

그림의 부호화 과정과 신경기제 : fMRI 연구

Neural Substrates of Picture Encoding: An fMRI Study

강은주¹⁾ 김희정²⁾ 김성일³⁾ 나동규⁴⁾
(EunJoo Kang) (HeeJung Kim) (SungIl Kim) (DongGyu Na)

이경민⁵⁾ 나덕렬⁶⁾ 이정모⁷⁾
(KyoungMin Lee) (Duk-Lyul Na) (JungMo Lee)

요약 본 연구는 fMRI를 이용하여 정상인에 있어서 자극 유형, 특히 그림 자극의 부호화와 관련된 두뇌영역을 확인하고자 하였다. Scan 1에서는 그림 자극의 부호화 과정에 관여하는 두뇌 영역을 확인하기 위하여 어의범주 판단 과정 중에 그림과 단어에 대하여 비교 관찰하였으며 Scan 2에서는 그림자극에 대하여 그림 명명과제와 어의범주 판단과제를 비교하여 과제 유형에 따른 그림의 부호화에 관여하는 두뇌 활성화 영역을 연구하였다. 피험자는 어의범주(인공물/자연물)에 따라 마우스를 눌러 반응하거나(Scan 1) 그림명명이나 범주 소속 여부를 속으로 말하도록(subvocal response)(Scan 2) 요구되었다. 자극의 유형과 무관하게 부호화 중에 좌측 전전두 영역, 양측의 두정엽, 그리고 양측의 고차시각 피질 등이 공통적으로 활성화 되었다. 그림보다 단어의 부호화에는 좌측 하 전전두엽, 우측 전측 전전두 영역, 양측의 도(insula), 좌측 두정-측두엽 등 광범위한 언어/개념관련 두뇌 영역에서 더 높은 활성도가 발견되는 반면, 그림의 부호화에는 양측의 고차 시각영역과 해마방회(parahippocampal gyrus) 영역에서 더 높은 활성도가 관찰되었다. 이는 동일한 어의판단과제를 수행하는 과정에도 단어는 어의적/언어적 처리가, 그림은 지각적 정보처리 및 novelty 관련 정보처리가 서로 다른 해부학적인 영역에 의하여 매개됨을 의미한다. 그림 명명과제나 어의범주 판단 과제 모두를 속으로 말하는 수행(Scan 2)은 배측 하 전전두 영역, 즉 Broca영역의 활동 증가를 야기시켰으며, 특히 명명과제 수행에는 어의범주 판단과제를 수행할 때에 비하여 양측의 시각영역에서 더 많은 활성도가 발견되었는데, 이는 대상의 명칭을 인출하는 과정에 고차 시각정보 처리가 더 많이 관여하였을 가능성을 시사한다.

주제어 부호화, 그림, 의미 처리, 기억, 전 전두피질

Abstract This study is to examine brain regions that are involved in picture encoding in normal adults using fMRI methods. In Scan 1, the picture encoding was studied during

- 1) 서울대학교 의학 연구원 방사선 의학 연구소,
서울대학병원 핵의학과
Department of Nuclear Medicine,
Medical Research Center, Seoul National University
ekang@nm.snu.ac.kr
- 2) 서울대학교 대학원 인지과학 협동과정
Interdisciplinary Program in Cognitive Science,
Seoul National University
heejung@cogsci.snu.ac.kr
- 3) 광운대학교 산업심리학과
Department of Industrial Psychology,
Kwangwoon University
sungkim@daisy.kwangwoon.ac.kr
- 4) 성균관 대학교 의과대학 방사선외학과
Department of Radiology, Samsung Medical Center
Sungkyunkwan University School of Medicine
dgna@smc.samsung.co.kr

- 5) 서울대학교 의과대학 신경과
Department of Neurology, Seoul National University
kminlee@snu.ac.kr
- 6) 성균관 대학교 의과대학 신경과
Department of Neurology, Samsung Medical Center
Sungkyunkwan University School of Medicine
dukna@smc.samsung.co.kr
- 7) 성균관 대학교 사회과학대학 심리학과
Department of Psychology, Sungkyunkwan University
jmlee@yurim.skku.ac.kr

연구 세부분야: 인지 신경과학, 기억, 뇌 기능영상
주소: 서울시 종로구 연건동 28번지 서울대학교 의학연구원
방사선외학 연구소, 서울대학병원 핵의학과 (110-744)
전화: 02-760-3804 Fax: 02-745-7690
E-mail: ekang@nm.snu.ac.kr

a semantic categorization task in comparison with word. In Scan 2, task type effects were studied both during a picture naming task and during a semantic categorization task with pictures. Subjects were asked to make decision either by pressing a mouse button (Scan 1) or by responding subvocally (naming or saying yes/no) (Scan 2). Regardless of stimulus type, left prefrontal, bilateral occipital, and parietal activations were observed during semantic processing in comparison with fixation baseline. Processing of word stimulus relative to picture resulted in activations in prefrontal and parieto-temporal regions in the left side while that of picture stimulus relative to word resulted in activations in bilateral extrastriatal visual cortices and parahippocampal regions. In spite of the same task demands, stimulus-specific information processings were involved and mediated by different neural substrates: the word encoding was associated with more semantic/lexical processings than pictures and the picture processing associated with more perceptual and novelty related information processings than word. Activations of dorsal part of inferior prefrontal region, i.e., Broca's areas were found both during the picture naming and during the semantic tasks subvocally performed. Especially, during the picture naming task, greater occipital activations were found bilaterally relative to the semantic categorization task, indicating a possibility that greater and higher visual processing was involved in retrieving the name referred by picture stimuli.

Keywords Encoding, Pictures, Semantic processing, Memory, Prefrontal cortex

1. 서론

기억의 신경해부학적 실체에 대한 연구는 신경과학적 접근과 인지 과학적 접근이 함께 이루어지면서 급속히 발전하고 있다. 특히 뇌 기능 영상법인 기능적 자기공명 영상법(fMRI)이나 양전자 방출 단층촬영법(PET)과 같은 기술의 발전에 따라 기억과 같은 인지 과정을 수행하는 중에 측정되어진 뇌활성화 양상에 대한 결과들은 인지 기능에 대한 이해를 넓히고 관련된 두뇌구조물의 기능을 이해하는데 공헌하고 있다(강은주, 이정모 2000; Gabrieli, 1998; Mayes and Montaldi, 1999; Fletcher and Henson, 2001; Yancey and Phelps, 2001). 이러한 기능 영상 연구들은 정상 성인의 두뇌 활동을 측정함으로써 자극 특성(언어적/시공간적 또는 비언어적), 기억 과정(부호화/인출), 기억 인출 과정의 차이(외현/암묵 기억), 기억 저장 시간적 차이(장기기억/작업기억)에 대하여 여러 가지 시사점을 제시하고 있다(Dolan 등, 1997; Gabrieli 1998; Grady 등, 1998; Haxby 등, 1996; Nyberg 등, 1998; Tulving 등, 1994). 특히 기능 영상연구 결과 일화기억에 내측 측두엽뿐 아니라 좌측 전전두 영역이 중요하게 대두되었다(Nyberg 등, 1996; Lepage 등, 1998; Buckner 등, 2000; Bernard 등, 2001).

기존의 연구에 의하면 개념처리 과정을 통한 기억의 부호화에 관여하는 두뇌영역으로는 좌측 하 전전두 영

역(left inferior prefrontal region)이 강력하게 시사되고 있다(Demb 등, 1995; Kapur 등, 1994; Kelley 등, 1998; Poldrack and Gabrieli, 1997; Nolde 등, 1998; Bernard 등, 2001). 그러나 자극의 유형에 따라 차이가 있을 가능성이 논의되고 있다. 그림이나 얼굴과 같은 비언어적 자극의 부호화에는 단어 부호화보다 좌측 하 전전두 영역의 활성화가 적을 가능성이 있기 때문이다(Kelley 등, 1998; Leube 등, 2001). 부호화에 관여하는 신경구조물을 확인하는 또 다른 방법은 점화(priming)기법을 이용한 것인데 동일한 정보 처리를 반복하면 초기 처리에 비하여 속도나 정확성이 증가하는 반면 초기 정보 처리에 관여하던 두뇌영역의 활성화가 감소된다(Wagner 등, 1997; Buckner 등, 1998; Wagner 등, 2000). Kang 등은 fMRI를 이용한 어의범주 판단과제의 점화연구(1997, 1998)를 이용하여 단어의 경우에는 좌측 하 전전두엽에서 주로 감소하고, 그림자극의 경우는 양측 고차 시각피질에서 더 많이 감소함을 보고하였다. 즉, 동일 신경망이 서로 다른 자극 유형의 정보처리에 모두 관여한다 하더라도, 그 신경망을 구성하는 각각의 두뇌 부위의 해당 정보 처리에 관여하는 정도는 자극 유형간의 차이가 있음을 시사하였다. 그러나 위의 연구는 그림과 단어 점화가 각각 다른 scan 중에 측정되었으므로 자극 유형 특정한 차이는 비교할 수 없었고, 부호화 과제가 다를 경우에도 유사한 신경망이 사용될 것인가 하는 문제가 확인되지 않았다.

이에 본 연구는 기억과정 중 부호화 과정에 영향을 미치는 요인 중에 1) 자극 특성과 2) 정보 처리 과정의 문제를 동일 피험자에서 각각의 scan내에서 관찰하고 비교 분석하는 연구를 수행하고자 하였다. 첫째, 자극 특성, 특히 그림 자극과 단어 정보 처리 양식의 차이를 비교하기 위하여 본 연구에서는 동일한 피험자에게서 그림과 단어를 함께 비교하였다.

특히 그림 자극은, 일상생활에서 흔히 볼 수 있는 사물에 대한 선형그림(line drawing)이 사용되었는데, 일반적으로 단어가 그림보다 어의적/언어적(semantic/lexical) 속성을 가지는 데 반하여 그림 자극은 시공간/지각적(visuo-spatial/perceptual) 속성을 가진다고 볼 수 있다. 그러나 사물에 대한 명명가능한 그림은 동시에 단어와 같은 개념적 즉, 어의적 처리(semantic processing)가 가능하다. 또한, 그림자극은 나타내는 사물의 명칭으로 인출할 수 있으므로 시각적 정보 처리는 물론 언어적 정보 처리(lexical processing)가 가능하다. 기억에 대한 기존 기능영상 연구의 대부분이 단어와 같은 언어적 자극을 중심으로 이루어져 왔으며, 그림과 단어를 함께 연구한 연구들은 소수에 불과하다. 그림에도 그러한 소수의 연구 결과들은 그림과 단어 자극의 정보처리 과정에 상당히 공통적인 두 뇌영역이 관여하고 있음과 동시에 자극 유형에 특정한 뇌 신경망(material specific brain network)이 존재함을 보고하고 있다(Wagner 등, 1997; Vandenberghe, 등, 1996; Grady 등, 1998; Grady 등, 2001). 이들 연구와 마찬가지로 본 연구에서는 자극 유형에 따른 차이를 보이지 않고 활성화 되는 두뇌영역은 운동 반응 산출이나 초기의 감각정보처리 과정 관련 영역을 제외하고는 그림과 단어의 의미 처리 과정에 공통되는 개념처리 과정과 관련되어 있을 것으로 가정하였다.

둘째, 개념적 부호화, 특히 그림 자극의 개념적 부호화에 관여하는 정보처리 과정을 이해하기 위하여 동일한 피험자에게 두개의 서로 다른 과제를 번갈아 실시하였는데, 명명과제와 어의범주 과제가 그것이다. 명명과제는 그림을 지각하고 그와 연합되어진 음성학적 산출(phonological output), 즉 그 그림이 지칭하는 대상의 이름까지를 인출하여 음운으로 산출하는 과정(그림 명명과제)을 필요로 한다. 어의범주 과제는 그림의 개념적 분류를 수행한 후에 그 범주(예:인공물) 소속 여부를 판단하는 과정을 포함한다. 명명과제 중에는 보다 언어적 정보처리가, 어의범주 과제에는 보다 어의적 정보처리가 요구된다. 물론 명명을 하는 과정에서 대상의 어의가 자동으로 인출되리라는 것은 생각할 수 있다. 특히 본 연구에서는 범주 판단의 결

과를 명명과제와 유사한 형태의 반응으로 산출하기 위해서는 단순한 두 가지 반응, 즉 '예/아니오' 중 적어도 하나의 언어적 반응은 산출하도록 피험자에게 지시하였다. 따라서 이 두 가지 과정 즉 의미처리과정과 언어적 처리과정이 두 과제에 모두 관여할 것이나, 본 연구에서는 과제 종류(명명과제 vs. 어의범주 판단과제)에 따라 정보처리 종류(언어적 처리 vs. 어의적 처리)의 상대적인 차이를 가정하였다. 이렇게 동일 피험자에게, 동일 scan내에서 동일 자극 유형에 정보처리 종류의 요구를 달리한 과제를 실시하여, 두 과제에 공통되거나 특징적인 두뇌 활성화 양상을 관찰하였다. 이런 결과는 그림의 언어적 처리(명명과제)와 어의적 처리(어의범주 판단과제)과정이 모두 개념적 처리의 일종임에도 불구하고 그 관련 두뇌영역에 차이가 있는지, 또는 그러한 과제 특성의 차이에도 불구하고 공통된 정보 처리가 있다면 이런 정보처리에 관여하는 뇌영역은 어디인지를 연구할 수 있을 것이다.

따라서 본 연구에서는 그림처리와 단어 처리를 범주 판단과제 중에 비교하거나(Scan 1), 그림을 처리함에 그와 관련된 언어적 표상(명명 등)을 인출하도록 요구하는 명명과제와 어의범주 판단과제를 그림 자극에 대하여(Scan 2) 비교하였다. 단, Scan 2에서 피험자들은 속 말하기 반응(subvocal response)으로 명명과제나 범주 판단과제를 수행하였다. 본 연구는 그림 자극의 부호화 과정에 이어 이 후 그림의 인출단서로 단어가 어느 정도 효율성을 가지고 사용될 수 있는가, 또 이러한 교차 재인 조건이 어떠한 두뇌 부위에 의해 매개 되는가를 이해하고자 하는 일련의 부호화-인출과정 연구의 일부로서 본 연구 결과 및 논의의 범위를 부호화 과정에만 국한하여 보고하는 것임을 밝힌다.

2. 방법

2.1 실험 참가자

고려대학교와 광운대학교에서 심리학 강의를 수강하는 대학생 및 대학원생 16명이 실험에 참가하였다. fMRI 결과는 모든 참여자에게서 수집되었으나 기술적인 문제로 5명의 행동 결과가 수집되지 못하여 모두 11명의 행동 결과만이 아래에 보고한 분석에 사용되었다.

2.2 절차

부호화 단계와 재인 단계에서 각각 두 개의 scan, 즉 모두 4개의 fMRI scan이 행하여 졌으나, 본 연구에서는 부호화 단계인 첫 두 종류의 scan에 대해서만

논의를 국한하기로 하였다. 두 개의 부호화 scan은 어의범주 판단과제가 실시되는 동안 일련의 그림들과 단어들이 번갈아 제시되는 Scan 1(단어/그림 scan)과 그림 자극에 대하여 명명과제와 어의범주 판단과제가 번갈아 시행되는 또 다른 부호화 Scan 2(명명/어의범주 판단 scan)로서 두 scan의 순서는 피험자간에 역균형(counterbalance) 통제가 이루어 졌으나, 편의상 Scan 1과 Scan 2로 지칭하였다.

2.2.1 자료

본 연구에서 명명가능한 대상(namable object)의 선형 그림(line-drawing) 200개가 부호화 과제의 자료로 준비되었는데, 주로 Snodgrass와 Vanderwart(1980)의 그림과 일부 K-BNT(한국판 보스턴 이름대기 검사: 김향희와 나덕렬 1997), 그리고 김성일 등(2000)의 논문에서 사용된 그림들이 이용되었다. 이때 사용되는 그림의 그래픽 속성이 다소 다른점을 감안하여 그림 출처의 비율이 목록간에 일관성 있도록 하였다. 또한 3명의 객관적인 명명자에 의하여 선택된 명명을 사용하여 해당 그림의 명칭을 단어 목록으로 설정하고 해당 명칭의 어휘빈도를 통제하였다. 어휘빈도는 연세대학교 사전편찬위원회에서 펴낸 어휘빈도표를 기준으로 하였으며 단, 고빈도 단어와 저빈도 단어의 빈도수의 극단적인 값이 평균 빈도수를 맞추어 목록들을 구성하는데 어려움을 야기시킴으로 빈도 200이상은 모두 200으로 환산하여 계산하였다. 각 목록은 50개의 항목으로 이루어져 이렇게 조사된 사용빈도의 목록간 평균과 인공물 자연물의 비(33: 17 또는 34:16), 그림의 출처 비 등을 일정하게 하였으며, 명명에 필요한 음절 길이와 목록간 어휘 사용 빈도수의 평균(53.7) 등도 통제되었다. 두 개의 부호화 scan, 4개의 조건에 4개의 자극 목록이 각각 사용되었다. 자극 목록과 조건은 피험자 간에 역균형 통제되었으며, 각 목록에서 10개의 새로운 단어가 30초인 반주기(half cycle) 동안 제시되었는데 인공물과 자연물의 비율이 평균 6.5 대 3.5의 비율이었다. 각 반주기 동안에 14개의 시행이 제시되므로 이들 10개의 항목 중 무선적으로 선택된 4개의 항목은 반복되어 제시되었다. 단 이때, 동일한 항목이 연달아 이어서 제시되는 일이 없도록, 동일한 항목 유형(인공물/자연물)이 4회 이상 연속되어 제시되는 일이 없도록 구성하였다. 본 연구의 부호화 과정에 쓰인 자극의 목록을 <부록>에 제시하였다.

2.2.2 행동 과제

Scan 1중에 제시되는 그림이나 단어에 대하여 피험

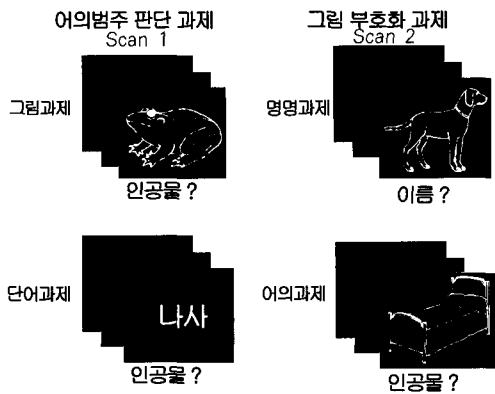
자는 어의범주 판단과제를 수행하였다. 이때 피험자에게 그림이나 단어가 지칭하는 대상이 인공물(man-made) 인가, 자연물(natural) 인가에 근거하여 어의범주를 판단하여, 인공물일 경우에만 오른손 검지로 마우스를 눌러 반응하라고 지시하였다. Scan 2중에는 명명 반응 자체나 범주 판단(예/아니오) 모두 속말하기로 반응하도록 지시하였다. 즉, 명명과제 조건이 실시되는 동안은 제시되는 그림이 지칭하는 이름을 소리내지 말고 입을 움직이지 않은 채로 말하도록, 어의범주 판단과제 중에는 제시되는 그림에 대하여 인공물이면 '예', 자연물이면 '아니오'를 명명과제와 동일한 방식으로 말하도록 지시하였다.

2.2.3 fMRI scan

각각의 scan은 6분 12초로 기저 조건 주기(baseline condition period)와 활성화 조건 주기(activation condition period)으로 이루어졌다. 기저 조건 주기는 각 scan의 처음 시작(39초)과 끝(33초)으로 이때 '+' 모양의 fixation이 제시되었다. 활성화 주기동안은 실험조건과 비교조건이 각각 30초씩 5회 반복되었다. 즉 실험조건과 비교조건은 반주기(30초)를 간격으로 번갈아 제시되었는데, 이러한 교대가 한 scan에 5회씩 반복되었다. 이렇게 하나의 조건이나 지속되는 반주기(half-cycle) 중에 처음 2초는 새로운 조건 또는 과제 종류를 알리는 지시 시행이, 나머지 28초간 14개의 과제 시행이 제시되었다. 모든 14개의 과제 시행 중에 정답은 9개가 되도록 구성하였다. 단 명명과제 중에 정해진 정답은 없었다. Scan 1에서 제시된 단어에 대하여 어의판단 과제가 시행된 주기를 비교조건, 그림이 제시되는 조건이 실험조건으로 Scan 2에서는 명명조건이 실험조건, 어의판단 조건이 비교 조건으로 간주하였다. 물론 실험조건과 비교조건 중 어느 조건이 먼저 제시될 것인가 하는 순서 또한 피험자 간에 그리고 scan 간에 역균형 통제(counterbalance) 하였다.

각각의 그림, 또는 단어는 상용 컴퓨터 소프트웨어(SuperLab, Cedrus, 1998)를 이용하여 제시하였으며 자극 제시 시간은 1800 ms, 시행간 간격(Inter Trial Interval)은 2초였다. 마우스를 누르는 반응에 대하여는 그 반응 여부와 반응시간이 역시 동일한 소프트웨어로 측정, 수집하였으며 각 시각 자극은 PC에 연결된 LCD 투사기로 MR 기기 전면에 설치된 반투명막 screen에 역투사(back project) 되었고 피험자는 GE head set에 달린 거울을 통하여 자극을 볼 수

있었다. 자극으로 사용되었던 그림이나 단어는 검은 바탕에 흰색으로 제시하였다(그림 1).



(그림 1) 각각의 scan에 제시되었던 자극 유형과 과제 지시의 종류에 대한 예('인공물?', '이름?').

2.3 기능 영상

2.3.1 자기 공명 촬영

해부학적 영상을 얻기 위한 MRI촬영과 기능영상을 얻기 위한 fMRI촬영은 임상용 1.5T MRI 기기 (General Electric, Milwaukee, USA)를 이용하여 서울대학교 병원과 삼성의료원에서 이루어 졌는데 fMRI 촬영 변수는 다음과 같다: Gradient Echoplanar Imaging (EPI) sequence, TR= 3000 ms, TE= 60 ms, flip angle= 90도, 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 = 3.75 x 3.75 mm. fMRI의 촬영 전에 T1 MR영상이 시상면 (sagittal plane)으로 촬영되었고 이로부터 AC-PC 평면 (anterior commissure-posterior commissure)에 평행하게 절편의 위치를 정하되 아래에서부터 6번째 절편에 AC-PC 평면을 통과하도록 절편의 위치를 조절하였다. 이러한 위치에서 20개의 수평단면의 T1 MRI 영상(해부학적 영상)이 촬영되고 이어서 과제의 시작과 동시에 EPI 방식으로 기능영상을 위의 변수로 촬영하였다.

2.3.2 영상 결과 분석

이렇게 수집된 결과는 MATLAB(Mathworks, Inc., USA) 환경에서 구현되는 SPM99 (Statistical Parametric

Mapping, 99 version, Wellcome Department of Cognitive Neurology, London, UK) 소프트웨어를 적용하여 처리되었다. SPM을 통해서 머리 움직임에 의한 잡음을 보정하기 위한 정합보정(realign)절차가 개개인의 피험자의 개인 data분석에 적용되었으며 이런 절차의 부산물로 생성된 평균영상(mean-image)에 각각 피험자의 T1 MRI 영상이 정합(coregister) 되었다. 이어서 자신의 EPI 영상과 정합된 T1 영상을 SPM99에서 제공하는 T1 template에 공간표준화(normalize)한 후, 여기서 산출된 공간표준화 변수(normalization parameter)를 동일한 피험자로부터 얻어진 모든 EPI 영상에 적용하여 모든 T2* weighted EPI 영상을 다시 표준 공간으로 표준화 하여 재표집(resample)하였다. 표준화된 영상은 이어서 8 mm의 FWHM(full width at half maximum)을 갖는 Gaussian Kernel filter를 중첩적분(convolution) 적용하여 편평화(smooth) 되었다. 다음 각각 피험자마다, 위에서 처리된 두뇌 부피영상의 구성 단위인 각 부피소(voxel: 2.0 x 2.0 x 2.0mm)별 BOLD(blood oxygen level dependent) 신호의 변화는 실험조건, 비교조건, 그리고 기저조건으로 나누어 실험조건, 비교 조건이 각각의 scan에서 비교되었다. 또한 각각의 조건은 scan 앞 뒤에 30초씩 제시되었던 응시조건(fixation)인 기저조건(baseline)과도 비교되었다. 이런 조건 간의 비교에 앞서 반복제시에 따른 과제 효과와 혈액역학반응함수 (hemodynamic response function: hrf)에 대한 model이 적용되었다. 이때 모델의 구성에는 조건들의 반복제시에 의한 효과를 제외한 저주파 잡음(noise)은 high-pass filter를 이용, hrf의 효과는 SPM99이 제시하는 주파수의 low-pass filter로 제거하였다. 이렇게 구성된 모델과 영상들의 처리된 결과는 상관관계를 이용하여 분석하고, 두뇌의 전체 영역을 구성하고 있는 부피소들의 voxel 대 voxel paired-t test로 조건들간에 분석되었다. Paired-t test를 위한 대비 조건은 다음과 같다: 1) 실험조건이 기저 조건보다 높은 경우; 2) 비교 조건이 기저 조건이 더 높은 경우; 3) 실험조건이 비교 조건 보다 더 높은 경우 (실험 조건) 비교조건); 4) 비교조건이 실험조건에 비하여 더 높은 신호를 보이는 경우 (비교 조건) 실험조건). 이러한 개인 통계 결과 생성된 대조 영상 (contrast image)은 다시 2차 분석인 집단 분석에 이용되었으며, 집단 분석에서는 개인차를 무선 변수로 고려한 무선효과 모델(random effect model)이 사용되었다.

2.3.3 영상 분석 결과 제시 방법

본 연구의 집단 결과 분석에는 통계 역치를, 부피소 (voxel) 수준에서 높이 역치(height threshold, $P < .01$, uncorrected for multiple comparison)와 범위

역치(extent threshold, $k=200$ voxel)를 근거로 계산된 덩이 역치를 사용하였다. 이는 생리학적으로 유의미한 결과를 적어도 유의미한 부피소가 200개 이상 있을 경우의 덩이로 가정하고 통계적 유의성을 검증한 것으로, 각 덩이의 P 값은 부피소 높이 역치(height threshold)와 범위역치(extent threshold)의 상호작용에 의하여 SPM99 소프트웨어에 의해 계산되었다. 본 연구에서는 기저조건(2 half-cycle)과 실험조건, 비교조건(5 half cycle)의 주파수의 차이로 상대적으로 높은 high-pass filter를 사용하였기에 결과해석에 β 오류가 있을 가능성을 고려하여 덩이수준에서 중다비교(multiple comparison)가 보정된 $P < .10$ 수준을 채택하였다. 유의미한 덩이소에 포함된 최대 3개의 국소 최대값들(local maxima)(최소 8 mm가 떨어진)을 보이는 부피소의 좌표와 그 T 값을 표에 제시하되, 해부학적으로 중복되는 영역은 생략하였다. 이때의 국소 최대값을 보이는 좌표는 부피소 수준에서 $P < .001$ (uncorrected for multiple comparison, $T=3.73$) 이상의 유의미 수준을 보이는 것만을 포함하였다. 각 표에는 국소 최대값을 보이는 부피소의 위치를 나타내는 SPM99이 제시하는 MNI(Montreal Neurology Institute) 좌표를 Talairach 좌표(Talairach & Tournoux, 1988)로 변환한 것을 제시하였으며, T 값을 제시하되 각 덩이소를 대표하는 영역의 이름은 bold로 표시하였다.

3. 결과

3.1 행동 결과

참가한 16명 중, 행동 측정 결과가 획득된 11명의 행동결과는 각 과제 조건에서 반응한 시행들의 결과가 정답과 오답으로 나뉘어 분류되었으며, 각각 피험자의 각 조건의 중간 값 (median)이 집단분석에 사용되고 scan에 사용된 두 개의 조건(실험/비교) 간의 비교는 paired t-test를 이용하여 검증하였다. Scan 1의 어의 분류과제에서 단어 (679.2 ms)와 그림 (673.3 ms)의 반응시간에 의미 있는 차이가 없었으며 [$t(df=10) = 0.52, P > .61$], 정답 반응율에도 그림 (98.2%)과 단어(98.1%) 사이에 유의미한 차이가 없었다 [$t(df=10) = 0.15, P < .88$]. 이상의 결과는 그림과 단어 자극 유형사이에 어의범주 판단에 걸리는 시간이나 판단의 난이도에 차이가 없음을 의미한다. 이런 결과는 본 연구에서 사용된 두 종류의 자극유형 모두 어의범주 판단 과정 중에 충분히 의미 수준에서 처리되었음을 시사한다. Scan 2 중에는 속말하기 반

응(subvocal response)이 요구되었으므로 행동 data는 수집될 수 없었다.

3.2 영상 결과

3.2.1 Scan 1 (단어/그림 scan)

단어의 어의범주 판단과제 동안은 응시점을 주시하도록 요구된 기저 조건에 비하여, 좌측의 하 전전두 영역(left inferior prefrontal area), 내측 전전두 영역(medial prefrontal regions)과 대상회(cingulate gyrus) 영역, 두정엽(parietal lobe), 복측 시각 피질(ventral occipital cortex) 등이 활성화 되었다. 우측 반구에서는 복측 시각 피질 영역과 두정엽이 활성화 되었다. 이때 좌측 하 전전두엽은 Brodmann 영역(Brodmann Area: BA) 47번 영역인 후측 안와회(posterior orbital) 영역과 외측 안와회(lateral orbital) 영역을 포함하였다. 내측 전전두 영역(medial prefrontal)으로는 내측 전전두엽(BA 6), 상 전전두엽(BA 6), 그리고 BA 32의 대상회 영역이 포함되었다. 하 두정엽(BA 40)과 상 두정엽(BA 7)영역이 또한 활성화 되었으며 중심전 회(precentral gyrus, BA 4)를 포함하였다. 좌우 복측의 고차 시각 피질은 방추회(fusiform, BA 37, 19)와 설상회(lingual gyrus, BA 18) 영역이 포함되었다. 하 두정엽의 활성화는 좌측은 물론 우측에서도 발견되었다. 그림의 어의범주 판단에는 단어의 어의범주 판단에 관여하는 두뇌영역과 거의 공통되는 영역에서 활성화가 관찰되었다. 단, 양측의 중간 후회(middle occipital gyrus)에서 관찰된 활성화는 단어 처리에서는 관찰되지 않은 것이다. 이는 단어 부호화에 비하여 고차 시각 정보처리가 추가로 이루어졌음을 시사한다. 단어의 어의범주 처리는 그림과 달리 좌측 하 전전두엽(BA 47)의 영역에서 가장 높은 정도의 활성화가($T=8.00$), 그림조건에서는 좌측의 소뇌의 경계 부의(declive)의 복측 시각피질 에서 가장 높은 활성화($T=11.50$)가 발견되어 그림 조건과 단어 조건의 활성화된 두뇌영역이 상당히 공통되더라도 그 활성화 정도에는 다소 차이가 있음을 시사하였다. 위의 단어와 그림 조건에서 활성화가 관찰된 두뇌영역들은 SPM99이 제공하는 rendered brain template에 각각 제시되었다(그림 2a, b). 이렇게 유의미하게 높은 활성화를 보인 덩이소의 국소 최대값들의 표준공간 좌표(Talairach 좌표)가 역시 (표 1)에 제시되었다.

(표 1) 어의 범주 판단 과제 동안 기저 조건에 비하여 활성화를 보인 두뇌 영역

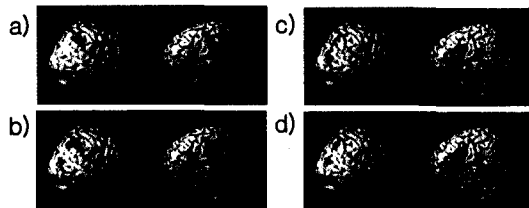
단어 > 기저조건							그림 > 기저조건						
L/R	Region	BA	Talairach 좌표			T score'	L/R	Region	BA	Talairach 좌표			T score
			x	y	z					x	y	z	
L	Inferior Frontal Gyrus						Inferior Frontal Gyrus						
	Posterior Orbital	47	-32	25	-10	8.00	Lateral Orbital	47	-48	11	-6	5.20	
	Lateral Orbital	47	-50	11	-4	6.03	Posterior Orbital	47	-30	23	-3	4.01	
M	Medial Frontal /Cingulate Gyrus						Medial Frontal /Cingulate Gyrus						
	Medial Frontal	6	-10	10	46	7.91	Cingulate	32	-8	12	42	7.30	
	Superior Frontal	6	2	12	53	6.13	Medial Frontal	6	-2	14	47	5.50	
L	Parietal and Central Lobe						Parietal and Central Lobe						
	Precentral Gyrus	4	-34	-11	52	5.05	Precentral	4	-36	-15	45	5.32	
	Inferior Parietal	40	-53	-35	31	5.48	Inferior Parietal	40	-42	-35	48	4.39	
L	Ventral Occipital Gyrus						Ventral Occipital Gyrus						
	Fusiform	37	-34	-61	12	5.67	Fusiform	37	-34	-59	-11	8.52	
	Lingual	19	-26	-71	-13	4.72							
R	Ventral Occipital Gyrus						Ventral Occipital Gyrus						
	Fusiform	18/19	20	-72	-12	8.00	Declive	37	30	-53	-16	11.50	
	Lingual	18	16	-78	-8	6.55	Fusiform	18	22	-67	-13	8.29	
R	Parietal Lobe						Parietal Lobe						
	Inferior Parietal	40	48	-40	46	5.42	Middle Occipital Gyrus					(included)	
							Superior Parietal					(included)	
						Inferior Parietal					(included)		

*덩이소 유의미 수준: $P < 0.10$, corrected for multiple comparison. 각 덩이소의 최대 3개의 국소최대값 부피소($P < .001$ 이하) 열거

덩이소는 200개 이상의 연속되는 유의미한 부피소로 정의(부피소 유의미 수준: $P < 0.01$ uncorrected for multiple comparison)

BA: Broadmann Area : 부피소 = $2.0 \times 2.0 \times 2.0$ (mm)

어의범주 판단과제 그림 부호화 과제



(그림 2) 기저 조건(fixation)과 비교하여 각 과제 조건에서 유의미하게(덩이소 수준에서 $P < .10$, corrected for multiple comparison) 활성화가 증가된 영역.

3차원으로 두뇌를 render한 template위에 활성화 양상을 표시하였다. (a) 단어에 대한 어의범주(인공물/자연물) 판단과제동안에 유의미하게 더 높은 활성화를 보인 두뇌영역; (b)그림에 대한 어의범주 판단과제중에 더 높은 활성화를 보인 두뇌영역; (c)그림에 대한 명명 과제를 숙달하기로 수행하는 중에 높은 활성화를 보인 두뇌영역; (d)그림에 대한 어의범주(인공물/자연물) 판단과제를 숙달하기로 수행하는 중에 높은 활성화를 보인 두뇌영역.

그림과 단어조건을 직접 비교한 분석에서 단어의 어의 처리에서는 좌우의 광범위한 영역이 관여하고 있음 이 나타났다(표 2). 예를 들어 좌측의 하 전전두 영역, 특히 전두판개(operculum) 영역(x, y, z = -51, 18, 8) 18, 8)과 양측 도(insula)및 우측 하 전전두 영역, 우측의 중 전전두 영역(BA 46)과 상 전전두 영역(BA 10)에서도 단어 처리에 특징적인 활성화가 발견되었다(그림 3a). 그밖에 좌측의 두정-측두 영역과 우측의 상 측두 영역(BA 22, 42, 40), 대상회(BA 23, 24, 32)도 그림에 비하여 단어 부호화에 더 관여하고 있는 것으로 나타났다. 그림의 정보처리는 단어의 정보처리에 비하여 좌우의 고차 시각피질이 유의미하게 더 활성화되었는데, 좌우의 중 후회(middle occipital gyrus)의 BA 19, 39 영역과, 방추회(fusiform: BA 19, 37), 설소엽(cuneus)를 포함하는 광범위한 활성화

(표 2) 어의 범주 판단과제 동안 자극유형 특정한 활성화를 보이는 두뇌 영역

그림 명명 > 그림 어의 범주						그림 어의 범주 > 그림 명명							
L/R	Region	BA	Talairach 좌표			T score*	L/R	Region	BA	Talairach 좌표			T score
			x	y	z					x	y	z	
L	Medial Occipital Gyrus						L	Parietal/Temporal Lobe					
	Lingual	18	-12	-70	-7	6.76		Inferior Parietal	40	-44	-43	39	5.91
	Fusiform	19	-36	-61	-7	4.80		Middle Temporal	39	-50	-58	12	4.47
L	Middle Occipital Gyrus						L	Precuneus					
	Middle Occipital	19	-28	-79	15	6.04		Precuneus	7	-8	-57	32	5.36
	Cuneus	17	-18	-85	6	4.69		Precuneus	7	-14	-68	48	5.18
R	Medial Occipital Gyrus						R	Cingulate Gyrus					
	Cuneus	31	12	-70	7	4.93		Paracentral	24	0	-7	46	5.31
	Lingual	19	4	-72	-5	4.85		Anterior Cingulate	24	-12	4	35	4.51
	Lingual	30	16	-46	4	4.25		Prefrontal Gyrus					
B	Caudate Nucleus						R	Superior/Middle	10	28	47	14	4.44
	Right Caudate	25	6	13	-6	4.26		Middle Prefrontal	10	36	43	13	3.58
	Left Caudate		-10	11	-6	4.25		Parietal Lobe					
							R	Inferior Parietal	40	55	-40	24	4.85
								Precuneus		63	-31	31	4.40
								Precuneus		48	-43	39	4.08
								Precuneus	7	4	-51	34	4.14

*당이스도 유의미 수준: $P < 0.10$, corrected for multiple comparison, 각 당이스도의 최대 3개의 국소최대값 부피소($P < .001$ 이하) 열거 당이스도는 200개 이상의 연속되는 유의미한 부피소로 정의(부피소 유의미 수준: $P < .01$ uncorrected for multiple comparison)
 BA: Broadmann Area : 부피소 = $2.0 \times 2.0 \times 2.0$ (mm)

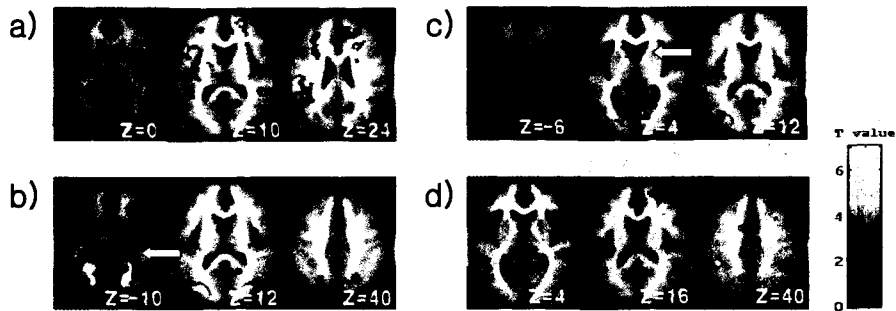
화 영역은 우측의 해마방회(parahippocampal gyrus) 영역을 포함하였다(그림 3b).

3.2.2. Scan2 (명명/어의범주 판단 scan)

단순 응시 조건과 비교해서, 그림으로부터 그 대상의 이름을 인출하는 부호화 과정에 관여하는 두뇌 영

어의범주 판단과제

그림 부호화 과제



〈그림 3〉 각 과제 조건간의 비교에서 활성화를 보인 두뇌영역
 동일한 scan 내에서 번갈아 제시되었던 두개의 조건들간에 상대적으로 더 높은 두뇌 활성화를 보인 영역을 대표적인 절편 영상(slice)에 제시하였다. 각 절편 영상의 좌측은 두뇌의 좌측, 영상의 우측은 두뇌의 우측이며, 전교련과 후교련을 연결하는 수평 단면을 기준면으로 하였을 때 기준면과 해당 절편과의 수직거리를 Z값(mm)으로 표기하였다. (a) 단어에 대한 어의범주 (인공물/자연물) 판단과제동안에 그림자극에 비하여 유의미하게 더 높은 활성화를 보인 두뇌 영역; (b)그림에 대한 어의범주 판단과제중에 단어 자극에 비하여 더 높은 활성화를 보인 두뇌 영역; (c)그림에 대한 명명 과제를 속말하기로 수행하는 중에 어의범주 판단 과제 보다 더 높은 활성화를 보인 두뇌 영역; (d)그림에 대한 어의범주(인공물/자연물) 판단과제를 속말하기로 수행하는 중에 명명과제보다 더 높은 활성화를 보인 두뇌 영역. 이때 b)의 화살표는 우측 해마방회를, c)의 화살표는 미상핵을 나타내었다.

(표 3) 명명과제와 어의 범주 판단 과제 동안 기저 조건에 비하여 활성화를 보인 두뇌 영역

그림 명명 > 기저 조건						그림 어의 범주 > 기저조건							
L/R	Region	BA	Talairach 좌표			T score*	L/R	Region	BA	Talairach 좌표			T score
			x	y	z					x	y	z	
L	Inferior Frontal Gyrus						L	Inferior Frontal Gyrus					
	Opercularis	44	-50	14	18	5.59		Opercularis	44	-46	12	12	5.28
M	Medial Frontal /Cingulate Gyrus						M	Medial Frontal /Cingulate Gyrus					
	Medial Frontal	6	-2	16	43	5.57		Medial Frontal	6	-4	16	43	6.68
	Superior Frontal	6	-2	16	53	4.76		Superior Frontal	6	-2	16	53	5.31
	Cingulate	32	-2	4	44	4.58		Cingulate	32.24	-8	13	34	5.63
L	Parietal Lobe						L	Parietal Lobe					
	Superior Parietal	7	-28	-64	46	5.03		Superior Parietal	7	-30	-66	49	4.73
L	Ventral Occipital Gyrus						L	Ventral Occipital Gyrus					
	Declive	37	-28	-67	-15	12.08		Declive	37	-30	-65	-15	10.49
								Fusiform	19	-30	-72	-10	5.40
L	Middle Occipital Gyrus						L	Middle Occipital Gyrus					
	Middle Occipital	19	-30	-83	15	5.96		Middle Occipital	19	-30	-83	15	4.14
							R	Inferior Frontal Gyrus					
								Insula	42	13	-11	6.15	
R	Parietal Lobe						R	Middle Frontal Gyrus					
	Superior Parietal	7	28	-60	38	4.89		Dorsolateral	9	48	15	36	5.34
R	Middle Occipital Gyrus						R	Parietal Lobe					
	Middle Occipital	19	30	-81	21	5.63		Superior Parietal	7	30	-62	49	3.92
	Middle Occipital	19	38	-77	6	4.80							
R	Ventral Occipital Gyrus						R	Ventral Occipital Gyrus					
	Declive		20	-69	-15	10.43		Declive		22	-69	-15	9.02
	Culmen	37	32	-51	-16	9.01		Lingual	18	18	-78	-8	5.78

*당시소 유의미 수준: $P(0.10, \text{corrected for multiple comparison})$, 각 덩어리의 최대 3개의 국소 최대값 부피소 ($P < .001$ 이하) 열거

덩어리소는 200개 이상의 연속되는 유의미한 부피소로 정의(부피소 유의미 수준: $P < .01$ uncorrected for multiple comparison)

BA: Brodmann Area : 부피소 = $2.0 \times 2.0 \times 2.0$ (mm)

역 역시 그림의 어의 범주 판단(인공물인가 자연물인가)에 관여하는 부위와 상당히 많은 부분이 공통되었다(그림 2c, d). 두가지 유형의 서로 다른 부호화 과정에 활성화되는 영역으로 전두판개(operculum, BA 44)를 포함하는 하 전전두 영역, 내측 전전두 영역과 대상회 영역, 상 두정 영역(BA 7)이 좌측 반구에서, 그리고 좌우 양측의 두정엽 영역과 방추회(fusiform), 설상회(lingual gyrus)를 포함하는 복측 시각 피질에서 활성화가 관찰되었다. 단 그림의 언어적 처리 과정인 명명과제 동안에 우측의 중간 후피질 영역(middle occipital gyrus)에서, 그림의 개념처리 과정인 어의 범주 과제 동안에는 우측의 도(insula)와 중간 전전두 영역인 배외측 전전두 영역(dorsolateral prefrontal region; BA 9)이 추가로 활성화되었다(표 3)

명명과제와 어의 범주 과제를 비교한 경우, 어의과제

에 비하여 명명과제 동안 양측의 설상회(BA 18, 19)와 방추회(fusiform gyrus, BA 19), 중간 후피질(BA 19), 설소엽(cuneus, BA 17, 31), 그리고 우측의 설상회등에서 더 높은 활성화가 발견 되었다. 이외에도 좌우 양측의 복내측 미상핵(caudate) 영역에서 더 높은 활성화가 관찰되었다(표 4, 그림 3c). 어의 범주 과제 중에는 그림 명명과제에 비하여, 다양한 영역에서 더 높은 활성화를 보였다. 예를 들어 좌측의 두정엽과 측두엽의 연결영역(하 두정엽, 중 측두엽, supramarginal gyrus 등), 우측 하 두정엽(BA 40), 양측의 전설소엽(precuneus; BA 7), 그리고 우측의 상 전전두 영역과 중 전 전두 영역(BA 10)에서 어의 범주화에 특징적인 두뇌 활동의 증가가 관찰되었다(표 4, 그림 3d).

4. 논의

기존의 기억 연구에 근거하면(Schacter 등, 1994) 인간이 유의미한 자극을 기억에 저장하는 부호화 과정에는 개념적 처리과정(conceptual processing)과 자극의 표면적인 형태를 분석하는 지각적 과정(perceptual processing)으로 구별된다(김성일 등, 2000). 이러한 과정에 관여하는 두뇌영역을 두뇌 기능 영상방법(functional brain imaging method)을 통하여 확인 할 수 있는데, 대체로 이전의 연구 결과에 의하면 지각적 과정이 감각 양식 특정한 영역(시각 피질, 청각 피질)의 활성화를 야기 시키고, 개념 처리는 전 전두엽과 같은 고차 연합영역의 활성화를 야기 시켰다. 이때 전자는 자극의 표면적 형태에 독립적인 반면, 후자는 그렇지 않으리라는 것이 아울러 시사되었다(Buckner 등, 1998; Wagner 등, 1997). 본 연구는 단어와 그림의 심층 부호화 과정을 비교하여 자극의 표면적 형태에 독립적으로 활성화를 보이는 영역과 자극에 특정적으로 활성화를 보이는 두뇌 영역을 조사하였다. 또한 동일한 표면적 형태를 가진 자극(그림자

극)에 대하여 개념 정보처리의 유형이 달라지면서 어떤 두뇌 영역이 관여하는가를 관찰하였다.

반응 유형 효과

Scan 1의 결과, 자극의 유형이 그림과 단어처럼 지각적, 표면적 형태의 차이가 큰 경우에도 불구하고 그 자극들의 개념적 정보처리에 관여하는 두뇌영역은 상당히 유사하였다. 그림과 단어를 어의판단과제 동안 부호화할 때 좌측 전전두엽 (BA 47)과 양측 두정엽이 모두 활성화되었다. Scan 2와 달리 Scan 1에 제시되었던 조건에서 좌반구의 복측 하 전전두 영역(BA 47)의 활성화가 발견되었다. Scan 2와 Scan 1의 차이는 Scan 1에서는 반응을 마우스로 하였고 Scan 2의 어의범주 판단과제는 속말하기로 수행하였다는 것이다. 마우스를 반응하는 동안에 관여하였을 수도 있는 운동 피질 영역은 본 연구의 촬영범위에 포함되지 않았다. 따라서 Scan 1에서 발견된 복측 하 전전두 영역의 활성화는 운동에 의한 것이라기 보다는 이 영역이 기존의 어의범주 판단과제에서 일관성있게 발견되는 영역(Demb 등, 1996)임을 고려하여, 이 영역들이 깊이

(표 4) 부호화 과제 특정한 활성화를 보이는 두뇌 영역

그림 명명 > 그림 어의 범주							그림 어의 범주 > 그림 명명							
L/R	Region	Talairach 좌표					L/R	Region	Talairach 좌표					
		BA	x	y	z	T* score			BA	x	y	z	T score	
L	Medial Occipital Gyrus						L	Parietal/Temporal Lobe						
	Lingual	18	-12	-70	-7	6.76		Inferior Parietal	40	-44	-43	39	5.91	
	Fusiform	19	-36	-61	-7	4.80		Middle Temporal	39	-50	-58	12	4.47	
L	Middle Occipital Gyrus						L	Supramarginal	40	-48	-51	27	4.40	
	Middle Occipital	19	-28	-79	15	6.04		Precuneus						
	Cuneus	17	-18	-85	6	4.69		Precuneus	7	-8	-57	32	5.36	
R	Medial Occipital Gyrus						M	Cingulate Gyrus						
		Cuneus	31	12	-70	7		4.93	Paracentral	24	0	-7	46	5.31
		Lingual	19	4	-72	-5		4.85	Anterior Cingulate	24	-12	4	35	4.51
	Lingual	30	16	-46	4	4.25	R	Prefrontal Gyrus						
						Superior Middle		10	28	47	14	4.44		
						Middle Prefrontal		10	36	43	13	3.58		
B	Caudate Nucleus						R	Parietal Lobe						
	Right Caudate	25	6	13	-6	4.26		Inferior Parietal	40	55	-40	24	4.85	
	Left Caudate		-10	11	-6	4.25			63	-31	31	4.40		
								48	-43	39	4.08			
						R	Precuneus							
							Precuneus	7	4	-51	34	4.14		

*당이스 유의미 수준: P:0.10, corrected for multiple comparison, 각 당이스의 최대 3개의 국소최대값 부피소(P < .001 이하) 열거
 당이스는 200개 이상의 연속되는 유의미한 부피소로 정의(부피소 유의미 수준: P<.01 uncorrected for multiple comparison)
 BA: Broadmann Area : 부피소 = 2.0 x 2.0 x 2.0 (mm)

리(depth processing)에 관여한 것이라고 결론 내릴 수 있을 것이다. 즉 음성적 산출의 부담이 없는 Scan 1에서 개념적 처리(의미 처리)에 피험자가 더 깊이 관여할 가능성을 시사한다. 이와는 대조적으로 명명과제나 어의범주 판단과제를 속말하기로 수행한 Scan 2에서는 좌반구의 복측보다는 배측(dorsal)의 하 전전두 영역(BA 47), 즉 후측 배측의 전두판개(prefrontal operculum) 부분이 활성화 되었다. 이 부위가 Broca 영역의 일부임을 고려하면, 본 결과는 후측(posterior) 하 전전두 영역이 음운 처리에 관여한다는 기존의 연구 결과 (Poldrack 등, 1999)와 일치하는 것으로 이 부위가 속말하기 반응(subvocal response)에, 또는 속말하기 반응을 수행하기에 앞서 요구된 단어와 그림 명명의 음운학적 처리(phonological processing)에 관여하기 때문일 것이다.

그림과 단어

그림의 어의판단 과정, 또는 그림의 명명과정을 기저 조건과 비교하였을 때 단어의 어의범주 판단과제와 달리, 양측 중간 후피질(middle occipital cortex)의 활성화되었는데, 이러한 고차 시각피질이 그림 자극의 깊이 처리에 시각적 특성의 분석이 추가적으로 요구됨을 시사한 것이다. 또한 어의범주 판단과제 중에 그림과 단어 자극 유형을 비교한 Scan 1에서, 단어에 비하여 그림의 부호화에 우측의 해마방회 영역의 활성화되었다. Gabrieli 등(1997)은 신기성(novelty)이 있는 새 그림(indoor/outdoor 사진) 제시 조건과 반복되는 그림 제시 조건을 비교하여 새로운 그림의 부호화에 내측 측두엽이 관여함을 보였으며 Brewer 등(1998)은 이 부위의 두뇌활동의 높고 낮음이 이후 그림 자극(선형그림)의 재인여부와 상관이 있음을 보고한 바 있다. 본 연구에 사용된 선형그림과 같은 그림 자극도 단어자극에 비하여 시각적 신기성 정도가 더 높았을 것이고, 이러한 새로운 그림 자극들의 신기성으로 인하여 해마방회 영역이 단어보다 더 많이 활성화되었을 것이다. 그림 자극은 단어와 달리 비언어적 속성인 시공간적(visuo-spatial) 속성을 포함하고 있으나, 그림에 비하여 단어의 부호화에 선택적으로 더 많이 활성화를 보이는 여러 두뇌 영역들 가운데 우측 전전두 영역이 포함되었다. 이는 단어 자극의 언어적 처리과정(verbal processing)에 이러한 부분들이 선택적으로 관여하기 때문일 수도 있고, 그림의 정보처리동안 이런 부분들의 두뇌 활동이 상대적으로 저하되어서 일 수도 있다. 이렇게 그림에 비하여 단어처리에

더 많이 관여하는 두뇌영역으로 전 전두엽 영역 가운데는 좌측의 BA 47, 배측(dorsal)의 하 전전두 영역인 전두피개 영역(BA 45), 우측의 BA 47와 좌우의 도(insula)가 포함되어 있음도 주목할 만 하다. 이들 영역은 단어의 언어적인 처리, 예를 들어 음성학적 처리(phonological process)등과 같은 단어 특정적 정보처리에 관여한다는 기존의 결과와 일치한다. 이들 영역이 속말하기 반응(subvocal response)이 요구된 Scan 2에 사용된 자극이 그림 자극임에도 발견되었다는 점에서 두 결과간에 일관성이 있다. 이밖에도 그림보다 단어 부호화에 더 많이 관여한 두뇌 영역으로는 두정엽과 측두엽의 연결부위인 각회(angular gyrus: BA 39), 주변상회(supramarginal gyrus: BA 40) 등을 포함하는 영역이 있는데 이 영역은 단어와 관련되어 과거 연구결과(Menard 등, 1996)에서 보고되어 왔다. 이렇게 본 연구 결과는 자극 특정한 신경망과 비특정적인 두뇌 영역의 존재는 기존의 연구 결과들(Vandenberghe 등 1996; Wagner 등 1997)과 일치한다. 단 연구들 간의 해부학적 영역간의 차이는 과제 종류의 차이로 이해될 수 있을 것이다.

어의 범주 판단과 명명과제

그림의 어의범주 판단과제와 명명과제는 대단히 유사한 정보처리 과정이다. 자극의 유형은 물론이고, 모두 의미(semantic) 정보처리를 포함하고 있을 것이라는 가정에서 그러하다. 이러한 공통점에도 불구하고 고차 시각 피질은 어의범주 판단과제를 수행할 때보다 그림의 명명과제를 수행하는 동안에 더 많이 활성화되었다. 이는 그림이 지칭하는 대상(object)이 자연물인가 인공물인가를 이분법 적으로 범주판단 할 때 보다는 이름의 인출 이전에 그림이 지칭하는 대상이 정확히 무엇인가를 지각적으로 파악하기 위하여 그림의 세부를 시각적으로 더 많이 처리하고 있음을 시사하는 것일 것이다. 본 발견은 고차시각 영역의 좌측이 대상지각의 의미적 처리에 우측은 보다 지각적 특성 분석에 관여할 가능성을 보고하는 기존의 연구결과와 일치한다. 예를 들어 Gauthier 등(1997)들은 동일한 범주내에서도 상위범주(이것이 새인가?)보다 특정적인 하위 범주 항목(이것이 재비인가?)에 대한 판단을 하여야 할 경우에 방추회(BA 37/19)와 같은 영역에서 활성도가 더 증가함을 보고한 바 있다. 즉 동일 범주 내에서 조차도 보다 특정적인 결정을 내려야 하는 경우 추가적인 지각적 처리가 요구된 것이다. Gauthier 등의 연구에서 사용된 하위범주 판단과제란 본 연구에 사용된 어의범주 판단과제(인공

물인가?) 보다 명명과제에 더 유사하다고 볼 수 있을 것이다. Koutstaal 등(2001)도 동일 형태의 그림과 동일 명명의 그림이나, 형태가 다른 그림등을 이용한 점화 연구에서 방추회의 좌우에서 세 조건간에 관찰되는 점화량의 차이를 보고하고 있다. Koutstaal 등에 의하면 시각적 특성이 반복될 경우에만 우측 방추회의 활성화가 감소하는 반면 좌측 방추회는 동일한 형태의 대상이 아닐 지라도 그 명명이 동일할 경우 활성화가 감소함을 보여 좌측의 방추회는 보다 어의/언어적 처리에 관여할 가능성을 시사하였다. 물론 이러한 해석에 논란의 여지가 있으나 (Grill-Spector, 2001) 추후의 연구에 의해 밝혀져야 할 것이다. 단 제한된 증거 하에서 본 연구는 명명과제 중에 양측의 후피질과 측두엽 연결부위인 고차 시각피질이 시각정보의 복측 흐름(ventral stream) 통로의 해부학적인 일부로서 대상 확인, 대상 파악(object identification)과정에 관여하는 것으로 간주된다는 (Van Turenout 등, 2000; Buckner 등, 1998) 기존의 보고들과 그 해석에서 맥락을 같이한다.

명명과제와 어의범주 판단과제를 기저조건과 각각 비교한 결과(표 3) 어의범주 판단과제와 명명과제 모두 상당히 공통된 두뇌 영역을 활용하고 있음을 알 수 있었다. 단 마우스를 눌러 반응하던 Scan 1에서 그림의 어의범주 판단과제 중에 관찰되었던 복측의 하전전두 영역의 활성화가 관찰되지 않았으며, 오히려 Scan 2에서 다소 배측의 하전전두 영역이 활성화되었다. 복측 하전전두 영역은 운동영역이 아니므로 Scan 1에서 마우스를 누르게 하였기 때문에 활성화된 것으로 볼 수 없는 전형적인 의미 부호화 관련 영역이다. 따라서 복측 하전전두 영역 활성화의 부재는 Scan 2에서 요구하는 반응이 음성 반응이었던 절차상의 차이가 명명과제 뿐 아니라 어의범주 판단과제 처리 전략에도 영향을 미쳤을 가능성으로 해석되어야 할 것이다. 즉 fMRI 연구에서는 주로 관찰, 연구하고자 하는 어떤 과제 조건이 동일 scan 내에서 다른 과제 조건과 번갈아 제시되는데 (block design의 경우), 이때 어떠한 과제 조건과 함께 제시되는가에 따라 동일한 과제일지라도 정보처리 양상이 달라질 가능성을 고려해야 함을 의미한다. 본 연구는 바로 이러한 가능성을 통제하고자 동일 scan에서 연구의 관심이 된 과제들을 통제과제와 직접 비교한 것이다. 동일 scan 내에서의 두 과제 조건을 동일한 반응 양식으로 수행하도록 한 결과의 비교에 의하면 적어도 좌측 전전두엽에서는 과제간(명명과제와 어의범주 판단과제)의 차이가 발견되지 않았다고 제한된 결론을 내려야 할 것이

다. Scan 2의 명명과제와 어의범주 판단과제 모두에서 좌측의 하전전두 영역 중에서 다소 배측의 하전전두 영역(Opercularis, BA 44)에서 국소 최대점이 발견되었음도 이러한 속달 반응하기와 연관할 가능성이 있을 것이다.

오히려 명명과제와 어의 판단과제를 비교하였을 때 양측의 미상핵(caudate nucleus)에서 과제간의 차이가 관찰되었다. 이는 미상핵이 명명과제의 조음과정에 선택적으로 관여할 가능성을 시사하는 것이다. 미상핵이 시각적으로 제시된 단어의 어의적 부호화와 음성-조음적 부호화에 시간 차이를 두고 모두 관여한다는 전기 생리학적인 증거가 있으며 (Abdullaev 등 1998), 미상핵의 손상은 단어 읽기의 음성학적 반응 시작을 느리게 한다는 증거(Jernigan 등, 2001)가 이러한 해석을 지지한다.

어의범주 판단과제가 명명과제 보다 상대적으로 높은 활성화를 보이는 두뇌 영역 또한 광범위 하게 발견되었다. 좌우의 전설소엽(precuneus)와 양측의 하 두정엽, 전측 대상회, 그리고 우반구 전전두 영역의 전전두 말단 영역(prefrontal polar area: BA 10)등이 그러한 영역이다. BA 10과 같은 전전두 말단 영역은 일화기억의 인출시의 처리 감시(monitoring) 또는 인출결과의 평가(evaluation)과 같은 인출후-처리과정(post-retrieval processing) 이나 자기 통제적 사고(self-controlled thought)와 같은 고차 인지과정과 관련 있다고 보고되는 두뇌 영역(참조 Christoff and Gabrieli, 2000)이다. 전측 대상회 또한 정서 및 수행 감시, 주의과정등과 같은 다양한 인지적 주의 기능과 관련이 있다는 증거들이 있다(Bush 등, 2000). 따라서 명명과제와 어의범주 판단과제의 유사성에도 불구하고, 우측의 BA 10나 전측 대상회 영역의 활성화가 명명과제 보다 어의범주 판단과제에서 더 높았다는 결과는 어의범주 판단과제가 명명과제 보다 상대적으로 전전두엽의 실행기능(executive function)이나 전측 대상회의 주의기능을 더 포함할 가능성을 시사한다.

종합

그림의 개념적 수준(conceptual level) 또는 어의적 수준(semantic level)의 부호화가 가능하기 위하여 다음과 같은 정보 처리 과정을 상정할 수 있다. 첫째, 그림의 명명 여부와 무관하게 시각적 분석(대상 재인: object recognition)에 이어, 개념적 분석으로 곧바로 처리될 수도 있을 것이다. 둘째, 그림의 대상재인 이후, 이 대상과 연합된 개념이 지칭하는 언어적 표상(예를 들어 그림의

명칭)으로 전환된 후에 처리될 가능성도 있다. 단어보다 그림자극의 어의범주 판단에는 고등시각 피질에서의 방추회와 해마방회, 중간 후피질등이 포함되는 고차 시정보 처리 과정이 선행하는 듯하다. 전자와 같이 명명과제를 수반하지 않은, 보다 직접적인 그림이나 단어의 개념 처리에는 좌반구의 복측 하 전전두 영역(BA 47)이 관여하는 듯 하다. 만일 후자 처럼 언어적 매개가 필수적 일 때 (Scan 2) 여전히 좌반구의 하 전전두 영역이 관여하나, 그 보다 배측(dorsal) 하 전전두엽의 국소 영역이 더 높은 활성화를 보임을 알 수 있었다.

단어에 비하여 그림의 의미 처리 중에 내측의 고차 시각피질과 우측 해마방회(parahippocampus gyrus)의 활동이 유의미하게 증가되었다. 이렇게 해마와 내측의 고차 시각영역과 연결되는 해마방회에서 그림자극 특정적 활성화가 관찰된 해마 등을 포함한 광범위한 내측 측두엽 영역의 병리학적 변화가 의심되는 Alzheimer's Disease 환자나 치매환자들이 Boston Naming Task같은 그림의 명명과제에서 결함을 보인다는 사실과 관련이 있을 것이다. 시각적으로 제시되는 단순화된 선형그림을 보고 그 대상이 지칭하는 실생활의 사물을 추론하는 시공간적 정보 처리 과정이 포함될 것이며, 이러한 인출이 이루어진 후야 그 사물과 관련된 명명 인출이 가능할 것이다. 따라서 시각단서를 분석하고 (lingual gyrus등 내측 고차 시각피질) 그 결과 기억에서 관련 사물을 인출하는 과정이 그림자극의 처리에는 포함될 것이다. 이러한 인출 과정에 해마방회가 관여할 가능성이 있으며, 이러한 과정은 시각적으로 제시된 단어의 시각적특성을 분석하는 과정 (그림 vs. 단어)과 구별되며, 그림의 부호화를 어의판단으로 하던, 명명으로 하던 모두 관여할 가능성을 시사하는 것으로 이 영역이 그림의 표상에 관여한다는 기존의 연구 결과와 일치한다(Etard 등, 2000; Kohler 등, 2000). Etard 등(2000)은 제시된 그림 자극에 대하여 관련 동사를 산출해야 하는 동사 생성 과제(Verb generation task)와 명명과제(naming task)를 비교하여, 동사 생성 과제 중에 Broca영역이나 Wernicke영역이 활성화되는 것과 달리, 그림의 명명과제 중에는 이 우측의 방추회(fusiform)과 해마방회(parahippocampal gyrus)가 선택적으로 활성화됨을 보고하여, 명명과제가 보다 발달 초기에 형성되었던 언어 network에 의존하고 있음을 증명하였다. Kohler 등(2000)도 어의범주 판단과제 중의 부호화와 이후의 재인 검사를 통하여 우측의 해마방회를 포함한 내측 측두엽 부위가 부호화시에는 그림에 의한 시각 정보의 표상 형성에 관여하고 인출시에는 저장된 회화적 표상(pictorial representation)의 인출에

관여할 가능성을 시사하는 증거를 제시하고 있다.

본 연구는 fMRI라는 두뇌 기능 영상법을 이용하여 심층 부호화에 관여하는 두뇌 영역을 그림과 단어를 이용하여, 어의범주과제와 명명과제 동안 동일한 피험자에게서 관찰하였다. 그 결과 개념처리(conceptual processing), 음운 처리(phonological processing), 또는 고차 시지각 과정(higher perceptual processing)과 같이 부호화 과정을 구성하는 세부 정보처리 과정을 보다 잘 이해하고, 이러한 정보처리 과정과 이를 매개하는 신경해부학적 실체(neuroanatomical substrates)를 확인하게 되었다. 이런 부호화 과정의 활성화 양상에 대한 기능 지도화(functional mapping) 연구는 부호화와 인출의 상호작용 기제를 이해하기 위한 선행연구로서도 의미를 가질 것이다.

Acknowledgment

본 연구는 한국 과학기술부의 뇌과학 연구개발 사업의 지원에 의해 수행되었습니다.

fMRI 데이터 수집과 분석을 도와준 서울대 인지과학 협동과정의 김나영, 김채연, 손정우에게 감사 드립니다.

References

- 강은주, 이정모 (2000). 두뇌 기능지도화와 정보 처리 과정 이해, 대한 전자공학회지, 27, 75-87.
- 김성일, 강은주, 이진효 (2000). 지각적 과제와 의미적 과제에서의 그림자극과 단어자극의 점화효과. 한국심리학회지: 실험 및 인지, 2-1, 41-55.
- 김향희, 나덕렬 (1997). 한국판 보스턴 이름대기 검사 (K-BNT) 학지사 서울
- Abdullaev, Y. G., Bechtereva, N. P., and Melnichuk, K. V. (1998). Neuronal activity of human caudate nucleus and prefrontal cortex in cognitive tasks. Behav Brain Res, 97, 159-177.
- Bernard, F., Desgranges, B., Platel, H., Baron, J.C., and Eustache F. (2001). Contributions of frontal and medial temporal regions to verbal episodic memory: a PET study. Neuroreport, 12, 1737-1741.
- Brewer, J.B., Zhao, Z., Desmond, J.E., Glover, G.H., and Gabrieli J.D. (1998). Making memories: brain activity that predicts how

- well visual experience will be remembered. *Science*, 281, 1185-1187.
- Buckner, R.L., Goodman, J., Burock, M., Rotte, M., Koutstaal, W., Schacter D., Rosen, B., and Dale, A.M. (1998). Functional-anatomic correlates of object priming in humans revealed by rapid presentation event-related fMRI. *Neuron*, 20, 285-296.
- Buckner, R.L., Logan, J., Donaldson, D.I., and Wheeler, M.E. (2000). Cognitive neuroscience of episodic memory encoding. *Acta Psychol*, 105, 127-139.
- Bush, G. Luu, P., and Posner, M. (2000). Cognitive and emotional influences in anterior cingulate cortex. *Trends in Cognitive Science*, 4, 215-222.
- Christoff, K., and Gabrieli, J.D.E. (2000) The Frontopolar Cortex and Human Cognition: Evidence for a Rostrocaudal Hierarchical Organization within the Human Prefrontal Cortex. *Psychobiology*, 28, 168-186
- 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.
- Dolan, R.J., Paulesu, and Fletcher, P. (1997) Human Memory System. In R.S.J. Frackowiak, K.J. Friston, C.D. Frith, R.J. Dolan., and J.C. Mazziotta (Eds.), *Human Brain Function*. San Diego: Academic Press.
- Etard, O., Mellet, E., Papathanassiou, D., Benali, K., Houde, O., Mazoyer, B., and Tzourio-Mazoyer, N. (2000). Picture naming without Broca's and Wernicke's area. *Neuroreport*, 11, 617-622.
- Fletcher, P.C., and Henson, R. N. (2001). Frontal lobes and human memory: insights from functional neuroimaging. *Brain*, 124, 849-881.
- Gabrieli, J.D.E., Brewer, J.B., Desmond, J.E. and Glover, G.H. (1997). Separate neural bases of two fundamental memory processes in the human medial temporal lobe. *Science*, 276, 264-266.
- Gabrieli, J.D.E. (1998). Cognitive neuroscience of human memory. *Annu. Rev. Psychology*, 49, 87-115.
- Gauthier, I., Anderson, A.W., Tarr, M.J., Skudlarski, P., and Gore, J.C. (1997). Level of categorization in visual recognition studies using functional magnetic resonance imaging. *Current Biology*, 7, 645-651.
- Grady, C.L., McIntosh, A.R., Rajah, M.N., and Craik, F.I.M. (1998). Neural correlates of the episodic encoding of pictures and words. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 95, 2703-2708.
- Grady, C.L., McIntosh, A.R., Beig, S., and Craik, F.I. (2001). An examination of the effects of stimulus type, encoding task, and functional connectivity on the role of right prefrontal cortex in recognition memory. *Neuroimage*, 14, 556-571.
- Grill-Spector, K. (2001). Semantic versus perceptual priming in fusiform cortex. *Trends in Cognitive Science*, 5, 227-228.
- Haxby J.V., Ungerleider, L.G., Horwitz, B., Maisog, J.M., Rapoport, S.I., and Grady C.L. (1996). Face encoding and recognition in the human brain. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 93, 922-927.
- Jernigan, T.L., Ostergaard, A.L., and Fennema-Notestine, C. (2001). Mesial temporal, diencephalic, and striatal contributions to deficits in single word reading, word priming, and recognition memory. *J Int Neuropsychol Soc*, 7, 63-78
- 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 Neurosci Abst*, 23, 208.
- Kang, E., Vaidya, C.J., Fine, E.M., Klein, A.L., Desmond, J.E., Glover, G.H., and Gabrieli, J.D.E. (1998). Neuronal correlates of

- within-form and cross-form conceptual priming for pictures and words: A fMRI study. *Society for Neurosci Abst.* 28, 754.1
- Kapur, S., Rose, R., Liddle, P.F., Zipursky, R.B., Brown, G.M., Stuss, D., Houle, S., and Tulving, E. (1994). The role of the left prefrontal cortex in verbal processing: semantic processing or willed action? *Neuroreport*, 5, 2193-2196.
- Koutstaal, W., Wagner, A.D., Rotte, M., Maril, A., Buckner, R.L., and Schacter, D.L. (2001). Perceptual specificity in visual object priming: functional magnetic resonance imaging evidence for a laterality difference in fusiform cortex. *Neuropsychologia*, 39, 184-199.
- Kelley, W.M., Miezin, F.M., McDermott, K.B., Buckner, R.L., Raichle, M.E., Cohen, N.J., Ollinger, J.M., Akbudak, E., Conturo, T.E., Snyder, A.Z., and Petersen, S.E. (1998). Hemispheric specialization in human dorsal frontal cortex and medial temporal lobe for verbal and nonverbal memory encoding. *Neuron*, 20, 927-936.
- Kohler, S., Moscovitch, M., Winocur, G., and McIntosh, A. R. (2000). Episodic encoding and recognition of pictures and words: role of the human medial temporal lobes. *Acta Psychol*, 105, 159-179.
- Lepage, M., Habib, R., and Tulving, E. (1998). Hippocampal PET activations of memory encoding and retrieval: the HIPER model. *Hippocampus*, 8, 313-322
- Leube, D.T., Erb, M., Grodd, W., Bartel, M., and Kircher, T.T. (2001). Differential activation in parahippocampal and prefrontal during word and face encoding tasks. *Neuroreport*, 12, 2773-2777.
- Mayes, A.R., and Montaldi, D. (1999). The neuroimaging of long-term memory encoding processes. *Memory*, 7, 613-659.
- Menard, M.T., Kosslyn, S.M., Thompson, W.L., Alpert, N.M., and Rauch S.L. (1996). Encoding words and pictures: a positron emission tomography study. *Neuropsychologia*, 34, 185-194.
- Nolde, S., Johnson, M.K., and Raye, C.L. (1998). The role of prefrontal cortex during tests of episodic memory. *Trends in Cog Sci*, 2, 399-406.
- Nyberg, L., Cabeza, R., and Tulving, E. (1998). Asymmetric frontal activation during episodic memory: what kind of specificity? *Trends in Cog Sci*, 2, 419-420.
- Nyberg, L., McIntosh, A.R., Houle, S., Nilsson, L.G., and Tulving, E. (1996) Activation of medial temporal structures during episodic memory retrieval. *Nature*, :380, 715-717
- Poldrack, A., and Gabrieli, J.D.E. (1997). Functional anatomy of long-term memory. *J. of Clinical Neurophysiology*, 14, 294-310.
- Poldrack, R.A., Wagner, A.D., Prull, W.M., Desmond, J.E., Glover, G.H., and Gabrieli, J.D.E. (1999). Functional specialization for semantic and phonological processing in the left inferior prefrontal cortex. *Neuroimage*, 10, 15-35.
- Schacter, D.L., and Tulving, E. (1994). What are the memory systems of 1994? In D.L. Schacter & E. Tulving (Eds.), *Memory system* (pp. 1-38). Cambridge: MIT Press.
- Snodgrass, J.G., and Vanderwart, M. (1980). A standardized set of 260 pictures: Norms for name agreement, image agreement, familiarity, and visual complexity. *J of Exp Psychology: Human Learn Mem*, 6, 174-215.
- Tulving, E., Kapur, S., Craik, F.I., Moscovitch, M., and Houle, S. (1994). Hemispheric encoding/retrieval asymmetry in episodic memory: positron emission tomography findings. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 91, 2016-2020.
- Vandenberghe, R., Price, C., Wise, R., Josephs, O., and Frackowiak, R.S.J. (1996). Functional

- anatomy of common semantic system for words and pictures. *Nature*, 383, 254-256.
- Van Turennout, M., Ellmore, T., and Martin, A. (2000). Long-lasting cortical plasticity in the object naming system. *Nature Neuroscience*, 3, 1329-1334.
- Wagner, A. D., Desmond, J.E., Demb, J.B., Glover, G.H., and Gabrieli, J.D.E. (1997). Semantic repetition priming for verbal and pictorial knowledge: A functional MRI study of left inferior prefrontal cortex. *J. Cognitive Neuroscience*, 9, 714-726.
- Wagner, A. D., Maril, A., and Schacter, D.L. (2000). Interactions between forms of memory: when priming hinders new episodic learning. *J Cognitive Neuroscience*, 12, 52-60.
- Yancey, S.W., and Phelps, E.A. (2001). Functional neuroimaging and episodic memory: a perspective. *J Clin Exp Neuropsychol*, 23, 32-48.

부록 : 부호화에 쓰인 자극 목록

자극	빈도*	유형	범주	길이	목록	자극	빈도*	유형	범주	길이	목록
성냥	9	K	M	2	list_1	고리	24	K	M	2	list_2
잠자리	46	K	N	3	list_1	와이샤쓰	1	S	M	4	list_2
사다리	19	S	M	3	list_1	장구	19	B	M	2	list_2
별	51	S	N	1	list_1	고양이	24	S	N	3	list_2
손가락	10	S	M	3	list_1	드라이버	29	S	M	4	list_2
스패너	1	S	M	3	list_1	톱	39	S	M	1	list_2
코	146	S	N	1	list_1	파리	68	S	N	2	list_2
우산	58	S	M	2	list_1	뗏목	23	B	M	2	list_2
옷걸이	3	S	M	3	list_1	표범	5	S	N	2	list_2
고깔	7	B	M	2	list_1	바늘	52	S	M	2	list_2
온도계	2	K	M	3	list_1	소파	23	S	M	2	list_2
기차	64	S	M	2	list_1	유모차	1	S	M	3	list_2
닭	85	S	N	1	list_1	양파	12	S	N	2	list_2
빚자루	13	S	M	3	list_1	인형	74	S	M	2	list_2
플러그	1	S	M	3	list_1	에스컬레이터	1	B	M	6	list_2
타조	2	S	N	2	list_1	백조	41	S	N	2	list_2
대패	17	B	M	2	list_1	흔들의자	1	S	M	4	list_2
책상	93	S	M	2	list_1	복숭아	2	S	N	3	list_2
사자	21	S	N	2	list_1	장갑	17	S	M	2	list_2
가위	42	S	M	2	list_1	태극기	51	B	M	3	list_2
원숭이	24	S	N	4	list_1	안경	66	S	M	2	list_2
상자	76	S	M	2	list_1	스웨터	23	S	M	3	list_2
실패	1	S	M	2	list_1	낫	16	K	M	1	list_2
청진기	1	B	M	3	list_1	개미	58	S	N	3	list_2
박쥐	1	B	N	2	list_1	돌고래	1	K	N	3	list_2
악어	2	S	N	3	list_1	세탁기	19	K	M	3	list_2
빚	16	S	M	1	list_1	자물쇠	9	S	M	3	list_2
수갑	11	B	M	2	list_1	목거리	12	S	M	3	list_2
해	200	S	N	1	list_1	단추	17	S	M	2	list_2
열쇠	40	S	M	2	list_1	일록말	1	S	N	3	list_2
탁자	47	S	M	2	list_1	발	200	S	N	1	list_2
나사	7	S	M	2	list_1	꿀	2	S	M	1	list_2
마우스	3	K	M	3	list_1	공작	73	S	N	2	list_2
양배추	8	S	N	3	list_1	사술	44	S	M	2	list_2
불가사리	1	B	N	4	list_1	부엉이	2	S	N	3	list_2
집	200	S	M	1	list_1	우물	36	S	M	2	list_2
식빵	7	S	M	2	list_1	여행가방	1	S	M	4	list_2
발가락	31	S	N	3	list_1	개구리	26	S	N	3	list_2
다림질대	2	S	M	4	list_1	조끼	8	S	M	2	list_2
평행봉	7	B	M	3	list_1	쓰레기통	15	S	M	4	list_2
코펠소	1	S	N	3	list_1	바퀴	65	S	M	2	list_2
유리컵	1	S	M	3	list_1	편지봉투	181	S	M	4	list_2
하프	1	S	M	2	list_1	돼지	129	S	N	2	list_2
달팽이	3	S	N	3	list_1	전화기	33	S	M	3	list_2
팔	31	S	N	1	list_1	메뚜기	9	S	N	3	list_2
울타리	48	S	M	3	list_1	못	77	S	M	1	list_2
고릴라	1	S	N	3	list_1	책	200	S	M	1	list_2
토스터	1	S	M	3	list_1	현미경	11	B	M	3	list_2
챗잔	1	S	M	2	list_1	양	37	S	N	1	list_2
깃발	45	S	M	2	list_1	도자기	40	S	M	3	list_2
Average	30.16			2.38			38.36			2.52	

*빈도: 단어 사용 빈도(단 200이상은 200으로 통일하고 이탤릭체로 표시)

유형: 그림의 출처 (B - KBNT; S- Snodgrass; K- 김성일 등)

범주: 어의 범주(M-인공물; N-자연물)

길이: 단어 음절 길이

목록: 부호화에 쓰인 단어 목록 번호

자극	빈도*	유형	범주	길이	목록	자극	빈도*	유형	범주	길이	목록
공룡	21	S	N	2	list 4	하모니카	1	B	M	4	list 5
전축	9	S	M	2	list 4	참새	16	S	N	2	list 5
탁상시계	82	S	M	4	list 4	왕관	3	S	M	2	list 5
주전자	12	S	M	3	list 4	가스렌즈	1	S	M	4	list 5
가재	82	K	N	2	list 4	당나귀	16	S	N	3	list 5
붓	32	S	M	1	list 4	양초	3	S	M	2	list 5
평권	1	S	N	2	list 4	중선	25	S	M	2	list 5
뚝단배	1	S	M	3	list 4	캥거루	1	S	N	3	list 5
집게	6	S	M	2	list 4	염소	37	S	N	2	list 5
지구의	1	B	M	3	list 4	피아노	145	S	M	3	list 5
중절모	52	S	M	3	list 4	모자	51	S	M	2	list 5
죽재비	1	B	N	3	list 4	거미	10	S	N	2	list 5
라디오	200	S	M	3	list 4	블라우스	13	S	M	4	list 5
아코디언	1	S	M	4	list 4	풍경	1	B	M	2	list 5
파인애플	4	S	N	4	list 4	담배파이프	1	S	M	5	list 5
사발	13	S	M	2	list 4	꽃	200	S	N	1	list 5
땃	6	S	M	1	list 4	신호등	29	S	M	3	list 5
자	51	S	M	1	list 4	기린	25	S	N	2	list 5
골무	2	B	M	2	list 4	바구니	18	S	M	3	list 5
황소	38	S	N	2	list 4	케이크	8	S	M	3	list 5
서랍 장	9	S	M	4	list 4	야자수	2	B	N	3	list 5
담배	11	S	M	2	list 4	도르래	1	B	M	3	list 5
딸기	17	S	N	2	list 4	바이올린	51	S	M	4	list 5
저울	1	S	M	2	list 4	공	199	S	M	1	list 5
냉장고	55	S	M	3	list 4	포도주잔	25	S	M	4	list 5
눈	200	S	N	1	list 4	양념통	19	S	M	3	list 5
대포	13	S	M	2	list 4	나비	33	S	N	2	list 5
호박	2	K	M	2	list 4	애벌레	1	S	N	3	list 5
물개	45	S	N	2	list 4	헬멧	3	S	M	2	list 5
트로피	40	S	M	3	list 4	감자	22	S	N	2	list 5
넥타이	27	S	M	3	list 4	너트	2	S	M	2	list 5
등대	14	S	M	2	list 4	눈사람	3	S	M	3	list 5
운	20	S	M	1	list 4	철판지우개	8	K	M	5	list 5
연	20	B	M	1	list 4	피망	3	S	N	2	list 5
반지	38	S	M	2	list 4	침성대	3	B	M	3	list 5
포도	7	B	N	3	list 4	담근	1	S	N	2	list 5
앵두	2	S	N	2	list 4	라켓	1	S	M	2	list 5
지네	3	S	N	2	list 4	소화기	1	K	M	3	list 5
식지	2	S	N	2	list 4	모래시계	4	B	M	4	list 5
선풍기	6	S	M	3	list 4	땀콩	4	S	N	2	list 5
다리미	2	S	M	3	list 4	전구	25	S	M	2	list 5
입술	8	S	N	2	list 4	엄지	34	S	N	2	list 5
쥐	54	S	N	1	list 4	팽이	1	S	M	2	list 5
축사	16	S	M	2	list 4	스위치	32	S	M	3	list 5
바지	74	S	M	2	list 4	관총	42	S	M	2	list 5
버스	8	S	M	2	list 4	거미줄	1	B	N	3	list 5
돌보기	41	S	M	3	list 4	선그라스	1	K	M	4	list 5
목발	7	B	M	2	list 4	나무	200	S	N	2	list 5
차타	1	K	N	2	list 4	승용차	118	S	M	3	list 5
샌드위치	1	S	M	4	list 4	냄비	8	S	M	2	list 5
Average	27.18			2.32			29.04			2.68	