

선조의 신체 영역에서 도구 행동유도성과 행위 주체감의 상호작용*

김 효 정 박 정 호 이 도 준[†]
연세대학교 심리학과

우리가 타인과 상호작용하거나 물체를 사용하는 동안 뇌에서는 신체 이미지를 추적하고 행위의 주체를 파악하려는 신경 정보처리가 끊임없이 이루어진다. 선조의 시각 피질(Extrastriate Body Area, EBA)은 신체에 관한 시각 입력과 우리 자신의 움직임에 관한 내적 신호들을 통합하여 행위 주체감(sense of agency) 생성을 위한 초기 신경 표상을 제공한다. 그러나 이러한 과정에서 물체의 기능적 특성이 행위 주체에 따라서 어떻게 반영되는지 알려진 바는 거의 없다. 이에 본 연구는 기능성 자기공명 영상 기법을 활용하여 자신 또는 타인이 도구를 사용하는 장면을 참가자들이 상상할 때 도구의 행동유도성(affordance)이 EBA의 신경 반응에 끼치는 영향을 관찰하였다. 각 시행에서 참가자들은 신체를 향해 사용하는 도구(예, 망원경)나 신체 바깥 방향으로 사용하는 도구(예, 주사위)를 제시받았다. 이 때, 도구를 둘러싼 사각형 테두리의 색깔에 따라서 참가자들은 자신 혹은 타인이 그 도구를 사용한다고 상상하였다. 실험 결과, 우반구 EBA는 참가자가 '자신'의 행위를 상상할 때 바깥 방향 도구 조건보다 신체 방향 도구 조건에서 더 많이 활성화되었으나, 참가자가 '타인'의 행위를 상상할 때는 도구의 사용 방향으로 부터 영향을 받지 않았다. 후속 검사에 따르면 자신 조건과 타인 조건에서 각각 상상하는 동안 참가자가 느낀 생동감의 차이는 없었다. 이러한 결과는 EBA가 도구의 행동유도성 정보를 신체 도식에 반영함으로써 행위 주체감을 향상시키고 우리 자신의 행동을 안내하는 데 기여하고 있음을 시사한다.

주제어 : 선조의 신체 영역, 행위 주체감, 신체 이미지, 도구 행동유도성, fMRI

* 이 연구는 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단 뇌과학원천기술 개발사업의 지원을 받아 수행되었음(No.2010-0018949).

[†] 교신저자: 이도준, 연세대학교 심리학과, (120-749) 서울시 서대문구 연세로 50
E-mail: dojoon.yi@yonsei.ac.kr

자신의 신체 이미지를 유지하고 변화를 추적하는 것은 움직이는 유기체가 갖추어야 할 중요한 정보처리 기능이다. 내가 지금 심하게 목이 마르고 마침 앞에 물이 담긴 컵이 놓여있다 해도, 내 손과 입과 컵의 위치를 정확하게 파악하지 못하면 물 마시기처럼 단순한 일도 지극히 어려운 행위가 될 수 있다. 이러한 상황은 주변에 다른 사람이 있을 때 더욱 복잡해진다. 오른 손이 컵의 손잡이를 향해 다가가는 장면이 나의 시각 체계로 입력이 되었을 때, 그 행위의 주체가 누구인지 제대로 파악하지 못하면 난처한 상황에 빠질 수 있다. 내가 행위의 주체라면 입력된 시각 정보는 피드백 신호로써 이후의 행위(예, 컵을 입으로 이동하기)를 정확하게 안내하는 데 활용될 것이다. 이에 비해, 타인이 행위의 주체라면 그 사람의 심적 상태와 의도(예, ‘그는 목이 마르다’)를 추론하게 될 것이다. 이처럼 신체와 신체, 신체와 도구 간의 역동적인 관계를 기반으로 우리는 스스로의 행동을 조율하고 타인의 행동에서 사회적 의미와 의도를 추출하기 때문에 신체와 행위의 지각 과정을 이해하는 것은 신경과학의 중요한 연구 주제가 된다[1, 2].

사회적 상호작용에서 입력되는 여러 신체 관련 정보들을 성공적으로 처리하기 위한 첫 단계는 행동을 통해 변화하는 신체 표상을 끊임없이 갱신하고 나의 신체와 타인의 신체에서 유발된 정보를 구분하여 지각하는 것이다[3]. 정상인의 일상생활에서 이러한 과정은 지극히 쉽게 이루어지지만, 복잡한 감각 신호에서 행위 관련 정보를 분리해 내고 그 정보를 적절한 행위자에게 귀인하는 과정은 정교화된 기계가 존재하지 않으면 모호해질 수 있다[4, 5]. 우선, 행위에서 유발되는 운동 정보는 정밀하게 모니터링되지 못하기 때문에 그 자체로는 모호한 정보이다. 행위 관련 신호는 의식적으로 접근하기 어렵고 시각 정보에 의해서 쉽게 왜곡된다. 가령, 인위적으로 왜곡된 시각적 피드백을 제공하면 사람들은 이를 보정하는 방향으로 운동 편향을 보이지만, 이를 의식적으로 깨닫지는 못한다[6]. 게다가 자기 자신의 행동과 관찰된 다른 사람의 행동은 뇌의 운동 표상 영역을 부분적으로 공유한다[7, 8]. 이러한 공유된 운동 표상 덕분에 타인의 의도를 이해할 수 있지만, 이 처리 과정이 적절한 행위 이해를 이끌어내기 위해서는 운동 신호의 주체를 분리하는 과정이 반드시 필요하다[9-11].

나에게 속한 신체 부위들을 인식하고(신체 소유감, *sense of body-ownership*) 어떤 행위가 나의 신체에서 유발되었는지를 파악하려면(행위 주체감, *sense of agency*), 시

각 및 체감각을 비롯한 다중 감각의 정보들을 통합한 신체 도식(body schema)이 정확하게 구성되어야 한다[5]. 신체 도식은 우리 자신의 몸과 몸의 각 부분에 대한 표상을 의미한다[12]. 감각 신호들은 행위하는 과정에서 계속 변화하기 때문에 신체 도식은 움직이는 몸이 환경과 상호작용하는 데 적합하도록 계속적으로 갱신된다. 이러한 갱신 과정은 여러 감각 신호의 동기화 정보에 크게 의존한다. 실험적으로 동기화 정보를 조작하면 신체 표상을 순간적으로 왜곡시킬 수도 있다. 가령 고무손에 가해지는 시각 자극이 체감각 신호와 공변하게 되면 실험 참가자는 고무손에 대해 착각적 소유권을 느끼게 된다(고무손 착각현상, rubber hand illusion)[13].

선조의 신체 영역(extrastriate body area, EBA)과 행위 주체감

시각 체계를 통해 입력된 신체 이미지 정보는 후측두엽 편측 피질(lateral occipitotemporal cortex)의 일부 영역에서 선택적으로 처리되는데, 이 영역을 선조의 신체 영역(extrastriate body area, EBA)라고 한다[14]. 특히 EBA는 시점을 기준으로 자신과 타인의 신체를 구분할 수 있다[15, 16]. 선행 연구에서는 참가자에게 자신의 신체와 타인의 신체를 자기중심적 시점(egocentric view)이나 타인중심적 시점(alloentric view)에서 바라본 사진으로 제시하였는데, 우반구 EBA는 신체 소유자에 상관없이 타인중심적 시점으로 제시된 신체 사진을 볼 때 더 많이 활성화되었다[16]. 이는 EBA가 신체의 정지 영상으로부터 행위 주체감 생성에 필요한 감각 정보를 추출할 수 있음을 의미한다. 그러나 시각 장면에는 한 명 이상의 행위자가 동시에 존재할 수 있기 때문에, 시점에 관한 상향적 시각 단서만으로는 나와 타인의 신체를 구분하기 어려울 때가 많다. 따라서 자기 자신이 생성하는 움직임에 관련된 체감각 정보 등 일인칭 신호들(first-person signals)이 적극적으로 활용되어야 한다[16-18].

EBA는 단순히 시각 단서에 의존한 신체 구분을 넘어서 다중 감각의 정보들을 통합적으로 표상한다. 참가자 자신의 손 움직임을 영상으로 찍어서 좌우로 뒤바꾸어 제시하면 EBA의 활성화가 증가한다. 이는 EBA가 시각과 운동 관련 정보 사이의 오대응(mismatch)을 해소하기 위한 정보처리에 관여하고 있음을 시사한다[16, 19]. 실시간으로 생성되는 운동 신호도 행위 주체에 따라 EBA에서 다르게 표상된

다. 시각적 피드백이 자신의 운동과 일치하지 않을 때 EBA의 활성화가 증가하고, 일치할 때는 EBA와 체감각 운동 영역(posterior parietal cortex)과의 기능적 연결 강도가 상승된다[20]. 또한, 우반구 EBA가 타인중심적 시점의 신체 사진에 대해 높은 수준으로 활성화될 때, 일차 체감각 영역의 활성화 수준은 역으로 억제된다[15]. 이는 비교적 초기 단계의 시각 경로에서도 시각 정보가 이미 체감각을 비롯한 자기수용감(proprioception) 정보와 통합되고 있음을 의미한다.

EBA가 행위 정보를 구분하여 행위 주체감 형성에 기여하고 있다는 좀 더 직접적인 증거는 EBA가 시각 단서 없이도 행위자가 스스로 생성한 운동의 신호를 반영하고 있다는 데서 찾아볼 수 있다. 손을 움직이거나 움직임을 상상할 때, 심지어 손을 가려 직접적인 신체 이미지가 제공되지 않았을 때에도 EBA의 활성화는 상승한다[21]. EBA는 신체의 시각적 이미지가 없을 때에도 상위 영역으로부터 자신과 관련 정보를 받아 신체 표상 형성에 실시간으로 반영하여 자기 지각에 기여하고 있는 것이다[5, 12].

도구 행동유도성(tool affordance)과 신체 표상

도구를 시각적으로 인식하기만 해도 그 도구를 사용하는 행위에 관한 체감각 정보처리가 촉발된다. 도구는 용도에 따라 특징적인 일련의 행동 표상을 내포하고 있는데, 이를 도구의 행동유도성이라고 한다[22-24]. 도구를 사용하면 운동의 범위가 확장되기 때문에 도구의 행동유도성은 신체 표상에 포함되어 신체 도식이 변화된다[25-27]. 특히, 신체 도식의 변화는 도구의 기능에 따라 다른 방식으로 일어난다[28]. 예를 들어, 망치를 보면 망치 손잡이를 잡는 손동작을 포함해 망치를 사용하는 일련의 운동 계획 신호가 자동적으로 유발되고, 이 신호는 신체 도식에 반영된다[29]. 도구로 인한 신체 도식의 변화는 실제로 신체의 형태 지각 자체를 조절한다. 물건을 잡을 수 있도록 제작된 긴 막대기를 사용하면 일시적으로 마치 팔이 늘어난 것처럼 운동의 범위가 확장된다. 이러한 경험은 실제로 팔이 길어진 것 같은 신체 표상을 야기한다[29, 30].

신체와 물건 자체의 관계에 초점을 맞춰보면, 우리가 조작해서 사용하는 물건을 신체를 기준으로 구분할 수 있다. 어떤 물건은 신체를 향한 방향으로 사용되고(예,

컵, 빗 또는 안경 등), 어떤 물건은 신체 반대 방향으로 사용된다(예, 열쇠, 망치 또는 빗자루 등). 신체를 향한 물건은 물건과 신체의 부분 간의 관계를 적절하게 표상해야 적절하게 사용되기 때문에 열쇠나 망치 같은 물건에 비해 더 세밀한 신체 위치를 포함한 신체 도식을 형성한다[31].

연구목적

EBA가 나와 타인의 신체를 구분하여 표상하고 끊임없이 변화하는 신체 도식을 유지하는 데 관여하고 있다는 것은 알려져 있다. 그렇지만 신체 도식을 확장시키는 물체의 행동유도성이 행위의 주체에 따라 어떻게 반영되는지에 관한 연구는 부족하다. 본 연구에서는 신체를 기준으로 서로 반대 방향으로 사용되는 물체를 이용하여 물체가 촉발하는 행동유도성 정보가 행위자에 따라 사회적 정보 처리의 초기 시각 단계인 EBA의 신경 활동에 어떻게 반영되는지 알아보려고 한다. 본 연구는 EBA의 신경 반응을 기능성 자기 공명 영상(functional magnetic resonance imaging, fMRI) 기법으로 관찰하였다. 참가자의 실제 움직임은 fMRI 신호 측정을 어렵게 하므로, 본 연구에서는 참가자로 하여금 물체를 사용하는 상황을 마음속으로 상상하게 하였다. 내적으로 상상한 행동과 실제 외적으로 발현된 행동은 활성화되는 뇌 영역을 공유하고 유사한 표상 양식을 보이므로[32], 상상 과제는 선행 연구들에서 구심성 정보를 통제된 내적 운동 정보에 초점을 맞추기 위해 사용되어 왔다[21, 33].

만약 EBA가 행위 주체감이 있을 때 더 정교한 신체 도식을 표상한다면 참가자 자신이 물건을 사용한다고 상상할 때 물건의 행동유도성에 따라 다른 활성화 양식을 보일 것이다. 즉 신체 반대 방향으로 사용되는 물체에 비해 신체 방향으로 사용되는 물체 조건에서 더 정교한 신체 표상을 포함한 신체 도식이 형성될 것이고, 더 많은 신체 정보의 처리는 더 큰 EBA 활성화를 야기할 것이라고 예상했다. 반면 참가자가 타인이 물건을 사용하는 장면을 상상할 때에는 물체의 행동유도성에 따라 EBA의 활성화 차이가 나타나지 않을 것으로 예상하였다.

방 법

참가자

충남대학교에서 모집한 이십 대 성인 14명을 대상으로 실험을 실시하였다(평균 24.6세, 표준편차 2.0). 참가자들은 오른손잡이였고 나안 혹은 교정시력이 정상이었다. 이들은 모두 뇌손상을 수반한 외상이나 정신과 및 신경과적 질환을 경험한 적이 없고 다른 질환과 관련된 치료약물을 복용하고 있지 않다고 보고하였다. 참가자들은 실험 절차에 관해 자세한 설명을 듣고 참가 동의서를 작성한 후에 실험에 참여하였으며, 실험이 끝난 후 소정의 참가비를 받았다.

도구 및 자극

실험은 반복 탐지 과제 2회기(session)와 물체 사용 상상 과제 4회기로 구성되었다. 반복 탐지 과제에서는 네 가지 범주(머리 없는 신체, 의자, 얼굴, 장소)의 사진 자극 각 80개씩을 사용하였다. 물체 사용 상상 과제에서는 총 96개의 물체 사진을 사용하였다. 이 중 절반은 신체 방향으로 사용하는 물체들(예를 들면, 빗, 비누, 면도기)이었고 나머지 절반은 신체에서 멀어지는 방향으로 사용하는 물체들(예를 들면, 전동 드릴, 망치, 소화기)이었다. 두 과제 모두 흑백 명도의 사진들을 사용하였고 물체의 배경색은 흰색이었다. 모든 사진은 고글(IFIS-SA) 화면의 중앙에 $25^{\circ} \times 25^{\circ}$ 의 크기로 제시되었다. 실험 자극 제시 및 반응 수집은 MATLAB과 Psychophysics Toolbox 3으로 작성된 스크립트에 의해 제어되었다[34]. 참가자는 자기장을 간섭하지 않는 버튼 박스를 사용하여 오른손으로 반응하였다.

설계 및 절차

반복 탐지 과제

관심 영역인 선조의 신체 영역(extrastriate body area, EBA)과 방추상 얼굴 영역(fusiform face area, FFA)의 좌표를 얻기 위해 첫 2회기에 걸쳐 반복 탐지 과제를 실

시하였다. 본 과제는 구획 설계(blocked design)로서, 각 회기는 네 개의 구획으로 구성되었고, 각 구획은 다시 네 개의 소구획으로 나뉘었다. 소구획에서는 신체, 의자, 얼굴, 장소 범주의 사진 자극이 20개씩 차례대로 제시되었다[35]. 범주의 순서는 무작위로 결정되었다. 각 사진 자극은 화면 중앙에 0.8초 간 제시되었고, 0.2초 후 다음 자극이 뒤따라 제시되었다. 참가자들은 동일한 사진 자극이 연달아 두 번 반복 제시될 때마다 검지로 버튼을 눌렀다. 이러한 반복 자극은 소구획 마다 두 세 개씩 제시되었다. 화면 정중앙에는 응시점으로서 빨간색 점을 항상 제시하였다. 네 개의 소구획이 연달아 제시되고 나면 다음 구획이 시작되기 전에 응시점만 20초 동안 제시하였다. 첫 구획이 시작되기 전 그리고 마지막 구획이 끝난 후에도 30초 동안 응시점만 제시하였다. 반복 탐지 과제의 각 회기는 440초 동안 진행되었다.

물체 사용 상상 과제

나머지 네 회기 동안 참가자들은 물체를 사용하는 장면을 상상하는 과제를 수행하였다. 독립변인은 행위자 2수준(자신과 타인)과 물체 사용방향 2수준(신체 방향 및 바깥 방향)이며 둘 다 참가자 내에서 처치되었다. 본 과제는 사건-관련 설계(event-related design)로서 10초간 진행되는 개별 시행들로 구성되었다. 그림 1은 개별 시행들의 절차를 보여주고 있다. 각 시행은 사각형 테두리와 물체 사진이 출현 하면서 시작되었다. 물체 사진은 처음 2초 동안만 제시되었고 이후에는 사각형 테두리와 세 개의 동심원으로 구성된 응시점(bull's eye, 반지름 1.5°)만이 화면에 남아 있었다. 참가자는 물체가 무엇인지 인지했을 때 검지를 사용하여 버튼을 누른 후, 남은 시간 동안 사각형 테두리 색깔이 지칭하는 행위자가 물체를 사용하는 장면을 적극적으로 상상하였다. 물체가 빨간색 사각형 테두리와 함께 출현했을 때는 자신이 사용하는 장면을 상상하였고(자신 조건), 초록색 사각형 테두리와 함께 출현했을 때는 동성의 '김모모'씨가 사용하는 장면을 상상하였다(타인 조건). 행위자와 사각형 테두리 색깔의 관계는 참가자 간 역균형화되었다. 참가자들은 실험에 참여하기에 앞서서 '김모모'씨의 인적 사항에 관한 정보를 사진과 함께 받아보았고, 연습 시행을 통해 '김모모'씨가 여러 가지 물체를 사용하는 장면을 상상해보는 기회를 가졌다. 참가자들에게 제시한 '김모모'씨의 정보를 부록에 첨부하였다. 본 실험에서는 연습 시행에서 사용된 적이 없는 물체 사진들만이 제시되었다. 시행이 시작

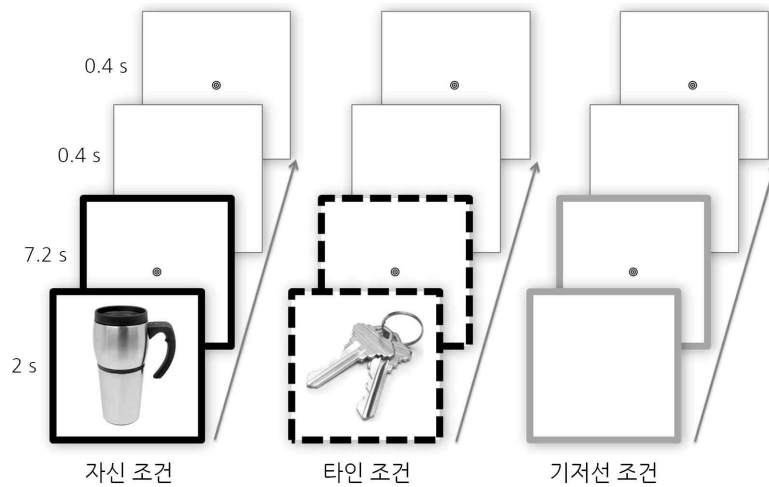


그림 1. 물체 사용 상상 과제의 절차. 참가자들은 사각형 테두리가 빨간색일 때는 '자신'이 화면의 물체를 사용하는 장면을 상상하였고(왼쪽, 검은 실선 테두리), 테두리가 초록색일 때는 실험 전에 소개받은 '김모모'가 물체를 사용하는 장면을 상상하였다(가운데, 검은 점선 테두리). 테두리가 회색일 때는 시선을 중앙에 고정한 채로 다음 시행을 기다렸다(오른쪽, 회색 실선 테두리).

되고 나서 9.2초가 경과하면 화면의 모든 자극이 0.4초 동안 사라졌고, 이어서 응시점이 화면 중앙에 출현하여 새로운 시행의 시작을 알렸다. 이밖에 각 조건 별 혈류량 변화를 정확하게 추정하기 위해, 물체 없이 회색 사각형 테두리만 출현하는 기저선 시행들이 있었다. 참가자들은 기저선 시행에서는 아무런 반응을 하지 않고 시선을 가운데 고정한 채로 다음 시행을 기다렸다. 각 회기는 네 가지 실험 조건(자신-신체 방향, 자신-바깥 방향, 타인-신체 방향, 타인-바깥 방향)에 해당하는 여섯 개씩의 시행과 기저선 조건 여덟 시행을 합쳐 총 32시행으로 이루어졌다. 각 회기의 시행 순서는 동일한 조건이 세 시행 이상 연달아 출현하지 않고 기저선 시행을 마지막 두 시행으로 제시하는 제약 하에서 무선화되었다. 첫 시행 앞에 10초간 응시점을 제시한 시간을 합하여 각 회기는 330초 동안 진행되었다.

실험 후 평정

스캔 절차가 완료되면 참가자들은 다른 방으로 자리를 옮겨서 물체 사용 상상

과제에서 얼마나 생생하게 상상을 했는지 평정을 하였다. 이 단계는 참가자에게 사전 고지 없이 실시되었다. 참가자들은 물체 사용 상상 과제에서 보았던 것과 같은 조건과 순서로 물체를 하나씩 다시 살펴보면서, 이전에 상상했던 내용의 생생함 정도를 7점 척도 상에서 표시하였다. 상상하기가 매우 어려웠던 물체에 대해서는 1점을, 매우 쉬웠던 물체에 대해서는 7점을 부여하였다. 참가자가 키보드의 숫자를 눌러서 점수를 부여하면 다음 시행이 곧바로 이어졌다. 모든 물체에 대한 평정을 마치면 실험 목적에 대한 사후 설명을 제공하였다.

fMRI 방법

자료 획득 및 전처리

KAIST 뇌과학 연구센터의 ISOL Forte 3.0 Tesla MRI 스캐너를 사용하여 구조 영상과 기능 영상을 촬영하였다. 기능 영상은 경사자장 에코 시퀀스(gradient echo sequence)를 이용하여 TR(repetition time) 2000ms, TE(echo time) 25ms, 전위각(flip angle) 90°, 영상 영역(field of view) 220x220mm, 행렬 크기(matrix size) 64x64로 획득하였다. 반복 탐지 과제에서는 2회기 동안 각 220개, 물체 사용 상상 과제에서는 4회기 동안 각 165개의 삼차원 기능 영상을 각각 촬영하였다. 개별 삼차원 기능 영상은 25장의 절편으로 구성되어 대뇌 피질 전체를 포함하였다. 각 절편의 두께는 5mm였고, 절편 사이에 빈 간격은 없었다. 기능 영상 촬영이 종료된 후에는 약 10분에 걸쳐 고해상도 구조 영상을 촬영하였다.

영상 자료를 전처리하기 전에 기능 영상 신호의 포화(saturation) 시간을 고려하여 각 회기에서 첫 10초에 해당하는 기능 영상들을 제거하였다. 전처리는 SPM8 (Statistical Parametric Mapping ver. 8, Wellcome Department of Cognitive Neurology, London UK)을 이용하여 실시하였다. 먼저, 각 절편의 획득 시간 차이를 보정한 후(slice time correction), 첫 번째 영상을 기준으로 머리 움직임에 기인한 효과를 제거하였다(motion correction). 그 다음, 구조 영상을 기능 영상에 정합하고(coregistration) Montreal Neurological Institute(MNI) 좌표 체계에 표준화하였다(normalization). 구조 영상의 표준화 단계에서 도출된 매개변수들은 기능 영상을 표준화할 때 활용하였다. 이어서 표준화된 구조 영상과 기능 영상을 각각 1x1x1mm와 3x3x3mm의 부피소 크

기로 재편하였다(reslicing). 마지막으로, 신호 대 잡음비를 높이기 위해 8mm FWHM (full-width half-maximum) 가우시안 커널로 기능 영상을 중첩적분(convolution)하여 편평화하였다(smoothing). 전처리 과정 중 일부 실험 회기에서 보정이 불가능한 기계적 잡음이 발견되어 후속 통계 분석에서 제외하였다. 남은 기능 영상(반복 탐지 과제 평균 3.5회기, 물체 사용 상상 과제 평균 1.5회기)에 대하여 관심 영역 분석(region-of-interest analysis)과 탐색적 전체 뇌 분석(exploratory whole brain analysis)을 순서대로 실시하였다.

탐색적 전체 뇌 분석

전체 뇌 영역을 대상으로 물체 사용 상상 과제의 조건들을 비교하기 위해 일반 선형 모형(general linear model, GLM)을 가정하여 기능 영상을 분석하였다. 설계 행렬(design matrix)에는 네 가지 실험 조건들(자신-신체 방향, 자신-바깥 방향, 타인-신체 방향, 타인-바깥 방향)이 주요 변인으로서 포함되었고, 움직임 보정 과정에서 추정된 여섯 개의 매개변수들(parameters)과 촬영 회기도 공변인으로 포함하였다. 각 실험 조건은 해당 시행들의 제시 시간을 혈류역학반응 함수(hemodynamic response function)와 일차 시간 미분(first-order temporal derivative) 함수로 표현하여 모형화되었다. 참가자들이 반응을 하지 않았던 일부 시행들(전체 시행 중 4%)과 기저선 시행은 설계 행렬에 포함하지 않고 오차항(error term)으로 남겨두었다. 일반 선형 모형의 추정이 끝나면, 혈류역학반응 함수의 상관 계수들을 t 검증으로 비교하여 실험 조건 간 대비 영상을 생성하고(고정 효과 분석), 이 대비 영상들을 모아 집단 분석을 실시하였다(무선 효과 분석).

관심 영역 분석

관심 영역 분석은 두 단계로 구성되었다. 첫 단계에서는 반복 탐지 과제의 기능 영상을 분석하여 개별 참가자의 관심 영역들을 정의하였다. 두 번째 단계에서는 물체 사용 상상 과제의 기능 영상에서 관심 영역에 해당하는 fMRI 신호를 추출하여 통계 분석을 실시하였다. 구체적인 내용은 다음과 같았다.

참가자 별 관심 영역을 정의하기 위해 반복 탐지 과제에서 수집한 기능 영상을 일반 선형 모형으로 분석하였다. 설계 행렬은 네 가지 자극 범주(신체, 의자, 얼굴,

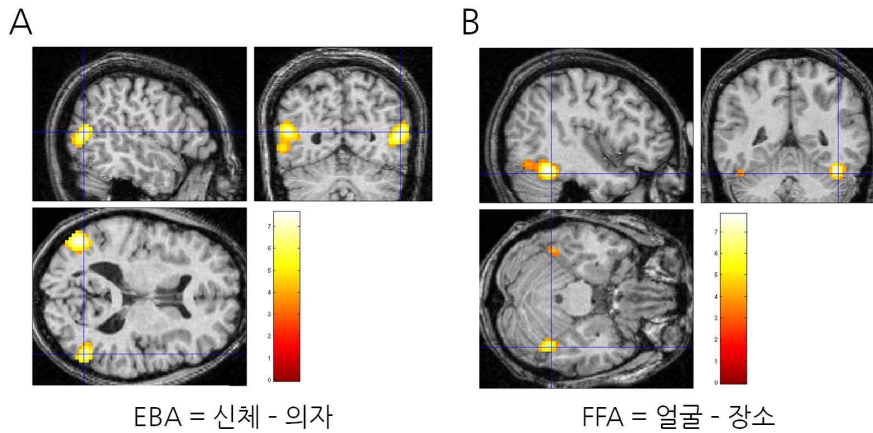


그림 2. 대표 참가자의 관심 영역들. A는 EBA의 위치, B는 FFA의 위치를 각각 보여준다. 각 그림에서 두 실선의 교차점은 각각 EBA와 FFA의 동일 지점을 가리킨다. 통계역은 다중 비교를 보정하지 않은 $p < .0001$ 과 연속 부피소 개수 $k = 5$.

장소)를 주요 변인으로 포함하였다. 각 자극 범주는 해당 소구획의 제시 시간과 지속 시간을 혈류역학반응 함수로 중첩적분한 박스카 함수(boxcar function)로서 표현되었다. 움직임 보정 과정에서 생성된 여섯 개 매개변수들과 촬영 회기도 설계 행렬에 공변인으로 포함되었다. 일반 선형 모형의 추정이 끝나면, 범주 별 상관 계수들을 t 검증으로 비교하여 관심 영역을 정의하였다. EBA는 후측두엽의 편측 피질에서 의자 범주보다 신체 범주의 상관 계수가 높은 부피소들로 정의되었고, FFA는 방추회(fusiform gyrus)에서 장면 범주보다 얼굴 범주의 상관 계수가 높은 부피소들로 정의되었다[14, 35, 36]. 통계 역치는 다중 비교를 보정하지 않은 $p = .0001$ 와 연속 부피소 개수 $k = 5$ 였다(두 명의 참가자의 경우, 이보다 낮은 $p = .001$ 의 역치를 사용하였다). 그 결과, EBA의 좌우 반구 평균 MNI 좌표는 각각 $[x=-48.6, y = -73.3, z = 3.7]$ 와 $[50.3, -72.5, 2.0]$ 였고, FFA의 좌우 반구 평균 MNI 좌표는 각각 $[-41.6, -52.7, -23.0]$ 와 $[42.0, -54.5, -20.0]$ 이었다. 대표적인 참가자의 EBA와 FFA 관심 영역을 그림 2에 제시하였다.

관심 영역을 중심으로 MarsBar 프로그램을 사용하여 물체 사용 상상 과제의 결과를 분석하였다[37]. 먼저 각 관심 영역에 해당하는 부피소들의 평균 fMRI 신호를

추출하고, 일반 선형 모형을 통해 fMRI 신호의 조건별 변화량을 추정하였다. 설계 행렬은 탐색적 전체 뇌 분석에서 사용한 설계 행렬과 같았다. 조건 별 혈류역학반응 함수의 상관 계수를 추정하고 나면, 이 값들을 퍼센트 단위의 신호 변화량으로 변환하여 후속 통계 분석에 사용하였다.

결 과

먼저, 실험 후에 수집한 생동감(生動感, vividness) 평정치를 분석하였다. 실험 조건 간 평정치의 차이는 크지 않았다. 전체 참가자 평균은 자신-신체 방향 조건 4.66점, 자신-바깥 방향 조건 4.75점, 타인-신체 방향 조건 4.51점, 타인-바깥 방향 조건 4.49점이었다. 생동감 평정치를 행위자(2수준; 자신, 타인)와 물체 사용 방향(2수준; 신체 방향, 바깥 방향)을 두 요인으로 하는 반복 측정 변량 분석을 실시했을 때, 두 주효과와 상호작용이 모두 통계적으로 유의미하지 않았다, $p > .05$. 이러한 결과는 참가자들이 특정 실험 조건에서만 정교하고 구체적인 상상을 했던 것은 아님을 의미한다.

탐색적 전체 뇌 분석에서는 어느 영역에서도 조건 간의 차이를 발견할 수 없었다. 통계 역치는 다중 비교를 보정하지 않은 유의도 $p = .001$ 와 연속 부피소 개수 $k = 5$ 이었다[38]. 통계 역치를 유의도 $p = .005$ 로 낮추어도 의미 있는 패턴을 찾을 수 없었다.

이에 반해, 관심 영역 분석을 실시했을 때는 우반구 EBA에서 예상된 결과를 관찰할 수 있었다. 그림 3A와 3B에서 알 수 있듯이, 참가자가 ‘자신’의 행위를 상상할 때는 바깥 방향 조건에서보다 신체 방향 조건에서 fMRI 신호가 크게 증가하였으나, 참가자가 ‘타인’의 행위를 상상할 때는 물건의 사용 방향이 큰 차이를 유발하지 않았다. 우반구 EBA의 fMRI 신호 변화량에 대해 행위자 요인과 물체 사용 방향 요인의 반복 측정 변량 분석을 실시한 결과, 두 요인의 상호작용 효과가 유의미하였다, $F(1, 13) = 9.339, p < .01$. 행위자의 주효과와 물체 사용 방향의 주효과는 유의미하지 않았다, $p > .05$. 추가적인 t 검증 결과, 자신-신체 방향 조건과 자신-바깥 방향 조건의 차이가 유의미하였다, $t(13) = 3.084, p < .01$. 좌반구 EBA

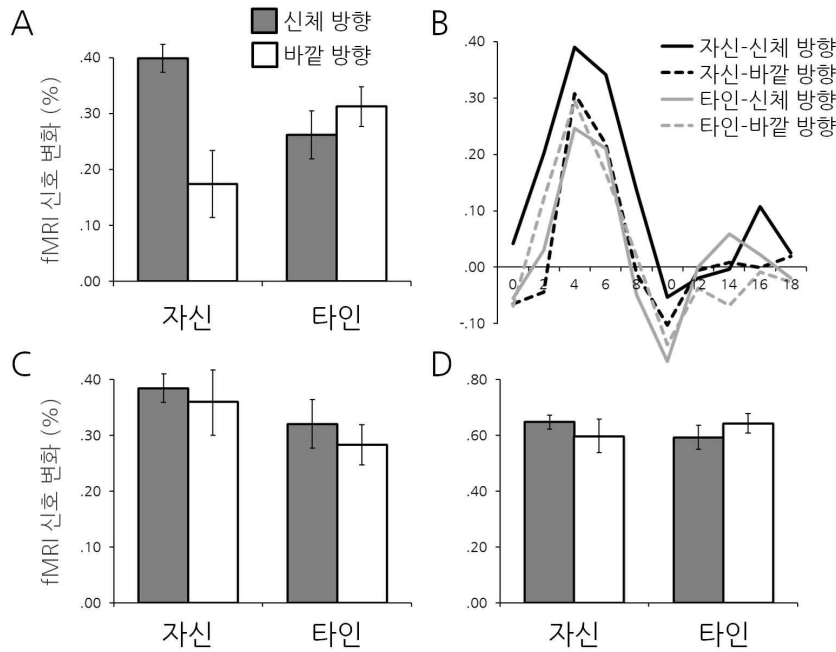


그림 3. 관심영역 분석결과. A와 B. 우반구 EBA의 조건별 결과. A는 혈류역학반응 함수로 추정된 우반구 EBA 혈류량의 진폭이고, B는 16초 간의 혈류량 변화 양상을 여덟 개의 유한 임펄스 함수(finite impulse response functions)로 추정한 결과이다. C. 좌반구 EBA의 조건별 결과. D. 우반구 FFA의 조건별 결과. 오류 막대는 표준 오차를 나타냄.

와 좌우반구 FFA에서 주효과와 상호작용은 모두 유의미한 수준에 이르지 못했다.

종합 논의

EBA는 시각 단서에 근거하여 자신과 타인의 신체를 구분할 수 있고 행위자의 체감각 및 자기수용감각적 내부 신호를 통합하여 신체 도식을 보정하고 행위 주체감을 형성하는데 기여한다[15, 16, 19-21]. 또한 EBA는 기억에서 인출된 행위 관련 정보에 반응하기도 한다. 예를 들어, 행위자가 도구(또는 도구 단어)를 접하면 그

도구와 연합된 일련의 행위 기억이 인출되어 EBA의 신경 활동이 변하게 된다. 본 연구는 참가자들이 도구를 사용하는 행위를 상상하는 동안 행위 주체에 따라서 EBA의 신경 활동이 어떻게 달라지는 지를 관찰하였다. 실험 결과, 참가자 자신이 행위의 주체인 경우에 우반구 EBA는 신체 반대 방향으로 사용하는 도구에 비해 신체 방향으로 사용하는 도구에 대하여 더 큰 활성화를 보였다. 그러나 상상 속 행위의 주체가 타인일 때는 도구에 연합된 행동 관련 정보를 표상하지 않았다.

본 연구의 결과는 우반구 FFA나 좌반구 EBA와 달리 우반구 EBA에서만 행위자를 구분하는 신경 신호가 관찰되었다는 면에서 두 선행 연구들의 결과와 일치한다 [15, 16]. 그러나 자신 조건 보다 타인 조건에서 더 높은 EBA 활성화를 보고한 선행 연구들과 달리, 본 연구에서는 두 조건 간 차이(행위자 요인의 주효과)를 관찰할 수 없었다. 이는 본 연구의 실험 자극과 과제가 선행 연구들과 크게 달랐기 때문일 가능성이 높다. 선행 연구들에서 참가자는 일련의 신체 사진들을 보면서 반복 탐지 과제(one-back task)를 수행했고, 본 연구의 참가자는 도구 사진들을 보면서 자신 혹은 타인이 그것들을 사용하는 장면을 적극적으로 상상하였다. 따라서 본 연구의 참가자는 신체를 상상해야 했고 행위에 더 많이 주의를 기울여야 했다. 그럼에도 불구하고, 선행 연구들과 본 연구의 결과를 종합하면 EBA에서 일어나는 역동적인 정보처리 과정을 추론해볼 수 있다. 즉, 신체의 정지 영상처럼 제한된 시각 단서만 가용할 때는 시각 장면에서 타인의 존재를 탐지(detection)하는 기능이 두드러지지만, 체감각 정보와 자기수용감각 정보 등 신체 부위의 위치와 자세에 관한 감각 단서들이 풍부할 때는 자신의 신체 이미지를 유지하거나 갱신하는 기능이 두드러질 수 있다. 이러한 추론은 후속 연구를 통해서 증명되어야 할 것이다.

본 연구에서 주목할 만한 또 다른 결과는 실제 행위 없이 상상으로 유발된 내적 표상만으로 EBA에서 행위의 주체가 구분되어 표상된다는 것이다. 행위의 비교자 모형(comparator model)에 따르면, 실제 움직임을 통해 생성되는 체감각 및 자기수용감각 신호들이 행위 주체감 형성에서 중요한 역할을 한다[20, 39, 40]. 구체적으로, 행위 의도와 계획을 통해 생성된 원심성 정보(내부 생성 신호)와 행위의 실행을 통해 생성된 구심성 정보(외부 입력 신호)가 일치되어야 행위에 대한 주체감이 생겨난다. 본 연구는 실제 움직임이 수반하는 구심성 정보가 없어도 행위를 상상하는 과정에서 자기 신체 도식이 구별될 수 있다는 신경학적 증거를 제시하고

있다. 본 연구의 결과는 EBA와 원심성 내부 생성 신호의 관계를 강조한 Astafiev 등의 주장을 지지한다[21]. 이들은 참가자가 신체를 볼 수 없을 때에도 EBA에서 행위 관련 정보처리가 일어난다는 결과를 보고한 바 있다. 그러나 이들의 연구에서는 참가자들이 시각 단서에 따라 손가락을 움직이면서 반응해야 했으므로 구심성 외부 입력 신호를 배제할 수 없었다. 반면, 본 연구에서는 참가자로 하여금 실제 반응을 최소화한 상태에서 행위를 상상하게 함으로써 구심성 외부 입력 신호를 차단할 수 있었다.

더불어, 본 연구에서 EBA는 자기 신체 부분의 표상과 각 부분의 체감각 정보가 더 많이 요구되는 신체 방향 도구 조건에서 더 많은 활성화를 보였는데, 이는 다른 연구 결과들과도 일치한다. EBA는 더 많은 신체를 보거나 마음속으로 상상하면 활성화의 정도가 증가하고[31, 41] 신체 부분 간의 관계를 표상해야 하는 구체적인 동작 정보에 민감하게 반응한다[42]. 동일한 물리적 크기의 운동 정보를 지녔지만 신체 도식의 갱신 정도가 다른 두 운동 조건을 관찰할 때도 EBA는 신체 표상의 정도를 반영한다. EBA는 같은 행위자의 운동이 정상적인 순서로 진행될 때에 비해 순서가 뒤죽박죽된 행동을 관찰할 때보다 더 큰 활성화를 보인다[43]. 순서가 뒤바뀐 행동은 자연스럽게 움직임이 연결되는 행동보다 변화가 큰 신체 정보를 처리해야 하기 때문에, 신경 신호가 증가했다는 사실은 EBA가 구체적인 신체 정보를 갱신하고 있음을 뜻한다. 예를 들어 물을 마시는 행동을 직접 하거나 관찰할 때 운동에 필요한 개별 신체(손가락, 손, 팔, 입 등)의 위치 정보와 팔의 관절을 구부리고 입을 벌리는 등의 일련의 운동 정보를 통합하여 신체 도식에 갱신시키는 것이다. 예측과 어긋난 행동을 관찰할 때도 EBA의 활성화가 높아진다[19, 20]. 행동은 빠르게 변화하기 때문에 자신이 환경에 적합하게 행동하거나 타인의 행동을 적절하게 이해하기 위해서는 행위의 진행 방향과 결과를 예측할 수 있어야 한다. 농구 게임에서 농구의 방식에 어긋난 행동을 관찰하면 EBA의 활성화가 증가하는데, 이는 관찰 행동이 예측 정보와 어긋나기 때문에 미리 구축해 놓은 신체 도식을 수정하여 갱신해야 하기 때문이다.

이 일련의 결과들은 EBA가 사건의 전후에서 연속적으로 행동의 기반이 되는 신체 표상을 구축하여 적응적인 행동에 필요한 신체 도식의 형성에 기반이 되고 있음을 시사한다. EBA는 신체 움직임에 관한 시각 신호를 수동적으로 처리하기 보

다는 상황과 맥락에 근거하여 신체 도식을 보정하고 이를 기반으로 다중 감각의 운동 신호를 통합한다. 행위 관련 신호는 자신이 직접 행동할 때뿐만 아니라 행동을 상상하거나 다른 사람의 행동을 관찰할 때, 더 나아가 도구 등의 물체를 인식할 때도 생성된다[44]. 이러한 행위 관련 신호가 행위자에 따라 적절한 신체 도식에 통합되기 위해서는 구분된 자신과 타인의 신체 도식이 필요하고 EBA는 그 기반이 되는 신경 표상을 제공한다.

참고문헌

- [1] Jacob, P., & Jeannerod, M. (2005), The motor theory of social cognition: a critique, *Trends in Cognitive Sciences*, 9, 21-25.
- [2] Wheatley, T., Milleville, S. C., & Martin A. (2007), Understanding animate agents, *Psychological Science*, 18, 469-474.
- [3] Berlucchi, G., & Aglioti, S. M. (2010), The body in the brain revisited, *Experimental Brain Research*, 200, 25-35.
- [4] Jeannerod, M. (2003), The mechanism of self-recognition in humans, *Behavioural Brain Research*, 142, 1-15.
- [5] Jeannerod, M. (2004), Visual and action cues contribute to the self-other distinction, *Nature Neuroscience*, 7, 422-423.
- [6] Fournieret, P., & Jeannerod, M. (1998), Limited conscious monitoring of motor performance in normal subjects, *Neuropsychologia*, 36, 1133-1140.
- [7] Georgieff, N., & Jeannerod, M. (1998), Beyond consciousness of external reality: A “who” system for consciousness of action and self-consciousness, *Consciousness and Cognition*, 7, 465-477.
- [8] Anquetil, T., & Jeannerod, M. (2007), Simulated actions in the first and in the third person perspectives share common representations, *Brain Research*, 1130, 125-129.
- [9] Jeannerod, M. (2004), Visual and action cues contribute to the self-other distinction, *Nature Neuroscience*, 7, 422-423.

- [10] Jeannerod, M. (2003), The mechanism of self-recognition in humans, *Behavioural Brain Research*, 142, 1-15.
- [11] Blakemore, S. J., & Decety, J. (2001), From the perception of action to the understanding of intention, *Nature Reviews Neuroscience*, 2, 561-567.
- [12] Peelen, M. V., & Downing, P. E. (2007), The neural basis of visual body perception, *Nature Reviews Neuroscience*, 8, 636-648.
- [13] Borvinick, M., & Cohen, J. (1998), Rubber hands' feel' touch that eyes see. *Nature*, 391, 756-756.
- [14] Downing, P. E., Jiang, Y., Shuman, M., & Kanwisher, N, (2001). A cortical area selective for visual processing of the human body, *Science*, 293, 2470-2473.
- [15] Saxe, R., Jamal, N., & Powell, L. (2005), My body or yours? The effect of visual perspective on cortical body representations, *Cerebral Cortex*, 16, 178-182.
- [16] Chan, A. W., Peelen, M. V., & Downing, P. E. (2004), The effect of viewpoint on body representation in the extrastriate body area, *Neuroreport*, 15, 1-4.
- [17] Jeannerod, M. (2004), Visual and action cues contribute to the self-other distinction, *Nature Neuroscience*, 7, 422-423.
- [18] Saxe, R., Jamal, N., & Powell, L. (2006), My body or yours? The effect of visual perspective on cortical body representations, *Cerebral Cortex*, 16, 178.
- [19] Dohle, C., Kleiser, R., Seitz, R. J., & Freund, H. J. (2004), Body scheme gates visual processing, *Journal of neurophysiology*, 91, 2376-2379.
- [20] David, N., Newen, A., & Vogeley, K. (2008), The “sense of agency” and its underlying cognitive and neural mechanisms, *Consciousness and Cognition*, 17, 523-534.
- [21] Astafiev, S. V., Stanley, C. M., Shulman, G. L., & Corbetta, M. (2004), Extrastriate body area in human occipital cortex responds to the performance of motor actions, *Nature Neuroscience*, 7, 542-548.
- [22] Greeno, J. G. (1994), Gibson's affordances, *Psychological Review*, 101, 336-342.
- [23] Grèzes, J., & Decety, J. (2002), Does visual perception of object afford action? Evidence from a neuroimaging study, *Neuropsychologia*, 40, 212-222.
- [24] Helbig, H. B., Steinwender, J., Graf, M., & Kiefer, M. (2010), Action observation can

- prime visual object recognition, *Experimental Brain Research*, 200, 251-258.
- [25] Maravita, A., & Iriki, A. (2004), Tools for the body (schema), *Trends in Cognitive Sciences*, 8, 79-86.
- [26] Maravita, A., Spence, C., & Driver, J. (2003), Multisensory integration and the body schema: close to hand and within reach, *Current Biology*, 13, 531-539.
- [27] Holmes, N. P., & Spence, C. (2004), The body schema and multisensory representation(s) of peripersonal space, *Cognitive Processing*, 5, 94-105.
- [28] Arbib, M. A., Bonaiuto, J. B., Jacobs, S., & Frey, S. H. (2009), Tool use and the distalization of the end-effector, *Psychological Research*, 73, 441-462.
- [29] Beauchamp, M. S., & Martin, A. (2007), Grounding object concepts in perception and action: evidence from fMRI studies of tools, *Cortex*, 43, 461-468.
- [30] Cardinali L., Frassinetti, F., Brozzoli, C., Urquizar, C., Roy, A. C., & Farnè, A. (2009), Tool-use induces morphological updating of the body schema, *Current Biology*, 19, 478-479.
- [31] Rueschemeyer, S. A., Pfeiffer, C., & Bekkering, H. (2010), Body schematics: On the role of the body schema in embodied lexical-semantic representations, *Neuropsychologia*, 48, 774-781.
- [32] Hanakawa, T., Immisch, I., Toma, K., Dimyan, M. A., Van Gelderen, P., & Hallett, M. (2003), Functional properties of brain areas associated with motor execution and imagery, *Journal of neurophysiology*, 89, 989-1002.
- [33] Ruby, P., & Decety, J. (2001), Effect of subjective perspective taking during simulation of action: a PET investigation of agency, *Nature Neuroscience*, 4, 546-550.
- [34] Brainard, D. H. (1997), The psychophysics toolbox, *Spatial vision*, 10, 433-436.
- [35] Peelen, M. V., & Downing, P. E. (2005), Within-subject reproducibility of category-specific visual activation with functional MRI, *Human brain mapping*, 25, 402-408.
- [36] Downing, P. E., Wiggett, A. J., & Peelen, M. V. (2007), Functional magnetic resonance imaging investigation of overlapping lateral occipitotemporal activations using multi-voxel pattern analysis, *Journal of Neuroscience*, 27, 226-233.

- [37] Brett, M., Anton, J., Valabregue, R., & Poline, J. (2002), Region of interest analysis using an SPM toolbox, *In: 8th International Conference on Functional Mapping of the Human Brain, Sendai, Japan*.
- [38] Zarahn, E., Aguirre, G., & D'Esposito, M. (1997), A trial-based experimental design for fMRI, *Neuroimage*, 6, 122-138.
- [39] Gallagher, S. (2000), Philosophical conceptions of the self: implications for cognitive science, *Trends in Cognitive Sciences*, 4, 14-21.
- [40] Synofzik, M., Vosgerau, G., & Newen, A. (2008), Beyond the comparator model: a multifactorial two-step account of agency, *Consciousness and Cognition*, 17, 219-239.
- [41] Taylor, J. C., Wiggett, A. J., & Downing, P. E. (2007), Functional MRI analysis of body and body part representations in the extrastriate and fusiform body areas, *Journal of neurophysiology*, 98, 1626-1633.
- [42] de Lange, F. P., Spronk, M., Willems, R. M., Toni, I., & Bekkering, H. (2008), Complementary systems for understanding action intentions, *Current Biology*, 18, 454-457.
- [43] Downing, P. E., Peelen, M. V., Wiggett, A. J., & Tew, B. D. (2006), The role of the extrastriate body area in action perception, *Social Neuroscience*, 1, 52-62.
- [44] Jeannerod, M. (2001), Neural simulation of action: a unifying mechanism for motor cognition, *Neuroimage*, 14, 103-109.

1 차원고접수 : 2013. 2. 08

2 차원고접수 : 2013. 2. 26

최종게재승인 : 2013. 2. 26

(*Abstract*)

The interaction between tool affordance and the sense of agency in the Extrastriate Body Area

Hyojeong Kim Jeongho Park Do-Joon Yi

Department of Psychology, Yonsei University

While we interact with other people or objects, the brain continuously updates our own body schema to recognize the agent of observed actions. The Extrastriate Body Area (EBA) provides an initial interface for the sense of agency by integrating visual inputs of body parts with internal signals related to self-generated body movements. Less is known, however, about how the functional use of tools contributes to such processes. Here, we investigated whether tool-specific affordance would differentially affect the neural responses in the EBA depending on the agency of imaginary actions. In each trial we presented a picture of an object in a rectangular frame. Objects were either the tools typically brought towards the body (body tools; e.g., telescope, earphones) or away from the body (world tools; e.g., pen, dice; Rueschemeyer, Pfeiffer, & Bekkering, 2010). Depending on the color of the frame, participants imagined either themselves or the other person using the tool (self vs. other conditions). These four types of trials were randomly intermixed with blank trials. As results, independently localized right EBA regions of interest showed greater activation when participants imagined themselves using body tools than using world tools whereas no such differential activations were found when they imagined the other person using the tools. The postscan test revealed no significant difference in vividness of imagery between the self and other conditions. Our results suggest that the EBA incorporates functional affordance of tools into the body schema in order to enhance the sense of agency and to guide our own actions.

Key words : Extrastriate Body Area, sense of agency, body schem, tool affordance, fMRI

부 록

인적 사항	인적 사항
이 름 : 김모모 성 별 : 남 나 이 : 20대 중반 주 소 : 대전 가족사항 : 부모님 직 업 : 대학생 전 공 : 경영학과 취 미 : 영화감상 장래희망 : 다국적 기업에서 마케팅 전문가로 일하는 것	이 름 : 김모모 성 별 : 여 나 이 : 20대 중반 주 소 : 대전 가족사항 : 부모님 직 업 : 대학생 전 공 : 경영학과 취 미 : 영화감상 장래희망 : 다국적 기업에서 마케팅 전문가로 일하는 것

부록 그림 1. 실험 전에 참가자들이 받은 '김모모'씨의 인적 사항. 남성 참가자들은 왼쪽, 여성 참가자들은 오른쪽 인물의 인적사항을 받아보았다. 실제 실험에서는 실물의 원색 사진을 사용하였다.