

그림 재인에 관여하는 뇌 활성화 연구: 동일 그림, 변형 그림, 및 단어 학습 그림의 인출 과정에 대한 fMRI 연구

°강은주¹, 강혜진², 이정모³, 김성일⁴, 이경민⁵, 나덕렬⁶

서울대학교 병원 방사선 의학 연구소¹, 성균관 대학교 인지과학 과정², 성균관 대학교 심리학과³, 광운대학교 산업심리학과⁴, 서울대학교 병원 신경과⁵, 삼성의료센터 신경과⁶

Prefrontal Activations and Picture Recognition of Same, Different, and Word-Studied Pictures: a fMRI study

Eunjoo Kang¹, Hyejin Kang², Jung-mo Lee³, Sung-il Kim⁴, Kyoung-Min Lee⁵, Duk L. Na⁶

¹Institute of Radiology Medicine, ⁵Department of Neurology, Seoul National University, ²Program in Cognitive Science, ³Dept of Psychology, Sung-Kyun-Kwan University, ⁴Dept of Industrial Psychology, Kwangwoon University, ⁶Department of Neurology, Samsung Medical Centerx

요약

기억의 인출에 관여하는 전전두엽의 역할을 연구하기 위해 지각적 친숙성 정도가 다른 재인 조건을 비교하고, 이에 관여하는 뇌의 활성화 양상을 fMRI로 측정 분석하였다. 이를 위하여 동일조건; 그림으로 학습하고 동일한 그림자극이 재인 단서로 주어지는 조건, 상이 조건; 그림으로 학습하고 동일한 내용의 다른 그림이 재인 단서로 주어지는 조건, 교차 조건; 단어로 학습하고 내용이 일치하는 그림이 재인 단서로 주어지는 조건이 비교되었다. 재인 수행(회상율, 정확도)은 동일 조건에서 가장 높았으며 교차 조건에서 가장 저조하였다. 동일 조건 동안 양측 두정엽에서 가장 유의미한 활성화가 관찰되었으며, 상이 조건동안은 좌측 구조물들(Insular, 중 전전두엽, hippocampal gyrus, 하두정엽등)에서 활성화가 관찰되었다. 교차 조건에서는 활성화가 좌우 시각 영역 및 두정엽의 연결부위 및 전두엽의 백질 부위(superior longitudinal fasciculus)에서 관찰되었다. 이는 그림의 인출과정에 우측 전두엽이 필수적인 것이 아니라, 인출에 수반되는 하위 정보처리 과정에 따라 다른 뇌 영역이 관여하고 있음을 시사한다. 예를 들어, 좌측 insular, 좌측 하 전전두엽에 의해 매개된 lexical processing이 상이한 그림의 재인 과정에(상이조건), 시각피질과 좌측 전전두엽의 상호작용이 시각적으로 제시되었던 단어를 그림 단서로 인출하는 과정에(교차조건) 관여하고 있을 가능성을 시사하고 있다.

1. 서론

기억의 핵심을 이루는 인출과정에 관여하는 뇌 영역이 어디일까 하는 물음이 기능 뇌 영상법(functional brain imaging method)

을 이용하여 활발하게 연구되고 있다. 뇌 영상법을 통한 연구들은 단어의 어의적 부호화에 좌반구가, 특히 좌측의 전전두엽(prefrontal lobe)이 관여하고 있음을 보여왔다[3,11,15]. 이와 관련하여 외현 기억의 인출에는 우측의 전전두엽이 더 활성화 된다는

다수의 연구가 있다[4,14,10]. 그러나 이 전진두업의 우측에서 발견되는 활성화가 과연 인출과정 핵심적인 정보처리 과정과 관련이 있는지 아니면 한 하부 과정인지에 대해서는 여전히 논란의 여지가 있다[9]. 그외에도 이러한 연구들의 대부분이 단어 자극을 이용한 연구들이므로 그림의 인출에도 전진두업의 활성화가 관찰될 것인지 보다 많은 연구가 요구되고 있다[5].

본 연구 저자의 과거 연구[6]에서 일반적인 그림 재인(동형 재인)과 단어로 학습한 내용을 그림 단서에 재인(이형 조건)하는 조건을 관찰한 결과, 단어로 학습하였던 내용을 그림 단서에 근거하여 재인할 경우(이형 재인) 좌반구의 전진두업이 활성화됨이 발견되었다. 이는 학습시의 언어로 부호화되었던 자극의 인출에, 부호화 시에 관여하였던 두뇌 영역(좌측 전진두업)이 다시 활성화된 것으로 설명할 수도 있다. 또는 이형 재인의 재인단서 자체가 지각적으로 새로운 자극이었기 때문일 새로운 부호화가 수반되면서 좌측 전진두업이 관여하였을 수도 있다. 제 삼의 가능성으로 이형재인의 경우 언어정보를 그림 단서로 인출하는 과정에서 lexical한 재부호화(re-coding)가 이루어졌을 가능성도 있다. 본 연구는 과거 연구에서 제기된 이러한 가능성을 보다 체계적으로 연구하고자, 한가지 이상의 이형 재인 조건을 동형조건과 비교하였다. 이를 위하여 모두 세가지의 그림 재인 조건이 비교되었는데 다음과 같다. 첫째, 동일 조건(SAME) - 인출 시에 학습 시에 보았던 그림과 똑같은 그림이 filler 자극들과 함께 제시되었다. 둘째, 상이 조건(DIFFERENT) - 인출 시에 학습 시에 경험하였던 그림과 동일한 단어 명명(word labeling)을 공유하나 모양이 다른 그림이 인출 시에 제시되었다. 셋째, 교차 조건(CROSS) - 학습 시에 단어로 부호화 하였던 것과 동일한 단어로 명명될 수 있는 그림 자극이 재인 단서로 제시되었다. 동일한 자극이 주어질 경우, 지각적으로 친숙성한 재인 단서가 제시된 것이다. 그러나 상이 조건과 교차 조건 모두 재인 단서들이 지각적으로 새로운 재인 단서가 제시되었다. 즉 상

이 조건과 교차 조건은 지각적 친숙성 없이 어의 내용(semantic content)에 근거하여 재인 하는 조건이었다. 그러나 상이 조건의 인출목표 자극(target stimulus)은 그림으로, 교차 조건의 목표자극은 단어로 부호화되었다는 점에서 구별되었다.

본 연구는 부호화된 조건과 인출 조건에 따라 다른 인출과정과 신경망이 관여할 것이라는 것을 가정한다. 따라서 어떻게 다른 두뇌 영역이 부호화와 재인 조건의 차이에 따라 관여하는 지를 관찰하고자 하였다. 인출 조건과 부호화 조건에 따라 다르게 관찰되는 두뇌영역에 대한 해부학적 지식에 근거하여 관련되는 정보처리의 성격을 추론하고자 한다.

2. 방법 및 절차

2.1 참여자

모두 8명의 기능 뇌영상 자료가 영상분석에 쓰였다. 피험자(나이 24.5± 2.25세, 남자=1, 여자 7명)는 모두 오른손 잡이이며 정상적인 교정시력의 신경 심리학 수강생이 참여하였다. 기술적인 이유로 3명의 행동 data가 scanner에서 수집되지 못했기 때문에 이들중 5명의 반응결과만 행동분석에 사용되었다. 참가한 8중 5명의 행동결과는 각 과제 조건에서 정답과 오답으로 나누어 분류되었으며, 이때 참여자의 각 조건의 중간 값 (Median)이 집단 분석에 이용되었다.

2.2 행동 절차

2.2.1 학습

모두 40개의 항목으로 이루어진 3개의 학습 목록(총합 120개 항목)이 이용되었으며, 이중 2개의 목록은 그림(80항목)으로 제시되었고 다른 하나의 목록은 단어(40항목)로 제시되었다. 피험자는 scan이 시작되기 전에 scanner 밖에 설치된 개인용 computer로 어의 판단과제를 수행하였는데, 이 판단과제동안 참여자는 제시되는 단어나 그림 자극에 대하

여, '인공물'인가 '자연물'인가에 대한 범주 판단을 하였다. 참여자들은 제시되는 자극(duration - 1500 ms, 500 ms ISI)에 대하여 좌우 식지 손가락으로 키보드(Z와 / 키)를 이용해 반응하였다. 사용된 손, 목록의 제시 순서, 학습 목록이 제시된 조건(그림/단어)은 피험자간에 counterbalance되었다. 3개 목록(120개 항목)에 대한 학습은 그 목록의 순서와 목록 내 항목의 순서를 달리하여 모두 3회에 걸쳐 반복하여 이루어졌다. 학습 시에 이어서 기억검사가 있을 것이란 사전지시는 별도로 주어지지 않았다.

2.2.2 재인

scanner 안에서 fMRI 영상이 촬영되는 동안 참여자들은 제시된 그림자극에 마우스를 눌러 반응하였다. 이 그림자극들은 computer에 의하여 screen에 backproject되고, 참여자의 head set에 고정된 거울을 통하여 볼 수 있었다. 검사 중 참여자는 오른손 식지 손가락을 이용하여 mouse 좌측 button을 누르는 반응만에 YES반응으로 요구되었다. 모두 3회의 scan이 실시되었으며 각 scan에 6분 12초가 소요되었다. scan의 처음 39초와 마지막 33초 동안은 '4' 표시(흑색 바탕, 흰색 font)가 시야의 정 중앙에 제시되며 참여자는 반응하지 않고 주시하도록 지시 받았다. 이러한 fixation baseline을 제외한 5분 동안, 30초의 어의 범주 판단 과제(semantic classification task)와 30초의 재인 과제(recognition task)가 5회에 걸쳐 반복 실시되었으며, 과제의 순서는 참여자 간에 counterbalance되었다. 재인 과제동안에는 이전에 본 적이 있는 자극에, 어의 범주 과제 동안에는 인공물에 각각 반응하도록 지시가 주어졌다. 매 30초의 과제 주기동안 12개의 시행이 제시되었으며, 각 주기의 시작에 지시화면(duration 500ms, 예, '인공물?' '이전어?')으로, 화면 정 중앙 상단에 자극과 함께 제시되는 symbol('?' = 재인 과제, '#' = 어의범주 판단과제)로 진행되는 과제의 종류가 지시되었다. 각 12 시행중, 재인 과제는 4개 filler와 8개의 target 항목이, 어의 범주 판단 과제는 8개의 인공물과 4개의 자

연물 항목이 pseudorandom한 순서로 제시되었다. 모든 자극은 역시 흑색 바탕에 흰색 선으로 그려진 생물, 무생물 등에 대한 그림(2000ms로 제시, 458ms의 ISI)이었다. 각 scan이 시작하기 전에, 참여자는 그림이 이전에 보았던 것과 동일하거나, 동일하지만 내용이 다른 그림으로 나타날 가능성, 또는 단어로 보았던 내용이 그림으로 나올 가능성에 대한 설명이 주어졌다. 매 scan에 앞서 동일한 지시만이 주어졌을 뿐, 각 scan에 주어진 특정 재인조건을 암시하는 지시는 제시되지 않았다.

2.3 fMRI 절차

fMRI scan은 임상용 1.5 MRI기기(General Electric, USA)를 이용하여, 다음과 같은 촬영 변수로 이루어 졌다(Gradient echo sequence by EPI (echoplanar imaging), TR=3000 ms, TE=60 ms, flip angle=90 degree, Number of acquisition=124, Number of slice = 20, slice thickness = 5 mm with no separation, FOV = 24 cm, image matrix = 64 X 64, In-plane resolution = 3.0 X 3.0 mm). 이렇게 수집된 결과는 off-line 재구성 후에 SPM99(statistical parametric mapping, 99 version, Wellcome Department of Cognitive Neurology, London, UK) software package를 이용해 움직임으로 인해 발생하는 잡음을 제거했으며 EPI template에 근거하여 표준화(normalization)와 smoothing (FWHM=8 mm)과정을 거친 후 개별 분석되었다. 이러한 분석을 거친 개별 data로 부터 연구의 관심의 대상이 되는 비교 대비 쌍들(contrast)이 산출되었고, 최종적으로 random effect model을 이용하여 집단 분석(group analysis)이 실시되었다. fMRI를 촬영하기 전, 각각 참여자의 T1 MRI image가 촬영(SPGR)되었으며, functional image와 동일한 방식으로 SPM software가 제공하는 template(T1 image) 뇌영상에 표준화 되었다. 참여자 8명의 표준화된 구조 영상을 평

관하여 group template을 산출하여, 집단 분석의 통계 결과는 활성화 지도로서 group template의 slice에 제시되거나, SPM package가 제시하는 rendering template에 제시되었다.

2.4 fMRI data 분석

첫째, scan내 재인과제과 부호화과제를 비교하여 재인과제에서 부호화과제보다 더 큰 활성화를 보인 각각의 두뇌 영역을 관찰하였다. 각각의 scan내에 사용된 부호화 과정이 동일하다고 보는 가정하에서 scan간의 활성화 양상이 비교되었다. 이 경우 scan간의 차이는 재인조건의 차이를 반영하는 것이다. 둘째, 각 scan의 재인과제의 활성화 양이 fixation baseline과 비교되었다. 각각의 scan에서 재인조건과 짝지워진 부호화 조건이 scan간에 동일 하지 않을 경우를 고려하여 각각의 재인조건이 fixation baseline(low baseline)과 비교된 결과도 scan간의 차이로 비교되어 재인 조건에 따른 뇌활성화 양상이 비교되었다.

3. 결과

3.1 행동

fMRI scan 시작하기 전의 학습 시에 단어에 대한 반응시간(평균 621ms)이 그림에 대한 반응시간(평균 569.6 ms)보다 길었다 ($F(1,4)=15.445, p<.05$). 그러나 그림 자극의 두 목록 (동일 조건, 상이 조건)간의 반응시간에는 의미 있는 차이가 없었다 ($p<.43$).

각 scan의 검사 결과는 과제별로 분석되었다. 어의 범주 판단의 경우에는 반응시간이나 정확률에 있어서 scan간에 유의미한 차이가 없었다. 그러나 재인과제의 경우 재인 조건에 따라 반응시간($F(2,8)=9.086, p<.01$)과 정확률($F(2,8)=6.623, p<.05$) 모두에서 유의미한 차이를 보였다. 행동 분석에 의하면, 각 scan별 재인 조건에 따라 유의미한 차이를 보였는데 반응시간과 정확 재인률 모두 동일 조건, 상이 조건, 교차 조건의 순으로 재인의 난이도가 유의미하게 증가함을 보였다. (반응시간:동일조건=746 ms, 상이 조건=823.5ms, 교차 조건=976ms; 정확반응율:동

일 조건=94.8%, 상이 조건=82.6%, 교차 조건=64.4%). 이러한 경향은 정확 재인율에서도 발견되었는데, 역시 유의미한 차이($p<.05$)가 발견되었다(동일 조건=84.8%, 상이 조건=55.6%, 교차조건= 40.4%).

3.2 뇌활성화

부호화 조건에 비하여 동일 재인 조건동안, 양측 하두정엽 (inferior parietal region)과 우측 중전전두엽(middle prefrontal region)이 더 높은 활성화를 보이는 것으로 발견되었다. 이에 비하여 상이 재인 조건동안은 같은 scan에 제시되었던 부호화 조건에 비하여 모두 좌측 두정엽, 좌측 전전두엽, 그리고 좌측 insular에서 더 높은 활성화가 관찰되었다(그림1). 교차 조건의 경우 부호화 과정에 비하여 좌우 두정엽, 좌측 후피질, 그리고 좌측 전두엽의 superior longitudinal fasciculus(후피질-후측측두엽-두정엽을 연결하는 white matter)등의 활성화가 관찰되었다.

각 scan간의 재인 조건을 각각의 fixation baseline과 비교한 분석도 유사한 형태의 활성화 양상을 보이고 있었으나 더 두드러진 재인조건간의 차이를 보이고 있었다(그림 2). 모든 재인 조건은 fixation baseline에 비하여 하 두정부위와 cuneus의 활성화를 수반하였다. 그러나 동일 조건의 재인이 이 두 부위의 양측 활성화를 야기시킨 반면, 상이 조건은 좌측에만 국한된 활성화를, 교차 조건은 양측이지만 좌측에 더 많은 활성화를 야기시켰다. 또한 전전두엽의 활성화도 재인 조건에 따라 다른 결과를 보였는데, 충분히 반복 학습하였던 그림의 동일조건 재인동안 fixation baseline과 비교해서는 좌우반구의 시각영역과 두정엽만이 더 큰 활성화를 보였을 뿐 두정엽의 활성화는 관찰되지 않았다. 대조적으로, 상이 조건에서는 전적으로 좌측 전전두엽의 활성화, 특히 중 전전두엽의 활성화가 관찰되었다(그림2). 이는 상이 조건의 인출어 언어 명명 인출을 매개로 하고 있을 가능성을 시사한다. 교차 조건에서는 양측 중 전전두엽 모두에서 fixation baseline과

비교하여, 활성화가 관찰되었는데 주로 좌측 전전두엽의 활성화가 더 크게 관찰되었다.

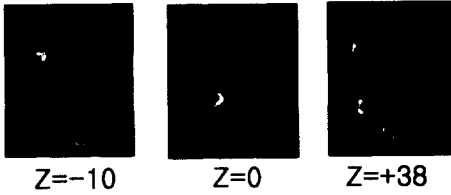


그림 1. 상이 재인 조건동안 부호화 조건보다 유의미하게 활성화를 보인 영역($p < .01$ uncorrected). a) insular, b) hippocampal gyrus, c) left middle prefrontal cortex와 inferior prefrontal cortex. 좌측은 화면의 좌측에 우측은 우측에 표시되었다.

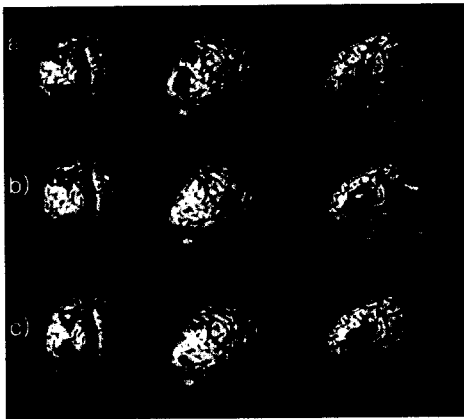


그림 2. fixation에 비하여 재인동안 유의미하게 활성화를 보인 영역($p < .01$ uncorrected). a) 동일 조건, b) 상이 조건, c) 교차 조건.

4. 논의

동일조건이, 재인 단서가 지각적 친숙성과 내용의 친숙성 모두를 포함하고 있는 가장 쉬운 인출 과정임을 고려할 때, 높은 인출율에도 불구하고 전전두엽보다는 우측 두정엽이 인출과정에 가장 유의미한 활성화가 관찰되었다. 인출에 관여한다고 알려진 우측 전전두엽의 관찰은 부호화과정과 비교하여 관찰되었으나 low baseline인 fixation baseline에 비하여는 관찰되지 않았다. 이는 동일재인과 짝지워진 부호화 시에 우측 전전두엽의 활동이 오히려 저하되었을 가능성을

시사한다. 이는 과거의 연구와 다소 상반되나 본 연구의 동일 재인이 반복 학습된 그림을 재인하는 과정임을 고려할 때, 인출이 거의 자동적으로 이루어지는 과정에서 우측 전전두엽의 활동이 결정적이 아님을 시사할 수도 있다. 이는 인출의 성공에 이 부위가 관련된다고 보는 입장과도 상반되는 결과이다.

이에 반하여 지각 친숙성이 상대적으로 저하된 상이 조건에서 lexical processing을 통한 re-coding이 이루어지고 있을 가능성이 시사되었는데, 이는 lexical processing에 관여한다고 알려진 insular 등의 활성화에 의해 나타난다. 상이 조건의 인출 과정이 모두 좌측 하 두정엽과 좌측 중 전두엽에 의존하고 있음은 lexical processing에 좌반구가 관여한다는 기존의 신경심리학적 이해와도 일치하는 것이다. 부가적으로 상이 조건에서는 좌측 해마주변 영역의 활성화도 발견되었는데, 이는 인출 해야될 내용의 표상과 인출단서에 형태가 서로 다른 형태임을 고려할 때 흥미있는 발견이라고 할 수 있다.

학습한 언어 정보를 그림으로 인출해야 하는 교차 조건에서는 상이 조건(그림 부호화)보다 적은 양의 좌측 활성화가 관찰되었다. 이는 좌측 전전두엽의 활성화가 목표자극의 부호화 modality(언어)에 의해 결정되는 것이 아님을 시사하는 것이다. 아울러 상이 조건의 재인에 비하여 교차 조건에서는 우측 중 전전두엽의 활성화가 관찰되었는데 이러한 발견은 최근의 시각과 청각의 감각 양식을 이용한 다른 연구자들의 교차 인출 연구나 암묵적 교차 인출 조건에서도 종종 관찰되는 현상이다[1,2,7,8,12,13]. 이러한 교차 조건이 가진 인출과정의 특이성, 외현적 인출과 암묵적 인출의 상호작용의 가능성은 앞으로도 계속 연구되어야 할 것이다.

<본 연구는 1999년도 과학기술부 뇌과학 프로젝트의 지원에 의해 수행되었음>

참고 문헌

- [1] Badgaiyan, R. D., Schacter, D. L., & Alperet, N. M. (1999). Auditory priming within and across modalities: evidence

- from positron emission tomography. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 11:4, 337-348.[8.
- [2] Buckner, R. L., Raichle, M. E., Miezin, F. M., & Petersen, S. E. (1996). Functional anatomic studies of memory retrieval for auditory words and visual pictures. *Journal of Neuroscience*, October 1, 16(19), 6219-6235.
- [3] Demb, J.B., Desmond, J.E., Wagner, A.E., Vaidya, C.J., Glover, G.H., and Gabrieli, J.D.E. (1995). Semantic encoding and retrieval in the left inferior prefrontal cortex: A functional MRI study of task difficulty and process specificity. *J. Neurosci.* 15, 5870-5878.
- [4] Duzel, E., Cabeza, R., Picton, T. W., Yonelinas, A. P., Scheich, H., Heinze, H. J. & Tulving, E. (1999). Task-related and item-related brain processes of memory retrieval. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. 96, 1794-1799.
- [5] Farah, M. J., Aguirre, G. K. (1999). Imaging visual recognition: PET and fMRI studies of the functional anatomy of human visual recognition. *Trends in Cognitive Sciences*, vol 3, No.5, 179-186.
- [6] Kang, E., S. Kim, D. Na, and K. M. Lee. (1999). Within- and cross- stimulus type recognition for picture and word: a fMRI study. Society for Neuroscience Abstract.
- [7] Kang, E., Vaidya, C.J., Desmond, J.E., Glover, G.H., and Gabrieli, J.D.E. (1997). A fMRI study of perceptual and non-perceptual repetition priming. Society for Neuroscience Abstract, 23_, 208.
- [8] Kang, E., Vaidya, C.J., Fine, E.M., Klein, A.L., Desmond, J.E., Glover, G.H., and Gabrieli, J.D.E., (1998). Neuroal correlates of within-form and cross-form conceptual priming for pictures and words: A fMRI study. Society for Neuroscience Abstract, 28, 754.1
- [9] Lepage, M., Ghaffar Omar., Nyberg, L. & Tulving, E. (2000). Prefrontal cortex and episodic memory retrieval mode. *PNAS*, vol.97, 506-511.
- [10] Nyberg, L., Cabeza, R. & Tulving, E. (1996). *Psychon. Bull. Rev.* 2, 134-147.
- [11] Poldrack, R. A., Wagner, A. D., Prull, M. W., Desmond, J. E., Glover, G. H., & Gabrieli, John D. E. (1999). Functional specialization for semantic and phonological processing in the left inferior prefrontal cortex. *Neuroimage*, 10, 15-35.
- [12] Schacter, D. L., Badgaiyan, R. D., & Alperet, N. M. (1999). Visual word stem completion priming within and across modalities: a PET study. *NeuroReport*, 10, 2061-2065.
- [13] Schacter, D. L., & Galluccio L. (1999). Cross-Modal priming and explicit memory in patients with verbal production deficits. *Brain and Cognition*, 39, 133-146.
- [14] Tulving, E., Kapur, S., Craik, F. I., Moscovitch, M. & Houle, S. (1994) *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 91, 2016-2020
- [15] Wagner, A. D. et al. (1997). Semantic repetition priming for verbal and pictorial knowledge: A functional MRI study of left inferior prefrontal cortex. *J. Cog Neurosci.* 9, 714-726.