰하였다. 이런 사례들은 BM과 일반적

인 운동자극의 처리 기제가 다를 수 있다는 점을 시사하는 것이다.

이후의 뇌 영상 연구들은 점광 BM과 뒤섞인 점광자극(그림 1)에 대해 반응 차이를 보이는 영역을 찾는 방식으로 이루어졌는데, Bonda 등(Bonda, Petride., Ostry., & Evans, 1996)은 양전자 단층 촬영(PET)을 이용해서 후부 상측두구(pSTS)영역이 정상적인 BM을 볼 때 활성화되나 뒤섞인 BM을 볼 때는 뚜렷한 활동이 없는 것을 관찰하였다. Grossman 등(Grossman, Donnelly, Price., Pickens, Morgan, Neighbor et al., 2000)은 기능적 자기공명 영상법(fMRI)을 이용해 BM 대 뒤섞인 BM, 응집운동 대 정지된 점들, 운동 경계선(kinetic boundaries)을 가진 운동대 응집운동 쌍들에 대해 큰 활동 차이를 보이는 영역들을 찾았는데, 응집운동의 경우 잘 알려진 운동 영역인 중측두영역(MT)의 활동과 연합되어 있었고, 경계선을 가진 운동의 경우 운동-후두(kinetic-occipital, KO), 측후두(lateral-occipital, LO)복합영역이 활동을 보였으며, BM에서는 Bonda 등(1996)의 결과와 마찬가지로 후부상측두구(pSTS)의 활동이 관찰되었다. 특히, 세 종류의 자극 조건들에 대해 반응하는 각 영역들의 활동이 중복되지 않는다는 점을 특기할 만 하다. MT영역은 BM과 뒤섞인 BM에 대해 비슷한 정도의 활동을 보이는 것으로 관찰되었다. pSTS의 BM 선택적 반응은 이후의 여러 연구들에서 신뢰롭게 관찰된다(Beauchamp, Lee, Haxby, & Martin, 2003; Grezes, Fonlupt, Bertenthal, Delon-Martin, Segebarth, & Decety, 2001; Grossman., Battelli, & Pascual-Leone, 2005; Grossman & Blake, 2001, 2002; Grossman, Blake, & Kim, 2004; Howard,

Brammer, Wright, Woodruff, Bullmore, & Zeki, 1996; Michels, Lappe, & Vaina, 2005; Pelphrey, Mitchell, McKeown, Goldstein, Allison, & McCarthy, 2003; Peuskens, Vanrie, Verfaillie, & Orban, 2005; Puce, Allison, Bentin, Gore, & McCarthy, 1998; Santi, Servos, Vatikiotis-Bateson, Kuratate, & Munhall, 2003; Saygin, Wilson, Hagler, Bates, & Sereno, 2004; Servos, Osu, Santi, & Kawato, 2002; Thompson, Clarke, Stewart, & Puce, 2005; Vaina et al., 2001).

경두개 자기 자극(transcranial magnetic stimulation, TMS)법을 이용한 Grossman 등(2005)의 연구는 pSTS영역의 기능이 MT영역의 기능과는 차별적이라는 뇌손상 사례 연구의 결과를 실험적으로 입증하였다. 이들은 피험자들의 pSTS영역과 그 주변에 자극을 주어 일시적으로 기능을 정지시킨 후 BM과제를 수행하도록 했는데, 그 결과 재인의 정확도가 유의미하게 감소하였다. 대조적으로 MT영역의 기능을 마비시켰을 때에는 BM재인 정확도는 영향을 받지 않았다. 즉, BM에 내재된 운동정보의

처리는 적어도 일반운동자극 처리과정의 단순 연장선상에 있지 않음을 보여준다. 최근의 또 다른 사례 연구(Gilaie-Dotan, Bentin, Harel, Rees, & Saygin, 2011)는 BM으로부터 추출되는 형태 정보 역시 일반 형태 자극의 처리와는 다른 과정일 수도 있음을 시사한다. 이 사례 연구에서의 환자는 심각한 시각 실인증(visual agnosia)으로 인해 시각의 복측 경로 기능에 심각한 결함을 가지고 있었는데, 그럼에도 불구하고 BM으로부터 형태를 탐지, 변별하는 능력은 정상 수준이었다. 그러나 BM이 아닌 다른 운동자극에서 형태를 추출하는 능력은 심각한 결함을 보였다. 요약하면, pSTS영역은 BM에 선택적인 반응을 일으키며, 운동 경로와 형태 경로 모두에서 정보의 입력을 받으며, 두 종류의 정보를 모두 필요로 하나, 어떻게 두 정보가 통합되는지, 그리고 두 경로로부터 오는 각각의 정보들이 비(非)-BM 자극에서 추출되는 정보들과 질적으로 다른 것인지에 대한 결론은 아직 확실하지 않다.

앞서 BM의 180도 회전 시 재인율이 감소하

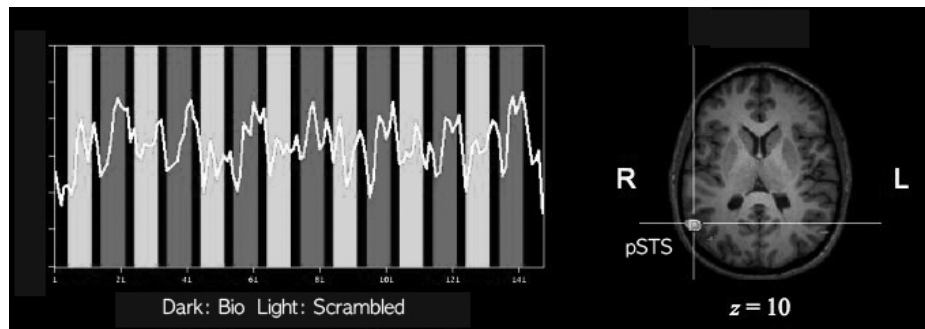


그림 4. 좌: Biological motion과 Scrambled motion에 대해 차별적인 pSTS영역의 활동. 어두운 부분이 BM이 제시된 조건, 밝은 부분이 Scrambled motion을 제시한 조건이며 BM 구간에서의 fMRI BOLD신호가 더 강한 것이 관찰된다. 우: 좌측의 활동이 관찰된 pSTS 영역. (Kim, Park, & Blake (2011)의 자료에서 재구성)

는 역전 효과(inversion effect)를 언급한 바 있다. Grossman과 Blake(2001)는 pSTS영역의 활동이 회전된 BM에 대해서 훨씬 약함을 관찰함으로써, 역전 효과가 실제로 뇌 활동 신호에 반영됨을 밝혔다. BM지각과 연합된 pSTS영역의 활동 특징은 지각 학습(perceptual learning)을 이용한 Grossman, Blake와 Kim (2004)의 연구에서도 나타난다. 이들의 실험에서, BM자극이 다수의 방해자극 속에서 제시되었을 때 재인율은 우연 수준에 머물렀고, pSTS 영역 역시 별다른 반응을 보이지 않았다. 그러나 반복된 학습 이후 피험자의 재인율이 상승함에 따라 pSTS의 활동 역시 강해졌으며, 향상된 수행과 pSTS 활동은 학습에 사용되지 않았던 BM자극으로도 확장되었다. 이와 같은 지각 학습 효과에 따른 BM 지각 과제 수행능력의 향상은 다른 후속 연구들에서도 관찰된다(Hiris, Krebeck, Edmonds, & Stout, 2005; Jacobs, Pinto, & Shiffrar, 2004; Jastorff, Kourtzi, & Giese, 2009).

Jackson & Blake (2010)의 연구를 인용하면서 언급했던 쌍안정(bistable)상태에서의 순응 후 효과(adaptation aftereffect)와 유사하게, 다른 속성에 대해서도 유사한 사후효과가 나타난다는 것이 알려졌다. 예를 들어, 오른쪽으로 걷는 동작의 점광 자극과 왼쪽으로 걷는 동작을 조합해서 만들어진 어느 방향으로도 쏠리지 않는 중립적인 자극을 한쪽 방향으로 걷는 동작에 순응 과정을 거친 후 제시하면 반대방향으로의 지각이 강한 사후효과가 관찰된다(Theusner, de Lussanet., & Lappe, 2011). 또, 여성(남성)이 걷는 동작에 대한 순응을 거친 후 중성적인 자극을 제시하면 이를 순응 자극과 반대 성을 가진 사람이 걷는 동작으로 지각하는

사후효과 역시 알려져 있다(Troje, & Westhoff, 2006). Grossman, Jardine과 Pyles(2010)은 사후효과가 fMRI 측정 신호에서도 실제로 반영이 되는 것을 보였다. 일반적으로 fMRI 신호 측정 시, 동일한 자극이 반복 제시되면 관련 뇌 영역에서의 fMRI신호는 점차 약해지다가 (fMRI 순응) 다른 자극으로 바뀌면 신호의 강도가 회복된다. Grossman 등은 이 같은 fMRI신호의 사후 효과가 한 동작에 대한 순응 후 다른 동작이 제시될 때 pSTS영역에서 관찰되는 것을 보고하였다. 반면에 동일한 크기의 자극에 대한 순응 후 자극 크기의 변화에 따른 사후 효과나, 동일한 망막 상 위치에 제시된 자극에 대한 순응 후 망막 상 다른 위치에 제시된 자극에 대한 사후 효과는 관찰되지 않았으며, 이는 정신물리학 방법을 이용한 결과들, 즉 망막 상 위치나 자극 크기에 영향 받지 않는 지각에 대한 지지 증거이다. 또한 pSTS에서 이같은 패턴의 사후효과는 뒤섞인 점광 BM자극이 제시되었을 때에는 나타나지 않으며, 다른 운동 영역(MT) 또는 형태 영역(하측두피질, 방추회 등)들에서도 관찰되지 않는다.

pSTS의 활동과 관련된 또다른 흥미로운 발견은, 이 영역의 BM관련 활동이 반드시 물리적인 자극을 요구하지는 않는다는 것이다. 예를 들어, BM을 상상한 경우에도 실제 자극에 대한 활동보다는 약하지만 유의미한 활동이 관찰된다(Grossman & Blake, 2001). 최근 Kim 등(Kim, Park, & Blake, 2011)의 실험에서는 BM과 뒤섞인 BM을 제시하고 이를 변별하는 과제가 제시되었는데, 피험자들이 뒤섞인 자극을 그렇지 않은 BM이라고 잘못 지각한 경우 (신호탐지이론의 ‘오경보’상황과 유사), 정상적

인 BM을 정확히 지각한 시행과 비슷한 정도의 pSTS활동이 기록되었다. 이 결과들은 pSTS의 활동이 실제 자극에 대해서 뿐 아니라, 자극 여부에 관계없이 BM 지각을 “경험”하는 것과 상관이 있을 수 있음을 암시한다. 즉, Giese와 Poggio(2003), Lange 와 Lappe(2006)의 모델에서 고려되지 않았던 하향식 처리의 영향이 실제로 뇌 활동신호에 반영되어 나타나는 것으로도 해석이 가능하다.

이 외에도, 다수의 뇌영상 연구들이 특히 우반구에 위치한 pSTS영역의 활동이 좌반구에 비해 훨씬 강한 것을 보고하고 있으나, 그 원인은 알려지지 않았다(예: 그림 4). 반면에 좌반구의 pSTS영역은 활동이 약하거나 관찰되지 않으며 (Beucahmp et al., 2003; Bonda et al., 1996; Grezes et al., 1998, 2001; Grossman & Blake, 2001; Grossman et al., 2000, 2002, 2005; Kim et al., 2011; Pelphrey et al., 2003; Peuskens et al., 2005; Puce et al., 1998; Santi et al., 2003; Wheaton, Thompson, Syneniotis, Abbott, & Puce, 2004), 심지어 좌반구로 일차적 시각 입력이 되는 우측 주변부 시야에 자극을 제시해도 우반구 pSTS의 활동만이 관찰되기도 한다 (Michels, Kleiser, de Lussanet, Seitz, & Lappe, 2009). 왜 우반구의 pSTS활동이 더 활발한지에 대한 이유는 아직 알려져 있지 않다. 이 문제에 대해서, 이 현상과 상관을 가질 수 있는 지각적 현상을 밝히는 것이 가능한 접근 방법 가운데 하나가 될 수 있을 것이다. 예를 들, 주변 시야에 제시된 BM에 대한 재인의 정확도나 반응 시간이 좌, 우 시야 간에 차이가 있고, 특히 좌측 시야에 제시된 자극에 대해 더 빠른 반응이나 높은 정확도가 관찰된다면

우측 pSTS의 기능적 우위와 관련된 지각적 단서를 얻을 수 있을 것이다.

비록 pSTS가 BM 지각에 핵심적인 역할을 하는 영역이기는 하나, pSTS이외에도 BM에 선택적 반응을 보이는 영역들이 존재한다. 즉, 측두엽의 복측면(IT, inferior temporal area) (Vaina et al., 2001), 외측 방추회(lateral fusiform gyrus, Beauchamp et al., 2003), 방추회 내의 얼굴 영역 (fusiform face area, Grossman & Blake, 2002)등이다. 시각 경로 상으로는 대부분 형태(복측)경로의 기능과 관련된 영역들로서, 점광 BM 자극에서의 형태 정보 추출 및 이를 pSTS 영역으로 전달하는 역할을 담당하는 것으로 생각된다(Peelen & Downing, 2005; Peelen, Wiggett, & Downing, 2006). 한 예로, 후두엽과 측두엽의 경계에 있는 선조의 신체 영역(EBA)은 인간의 신체 형상 또는 신체 일부의 형상에 대해 강한 반응을 보이고, 움직이는 신체 형상에 대해서도 반응하나 반드시 운동정보를 요구하지는 않는다(Downing, Jiang, Shuman, & Kanwisher, 2001). 시각 피질의 범위를 넘어서면 복측 전운동 피질(ventral premotor cortex), 하두정 피질(inferior parietal cortex)등의 영역에서도 점광 BM자극에 대한 반응이 관찰된다 (Rizzolatti, Fogassi, & Gallese, 2001; Rizzolatti & Craighero 2004; Grossman et al., 2010). 이 영역들은 소위 ‘거울 뉴런 체계(mirror neuron system)’로 분류되는 영역들로서, 사람(또는 동물) 자신이 어떤 행위를 할 때나 다른 사람(동물)이 수행하는 행동을 관찰할 때에 반응하는 특성을 가진다. 이 영역들은 정보처리의 단계상 pSTS로부터 입력을 받아 상위 인지 영역으로 전달하기 위한 정보의 처리를 담당하면서

사회적 기능, 정서와 같은 고차원의 인지행동 기능 조절을 위한 역할을 하게 되는데, BM이 정서적, 사회적 정보를 포함한다는 점에서 이 영역의 반응은 예상된 것이라 할 수 있다.

또 한편으로, 소뇌(cerebellum)가 BM지각과 관련된 활동을 보인다는 보고가 있다(Grossman et al., 2000; Vaina et al., 2001; Sokolov, Erb, Gharabaghi, Grodd, Tatagiba, & Pavlova, 2012). 그러나 활동이 관찰되지 않은 연구 결과들도 다수이며(Grezes et al., 2001; Grossman & Blake, 2001; Servos et al., 2002), 소뇌에 손상을 입은 경우에 일반 운동자극지각에 결함이 관찰되지만 BM지각은 정상 수준인 사례의 보고(Jokisch, Troje, Koch, Schwartz, & Daum, 2005) 등, 수렴적 증거는 부족한 상태로서 BM지각에서 소뇌의 구체적인 역할은 아직 명확하지 않다.

지금까지의 논의를 요약하면, 뇌손상 사례 연구, 전기생리학적 연구(예: TMS), 영상 연구(PET, fMRD)등에서 pSTS영역이 BM지각에 있어 핵심적인 역할을 한다는 것은 명백하며, 형태 지각에 관련된 영역들(ITS, EBA 등)의 활동은 앞서 소개한 지각의 모델들에 부합된다고 할 수 있다.

한편, 일반적인 운동 지각과 BM 지각은 정신물리학 뿐 아니라 영상 연구에서도 구별되는 특징을 보이며, 적어도 국소 운동 자극의 단순 통합과정은 아닌 것으로 보인다. 그러나 어떤 이유로 두 종류의 운동지각 간 해리(dissociation)가 발생하는지에 대한 문제는 후속 연구를 필요로 한다. 또한, pSTS및 주변 영역에서 처리된 BM 정보는 보다 상위의 거울 뉴런 체계 영역들로 전달되고, 다양한 인지, 행동, 정서 기능들을 담당하는 영역들과의 상호작용을 하는 것으로 생각되나, 그 구체적인 기능적 연결에 관해서는 추가 연구들이 이루어져야 할 것이다.

BM 지각과 정신병리에서의 사회적 기능

BM과 STS, 사회적 기능 BM지각에 관련된 핵심적 영역인 pSTS를 포함하는 상측두구(STS)는 BM외에도 다양한 종류의 시청각 자극, 특히 의사소통과 사회적 의미를 포함한 자극들에 반응하는 복합적인 기능을 가진 부위이다. STS는 그림 5에 제시된 pSTS부위로부터 측두엽을 따라 길게 뻗어 있는 영역으로, 신체 운

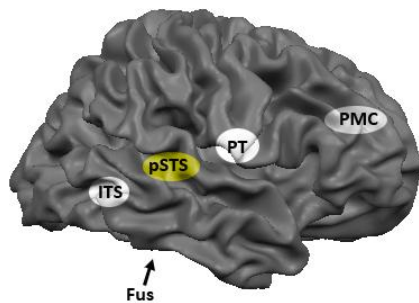


그림 5. Biological motion 자극에 대해 반응을 보이거나 선택적 반응을 보이는 영역들. ITS: 하측두구(inferior temporal sulcus). Fus: 방추회(fusiform gyrus). PT: posterior planum temporale. PMC: 전운동피질 (premotor cortex)

동(Bonda et al., 1996; Grossman et al., 2000; Howard et al., 1996; Kourtzi & Kanwisher, 2000; Senior, Barnes, Giampietro, Simmons, Bullmore, et al., 2000), 입술의 움직임(Calvert, Bullmore, Brammer, Campbell, Williams, McGuire, et al., 1997; Puce et al. 1998; Puce & Allison, 1999), 시선(Hoffman & Haxby, 2000; Puce et al. 1998; Wicker, Michel, Henaff, & Decety, 1998), 수화 및 손의 움직임(Bonda et al., 1996; Grafton, Arbib, & Rizzolatti, 1996; Grezes et al., 1998; Neville, Bavelier, Corina, Rauschecker, Karni, Lalwani, Braun, et al., 1998; Rizzolatti, Fadiga, Matelli, Bettinardi, Paulesu, Perani, 1996) 등에 민감하게 반응하며, 타인의 의도와 행동을 유추하는 능력(Theory of Mind, ToM)이 요구되는 상황에서 활발히 반응한다(Erith & Frith, 2000; Gallagher, Happe, Brunswick, Fletcher, Frith, et al., 2000). STS는 편도핵(amygdala), 안와전두피질(orbitofrontal cortex), 전측대상피질(anterior cingulate cortex) 등 정서반응에 관련된 영역들과도 기능적 연결을 이룬다. BM지각의 연구들은 대부분 걷는 동작을 표현하는 단순한 자극을 이용해 왔으나, 다양한 정서와 행동 표현이 가능하다는 점에서 BM 역시 사회적 의미와 의사소통에 관련된 자극으로 분류가 가능하다. 실제로 두 개의 점광 BM 자극이 제시되고 이들간에 상호작용이 있을 경우(춤, 격투 등), 강한 방해 자극 속에서도 채인의 민감도가 높아진다(Hirai & Kakigi, 2009; Manera, Becchio, Shouten, Bara, & Verfaillie, 2011; Neri, Luu, & Levi, 2006).

BM과 정신병리 여러 정신병리 증상 가운데

서도 자폐증(autism), 정신분열증(schizophrenia), 강박장애(obsessive-compulsive disorder)는 일반적으로 잘 알려진 병리 증상들이다. 이들은 임상적 증상에서는 비교적 뚜렷한 특징으로 각각 구분되지만, 사회적 기능 장애(impaired social functioning)라는 공통적인 특징을 지닌다. 자폐증의 경우 사회적 기능 장애가 증상의 가장 큰 특징이며, 강박장애의 경우에도 사회적 기능 척도중 하나인 삶의 질 척도(Quality of Life)에서 유의미하게 낮은 점수를 기록하거나(Bystritsky, Saxena, Maindment, Vapnik, Tarlow, & Rosen, 1999; Bystritsky, Liberman, Hwang, Wallace, Vapnik, Maindment, et al., 2001), 강박 신념과 행동에 기인한 일상생활의 문제가 관찰된다. 또한 이들 증상을 가진 환자들이 다양한 인지 및 지각적 기능의 이상도 보인다는 연구 결과들이 보고되고 있으며, 지각과 인지 장애는 궁극적으로 행동 결과에 중대한 영향을 미친다는 점에서 BM지각 및 기저의 신경학적 기반에 대한 연구는 사회인지와 지각 기능간의 연결고리에 대한 단서를 제공한다 할 수 있다.

자폐증의 주요 특징으로는 언어적, 비언어적 의사소통 능력의 제한, 타인에 대한 무관심, 반복적 행동이나 언어의 사용, ToM능력 저하 등이 있다(Baron-Cohen, 1991, 1995). 특히 ToM 이상의 경우, 관련된 영역인 STS에서의 기능 이상을 유추할 수 있으며 따라서 BM 지각에서의 문제점도 예상할 수 있다. Blake 등(Blake, Turner, Smoski, Pozdel, & Stone, 2003)은 8세에서 10세 사이의 자폐증 환자들에게 다양한 동작을 표현하는 점광 BM 자극들과, 뒤섞인(scrambled) 자극들을 무작위 순서로 제시하고,

두 종류 자극간의 변별 민감도를 측정했는데, 자폐증 환자의 변별력은 정상인보다 유의미하게 낮았으며, 자폐 증상과도 상관이 있는 것으로 관찰되었다. 최근의 또 다른 연구(Annaz, Remington, Milne, Coleman, Campbell, Thomas, et al., 2010)에서는 5세 - 12세의 자폐증 환자를 대상으로 방해자극 속의 BM을 찾는 탐지과제를 이용했는데, 탐지 역치 또한 두 집단 간 유의미한 차이가 나타났다. 앞서 언급한대로 정상적으로 발달하는 유아는 생후 4개월째에도 BM에 대한 선호도를 나타내지만(Fox & McDaniel, 1982), 초기에 자폐 진단을 받은 유아들은 그렇지 않은 것으로 나타나(Klin & Jones, 2008; Klin, Lin, Gorrindo, Ramsay, & Jones, 2009), BM 지각의 문제는 단순히 후천적으로 습득되는 시각 정보 처리의 문제는 아닌 것으로 보인다. 성인 자폐증 환자의 경우 단독으로 제시된 BM의 동작의 재인에는 문제가 없지만, 정서나 의도와 같은 상위 인지적 정보를 추출해 내는 능력은 부족하다(Atkinson, 2009; Hubert, Wicker, Moore, Monfardini, Duverger, Da Fonseca, et al., 2007; Moore, Hobson, & Lee, 1997; Parron, Da Fonseca, Santos, Moore, Monfardini, & Deruelle, 2008). 뇌 영상 연구들은 BM자극에 대해 자폐증 환자의 STS, 특히 우반구 STS 영역 및, 주변의 측두-두정엽 경계 부분, 그리고 시각 형태 경로에 속하는 방추회 영역의 활동이 저하되어 있음을 발견하였다(Kaiser, Hudac, Shultz, Lee, Cheung, Berken, et al., 2010; Pelphrey, Morris, Michelich, Allison, & McCarthy, 2005). 또한 일부 자폐 환자들의 경우 선조외시각피질(extrastriate cortex)과 STS간 기능적 연결이 약화되어 있는

것이 관찰된다(Castelli, Frith, Happe, & Frith, 2002).

정신분열증 역시 자폐증과 유사하게 의사소통 및 사회적 정보 처리능력에 문제를 보인다. 타인의 얼굴 표정 지각, 정서 처리 등에 어려움을 겪으며(Gaebel & Wolwer, 1992; Grady & Keightley, 2002; Kohler, Bilker, Hagendoorn, Gur, & Gur, 2000; Williams, Loughland, Gordon, & Davidson, 1999), 타인의 시선 방향 판단 능력도 떨어지는 것으로 알려져 있다(Phillips & David, 1997). 그리고 ToM이 요구되는 과제 수행 역시 저하되어 있다(Corcoran, Mercer, & Frith, 1995; Frith & Corcoran, 1996). 이러한 사회인지적 결함은 임상증상이 호전된 후에도 관찰된다(Brune, 2003; Edwards, Pattison, Jackson, & Wales, 2001). 또한 정신분열증 환자들은 응집운동을 비롯한 일반운동 지각장애 및 시각운동경로 관련 장애를 보인다는 점에서(Chen, Bidwell, & Holzman, 2005; Chen, Levy, Sheremata, & Holzman, 2004; Chen, Nakayama, Levy, Mattysse, & Holzman, 2003; Chen, Norton, & Ongur, 2008; Chen, Palafox, Nakayama, Levy, Mathysse, & Holzman, 1999; Green, Nuechterlein, & Mintz, 1994a,b; Li, 2002; Stuve, Friedman, Jesberger, Gilmore, Strauss, & Meltzer, 1997; Tadin, Kim, Doop, Gibson, Lappin, Blake, et al., 2006), STS영역에서의 사회적 기능, 또는 시각 관련 기능 이상을 예상할 수 있으며, 일부 STS 영역의 축소(Shenton, Kikinis, Jolesz, Pollak, LeMay, Wible, et al., 1992)와 같은 해부학적 발견은 이런 가능성을 뒷받침한다. Kim 등(Kim, Doop, Blake, & Park, 2005)은 정신분열증 환자들 역시 자폐증 환자와 마찬가지로 점광 BM

자극 변별력이 정상보다 떨어진다는 결과를 보고하였다. 흥미로운 점은 정신분열증 환자 들의 낮은 변별력이 BM지각에 대한 정확도가 떨어졌기 때문이 아니라 BM이 아닌 자극을 BM으로 판단하는 빈도가 높았기 때문이라는 것이다. 즉, 정신분열증 환자들은 생물학적, 사회적 의미가 없는 자극에 정상인보다 민감하게 반응하는 경향을 보인다고 할 수 있으며, 이후 검증의 필요가 있으나 환각, 망상과 같은 양성 증상과의 관련성 또는 실재하는 물체-지각적 심상(visual imagery)간 낮은 변별력 (Brebion, Ohlsen, Pilowsky, & David, 2008)등과의 관련성을 생각해 볼 수 있을 것이다. 또한 이들의 연구에서 변별력과 Zigler 사회능력척도 (Zigler & Levine, 1981)로 추정된 사회적 기능간의 유의미한 상관이 관찰되었다. 이후의 뇌영상 연구(Kim, Park, & Blake, 2011) 및 생리학적 연구(Singh, Pineda, & Cadenhead, 2011)들 역시 STS 영역에서의 BM선택적 반응을 입증하였다. Kim 등(2011)의 fMRI연구에서 정상인의 pSTS 영역은 BM자극에 대해 선택적으로 훨씬 높은 수준의 활동을 보인 반면, 정신분열증 환자 들의 pSTS영역은 BM과 뒤섞인 BM자극 모두에 대해 강한 반응이 측정되었고, 반응 강도의 차이도 없었다. EEG를 이용한 연구들에서는 STS 영역을 포함하는 감각-운동 피질에서 관찰되는 8-13Hz의 진폭을 가진 mu파가 타인의 움직임을 관찰할 때나 상상할 때 진폭이 감소하는 mu파 억제현상(mu wave suppression)이 보고되어 왔다(Muthukumaraswamy, Johnson, & McNair, 2004; Pfurtscheller, Brunner, Schogl, & Lopes da Silva, 2006). Singh 등(2011)의 최근 연구에서는 정신분열증 환자들이 BM자극을 볼

때 mu파의 억제 현상이 유의미하게 약한, 즉 BM자극에 대해 비정상적으로 강한 mu파의 활동을 보이는 것이 발견되었으며, 이는 Kim 등 (2011)의 연구에서 보고된 높은 수준의 pSTS활동과도 유사한 결과라 볼 수 있다.

자폐증 및 정신분열증 환자에게서 관찰되는 BM 지각의 장애의 설명에 대해 제기할 수 있는 문제는 BM지각의 장애가 환자들의 전반적인 지능, 인지 기능, 또는 운동지각 장애에 부속되는 단지 하나의 현상일 가능성이다. 실제로 정신분열증 환자들은 작업기억(working memory) 및 주의(attention) 관련 과제에서 역시 장애를 보이고(Park & Holzman, 1992, 1993), 두 집단의 환자들 모두 일반 운동 지각과제에서 정상인보다 낮은 수행을 보인다 (Chen et al., 2003; Li, 2002; Milne, Swettenham, Hansen, Campbell, Jeffries, & Plaisted, 2002; Spencer, O'Brien, Riggs, Braddick, Atkinson, & Wattam-Bell, 2000; Stuve et al., 1997). 그러나 Blake 등 (2003), Kim 등(2005)의 두 연구 모두에서 지속적인 주의가 요구되는 형태 탐지 과제에서는 자폐증, 정신분열증 환자 모두 정상 수준의 수행을 보였고, 최근 연구(Kim et al., 2011)의 실험에서는 pSTS와 운동 영역인 MT의 BM자극 관련 활동 간에 유의미한 상관이 관찰되지 않았다는 점에서, 가능성을 완전히 배제할 수는 없으나 일반적 인지, 지각 장애의 단순한 측면으로 보기에는 무리가 있다.

강박장애의 경우 자폐증이나 정신분열증에 비해 시지각 및 작업기억과 같은 인지 기능 자체에 대한 통제된 실험 연구는 거의 없었으나, 신경심리학적 방법을 이용한 Rey-Osterrieth Complex Figure Test(RCFT)와 같은 검사에서 환

자들의 시각적 조직화능력이 떨어진다는 결과가 보고된 바 있다(Savage, Baer, Keuthen, Brown, Rauch, & Jenike, 1999). 그러나, 증상의 신경학적 기제를 밝히기 위한 시도는 계속되어 왔는데, 주로 안와전두피질(orbitofrontal cortex), 대상피질(anterior cingulate cortex), 기저핵(basal ganglia)에서의 정상보다 높은 수준의 대사활동이 주요한 발견이며, 이는 억제 반응 조절의 실패나 사회 행동 조절 기능의 장애와 관련된 것으로 이해되어 왔다(Baxter, Phelps, Mazziotta, Guze, Schwartz, & Selin, 1987; Baxter, Schwartz, Mazziotta, Phelps, Pahl, & Guze, 1988; Benkelfat, Nordahl, Semple, King, Murphy, & Cohen, 1990; Insel, 1992; Kang, Kim, Choi, Kim, Kim, Youn, et al., 2004; McGuire, Bench, Frith, Marks, Frackowiak, & Dolan., 1994; Swedo, Schapiro, Grady, Cheslow, Leonard, Kumar, et al., 1989). 또한 이들 영역은 안구운동이나 시각관련 영역들과 기능적 연결을 이루며(Clementz, Farber, Lam, & Swerdlow, 1996; Lencer, Trillenber, Trillenber-Krecker, Junghanns, Kordon, Brooks, et al., 2004; Sweeney, Palumbo, Halper, & Shear, 1992), STS영역에서의 부피 축소(Choi, Kim, Yu, Ha, Chang, Kim, et al., 2006)나 정상보다 높은 수준의 대사활동(Cottraux, Cerard, Cinotti, Froment, Deiber, LeBars, et al., 1996)은 자폐증이나 정신분열증과의 유사성을 암시한다. 최근의 연구(Kim, Blake, Park, Shin, Kang, & Kwon, 2008)에서 강박장애 환자들이 정상인에 비해 저조한 BM 변별 수행을 보이며, 또한 방해자극 속에서의 탐지 능력도 저하되어 있다는 결과가 보고되었다. 그러나 강박장애 환자들은 형태 지각이나 응집운동 탐

지에는 정상적인 수행을 보여, 자폐증이나 정신분열증에 비해 더욱 BM에 선택적인 지각장애를 보이는 것으로 나타났다. 이후의 fMRI 연구 (Jung, Gu, Kang, Park, Yoo, Choi, et al., 2009)는 강박장애 환자들의 BM 처리 기제에 대한 대략적인 가설을 제공한다. 이들의 연구에서 강박장애 환자들은 BM 자극을 주시하고 있을 때 우반구의 상측두(ST) 및 중측두(MT) 영역, 그리고 좌반구의 하측두(IT) 및 방추회(fusiform gyrus)영역에서 정상인보다 강한 반응을 보였다. 정상수준보다 강한 상측두피질(STC)의 반응은 Cottraux 등(1996)의 대사활동 연구 결과와도 일관된다. 반면 상측두영역으로부터 입력을 받는 두정엽의 후중심구회(postcentral gyrus)의 활동은 정상인에 비해 저조하였다. 즉, 강박장애 환자들은 BM자극을 처리함에 있어 운동 정보보다 형태 정보에 더 의존할 가능성이 있고 (하측두피질과 방추회의 활동), 형태 경로로부터의 강한 입력이 높은 수준의 STC활동을 유도할 가능성이 있다. 그러나 STC로부터 입력을 받는, 후중심구회를 포함하는 거울뉴런 체계의 기능 이상이 결과적으로 BM지각을 혼란시킬 수 있다는 것이다 (Jung et al., 2009).

서로 다른 임상적 증상 특징에도 불구하고 자폐증, 정신분열증, 그리고 강박장애 모두에서 BM지각장애가 관찰된다는 것은 이들의 기저에 공통적인 신경학적 문제가 있음을 보인다는 점에서 흥미로운 결과이며, 현재까지의 연구 결과들(Blake et al., 2003; Kim et al., 2005; 2008, 2011; Jung et al., 2009; Singh et al., 2011)은 STS영역이 관련 신경회로의 핵심적인 영역임을 시사한다. 그러나 이 세 유형의 정

신병리에서 BM지각장애의 세부적인 양상은 차이점을 보이기도 한다. 자폐증과 정신분열증의 경우에는 단지 BM지각의 문제 뿐 아니라 전반적인 시지각, 특히 운동지각의 장애도 보이는 반면, 강박장애에서는 BM자극에 선택적인 장애가 관찰된다. 이런 차이의 원인은 아직 밝혀지지 않았지만, ToM기능의 저하가 자폐증과 정신분열증의 뚜렷한 특징인 반면 강박장애에서는 확실하지 않다는 점도 고려해 볼 때, 외현적으로는 유사한 BM지각 장애라 하더라도 자폐증과 정신분열증간에는 공통적인 신경회로의 이상을 가정할 수 있고 이는 강박장애의 신경학적 이상과는 질적으로 다를 가능성이 있다. 따라서, 정신병리와 사회기능, 그리고 BM의 문제간의 관계를 이해하는 데는 아직 많은 후속 연구들이 필요하다. 예를 들어, pSTS의 기능적 이상에도 불구하고 정신분열증 환자들이 BM자극 처리를 전혀 못하는 것은 아니므로, 정상인과 차이를 보이는 pSTS의 기능을 보완해주는 신경학적 기제가 있는지에 대한 연구가 필요할 것이다. 자폐증 환자들을 대상으로 한 BM관련 뇌 기능의 연구 역시 미흡한 수준이며, 강박장애 환자들에 대한 연구(Jung et al., 2009)에서도 제안되듯이, 뇌 영역들 간의 기능적 연결에 대한 추가 연구가 이루어져야 BM자극 처리, 그리고 사회/정서적 반응간의 관계에 대해 보다 명확한 이해를 할 수 있을 것이다. 적어도 현재까지의 연구 결과만을 생각한다면, BM자극 처리에 장애를 보이는 사람은 일상생활에서의 사회지각 및 인지 능력도 저하되어 있다는 추론이 가능하며, 사회지각 및 인지에 관여하는 뇌 영역들과 BM지각에 관여하는 뇌 영역들이 거의

중복된다는 점에서 BM정보처리는 사회인지 기능의 지표적 특징(hallmark)이라고도 할 수 있을 것이다.

결론

이상으로, 생물형 운동(biological motion)지각의 특징과, 지각 기저의 신경학적 기반, 그리고 특히 사회적 기능의 문제점을 동반한 정신병리에서 관찰되는 BM지각 장애와 그 함의에 대해서 살펴보았다. 인간은 타인과의 사회적 상호작용 속에서 생활하고, 일상에서의 BM자극으로부터 의도와 정서 등을 읽어내는 능력은 적응과 생존에 필수적이다. 그러므로 BM지각의 연구는 단순히 시지각 영역에 머무는 주제가 아니라 사회인지, 그리고 임상 분야로도 확장될 수 있는 연구 주제라는 점에서 그 중요성을 강조할 수 있다. 같은 맥락에서, BM은 그 자체로 형태 정보, 국소 운동 정보, 전체 운동 정보 등을 포함한 종합적인 시각 자극인 동시에 정서, 의도, 의사소통 정보 등의 고위 사회인지 정보를 포함하는 사회적 시각 자극이기 때문에 우리 뇌의 기능적 연결성을 연구하는데 매우 유용하다. 따라서 향후 BM에 관한 연구는 본 개관에서 살펴본 기초 연구 및 정신병리 연구들에서 밝혀진 성과들을 기반으로, 다양한 실험 설계를 통한 반복 검증과, 뇌 영상 연구결과들과의 수렴과정을 거친 정교화 과정을 통해 일반인을 대상으로 한 사회인지, 사회적 기능의 측정, 그리고 정신병리의 제 증상 측정을 위한 진단도구의 개발 등으로도 응용 확장되어 나갈 수 있을 것이다. 본 논문을 마치면서 다음과 같은 가능한 후속

연구들을 제안하고자 한다.

다양한 BM자극을 이용한 일반화 최근 들어 인간의 다양한 동작 및, 두 사람 이상의 상호작용을 표현한 자극들을 이용한 BM연구들이 이루어지고 있으나, 제한된 시점에서의 ‘걷기’ 동작을 이용한 시지각 처리, 모델링, 신경학적 기제에 대한 연구가 아직까지 대다수이며, 정상인 참가자를 대상으로 한 경우 뇌의 관심 영역도 시각피질 주변에 한정되어 있다. 따라서 기존 결과들을 바탕으로 향후 보다 다양한 동작을 나타내는 자극들을 이용, BM처리의 상위 인지 과정 및 관련 뇌 영역의 기제에 대한 연구가 심도 있게 다루어져야 할 것이다.

자극의 분류 및 범주화에 대한 행동 및 뇌 영상 연구 위의 제안과 관련하여, 친숙한/친숙하지 않은 다양한 동작들이 지각적 수준에서 분류되어 처리되는지, 그렇다면 시각피질에서 측두 영역에 이르는 시각경로에서의 활동 차이가 관찰되는지에 대한 횡단/종단적 연구들은 BM지각 처리의 발달 과정에 대해 상세한 자료를 제공할 것이다. 측두엽의 청각 관련 기능은 음운(예: 바/다)차이에 따라 그 활동부위가 달라지는 것으로 알려져 있다. 자극 양상(modality)에 걸쳐, 시각적으로도 비슷한 현상이 관찰되는지에 대한 연구는 지각 과정과 상위 인지과정간의 연결 고리에 대한 신경학적 단서를 제공할 수 있다.

BM지각과 사회적 기능 척도간의 상관관계 연구 몇몇 연구들에서 사회적 기능 척도로 측정된 점수와 BM지각 수행 간의 상관관계를 보고하

였으나, 사용된 척도들은 그 정교함에서 다소 부족하다. 보다 높은 신뢰도와 타당도를 가진 척도들, 그리고 ‘Eyes-test¹⁾’(Baron-Cohen, Wheelwright, Hill, Raste, & Plumb, 2001)와 같은 시지각적 처리가 요구되는 사회기능 척도에서의 수행과 BM지각 간의 관계 연구는 정신병리 집단에서의 사회적 기능, 행동 기능과 관련하여 시지각 정보처리를 포함하는 진단 척도를 개발하는 것에도 응용이 될 수 있을 것이다.

다양한 정신병리 집단 대상의 연구 본 개관에서는 일부 정신병리 집단(자폐증, 정신분열증, 강박장애)에서의 BM지각의 문제점에 대한 연구들을 소개하였다. 이들 외의 다른 주요 병리 증상들에 대한 추가 연구를 통해 다양한 정신병리 증상들 간의 임상적 공통점 및 차이점들에 대한 정교한 경험적 증거들을 추가로 제공할 수 있을 것이다.

BM지각과 관련된 뇌 영역들 간의 기능적 연결성 최근 fMRI, DTI(Diffusion tensor imaging) 등 영상 기법의 빠른 발전과 더불어, 특정 뇌 영역의 활동을 탐지하는 것뿐 아니라, 과제에 관련된 영역들 간의 구조적, 기능적 연결성을 찾는 연구들이 활발해지고 있다. 앞서도 언급했듯이, 기초 시각정보뿐 아니라 상위의 인지

1) 정식 명칭은 “Reading the Mind in the Eyes Test”이다. ToM 능력을 측정하는 총 36문항의 검사로, 각 시행에서는 두 눈을 포함한 얼굴의 일부 사진과 함께 사진 주위에 4개의 단어가 제시된다. 피검사자는 사진을 보고 사진 속의 인물의 정서 상태를 가장 잘 표현한다고 생각되는 단어를 선택한다.

과정까지를 포괄하는 BM자극을 이용한 뇌 영역들 간의 기능적 연결성 탐색은 감각으로부터 행동으로 이어지는 종합적인 뇌 기능의 이해에 유용한 정보를 제공할 수 있을 것이다.

참고문헌

- Annaz, D., Remington, A., Milne, E., Coleman, M., Campbell, R., Thomas, M. S., & Swettenham, J. (2010). Development of motion processing in children with autism. *Developmental Science*, 13, 826-838.
- Atkinson, A. P. (2009). Impaired recognition of emotions from body movements is associated with elevated motion coherence threshold in autism spectrum disorders. *Neuropsychologia*, 47, 3023-3029.
- Baron-Cohen, S. (1991). Do people with autism understand what causes emotion? *Child Development*, 62, 385-395.
- Baron-Cohen, S. (1995). *Mindblindness: An essay on autism and theory of mind*. Cambridge, MA: Bradford/MIT press.
- Baron-Cohen, S., Wheelwright, S., Hill, J., Raste, Y., & Plumb, I. (2001). The "Reading the Mind in the Eyes" Test revised version: A study with normal adults, and adults with Asperger syndrome or high-functioning autism. *Journal of Child Psychology and Psychiatry, and Allied Disciplines*, 42, 241-251.
- Batelli, L., Cavanagh, P., & Thornton, I. M. (2003). Perception of biological motion in parietal patients. *Neuropsychologia*, 41, 1808-1816.
- Baxter, L. R. Jr., Phelps, M. E., Mazziotta, J. C., Guze, B. H., Schwartz, J. M., & Selin, C. E. (1987). Local cerebral glucose metabolic rates in obsessive-compulsive disorder. A comparison with rates in unipolar depression and in normal controls. *Archives of General Psychiatry*, 44, 211-218.
- Baxter, L. R. Jr., Schwartz, J. M., Mazziotta, J. C., Phelps, M. E., Pahl, J. J., Guze, B. H., & Fairbanks, L. (1988). Cerebral glucose metabolic rates in nondepressed patients with obsessive-compulsive disorder. *American Journal of Psychiatry*, 145, 1560-1563.
- Beauchamp, M. S., Lee, K. E., Haxby, J. V., & Martin, A. (2003). fMRI responses to video and point-light displays of moving humans and manipulatable objects. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 15, 991-1001.
- Beintema, J. A., Georg, K., & Lappe, M. (2006). Perception of biological motion from limited lifetime stimuli. *Perception and Psychophysics*, 68, 613-624.
- Beintema, J. A., & Lappe, M. (2002). Perception of biological motion without local image motion. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 99, 5661-5663.
- Bertenthal, B. I., & Pinto, J. (1994). Global processing of biological motions. *Psychological Science*, 5, 221-225.
- Benkelfat, C., Nordahl, T. E., Semple, W. E., King, A. C., Murphy, D. L., & Cohen, R. M.

- (1990). Local cerebral glucose metabolic rates in obsessive-compulsive disorder patients treated with clomipramine. *Archives of General Psychiatry*, 47, 840-848.
- Blake, R., & Shiffrar, M. (2007). Perception of human motion. *Annual Review of Psychology*, 58, 47-73.
- Blake, R., Turner, L. M., Smoski, M. J., Pozdel, S. L., & Stone, W. L. (2003). Visual recognition of biological motion is impaired in children with autism. *Psychological Science*, 14, 151-157.
- Bobick, A. F. (1997). Movement, activity and action: the role of knowledge in the perception of motion. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. B*, 352, 1257-1265.
- Bonda, E., Petrides, M., Ostry, D., & Evans, A. (1996). Specific involvement of human parietal systems and the amygdala in the perception of biological motion. *Journal of Neuroscience*, 16, 3737-3744.
- Brebion, G., Ohlsen, R. I., Pilowsky, L. S., & David, A. S. (2008). Visual hallucinations in schizophrenia: confusion between imagination and perception. *Neuropsychology*, 22, 383-389.
- Bruce, C., Desimone, R., & Gross, C. G. (1981). Visual properties of neurons in a polysensory area in superior temporal sulcus of the macaque. *Journal of Neurophysiology*, 46, 369-384.
- Brune, M. (2003). Theory of mind and the role of IQ in chronic disorganized schizophrenia. *Schizophrenia Research*, 60, 57-64.
- Bystritsky, A., Liberman, R. P., Hwang, S., Wallace, C. J., Vapnik, T., Mainment, K., & Saxena, S. (2001). Social functioning and quality of life comparisons between obsessive-compulsive and schizophrenic disorders. *Depression and Anxiety*, 14, 214-218.
- Bystritsky, A., Saxena, S., Mainment, K., Vapnik, T., Tarlow, G., & Rosen, R. (1999). Quality of life changes in treatment-resistant OCD. *Psychiatric Services*, 50, 412-413.
- Calvert, G. A., Bullmore, E. T., Brammer, M. J., Campbell, R., Williams, S. C. R., McGuire, P. K., Woodruff, P. W., Iversen, S. D., & David, A. S. (1997). Activation of auditory cortex during silent lipreading. *Science*, 276, 593-595.
- Calvo-Merino, B., Ehrenberg, S., Leung, D., & Haggard, P. (2010). Experts see it all: Configural effects in action observation. *Psychological Research*, 74, 400-406.
- Calvo-Merino, B., Glaser, D. E., Grezes, J., Passingham, R. E., & Haggard, P. (2005). Action observation and acquired motor skills: An fMRI study with expert dancers. *Cerebral Cortex*, 15, 1243-1249.
- Castelli, F., Frith, C., Happe, F., & Frith, U. (2002). Autism, Asperger syndrome and brain mechanisms for the attribution. *Brain*, 125(Pt 8), 1839-4.
- Cavanagh, P. (1991). Short-range vs long-range motion: not a valid distinction. *Spatial Vision*, 5, 303-309.

- Cavanagh, P., Labianca, A., & Thornton, I. M. (2001). Attention-based visual routines: Sprites. *Cognition, 80*, 47-60.
- Chang, D. H. F., & Troje, N. F. (2009). Characterizing global and local mechanisms in biological motion perception. *Journal of Vision, 9*(5):8, 1-10.
- Chatterjee, S. H., Freyd, J. J., & Shiffrar, M. (1996). Cnofigural processing in the perception of apparent biological motion. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 22*, 916-929.
- Chen, Y., Levy, D. L., Sheremata, S., & Holzman, P. S. (2004). Compromised late-stage motion processing in schizophrenia. *Biological Psychiatry, 55*, 834-841.
- Chen, Y., Norton, D., & Ongur, D. (2008). Altered center-surround motion inhibition in schizophrenia. *Biological Psychiatry, 64*, 74-77.
- Chen, Y., Palafox, G. P., Nakayama, K., Levy, D. L., Mathysse, S., & Holzman, P. S. (1999). Motion perception in schizophrenia. *Archives of General Psychiatry, 56*, 149-154.
- Chen, Y., Nakayama, K., Levy, D., Mathysse, S., & Holzman, P. S. (2003). Processing of global, but not local, motion direction is deficient in schizophrenia. *Schizophrenia Research, 61*, 215-227.
- Chen, Y., Bidwell, L. C., & Holzman, P. S. (2005). Visual motion integration in schizophrenia patients, their first-degree relatives, and patients with bipolar disorder. *Schizophrenia Research, 74*, 271-281.
- Choi, J. S., Kim, H., Yu, S. Y., Ha, T. H., Chang, J. H., Kim, Y. Y., Shin, Y. W., & Kwon, J. S. (2006). Morphometric alternations of anterior superior temporal cortex in obsessive-compulsive disorder. *Depression and Anxiety, 23*, 290-296.
- Clementz, B. A., Farber, R. H., Lam, M. N., & Swerdlow, N. R. (1996). Ocular motor responses to unpredictable and predictable smooth pursuit stimuli among patients with obsessive-compulsive disorder. *Journal of Psychiatry and Neuroscience, 2*, 21-28.
- Corcoran, R., Mercer, G., & Frith, C. D. (1995). Schizophrenia, symptomatology and social inference: investigating "theory of mind" in people with schizophrenia. *Schizophrenia Research, 17*, 5-13.
- Cottraux, J., Cerard, D., Cinotti, L., Froment, J. C., Deiber, M. P., LeBars, D., Galy, G., Millet, P., Labbe, C., Lavenne, F., Bouvard, M., & Mauguiere, F. (1996). A controlled positron emission tomography study of obsessive and neutral auditory stimulation in obsessive-compulsive disorder with checking rituals. *Psychiatry Research, 60*, 101-112.
- Coway, A., & Vaina, L. M. (2000). Blindness to form from motion despite intact static form perception and motion detection. *Neuropsychologia, 38*, 566-578.
- Cutting, J. E., & Kozlowski, L. T. (1977). Recognition of friends by their walk: gait perception without familiarity cues. *Bulletin of the Psychonomic Society, 9*, 353-356.

- Cutting, J. E., Moore, C., & Mossison, R. (1988). Masking the motions of human gait. *Perception and Psychophysics*, 44, 339-347.
- Dittrich, W. (1993). Action categories and the perception of biological motion. *Perception*, 22, 15-22.
- Dittrich, W. H., Troscianko, T., Lea S. E. G., & Morgan, D. (1996). Perception of emotion from dynamic point-light displays represented in dance. *Perception*, 25, 727-738.
- Downing, P., Jiang, Y., Shuman, M., & Kanwisher, N. (2001). A cortical area selective for visual processing of the human body. *Science*, 293, 2470-2473.
- Edwards, J., Pattison, P. E., Jackson, H. J., & Wales, R. J. (2001). Facial affect and affective prosody recognition in first-episode schizophrenia. *Schizophrenia Research*, 48, 235-53.
- Fox, R., & McDaniel, C. (1982). The perception of biological motion by human infants. *Science*, 218, 486-487.
- Frith, C. D., & Corcoran, R. (1996). Exploring "theory of mind" in people with schizophrenia. *Psychological Medicine*, 26, 521-530.
- Frith, C. D., & Frith, U. (1999). Interacting minds - A biological basis. *Science*, 286, 1692-1695.
- Gaebel, W., & Wolwer, W. (1992). Facial expression and emotinoal face recognition in schizophrenia and depression. *European Archives of Psychiatry and Clinical Neuroscience*, 242, 46-52.
- Gallagher, H. L., Happe, 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.
- Garcia, J. O., & Grossman, E. D. (2008). Necessary but not sufficient: Motion perception is required for perceiving biological motion. *Vision Research*, 48, 1144-1149.
- Giese, M. A., & Poggio, T. (2003). Neural mechanisms for the recognition of biological movements. *Nature Reviews Neuroscience*, 4, 179-192.
- Gilmore, G. C., Wenk, H. E., Baylor, L. A., & Stuve, T. A. (1992). Motion perception and aging. *Psychology and Aging*, 7, 654-670.
- Gilaie-Dotan, S., Bentin, S., Harel, M., Rees, G., & Saygin, A. P. (2011). Normal form from biological motion despite impaired ventral stream function. *Neuropsychologia*, 49, 1033-1043.
- Grady, C. L., & Keightley, M. L. (2002). Studies of altered social cognition in neuropsychiatric disorders using functional neuroimaging. *Canadian Journal of Psychiatry*, 47, 327-336.
- Grafton, S. T., Arbib, M. A., & Rizzolatti, G. (1996). Localization of grasp representation in humans by positron emission tomography: 2. Observation compared with imagination. *Experimental Brain Research*, 112, 103-111.
- Green, M. F., Nuechterlein, K. H., & Mintz, J. (1994a). Backward masking in schizophrenia and mania: I. Specifying a mechanism.

- Archives of General Psychiatry*, 51, 939-944.
- Green, M. F., Nuechterlein, K. H., & Mintz, J. (1994b). Backward masking in schizophrenia and mania: II. Specifying the visual channels. *Archives of General Psychiatry*, 51, 945-951.
- Grezes, J., Costes, N., & Decety, J. (1998). Top-down effect of strategy on the perception of human biological motion: a PET investigation. *Cognitive Neuropsychology*, 15, 553-582.
- Grezes, J., Fonlupt, P., Bertenthal, B., Delon-Martin, C., Segebarth, C., & Decety, J. (2001). Does perception of biological motion rely on specific brain regions? *Neuroimage*, 13, 775-785.
- Grossman, E. D., Battelli, L. & Pascual-Leone, A. (2005). Repetitive TMS over posterior STS disrupts perception biological motion. *Vision Research*, 45, 2847-2853.
- Grossman, E. D., & Blake, R. (2001). Brain activity evoked by inverted and imagined biological motion. *Vision Research*, 41, 1475-1482
- Grossman, E. & Blake, R. (2002). Brain Areas Active during Visual Perception of Biological Motion. *Neuron*, 35, 1157-1165.
- Grossman, E. D., Blake, R. & Kim, C-Y. (2004) Learning to see biological motion: Brain activity parallels. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 16, 1669-1679.
- Grossman, E., Donnelly, M., Price, R., Pickens, D., Morgan, V., Neighbor, G., & Blake, R. (2000). Brain areas involved in perception of biological motion. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 12, 711-720.
- Grossman, E. D., Jardine, N. L., & Pyles, J. A. (2010). fMR-adaptation reveals invariant coding of biological motion on the human STS. *Frontiers in Human Neuroscience*, 4, 1-17.
- Hirai, M., & Kakigi, R. (2009). Differential orientation effect in the neural response to interacting biological motion of two agents. *BMC Neuroscience*, 10:39.
- Hiris, E., Krebeck, A., Edmonds, J., & Stout, A. (2005). What learning to see arbitrary motion tells us about biological motion perception. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance* 31, 1096-1106.
- 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.
- Howard, R. J., Brammer, M., Wright, I., Woodruff, P. W., Bullmore, E. T., & Zeki, S. (1996). A direct demonstration of functional specialization within motion-related visual and auditory cortex of the human brain. *Current Biology*, 6, 1015-1019.
- Hubel, D. H., & Wiesel, T. N. (1962). Receptive fields, binocular interaction and functional architecture in the cat's visual cortex. *Journal of Physiology*, 160, 106-154.
- Hubert, B., Wicker, B., Moore, D. G., Monfardini, E., Duverger, H., Da Fonseca, D., & Deruelle, C. (2007). Brief report: recognition of emotional and non-emotional biological

- motion in individuals with autistic spectrum disorders. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 37, 1386-1392.
- Insel, T. R. (1992). Toward a neuroanatomy of obsessive-compulsive disorder. *Archives of General Psychiatry*, 49, 739-744.
- Jacobs, A., Pinto, J., & Shiffrar, M. (2004). Experience, context and the visual perception of human movement. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 30, 1-14.
- Jackson, S. & Blake, R. (2010). Neural integration of information specifying human structure from form, motion and depth. *Journal of Neuroscience*, 30, 838-848.
- Jastorff, J., Kourtzi, Z., & Giese, M. A. (2009). Visual learning shapes the processing of complex movement stimuli in the human brain. *Journal of Neuroscience*, 29, 14026-14038.
- Johansson, G. (1973). Visual perception of biological motion and a model for its analysis. *Perception and Psychophysics*, 14, 201-211.
- Jokisch, D., Troje, N. F., Koch, B., Schwartz, M., & Daum, I. (2005). Differential involvement of the cerebellum in biological and coherent motion perception. *European Journal of Neuroscience*, 21, 3439-3446.
- Jung, W. H., Gu, B. M., Kang, D. H., Park, J. Y., Yoo, S. Y., Choi, C. H., Lee, J. M., & Kwon, J. S. (2009). BOLD response during visual perception of biological motion in obsessive-compulsive disorder: an fMRI study using the dynamic point-light animation paradigm. *European Archives of Psychiatry and Clinical Neuroscience*, 259, 46-54.
- Kaiser, M. D., Hudac, C. M., Shultz, S., Lee, S. M., Cheung, C., Berken, A. M., Deen, B., Pitskel, N. B., Sugrue, D. R. Voos, A. C., et al. (2010). Neural signatures of autism. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 107, 21223-21228.
- Kang, D. H., Kim, J. J., Choi, J. S., Kim, Y. I., Kim, C. W., Youn, T., Han, M. H., Chang, K. H., & Kwon, J. S. (2004). Volumetric investigation of the frontal-subcortical circuitry in patients with obsessive-compulsive disorder. *Journal of Neuropsychiatry and Clinical Neuroscience*, 16, 342-349.
- Kim, J., Blake, R., Park, S., Shin, Y. W., Kang, D. H., & Kwon, J. S. (2008). Selective impairment in visual perception of biological motion in obsessive-compulsive disorder. *Depression and Anxiety*, 25:E15-E25.
- Kim, J., Doop, M. L., Blake, R., & Park, S. (2005). Impaired visual recognition of biological motion in schizophrenia. *Schizophrenia Research*, 77, 299-307.
- Kim, J., Park, S., & Blake, R. (2011). Perception of biological motion in schizophrenia and healthy individuals: A behavioral and fMRI study. *PLoS ONE* 6:e19971.
- Klin, A., & Jones, W. (2008). Altered face scanning and impaired recognition of biological motion in a 15-month-old infant with autism. *Developmental Science*, 11, 40-46.

- Klin, A., Lin, D. J., Gorrindo, P., Ramsay, G., & Jones, W. (2009). Two-year-olds with autism orient to non-social contingencies rather than biological motion. *Nature*, 459, 257-261.
- Kohler, C. G., Bilker, W., Hagendoorn, M., Gur, R. E. & Gur, R. C. (2000). Emotion recognition deficit in schizophrenia: association with symptomatology and cognition. *Biological Psychiatry*, 48, 127-136.
- Kourtzi, Z., & Kanwisher, N. (2000). Activation in human MT/MST by static images with implied motion. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 12, 48-55.
- Lange, J., & Lappe, M. (2006). A model of biological motion perception from configural form cues. *Journal of Neuroscience*, 26, 2894-2906.
- Lange, J., & Lappe, M. (2007). The role of spatial and temporal information in biological motion perception. *Advances in Cognitive Psychology*, 3, 419-428.
- Lencer, R., Trillenber, P., Trillenber-Krecker, K., Junghanns, K., Kordon, A., Broocks, A., Hohagen, F., Heide, W., & Arolt, V. (2004). Smooth pursuit deficits in schizophrenia, affective disorder and obsessive-compulsive disorder. *Psychological Medicine*, 34, 451-460.
- Li, C. S. (2002). Impaired detection of visual motion in schizophrenia patients. *Progress in Neuropsychopharmacology and Biological Psychiatry*, 26, 929-934.
- Loula, F., Prasad, S., Harber, K., & Shiffrar, M. (2005). Recognizing people from their movement. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance* 31, 210-220.
- Lu, H. (2010). Structural processing in biological motion perception. *Journal of Vision* 10(12):13, 1-13.
- MacArthur, L. Z., & Baron, M. K. (1983). Toward an ecological theory of social perception. *Psychological Review*, 90, 215-238.
- Manera, V., Becchio, C., Shouten, B., Bara, B. G., & Verfaillie, K. (2011). Communicative interactions improve visual detection of biological motion. *PLoS ONE* 6(1):e14594.
- Marr, D., & Vaina, L. (1982). Representation and recognition of the movements of shape. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B*, 214, 501-524.
- Mather, G., Radford, K., & West, S. (1992). Low level visual processing of biological motion. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B, Containing Papers of a Biological character. Royal Society (Great Britain)*, 249, 149-155.
- McGuire, P. K., Bench, C. J., Frith, C. D., Marks, I. M., Frackowiak, R. S., Dolan, R. J. (1994). Functional neuroanatomy of obsessive-compulsive phenomena. *British Journal of Psychiatry*, 164, 459-468.
- McLeod, P., Dittrich, W., Driver, J., Perrett, D., & Zihl, J. (1996). Preserved and impaired detection of structure from motion by a 'motion blind' patient. *Visual Cognition*, 3, 363-391.
- Michels, L., Kleiser, R., de Lussanet M. H. E., Seitz, R. J., & Lappe, M. (2009). Brain

- activity for peripheral biological motion in the posterior superior temporal gyrus and the fusiform gyrus: Dependence on visual hemifield and view orientation. *NeuroImage*, 45, 151-159.
- Michels, L., Lappe, M., & Vaina, L. M. (2005). Visual areas involved in the perception of movement from dynamic form analysis. *NeuroReport*, 16, 1037-1041.
- Milne, E., Swettenham, J., Hansen, P., Campbell, R., Jeffries, H., & Plaisted, K. (2002). High motion coherence thresholds in children with autism. *Journal of Child Psychology and Psychiatry and Allied Disciplines*, 43, 255-263.
- Milner, A. D., & Goodale, M. A. (1993). A visual pathways to perception and action. *Progress of Brain Research*, 95, 317-337.
- Mitkin, A. A., & Pavlova, M. A. (1990). Changing a natural orientation: recognition of biological motion pattern by children and adults. *Psychologische Beitrage*, 32, 28-35.
- Moore, D. G., Hobson, R. P., & Lee, A. (1997). Components of person perception: an investigation with autistic, non-autistic retarded and typically developing children and adolescents. *British Journal of Developmental Psychology*, 15, 401-423.
- Muthukumaraswamy, S. D., Johnson, B. W., McNair, N. A. (2004). Mu rhythm modulation during observation of an object-directed grasp. *Cognitive Brain Research*, 19, 195-201.
- Neri, P., Morrone, C., & Burr, D. (1998). Seeing biological motion. *Nature*, 395, 894-896.
- Neri, P., Luu, J. Y., & Levi, D. M. (2006). Meaningful interactions can enhance visual discrimination of human agents. *Nature Neuroscience*, 9, 1186-1192.
- Neville, H. J., Bavelier, D., Corina, D., Rauschecker, J., Karni, A., Lalwani, A., Braun, A., Clark, V., Jezzard, P., & Turner, R. (1998). Cerebral organization for language in deaf and hearing subjects: biological constraints and effects of experience. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 95, 922-929.
- Norman, J. F., Payton, S. M., Long, J. R., & Hawkes, L. M. (2004). Aging and perception of biological motion. *Psychology and Aging*, 19, 219-225.
- Norman, J. F., Ross, H. E., Hawkes, L. M., & Long, J. R. (2003). Aging and the perception of speed. *Perception*, 32, 85-96.
- Oram, M., & Perrett, D. (1994). Responses of anterior superior temporal polysensory (STPa) neurons to 'biological motion' stimuli. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 6, 99-116.
- O'Rourke, J., & Badler, N. (1980). Model-based image analysis of human motion using constraint propagation. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2, 522-536.
- Park, S., & Holzman, P. S. (1992). Schizophrenics show spatial working memory deficits. *Archives of General Psychiatry*, 49, 975-982.
- Park, S., & Holzman, P. S. (1993). Association of

- working memory deficit and eye tracking dysfunction in schizophrenia. *Schizophrenia Research*, 11, 55-61.
- Parron, C., Da Fonseca, D., Santos, A., Moore, D. G., Monfardini, E., & Deruelle, C. (2008). Recognition of biological motion in children with autistic spectrum disorders. *Autism*, 12, 2161-2274.
- Pavlova, M., & Sokolov, A. (2000). Orientation specificity in biological motion perception. *Perception and Psychophysics*, 62, 889-899.
- Pavlova, M., & Sokolov, A. (2003). Prior knowledge about display inversion in biological motion perception. *Perception*, 32, 937-946.
- Peelen, M. V., & Downing, P. E. (2005). Selectivity for the human body in the fusiform gyrus. *Journal of Neurophysiology*, 93, 603-608.
- Peelen, M. V., Wiggett, A. J., & Downing, P. E. (2006). Patterns of fMRI activity dissociate overlapping functional brain areas that respond to biological motion. *Neuron*, 49, 815-822.
- Pelphrey, K. A., Mitchell, T. V., McKeown, M. J., Goldstein, J., Allison, T., & McCarthy, G. (2003). Brain activity evoked by the perception of human walking: controlling for meaningful coherent motion. *Journal of Neuroscience*, 23, 6819-6825.
- Pelphrey, K. A., Morris, J. P., Michelich, C. R., Allison, T., & McCarthy, G. (2005). Functional anatomy of biological motion perception in posterior temporal cortex: an fMRI study of eye, mouth, and hand movements. *Cerebral Cortex*, 15, 1866-1876.
- Perrett, D. I., Rolls, E. T., & Caan, W. (1982). Visual neurons responsive to faces in the monkey temporal cortex. *Experimental Brain Research*, 47, 329-342.
- Perrett, D. I., Smith, P., Mistlin, A., Chitty, A., Head, A., Potter, D. D., Broennimann, R., Milner, A. D., & Jeeves, M. A. (1985). Visual analysis of body movements by neurons in the temporal cortex of the macaque monkey: a preliminary report. *Behavior and Brain Research*, 16, 153-170.
- Peuskens, H., Vanrie, J., Verfaillie, K., & Orban, G. A. (2005). Specificity of regions processing biological motion. *European Journal of Neuroscience*, 21, 2864-2875.
- Pfurtscheller, G., Bruner, C., Schlogl, A., Lopes da Silva, F. H. (2006). Mu rhythm (de)synchronization and EEG single-trial classification of different motor imagery tasks. *Neuroimage*, 31, 153-159.
- Phillips, M. L., & David, A. S. (1997). Viewing strategies for simple and chimeric faces: An investigation of perceptual bias in normals and schizophrenic patients using visual scan paths. *Brain and Cognition*, 35, 225-238.
- Pilz, K. S., Bennett, P. J., & Sekuler, A. B. (2010). Effects of aging on biological motion discrimination. *Vision Research*, 50, 211-219.
- Puce, A., & Allison, T. (1999). Differential processing of mobile and static faces by temporal cortex. *NeuroImage*, 9, 5801.
- 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.
- Reed, C. L., Stone, V. E., Bozova, S., & Tanaka, J. (2003). The body-inversion effect. *Psychological Science*, 14, 302-308.
- Riesenhuber, M., & Poggio, T. (1999). Hierarchical models of object recognition. *Nature Neuroscience*, 2, 1019-1025.
- Rizzolatti, G., Fadiga, L., Matelli, M., Bettinardi, V., Paulesu, E., Perani, D., & Fazio, F. (1996). Localization of grasp representation in humans by positron emission tomography: 1. Observation versus execution. *Experimental Brain Research*, 111, 246-252.
- Rizzolatti G, & Craighero L. (2004). The mirror-neuron system. *Annual Review of Neuroscience*. 27, 169-92
- Rizzolatti, G., Fogassi, L., & Gallese, V. (2001). Neurophysiological mechanisms underlying the understanding and imitation of action. *Nature Reviews Neuroscience*, 2, 661-670.
- Rolls, E. T., & Milward, T. A. (2000). A model of invariant object recognition in the visual system: learning rules, activation functions, lateral inhibition, and information-based performance measures. *Neural Computation*, 12, 2547-2572.
- Santi, A., Servos, P., Vatikiotis-Bateson, E., Kuratate, T., & Munhall, K. (2003). Perceiving biological dissociating visible speech from walking. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 15, 800-809.
- Savage, C. R., Baer, L., Keuthen, N. J., Brown, H. D., Rauch, S. L., & Jenike, M. A. (1999). Organizational strategies mediate nonverbal memory impairment in obsessive-compulsive disorder. *Biological Psychiatry*, 45, 905-916.
- Saygin, A. P., Wilson, S. M., Hagler, D. J. Jr., Bates, E., & Sereno, M. I. (2004). Point-light biological perception activates human premotor cortex. *Journal of Neuroscience*, 24, 6181-6188.
- Schenk, T., & Zihl, J. (1997a). Visual motion perception after brain damage: I. Deficits in global motion perception. *Neuropsychologia*, 35, 1285-1297.
- Schenk, T., & Zihl, J. (1997b). Visual motion perception after brain damage: II. Deficits in form-from-motion perception. *Neuropsychologia*, 35, 1299-1310.
- Sekuler, R., Hutman, L. P., & Owsley, C. J. (1980). Human aging and spatial vision. *Science*, 209, 1255-1256.
- Senior, C., Barnes, J., Giampietro, V., Simmons, A., Bullmore, E. T., Brammer, M., & Davis, A. S. (2000). The functional neuroanatomy of implicit-motion perception or 'representational momentum'. *Current Biology*, 10, 16-22.
- Servos, P., Osu, R., Santi, A., & Kawato, M. (2002). The neural substrates of biological motion perception: an fMRI study. *Cerebral Cortex*, 12, 772-782.
- Shenton, M. E., Kikinis, R., Jolesz, F. A., Pollak, S. D., LeMay, M., Wible, C. G., Hokama, H., Martin, B. S., Metcalf, D., Coleman, M.,

- & McCarley, R. W. (1992). Abnormalities of the left temporal lobe and thought disorder in schizophrenia. A quantitative magnetic resonance imaging study. *The New England Journal of Medicine*, 327, 604-612.
- Shiffar, M., Lichtey, L., Heptulla & Chatterjee, S. (1997). The perception of biological motion across apertures. *Perception & Psychophysics*, 59, 51-59.
- Singh, F., Pineda, J., & Cadenhead, K. S. (2011). Association of impaired EEG mu wave suppression, negative symptoms and social functioning in biological motion processing in first episode of psychosis. *Schizophrenia Research*, 130, 182-186.
- Sokolov, A. A., Erb, M., Gharabaghi, A., Grodd, W., Tatagiba, M. S., & Pavlova, M. A. (2012). Biological motion processing: The left cerebellum communicates with the right superior temporal sulcus. *NeuroImage*, 59, 2824-2830
- Spencer, J., O'Brien, J., Riggs, K., Braddick, O., Atkinson, J., & Wattam-Bell, J. (2000). Motion processing in autism: Evidence for a dorsal stream deficiency. *NeuroReport*, 11, 2765-2767.
- Stuve, T. A., Friedman, L., Jesberger, J. A., Gilmore, G. C., Strauss, M. E., & Meltzer, H. Y. (1997). The relationship between smooth pursuit performance, motion perception and sustained visual attention in patients with schizophrenia and normal controls. *Psychological Medicine*, 27, 143-152.
- Sumi, S. (1984). Upside-down presentation of the Johansson moving light-spot pattern. *Perception*, 13, 283-286.
- Swedo, S. E., Schapiro, M. B., Grady, C. L., Cheslow, D. L., Leonard, H. L., Kumar, A., Friedland, R., Rapaport, S. I., & Rapaport, J. L. (1989). Cerebral glucose metabolism in childhood-onset obsessive-compulsive disorder. *Archives of General Psychiatry*, 46, 518-523.
- Sweeney, J. A., Palumbo, D. R., Halper, J. P., Shear, M. K. (1992). Pursuit eye movement dysfunction in obsessive compulsive disorder. *Psychiatry Research*, 42, 1-11.
- Tadin, D., Kim, J., Doop, M.L., Gibson, C., Lappin, J. S., Blake, R., & Park, S. (2006). Weakened center-surround interactions in visual motion processing in schizophrenia. *Journal of Neuroscience*, 26, 11403-11412.
- Theusner, S., de Lussanet, M. H. E., & Lappe, M. (2011). Adaptation to biological motion leads to a motion and a form aftereffect. *Attention, Perception and Psychophysics*, 73, 1843-1855.
- Thirkettle, M., Benton, C. P., & Scott-Samuel, N. E. (2009). Contributions of form, motion and task to biological motion perception. *Journal of Vision* 9(3):28, 1-11.
- Thompson, J. C., Clarke, M., Stewart, T., & Puce, A. (2005). Configural processing of biological human superior temporal sulcus. *Journal of Neuroscience*, 25, 9059-9066.
- Thornton, I. M., Pinto, J., Shiffar, M. (1998). The visual perception of human locomotion. *Cognitive Neuropsychology*, 15, 535-552.

- Thornton, I. M., & Rensink, R. A. (2002). Active versus passive processing of biological motion. *Perception, 31*, 837-853.
- Thurman, S. M., Giese, M. A., & Grossman, E. D. (2010). Perceptual and computational analysis of critical features for biological motion. *Journal of Vision, 10*(12):15, 1-14.
- Todd, J. T. (1993). Perception of gait. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 9*, 31-42.
- Troje, N. F. (2003). Reference frames for orientation anisotropies in face recognition and biological-motion perception. *Perception, 32*, 201-210.
- Troje, N. F. (2008). Biological motion perception. In A. Basbaum, et al. (Eds.), *The senses: A comprehensive reference* (pp.231-238). Oxford: Elsevier.
- Troje, N. F., & Westhoff, C. (2006). The inversion effect in biological motion perception: Evidence for a "life detector"? *Current Biology, 16*, 821-824.
- Ungerleider, L. G., Haxby, J. V. (1994). 'What' and 'where' in the human brain. *Current Opinion in Neurobiology, 4*, 157-165.
- Ungerleider, L. G., Mishikin, M. (1982). in *Analysis of Visual Behavior* (eds Ingle, D. J., Goodale, M. A., and Mansfield, R. J. W.), 549-586 (MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 1982).
- Vaina, L. M., & Gross, C. G. (2004). Perceptual deficits in patients with impaired recognition of biological motion after temporal lobe lesions. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 101*, 16947-16951.
- Vaina, L. M., Le May, M., Bienfang, D. C., Choi, A. Y., & Nakayama, K.(1990). Intact 'biological motion' and 'structure from motion' perception in a patient with impaired motion mechanisms: a case study. *Visual Neuroscience, 5*, 353-69.
- Vaina, L. M., Solomon, J., Chowdhury, S., Sinha, P., & Belliveau, J. W. (2001). Functional neuroanatomy of biological motion perception in humans. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 98*, 11656-11661.
- van Boxtel, J. J. A., & Lu, H. (2011). Visual search by action category. *Journal of Vision, 11*(7):19, 1-14.
- Wheaton, K. J., Thompson, J., Syneniotis, A., Abbott, D., & Puce, A. (2004). Viewing the motion of human body parts activates different regions of premotor, temporal, and parietal cortex. *NeuroImage, 22*, 277-88.
- Wicker, B., Michel, F., Henaff, M. A., & Decety, J. (1998). Brain regions in-in the perception of gaze: A PET study. *NeuroImage, 8*, 221-227.
- Williams, L. M., Loughland, C. M., Gordon, E., & Davidson, D. (1999). Visual scanpaths in schizophrenia: is there a deficit in face recognition? *Schizophrenia Research, 40*, 189-199.
- Yoon, J. M. D., & Johnson, S. C. (2009).

Biological motion displays elicit social behavior in 12-month-olds. *Child Development*, 80, 1069-1075.

1 차원고접수 : 2012. 9. 13

최종게재결정 : 2012. 10. 5

Zigler & Levine (1981). Premorbid competence in schizophrenia: what is being measured? *Journal of Consulting and Clinical Psychology*, 49, 96-105.

Biological Motion: Perceptual Processing, Neural Mechanisms and Clinical Application

Jejoong Kim

Duksung Women's University

The human visual system is extremely sensitive to motion stimuli. Especially when motion signals carry complex movements generated by animals or humans, most people are readily capable of extracting information of perceptual, psychological, and even social implications. Therefore, the visual recognition of such 'biological motion' is not only crucial for survival, but also important for developing social skills and adaptive behaviors. Considering this importance, several past studies have revealed some unique characteristics of biological motion stimuli, perceptual processing of biological motion and its underlying neural mechanisms using various psychophysical methods and brain-imaging techniques. More recent studies expanded this issue to examine people with mental illness exhibiting social dysfunctions, raising the question of whether biological motion perception could serve as an endophenotypic marker of impaired social cognition. This article reviews those advances and suggests possible future investigations and clinical application.

Key words : *Biological motion, Visual perception, Point-light display, Posterior superior temporal sulcus (pSTS), Psychopathology, Social functioning*