

두뇌의 기능 지도화 연구

서울대학교 의학연구원 방사선의학연구소

강 은 주

서 론

섬두뇌 영상 기법을 활용하여 인간의 두뇌 기능에 대하여 연구하고자 하는 기능 지도화 연구는 (functional mapping study)는 인간 지적, 인지적 기능에 관여하는 두뇌의 위치를 밝히고자 하는 연구를 말한다. 기능 지도화 연구는 전통적으로 신경생리학적인 방법으로 동물에게서 직접, 침습적으로 두뇌 기능을 연구하여온 분야와 인지 기능(cognitive function)과 같은 심리학적 현상을 통해 두뇌의 기능을 간접적으로 연구하는 분야를 하나로 연결하여 주는 역할을 하였기 때문에 최근 10-20년간 이 분야의 발전은 곧 신경과학적 분야의 지식 확대에 기여하고 있다. 기능 영상을 이용한 연구는 기억, 언어, 추론기능, 고차 실행기능, 음악, 주의, 지각, 정서, 활동 등과 같은 인간의 마음의 작용과 두뇌의 작용을 연구하는 것을 가능하게 할 뿐만 아니라 나이, 질환, 약물, 훈련에 따른 변화 등의 연구가 가능하며 전 세계적으로 수 많은 연구자들에 의해서 연구되고 있다.

두뇌 기능 영상 연구 분야: 인간의 두뇌기능을 비 침습적으로 연구하는 대표적인 기능 영상법으로는 다음을 들 수 있다. 핵의학 영상인 PET(positron emission tomography: 양전자 단층 촬영법)과 fMRI (functional Magnetic Resonance Imaging: 기능 자기 공명 영상법), 그리고 MEG(Magnetic Encephalography) 등이 있으며 이들 연구방법은, 인간의 인지 및 정서적 기능이 두뇌의 어디에 위치하는 가를 연구하는데 주로 쓰이고 있다. 특정 기능이 두뇌라는 공간의 어디에 국소적으로 위치한다고 가정하고 이 기능의

중추신경계 내의 위치를 확인하는 작업을 국재화(localize) 또 다른 용어로는, 기능 지도화 (functional mapping)라고도 부른다. 이를 위해서는 인지 기능이 두뇌에서 일어나고 있을 때, 즉 신경활동의 증가가 일어나고 있을 때 야기되는 생리적인 신호를 두개골 밖에서 측정할 수 있어야 한다는 문제를 기술적으로 해결해야 한다. PET은 두뇌의 국소 혈류량(H215O-PET) 또는 혈당대사(FDG-PET)를 방사선 동위원소로부터 직접 측정할 수 있고, fMRI는 주변 조직 혈류내 deoxyhemoglobin에 비하여 oxyhemoglobin의 포함정도(Blood Oxygen Level Dependent: BOLD signal)를 측정함으로써, MEG는 증가하는 전기적 신호변화로부터 유도되는 미세한 자기적 속성의 변화를 측정함으로써 이루어진다. 물론 위의 PET이나 fMRI는 두뇌의 국소 전기적 변화가 주변 조직의 혈류공급 양의 변화, 산소 공급량의 변화, 또는 혈당 소비의 변화를 병행하고 있다는 일반적인 가정 하에 연구한다(참고, Gusnard, D.A. & Raichle, M.E.

2001). 이 방법들은 모두 피험자 또는 환자가 특정 과제를 수행하는 동안 측정이 이루어 진다는 점에서 일반적인 핵의학 영상과 다르다. 이상에 소개한 기능 영상법에 대한 방법론과 연구 예에 대한 심도 깊은 이해를 위해 별도의 문헌을 소개한다(Toga and Mazziotta, 1996, 2000; Frackowiak 등 1997). 본 논문은 이러한 영상법 중에서 fMRI와 PET기법을 이용하여 어떻게 인지적 기능을 연구하고 있는지, 연구 예를 들어 소개하고자 한다.

가. 행동, 인지 연구에서 기능 영상법이 제공하는 정보

기능 영상법은 주로 두뇌의 어느 부위가 활성화

되었는가를 측정하는 방법이라고 요약할 수 있다. 즉 두뇌의 어느 부위가 어떤 정보처리 상황(조건 A)에서, 그렇지 않은 상황(조건 B)에 비해서 얼마나 더 많이 활동량이 증감하였는가를 재는 방법이다. 일정 시간단위(수초-수분)동안 특정 '조건 A'에서 정보처리를 하는 동안 측정한 영상 data를 특정 '조건 B'에서 정보처리 하는 동안에 획득된 영상과 비교하면, '조건 B'보다 '조건 A'에서 더 활성화되거나 덜 활성화된 두뇌의 영역을 찾아낼 수 있다. 만일 이런 유의미한 차이(조건 A>조건 B)가 두뇌 영역 'x', 'y', 'z'에서 발견되었다고 하자. 그렇다면 이 'x', 'y', 'z', 라는 신경 부위가 '조건 B'보다 '조건 A'에만 존재하는 어떤 정보처리 속성과 관련이 있을 것이라고 추론할 수 있을 것이다. 인지 기능 연구에서 우선 가장 중요한 것은 '조건 A'가 '조건 B'와 어떻게 다른가 하는 것을 규정할 수 있어야 한다. 이때, 가능하면 두 조건의 차이가 정보처리 과정 'a' 하나를 제외하고는 동일해야, 측정의 차이를 정보처리 과정 'a'에 있다고 설명할 수 있다. PET이 이런 차감법(substraction method)을 주로 쓰고 있으며, fMRI방법도 유사한 방법을 사용한다. fMRI연구에서는 차이 나는 각 조건을 번갈아 제시하는데, 이 차이 나는 두 조건의 반복제시를 나타내는 모델(box-car model)과 이에 따른 혈류량의 변화를 함께 예측하는 이론적 함수 모델을 상정하고 이 모델과 가장 높은 상관 관계를 가지고 변화하는 영역을 찾아낸다. 즉 두뇌의 BOLD신호(Blood Oxygen Level Dependent signal)와 이론적 모델과의 상관관계를 계산하는 방법(correlation method)을 쓰지만, 그 원리는 PET과 fMRI가 유사하다. 실험 조건(A)은 통제 조건(B)에 비하여 정보처리 과정을 추가적으로 포함하고 있으며, 이에 따른 두뇌의 생리학적 변화가 가산적 차이를 야기시키리라는 일반선형모델을 기초로 한 것이다. 따라서 General Linear Model이 형성된다.

정보처리 요소 'a'로 인해 뇌 영역 'x', 'y', 'z'...가 관여함을 관찰하였다는 것은 다음과 같은 관점에서 의미를 갖는다. 첫째, 이미 알려진 'x', 'y', 'z'...라는 각각의 두뇌부위의 신경 해부학적 지식에 근거하여 어느 부위가 활성화 되었는가에 따라 그 기능

적 의미를 추론할 수 있다. 예를 들어 영역 'x'는 어느 부위와 해부학적인, hardware상의 연결을 갖고 있으며 어디서 입력을 받아서, 어디로 출력을 보내는가에 대한 우리의 해부학적 기존 지식이 있기 때문에, 활성화된 영역이 어디인가는 중요한 의미를 제공한다. 즉, 정보처리 'a'를 처리하는데 그렇지 않은 때 보다 해부학적 영역 x, y, z...가 관여한다는 것이 이 특정 기능적 네트워크가 'x-y-z...'를 포함하고 있을 가능성을 시사하는 새로운 정보일 뿐 아니라 기존의 지식에 근거하여 그 의미를 해석해 볼 수 있다는 점에서 유용한 정보이다. 둘째, 어떤 정보처리 맥락에서 두뇌 구조 'x', 'y', 'z'가 활성화 되었는가를 이해하는 것 또한 중요한데, 예를 들어 'x'와 'z'는 다른 정보처리 요소 'b'에 의해서도 활성화 되지만 'y'는 그렇지 않다는 실험결과가 있다면 우리는 정보처리 요소 'a'와 'b'에 대해서 어떤 공통점(신경 구조물 'x', 'z'에 근거하여)과 차이점(신경 구조물 'y'에 근거하여)이 있는가를 새롭게 이해할 수 있다.

이렇게 뇌의 어느 부위들이 어떤 정보처리 수행에 관여하고 있는가를 연구하는 방식으로는 위에 소개한 사건-관련(event-related), 또는 상태-관련(state-related) 영상을 구현하는 활성화 연구(activation approach) 방식과, 기능적 영상 자료를 통해, 신경망의 경로간의 연결 강도, 상호작용이나 활성화 되는 정보 흐름의 방향 등을 연구하는(신경망 연구(network approach) 방식)이 있다. 이 방법은 기능적 신경망의 통합성을 연구하는 데 이용되며, 별도의 분석방법도 발달되어있으며(Horwitz et al., 1999; Petersson et al., 1999). 이런 접근 방식들은 네트워크 속성으로서 두뇌의 정보처리 과정을 밝혀나가는 데 유용한 정보를 제공하고 있다. 이런 연구방식은 두뇌의 동일 부위일지라도 어떤 다른 기능적 네트워크에 속해 있는 지, 특정 계산적 맥락에 따라서 동일한 기능적 네트워크가 어떻게 다르게 반응할 수 있는 지를 연구할 수 있다. 또한 이런 네트워크가 학습과 기억처럼 시간, 또는 경험에 따라 어떻게 적응적이고 역동적인 측면을 보이는 가가 연구되고 있다.

기능 영상법을 통해 뇌의 '어디'가(특정 부위) '언

제'(정보처리 조건), '어떻게'(상대적으로 활동 증가, 또는 감소) 활성화 되었는가를 밝힘으로써, 두뇌에서 이루어지고 있는 정보처리 네트워크 구현방식을 이해하게 되고, 이런 정보처리 네트워크 구현 방식에 대한 이해는 다시 인간의 정보처리 과정에 대한 이해를 증가시키게 된다.

나. fMRI와 H₂¹⁵O-PET: 실험 방법의 차이

PET과 fMRI 기법의 상대적 장단점으로는 여러 가지를 들 수 있겠지만, 간략하게 소개하면 fMRI는 PET처럼 방사선을 사용하지 않으므로 안전하고, 훨씬 높은 공간(1-3 mm), 시간 해상도(1-2초 이상)를 보인다는 장점이 있다. 그러나 PET은 fMRI기법에 비하여 낮은 공간 해상도(6 mm 이상)와 시간 해상도(30초 이상), 낮은 신호/잡음 대비(S/N ratio)에도 불구하고 특정 오염변인(head movement, susceptibility artifact 등)으로 부터 자유롭고, 촬영 시 금속성 물질에 대한 제한이 없으며 신호 처리 방식이 보다 간단하다는 장점이 있다. 주로 PET은 방사선 동위원소를 써서 국소 혈류량의 변화를 측정하므로, 이 tracer의 반감기가 시간 해상도를 결정한다. 따라서, 상대적으로 지속적인 기간동안 축적되어 신호로 구현되므로 두뇌의 상태(brain-state)에 따른 차이를 측정하기에 유용하다. 대략 1-2분 정도 특정 두뇌 상태가 되도록 환자나 피험자에게 과제를 수행하도록 지시하거나, 의도하는 자극을 보여주며, scanner를 통하여 획득한 data의 약 1분 정도의 data 평균 값을 측정치로 이용한다. H₂¹⁵O-PET 연구에서는 signal-to-noise율이 높지 않으므로 이러한 연구자의 관심이 되는 상태와 비교조건 상태에서 여러 차례 data를 수집하여야 비로서 분석이 가능해진다. 이때 한 scan session과 다음 session사이에 방사선 동위원소의 배경 잡음 효과를 최소화하기 위하여 H₂¹⁵O의 경우 약 10분 정도의 scan간 간격이 요구된다. 3D acquisition방법으로 PET data를 획득할 때에는 약 10 mCi 정도의 H₂¹⁵O로 충분한 signal을 얻을 수 있으므로 약 6-7분의 scan간 간격이면 충분하다.

fMRI는 과제 역시 특정 과제에만 특징적으로 관여하는 두뇌 부위를 확인하기 위하여 연구의 관심

과 관련되는 실험조건과 비교 조건이 모두 동일 피험자에게서 획득되어야 한다. PET과 마찬가지로 반복 측정이 data analysis라는 측면에서 필요하다. 단 PET과 다른 점은 PET이 조건과 조건, 즉 emission scan사이에 연달아 측정이 불가능한 반면 fMRI는 연속측정이 요구된다. 그리고 한 조건의 기간은 20-30초 정도가 필요하며, BOLD signal의 특성상 동일한 조건이 이상 제시될 경우 더 이상 유의미한 BOLD 신호를 획득할 수 없이 data acquisition에 소요되는 시간만 상실될 뿐이다. 즉 fMRI의 일반적인 block design의 경우 과제 A와 과제 B가 번갈아 제시되는 A-B-A-B..A-B등의 cycle을 반복해야 하는 것이다. 이때 한 조건의 길이는 지속적(약 20-30초 가량)으로 제시되어 PET처럼 뇌 상태 의존적(brain-state dependent) 측정을 할 수 있으나 그럼에도 한 조건의 제시 시간은 PET보다 짧다.

이러한 차이는 연구자가 연구 design에서 잘 고려해야 할 문제로서 중간의 interval이 없이 과제를 번갈아 반복해야 한다는 것이 기능이 저하된 환자에게는 다소 어려움이 있을 수 있다는 것과, 그리고 scanner 주변 소음이 심하다는 것 등도 고려해야 한다.

그러나 연속측정이 가능하다는 것은 그만큼 피험자의 움직임에 의한 잡음의 가능성이나, 생리적 심리적 상태의 변화와 같은 가외 변인의 영향이 적다는 장점이 있다. 즉 거의 연속적으로 과제가 반복됨으로 과제 변인을 제외하고는 일관된 상태를 유지하고 실험을 할 수 있다는 것이다. 더군다나 최근에는 그런 특정 조건과 관련된 인지활동에 관여하는 20-30초 동안의 변화를 측정하기 보다는 수초간에 제시되는 사건의 변화로 유발된 hemodynamic response를 측정하여 뇌에서 사건관련반응(event-related response)을 측정할 수도 있다(Rosen et al., 1998; Buckner et al., 1998; Frackowiak et al., 1997, pp. 508-511 참고).

이런 실험방법은 연구자로 하여금 관련 실험 조건을 자유롭게 무선적으로 제시할 수 있으며, 시행의 특정(정답 시행, 오답 시행등) 종류에 따라 data를 post-hoc으로 다시 분석할 수 있는 장점과 같은 많은 융통성을 제시하고 있다. 이 외에도 기능적 영

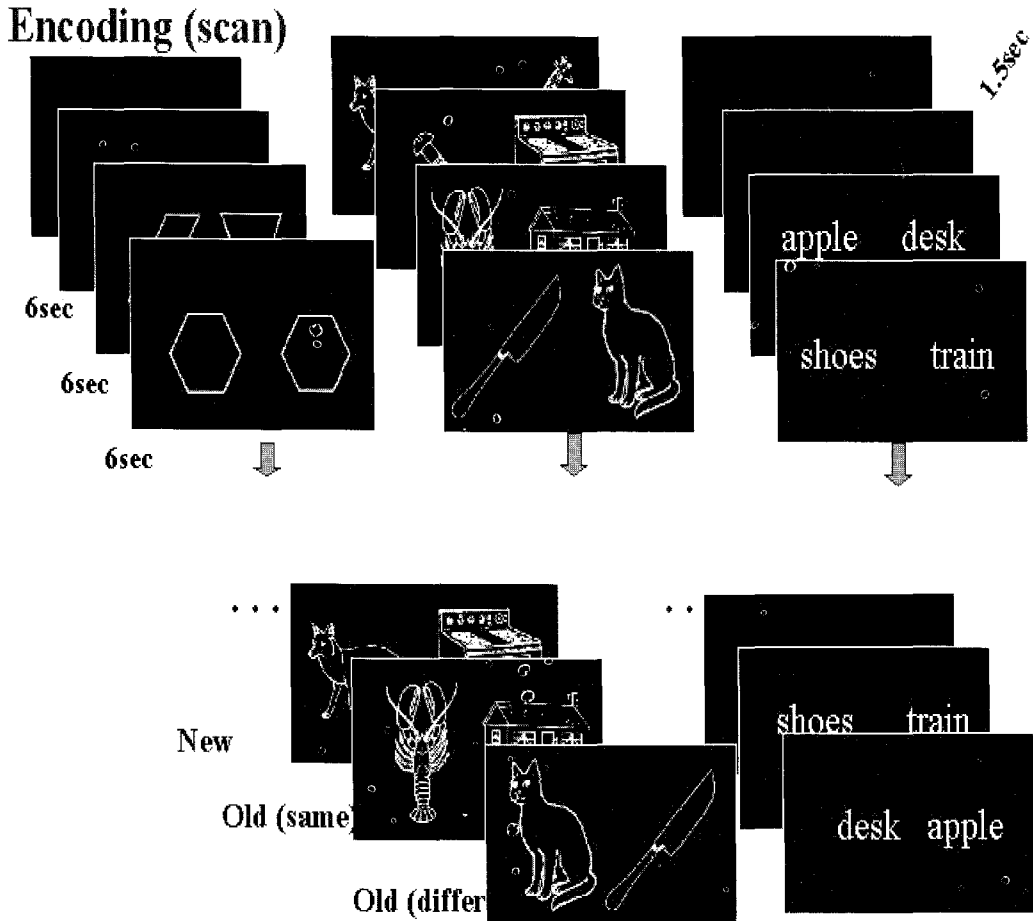


Fig 1. Behavioral task design of fMRI and PET study. Participants were asked to make either perceptual same/different judgment on geometric figure (upper left) or semantic relevance judgment on picture pair (upper middle) or word pair (upper right). Each pair was presented for 6 sec for every 7.5 sec. Following study phase (encoding), participants were tested for recognition memory for the picture or word pairs. As long as the item of each pair remains same, it is considered as previously seen pair (old), relative new pairs (new pairs of previous seen items). However, the items within a pair during test session can be shown at the same left-right position as they were at study phase (Old/ same), or they would reversed (Old/ differ).

상법으로 MEG가 있는데 이 연구법은 우수한 공간 해상도와 가장 뛰어난 시간 해상도의 장점을 가지는 반면 두뇌의 심부 구조 측정에는 제한점이 있다. 현재는 워낙 고가의 장비임으로 국내의 활용에는 시간이 걸릴 것이라고 고려되나 가까운 장래에 유용한 방법론으로 대두할 것이라고 기대된다

다. 기억 연구의 예

본 절에서는 동일한 주제를 PET과 fMRI를 통해

서 병렬적으로 연구한 결과들을 실패로 들어 그 두 방법론의 차이를 비교하고자 한다.

가) 새로운 정보간의 연합 기억: 인간의 기억이란 새로운 사실을 획득함에 반복된 경험에 의존하여 서서히 획득되어지는 기억이 있는가 하면 단 한 번의 제시만으로도 새로운 관계성에 대한 기억을 형성하는 기억이 있다. 전자의 기억을 절차기억 (procedural memory)이라고 하며 자전거나 테니스, 스키 타는 것을 배우고 그 것이 기억으로 남아서 행

동을 변화시키게 되는 것에서부터 우리가 눈에 보이는 문자열로부터 자연스럽게 소리로 변환시키는 규칙을 배운 것에 이르기 까지 그 예가 다양하다. 그러나 흔히 우리가 기억이라고 언급하는 것은 누구의 얼굴과 이름을 한번 소개 받고 기억한 다든지, 또는 아침에 신문에서 읽은 내용을 바로 기억하게 되는 것처럼 언제 어디서 제시된 내용인지가 명확한 기억, 일화기억(episodic memory)이라는 것으로 분류된다. 전자와 달리 후자는 측두엽이나 전두엽의 신경망에 의존하여 형성되는 경향이 있다. 따라서 측두엽, 특히 내측 측두엽에 손상이 있는 환자나 간질 focus가 있는 환자는 이 일화기억의 형성에 결함을 보이게 된다.

나) 기억과 내측 측두엽, 전전두엽의 기능: 본 연구는 이러한 일화기억과정과 내측 측두엽과 전두엽의 관계를 영상으로 일관성 있게 기능영상으로 측정하여 간질환자의 기억관련 기능을 평가할 것을

목적으로 다음과 같은 기억과제를 구상하였다. 첫째, 일화기억을 측정할 수 있는 과제를 계획하였다. 이를 위해 두개의 항목을 동시에 제시하고 그렇게 제시된 정보를 기억할 것을 피험자에게 요구하였다. 이러한 기억은 연합기억(associative memory)이라고 불리며 일화기억의 일종이다. 단 일회(6초간) 제시되는 한 쌍의 그림 또는 한 쌍의 단어를 보고 둘을 짝지어, 즉 연합하여 기억하게 유도하는 것이다. 매 scan중에 제시된 항목 쌍의 기억의 형성 여부는 각 scan이 끝난 직후마다 제시되는 기억검사로 확인하였다. 둘째, 좌측이나 우측의 두뇌 부위에 기능적 손상이 있는 가에 따라서 문자의 기억이나 그림의 기억이 다를 가능성을 고려하여 두 가지 자극 유형을 모두 사용하였다. 셋째, 기능영상 연구에서 중요한 점은 연구자가 관심이 있는 특정조건을 어떠한 통제 조건과 비교하느냐에 있다. 이에 따라 연구자의 관심이 있는 특정 기능이 두뇌의 어느 부위에서

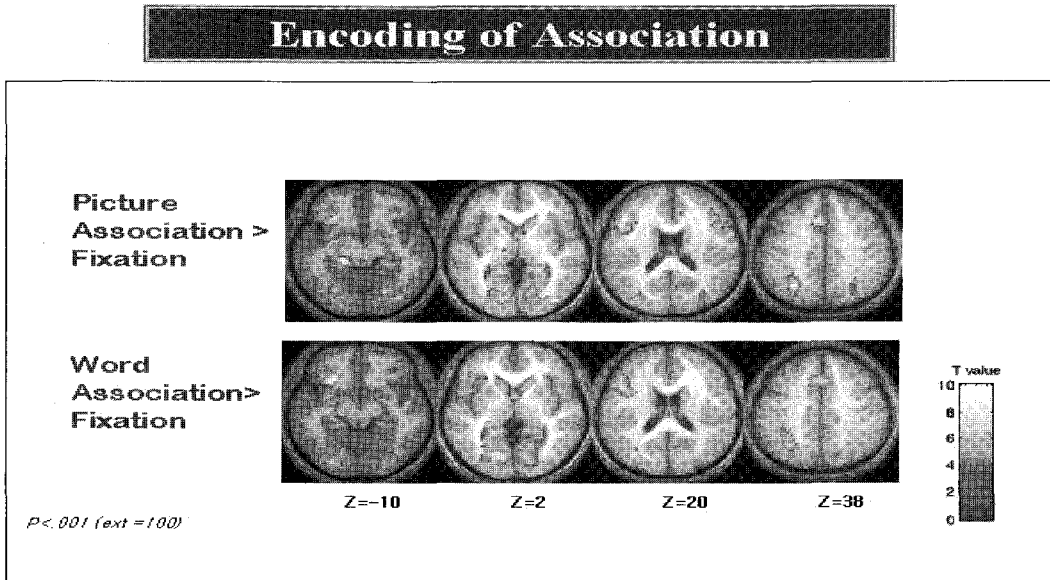


Fig 2. Brain regions showing greater activation during formation of association for picture pairs (upper) or word pairs (lower) in comparison to a fixation baseline.

Regardless of the stimulus types (either picture or word), left ventral inferior prefrontal region (BA 47) and dorsolateral prefrontal region (BA 6/44) was activated besides anterior cingulate or visual areas. More importantly, left hippocampus was activated in both memory condition, but more during picture pair association than word pairs. Left in the image is left of the brain (neurological convention). Number at the bottom of each axial slices represents the distance (mm) from the anterior commissure-posterior commissure plane. Positive number indicated superior to the plane. (Kang et al., 2001)

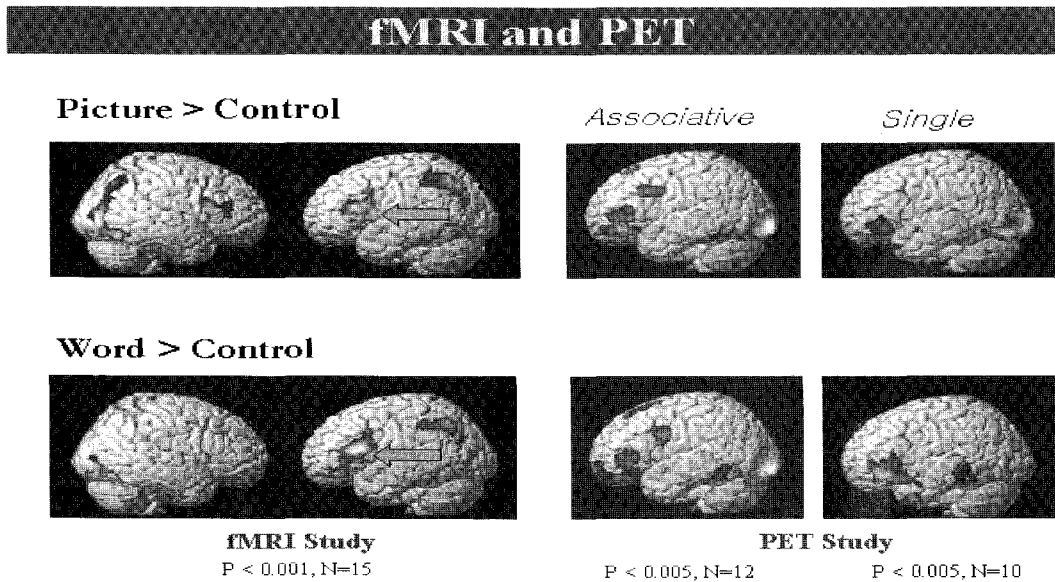


Fig 3. Comparison between fMRI study and PET study results on rendered brain image.

Both neuroimaging method yield same findings. Left column shows results of fMRI study for associative memory formation (encoding, i.e., study phase). Green arrows indicate left prefrontal activations both in ventral and posterior regions. Same activation pattern was found in the PET associative study (middle column). However, dorso-posterior prefrontal activation was not observed when only a single item was remembered as singleton (right most column).

일어났는지를 mapping할 수 있는 것이다. 엄격한 의미로 연합기억이 일어나는 두뇌 부위에 관심이 있다면 자극의 유형과 요구되는 반응이 모두 동일 하지만 기억할 것 만을 요구하지 않는 그런 통제 조건을 제시하여야 한다. 본 연구는 환자 연구로 확대될 가능성과 연합기억에 관련된 두뇌 부위를 확인하고자 하는 두 가지 목적을 만족시키고자 통제 과제를 구성하였다.

나) PET연구와 fMRI연구 : fMRI연구는 동일한 시간 내에 보다 많은 scan을 가능하게 한다. 예를 들어 PET연구는 3개의 조건 (그림 쌍 연합 기억 형성, 단어 쌍 연합 기억 형성, 통제 조건)을 2회 반복하여 모두 6회의 emission scan중에 두뇌 전체 volume에 대한 정보를 6회 획득하였을 뿐이었다. 본 예의 연구는 2D acquisition방법을 사용하였으므로 한 환자에게 주입하는 방사선 양이 30-50 mCi정도 였고 따라서 scan수의 제한이 있었기에 여기에 소개하는 PET연구에서는 기억 형성시에만 측정할 수 있었으나 동일한 연구 paradigm을 활용한 fMRI연구는 기

억형성단계와 기억 인출 단계를 모두 촬영할 수 있었다. PET연구에서는 3 조건만을 연구할 수 있었으나 fMRI연구에서는 scan수의 여유가 있었으므로 위의 3조건 외에도 단순한 low-level baseline조건인 fixation조건까지도 포함, 4조건에서 연구를 수행할 수 있었다.

학습 시: 기억 조건은 그림 기억 조건과 단어 기억 조건으로 나누어졌다. 기억 조건에서 두개의 그림 (중간 열)이나 단어 (우측 열)가 화면의 좌우에 쌍으로 제시되는 것과 감각적인 수준에서 유사하게 만든 조건인 통제 조건(상단 좌측 열)에서는 도형이 좌우에 제시되었다. 기억 조건에서는 유의미한 자극들이 제시되고 피험자는 이 자극 쌍을 하나의 set으로 기억해야 한다. 이때 피험자가 과제 중에 최소한의 주의 수준을 유지하고 그리고 의미 수준에서 정보를 처리하도록 유도하기 위하여 한 쌍으로 제시된 두개의 그림, 또는 단어들 간에 의미가 있다고 생각하는 지를 마우스 단추를 눌러 반응하도록 요구하였다. 즉 피험자는 매 7.5초마다 제시되는 기억 쌍들 (제시 시간 6초)을 잘 보

고 의미 관계성에 대한 판단을 마우스를 눌러 반응하게 된다. 동일한 운동 요소가 통제 조건에서도 일정하게 유지되어야 하므로 통제 조건에서는 화면의 좌우에 제시되는 도형이 동일한 모양인지 다른 모양인지에 따라서 역시 마우스를 누르도록 지시하였다. 이렇게 최소한 감각적 운동적 측면을 통제조건과 기억 조건을 비슷하게 하였으므로 기억 조건 중에 측정된 두뇌의 혈류 변화나 BOLD signal의 변화를 통제 기간에 측정한 값과 비교하여 기억 조건 중에 더 높은 변화를 일으킨 부위만을 확인하는 것이 가능하다. 그리고 이런 부위를 기억에 필요한 정보처리에 관여하는 부위로 간주하게 된다. PET 연구에서는 이런 기억형성 과정(그림 1. 상단)이 이루어 지는 세 조건 동안만 PET emission scan이 이루어 졌고, 각 emission scan에 이루어진 기억 형성 조건은 emission scan이 끝난 직후에 기억검사를 실시하여 어느 정도 기억이 형성되었는지를 확인하였다. fMRI연구에서는 한 scan내에 두 가지 기억 조건, 한 가지 통제 조건, 그리고 응시점 '+'을 제시하고 아무런 반응을 하지 않은 기저 조건 등 4개의 조건이 하나의 scan내에서 번갈아 반복(모두 4회)하는 동안 학습에 대한 두뇌 변화가 측정되었다. 이어서 제시되는 scan에선 기억 조건동안 제시된 자극 쌍에 대한 학습이 일어나는 것이 아니라 이미 이전 scan에서 학습한 내용에 대한 기억 검사가 이루어지며 BOLD signal의 측정이 동시에 이루어 졌다.

라) 연구 결과: 두 가지 연구 결과 모두 유사한 영역에서 활성화가 증가하는 것을 발견하였다. 단 fMRI연구에서는 통제 조건보다 더 낮은 비교 조건(응시조건)이 있었으므로 실험조건과 통제 조건의 비교 이외에도 통제 조건과 응시 기저 조건의 비교가 가능하였다. 또는 실험조건과 응시 기저 조건을 비교하는 것이 가능하였다. 특히 후자의 비교 분석은 실험 조건과 통제 조건의 비교에서 역치를 넘지 못하였던 활성화 영역을 탐지할 수 있다는 장점이 있다. Fig 3에서 제시하고 있듯이 fMRI연구에서는 low-level baseline인 응시기저조건(fixation baseline)을 사용하여 이 조건에 비하여 그림이나 단어 쌍 기억 중에 좌측 하 전전두 영역(inferior prefrontal region)의 활성화와 좌측 해마(hippocampus)의 활성화를 관찰할 수 있었다. Fig 2에서는 제시하고 있

듯이 이런 fMRI결과는 PET에서 얻은 결과와 동일하다. Fig 2에서는 기억 조건과 통제 조건을 비교한 결과를 제시하고 있는데 모두 유사한 영역에서 활성화가 관찰되었다. 단 이런 활성화 양상은 본 연구 예에서 자극 두개를 하나의 쌍으로 새롭게 기억을 형성하는 과정에서 발견된 현상일 뿐 단지 한 개의 자극을 보여주고 그 것을 기억하게 한 조건(Fig 3, 우측 열)에서는 배측 하 전전두 영역 (posterior inferior prefrontal region)의 활성화는 관찰되지 않는다. 이러한 결과는 그림과 단어 모두 동일하였다.

결 론

인간의 인지 기능 중에서 가장 활발하게 기능 영역으로 연구되고 있는 영역이 기억 연구이므로 본 종설에서는 fMRI와 PET을 이용한 기억 연구의 예를 들어 어떻게 기억과 관련된 두뇌 부위의 기능 지도화를 연구하는 가를 간략하게 소개하고자 하였다. 위의 연구에서 볼 수 있듯이 영상법이 다소 다르고 그 유통성이 다르다 하더라도 각 연구의 방법론을 이해하여 적절하게 계획된 과제 형성을 통하여 기억과 단어나 그림과 같은 정보 처리에 관여하는 두뇌 부위를 연구할 수 있게 되었다.

References

1. 강은주, 이정모.(2000). 두뇌 기능 지도화와 정보 처리과정 이해, 대한 전자공학회지, 27, 75-87.
2. Buckner, R.L., Goodman, J., Burock, M., Rotte, M., Koutstaal, W., Schacter, D., Rosen, B., & Dale, A.M. Functional-Anatomic correlates of object priming in human revealed by rapid presentation even-related fMRI, *Neuron*, 20, 285-296. 1998
3. Frackowiak, R.S.J., Friston, K.J., Frith, C.D., Dolan, R.J., and Mazziotta, J.C. (1997) *Human brain function*, Academic Press: New York.
4. Gusnard, D.A. & Raichle, M.E. (2001) Searching for a baseline: functional imaging and the resting human brain. *Nature Review*, 2, 685-694.

5. Horwitz B, Tagamets MA, McIntosh AR. (1999) Neural modeling, functional brain imaging, and cognition. *Trends Cogn Sci Mar*;3(3):91-98
 6. Kang E, Kang H, Lee JM, Na DR. (2001) Associative Memory and Asymmetry of Hippocampal and Prefrontal Activations. Society for Neuroscience meeting, Abst.
 7. Petersson KM, Elfgren C, Ingvar M (1999) Dynamic changes in the functional anatomy of the human brain during recall of abstract designs related to practice. *Neuropsychologia May*;37(5):567-87
 8. Rosen, B.R., Buckner, R.L., and Dale, A.M. (1998) Event-related functional MRI: Past, present, and future. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* 95, 773-780.
 9. Toga, A.W., and Mazziotta, J.C. (1996) *Brain Mapping: The methods*, Academic Press: New York
-