

양전자방출단층촬영을 이용한 국어단어와 영어단어의 어의처리 신경매개체의 특성 비교

서울대학교 의과대학 핵의학교실¹, 정신과학교실², 인간생명과학연구단³, 서울대학교병원 임상의학연구소⁴
김재진^{1,3} · 김명선^{2,3} · 조상수⁴ · 권준수^{1,2,3} · 이재성¹ · 이동수^{1,3} · 정준기^{1,3} · 이명철^{1,3}

Comparison of the Neural Substrates Mediating the Semantic Processing of Korean and English Words Using Positron Emission Tomography

Jea Jin Kim, M.D.^{1,3}, Myung Sun Kim, M.D.^{2,3}, Sang Soo Cho, M.S.⁴, Jun Soo Kwon, M.D.^{1,2,3},
Jae Sung Lee, Ph.D.¹, Dong Soo Lee, M.D.^{1,3}, June-Key Chung, M.D.^{1,3}, Myung Chul Lee, M.D.^{1,3}
*Departments of Nuclear Medicine¹ and Psychiatry², BK Life Sciences,³ Seoul National University
College of Medicine, Clinical Research Institute⁴, Seoul National University Hospital, Seoul, Korea*

Abstract

Purpose: This study was performed to search the relatively specific brain regions related to the semantic processing of Korean and English words on the one hand and the regions common to both on the other. **Materials and Methods:** Regional cerebral blood flow associated with different semantic tasks was examined using [¹⁵O]H₂O positron emission tomography in 13 healthy volunteers. The tasks consisted of semantic tasks for Korean words, semantic tasks for English words and control tasks using simple pictures. The regions specific and common to each language were identified by the relevant subtraction analysis using statistical parametric mapping. **Results:** Common to the semantic processing of both words, the activation site was observed in the fusiform gyrus, particularly the left side. In addition, activation of the left inferior temporal gyrus was found only in the semantic processing of English words. The regions specific to Korean words were observed in multiple areas, including the right primary auditory cortex; whereas the regions specific to English words were limited to the right posterior visual area. **Conclusion:** Internal phonological process is engaged in performing the visual semantic task for Korean words of the high proficiency, whereas visual scanning plays an important role in performing the task for English words of the low proficiency. (**Korean J Nucl Med 2001;35:142-151**)

Key Words: Korean words, English words, Language proficiency, Semantic processing, [¹⁵O]H₂O PET, Neural circuit

Received May 31, 2001; accepted Jun. 13, 2001
Corresponding author: Jea-Jin Kim, M.D. BK Life sciences,
Room 206, Seoul National University Medical College
110-799, 28 Youngun-Dong, Chongro-Gu, Seoul, Korea
Tel: (02)760-1920, Fax: (02)763-9833
E-mail: kjj1028@hanmail.net

* 본 연구는 보건복지부 단독기초연구개발사업 뇌의약학 분야(HMP-00-B-21300-0201) 연구비 지원으로 이루어졌음.

서 론

언어를 습득하고 사용하는 능력은 인간 생활에
기본적이고도 필수적이다. 예전이라면 한가지 언어
만을 습득하여도 생활하는데 아무 문제가 없었겠지

만, 현대의 인간은 한가지 언어, 즉 모국어 혹은 일차언어 한가지만 습득하여서는 생활에 상당한 불편을 감수해야 하는 세상에 살고 있다. 이는 모국어가 영어가 아니라면 더욱 문제가 되고, 이에 따라 이차언어 특히 영어의 습득이 매우 강조되고 있다. 그러나 사춘기 이후에 새로운 언어를 배우는데는 상당한 어려움이 따르고, 실제로 사춘기 이후에 배운 이차언어의 구사 능력이 모국어 수준에 도달하기는 사실상 어렵다는 것이 주지의 사실이다.¹⁾²⁾

과거 뇌병변 환자를 대상으로 한 연구를 통해 이차언어를 처리하는데 관여하는 뇌영역이 일차언어를 처리하는데 관여하는 영역과 서로 다르다는 것이 보고된 바 있다.³⁾ 이러한 차이는 이중언어 사용자(bilingual)들을 대상으로 한 최근의 신경영상 연구들에서도 일관되게 증명되어 왔다.⁴⁾⁹⁾ 예를 들어, 일차언어의 청취는 항상 좌측 상측두고랑(superior temporal sulcus)을 따라 부근 영역들을 활성화시키는 반면에, 이차언어의 청취는 좌우측 측두 및 전두 영역들을 매우 다양하게 활성화시킨다.⁸⁾

그러나 이들 연구의 대부분은 비교적 유창하게 이차언어를 구사하는 이중언어 사용자들을 대상으로 하여 이루어졌다. 이는 대부분 사춘기 이후에 영어 교육을 받아 숙련도가 국어에 비해 현저히 떨어지는 우리나라 사람들에 대한 언어기능의 특성으로 일반화시키기 어렵다는 것을 의미한다. 이처럼 현저히 다른 언어 숙련도(proficiency)를 보이는 국어와 영어를 사용할 때 기능하는 신경매개체의 차이에 대한 연구는 언어습득과 관련된 뇌기능 발달을 이해하는데 도움을 줄 수 있다.

최근 30여년 동안 컴퓨터의 발전과 더불어 뇌 영상 기법의 비약적 발달로 뇌 기능에 대한 직접적인 접근이 가능해짐에 따라, 정상적 뇌 기능이 구조적으로 어떻게 매개되어 행동으로 표출되는가에 대한 많은 연구보고들이 이루어지고 있다. 특히 [¹⁵O]H₂O를 혈류 추적자(tracer)로 이용하는 양전자방출단층촬영(positron emission tomography: PET)은 뇌 기능 국제화에 매우 유용한 수단을 제공하는 것으로 평가받아 왔고,¹⁰⁾¹¹⁾ 실제로 상기한 대부분의 이중언어자들에 대한 연구도 이를 통해 이루어졌다. 이 기법에서는 2분 정도의 매우 짧은 반감기의

방사성 동위원소가 이용되기 때문에 빠른 시간 내에 검사를 할 수 있고, 반복 검사가 가능하기 때문에 인지과제 수행 동안 뇌 혈류량의 측정에 적합하여 인지 활성화(cognitive activation) 연구가 가능하다.

본 연구의 목적은 이와 같은 활성화 PET을 이용하여 높은 숙련도의 국어와 낮은 숙련도의 영어의 단어들을 사용하는 시각 과제에서 어의처리에 매개되는 뇌 신경회로의 특성을 탐색하는데 있다. 구체적으로 두 언어의 어의처리 과정에서 공통적으로 관여하는 뇌영역과 서로 상대적으로 특이하게 관여하는 뇌영역을 조사하고자 하였다.

대상 및 방법

1. 대상

인터넷 공고를 통해 모집된 정상인 자원자 13명(남자 6, 여자 7)을 피검자로 하였다. 모든 자원자들을 대상으로 Structured Clinical Interview for DSM IV (SCID-IV)¹²⁾를 이용한 구조적 면담을 실시하여, 과거력상 주요정신장애, 뇌 외상 병력, 알콜을 포함한 약물남용 등이 있는 경우, 혹은 기타 신체적, 신경학적 이상 소견이 있는 경우는 배제하였다. 피검자들의 평균연령은 24.7세(±5.3), 평균교육연한은 15.0년(±1.7), 평균 지능지수는 111.2(±10.7)이었고, 모두 오른손잡이¹³⁾였다.

언어숙련도는 저자들이 임의로 제작한 이야기 읽기 검사를 통해 이루어졌다. 이 검사는 국어와 영어에 모두 능숙한 이중언어자가 읽는데 비슷한 시간이 걸리는 분량의 국어로 쓰여진 이야기와 영어로 쓰여진 이야기로 구성되었다. 소년기에 영어생활권에 거주한 경험이 있어 영어를 비교적 유창하게 구사하는 4명의 이중언어자들을 대상으로 한 예비검사에서 국어 이야기를 읽는데 평균 121.0초(±11.2), 영어 이야기를 읽는데 평균 119.8초(±15.4)가 소요되어, 이 검사가 이중언어자들에게는 비교적 균형을 이룬 것으로 판정되었다. 그렇지만 예상한 대로 본 연구의 대상자들은 국어 이야기를 읽는데 평균 123.9초(±22.5), 영어 이야기를 읽는데

는 평균 189.2초(±45.1)로 이차언어인 영어에 대해 통계적으로 유의한 정도로 낮은 속련도를 보여주었다(t=2.9, p<0.05).

2. 양전자방출단층촬영(PET)

촬영에는 서울대학교병원 핵의학과에서 보유하고 있는 ECAT EXACT 47 (Siemens-CTI, Knoxville, USA) PET 스캐너(BGO 결정, 공간 분해능=6.1mm, 축방향 분해능=4.3mm, 예민도=214 kcps/μCi/mi)를 이용하였다. 본 실험 이전에 먼저 감마선 감쇠 보정을 위한 7분간의 투과스캔(transmission scan)을 시행하였다.

본 실험에서는 피검자로 하여금 인지과제(cognitive task)를 수행하도록 하고, 30초 후 30-50 mCi의 [¹⁵O]H₂O를 정맥에 주사하고 방출스캔(emission scan)을 시행하였다. 데이터 수집은 5초 단위로 20프레임, 즉 총 100초간 실시하였다. 피검자 개인 당 3가지의 과제로 3회의 방출스캔을 실시하였고, 방출스캔 사이의 간격은 15분으로 하였다.

3. 인지과제의 구성

인지자극을 위한 과제의 구성은 다음과 같은 세 가지로 하였다.

과제1 : 국어 어의처리 (Semantic processing for Korean words) 과제 - 사물 이름이 국어로 제시되는 화면을 응시하면서, 전전 화면에 동물이름이 제시되고 다시 동물이름이 제시되는 경우에만 마우스를 클릭하도록 하였다.

과제2 : 영어 어의처리 (Semantic processing for English words) 과제 - 사물 이름이 영어로 제시되는 화면을 응시하면서, 전전 화면에 동물이름이 제시되고 다시 동물이름이 제시되는 경우에만 마우스를 클릭하도록 지시하였다.

과제3 : 단순도형 대조과제 - 네모, 세모, 원 등 세 가지 도형이 무작위로 제시되는 화면을 응시하면서, 전전 화면에 원이 제시되고 다시 원이 제시되는 경우에만 마우스를 클릭하도록 하였다.

모든 과제에서 1.5초 간격으로 0.5초 동안의 자극제시를 80회 반복하여, 한번의 과제 동안에 주어지는 시간은 160초로 하였다. 모든 과제에서 총 80

회의 자극 중 목표자극을 28회를 주도록 함으로써 목표의 빈도를 35%로 통일하였고, 목표자극의 빈도도 동일하도록 구성하였다. 마우스를 클릭하는 피검자의 반응은 자동적으로 저장되어 수행도를 계산하는데 이용되었다. 수행도는 정답율로 측정되었는데, 계산식은 (총 자극수 - 오답수 / 총 자극수) × 100%로 하였다. 여기서 오답수에는 목표자극을 놓친 경우와 비목표자극에 반응한 경우를 포함하였다.

자극제시는 피검자의 눈으로부터 40 cm 지점에 15인치 LCD 모니터를 설치하여 자동으로 제시되도록 하였고, 반응은 오른손 검지손가락으로 마우스를 클릭하도록 하였다. 혼동요인의 개입을 억제하기 위하여, 세 가지 과제를 실행하는 동안 화면으로 제시되는 자극 이외에는 외부 조건에 차이가 없도록 주변 환경을 동일하게 통제하였다.

4. 영상 데이터의 처리

스캐너를 통해 획득된 데이터는 Shepp 지역 통과 필터(lowpass filter, cutoff = 0.30 cycles/pixel)를 이용하여 노이즈를 제거한 후, 역투사(backprojection) 방법을 이용하여 횡단면 영상(128 × 128 × 47 matrices, 2.1 × 2.1 × 3.4 mm pixel size)으로 재구성하였다. 총 20프레임(100초)의 데이터 중 뇌방사선 활성도가 최대에 도달한 이후의 12프레임(60초)만을 더하여 정적 뇌혈류 영상을 만들었다.

이렇게 만든 영상들을 개인용 컴퓨터로 이동한 후, Matlab(Mathworks Inc., USA) 위에서 작동되도록 고안된 Statistical Parametric Mapping(SPM) 99 (University College of London, UK)¹⁴⁾¹⁵⁾를 이용하여 통계 분석을 위한 영상 전처리(preprocessing)를 시행하였다. 먼저 각각의 PET 영상들을 ANALYZE 소프트웨어 파일 형식으로 변환하여 SPM99 소프트웨어에 입력한 후, 공간 정합(registration)을 하여 머리 위치 이동에 따른 오차를 제거하고, 정합한 영상을 MNI(Montreal Neurological Institute, McGill University, CA) 표준지도 위에 공간정규화(spatial normalization)되도록 하였다.¹⁶⁾¹⁷⁾ 또 신호대잡음비(signal to noise ratio)를 향상시키기 위하여, 16 mm FWHM 가우시안 커널로

평편화(smoothing)를 하여, 이를 통계적 분석을 위한 최종 영상으로 하였다.

5. 영상 데이터의 통계분석

인지과제와 대조과제간의 뇌 활성화의 차이를 알아내기 위한 감산분석(subtraction analysis)은 역시 SPM 99를 통해 이루어졌다. 국어 어의처리에 관여하는 신경매개체는 [과제1-과제3], 영어 어의처리의 경우에는 [과제2-과제3] 등 두 가지의 감산분석 결과에서 유의하게 증가된 영역으로 규정하였고, 이 두 결과를 서로 비교함으로써 두 언어의 공통적 어의처리 영역을 탐색하였다. 또 두 언어에서 상대적으로 특이한 어의처리 영역을 탐색하기 위하여 [과제1-과제2]의 감산분석을 시행하였다. 이를 통해 두 과제에서 공통적으로 활성화되는 영역을 제거하였고, 과제1에서 유의하게 증가된 부위는 국어 어의처리, 과제2에서 유의하게 증가된 부위는 영어 어의처리에 보다 특이한 영역으로 간주하였다. 각각의 감산분석에서 비교되는 영상의 뇌 혈류량을 대응되는 화소간에 짝지은 T-검정을 시행하였고, 해석의 편의를 위해 화소별 T-값은 표준 가우시안 분포에서 Z-값으로 변형하였다. 여기서 뇌 전체 혈류 변동에 의한 화소별 혈류 변동이 교란요소로 작용할 수 있기 때문에 전체 대 화소의 비율을 비교치로 이용하였다. 이를 통해 통계적으로 유의한

($p < 0.005$) 화소만을 선별하였고, 동시에 이들이 만들어낸 활성화 영역들의 크기가 50 화소 미만으로 작은 경우에는 우연히 나왔을 가능성이 높다고 보고 제거하였다. 활성화부위의 해부학적 위치는 Talairach atlas¹⁶⁾의 좌표체계를 참고하여 결정하였고, 활성화부위를 3차원적 MRI 표준 뇌 지도에 정합(coregistration)하여 재차 확인하였다.

결 과

1. 인지과제 수행도

세 가지 과제에 대한 정답율을 산출한 결과, 과제 1의 경우 평균 97.0%(± 4.1), 과제 2는 92.0%(± 14.7), 그리고 과제 3은 97.8%(± 3.1)로 세 과제 모두에서 높았고, 통계적으로 유의한 차이는 없었다(one-way ANOVA: $F = 1.57$, $df = 2, 36$, $p = 0.22$).

2. 어의처리 동안의 뇌 활성화

국어단어에 대한 어의처리 동안의 뇌 활성화 양상은 [과제1-과제3]의 감산분석을 통해 관찰되었고, 자세한 결과는 표 1에 제시되어 있다. 통계적으로 의미 있게 활성화된 영역들은 방추상어랑(fusiform gyrus)에 한정되어 나타났고, 그림 1A에 보이는 것처럼 우측에 비해 좌측의 활성화가 현저한 비대칭

Table 1. Activation areas during the semantic processing

Region (/Brodman area)	Talairach Coordinates			maximal Z	voxel number
	x	y	z		
Korean words					
right fusiform / 18	22	-92	-10	3.13	58
left fusiform / 18	-28	-86	-6	4.39	1580
English words					
left inferior temporal / 20	-52	-30	-24	3.12	55
right fusiform / 18	32	-90	-4	3.68	310
right fusiform / 19	58	-68	-16	3.07	224
left fusiform / 18	-20	-94	-8	4.07	1171
left fusiform / 19	-44	-72	-18	3.31	174

적 양상이 뚜렷하였다.

영어단어에 대한 어의처리 동안의 활성화는 [과제2-과제3]의 감산분석을 통해 관찰되었다. 표 1에 제시된 바와 같이 국어단어와 마찬가지로 양측 방추상이랑에 광범위한 활성화 영역이 관찰되었고, 국어단어에서처럼 현저하지는 않으나 역시 좌측이 우세한 편측화된 양상을 보여 주었다. 또 특징적으로 좌측 하측두이랑(inferior temporal gyrus)이 활성화되는 것이 관찰되었다.

3. 국어 및 영어단어에 특이한 어의처리 영역

[과제1-과제2]의 감산분석을 통해 관찰된 국어 및 영어단어에 특이한 어의처리 영역은 표 2와 그림 2에 제시된 바와 같다. 국어단어에 특이한 어의처리 영역은 그림 2A에 제시된 바와 같이 뇌 전반에 걸쳐 다발성으로 관찰되었다. 가장 뚜렷한 부위는 좌측 후대상이랑(posterior cingulate)이었고, 좌측 중측두이랑(middle temporal gyrus)과 우측 하측두이랑(inferior temporal gyrus)과 같은 이차 시각 관련 영역 뿐 아니라, 우측 상전두이랑(superior

frontal gyrus)과 우측 안와전두이랑(orbitofrontal gyrus) 및 우측 전대상이랑(anterior cingulate)과 같은 전전두피질도 특이하게 활성화되었다. 또 우측 일차청각영역(Heschl's gyrus)의 활성화가 특징적이었고, 피질하 구조물 중 좌측 조가비핵(putamen)이 특이하게 활성화되었다.

국어단어 어의처리에 관여하는 다발성 영역과는 달리, 영어단어에 특이한 어의처리 영역은 그림 2B에 보이는 바와 같이 뇌 후반부의 우측에 국한되어 나타나는 양상이었다. 통계적으로 의미 있는 특이 영역은 우측 중측두이랑, 우측 외후두이랑(lateral occipital gyrus) 및 우측 소뇌 등에서 관찰되었다.

고 찰

인지 활성화 뇌 영상, 특히 [¹⁵O]H₂O PET은 인간의 정상적 뇌 활동을 탐구하고 정신장애를 포함한 신경계 질환의 본성을 밝히는데 중요한 연구 수단으로 이용되어 왔다. 본 연구의 목적은 인간의 필수적 인지기능인 언어기능 중 언어이해의 기본이

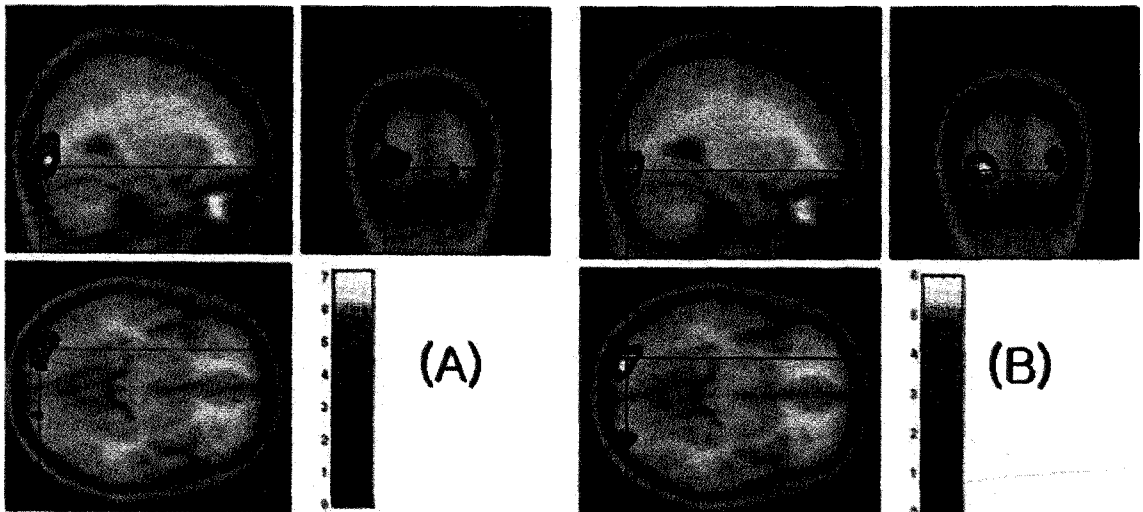


Fig. 1. Areas displaying increased blood flow during semantic word processing that was measured in 13 normal people with [¹⁵O]H₂O positron emission tomography. Images for Korean words (A) were produced by the subtraction of control condition from semantic condition for Korean words, whereas images for English words (B) were produced by the subtraction of control condition from semantic condition for English words. Significantly activated areas ($p < 0.005$, $k > 50$) are shown on three orthogonal sections of MR template image. Note that bilateral fusiform areas, particularly the left side, are activated similarly in the semantic processing of both Korean and English words.

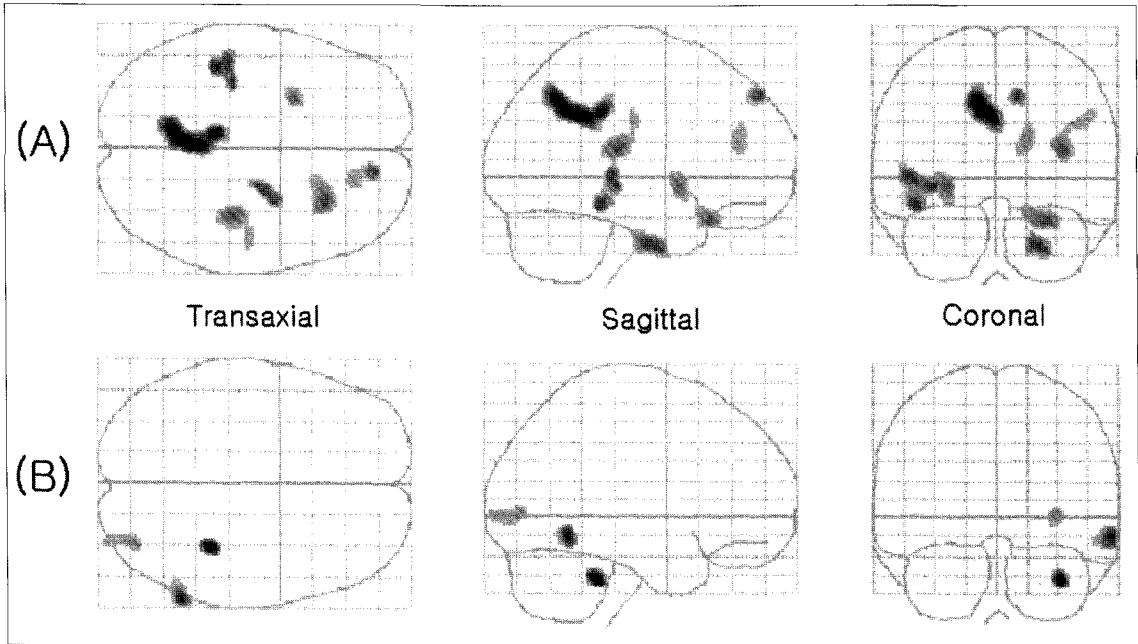


Fig. 2. Statistical parametric maps showing relatively specific brain regions related to the semantic processing of Korean and English words. Relative activation was obtained in the subtraction of semantic condition for English words from semantic condition for Korean words. Clusters with a positive significance were referred to as the areas specific to Korean words (A), whereas clusters with a negative significance as the areas specific to English words (B). Significantly activated areas ($p < 0.005$, $k > 50$) are displayed on three orthogonal telescoped views. Note that the specific regions to Korean words were observed in multiple areas, while the specific regions to English words were limited to the right posterior visual area.

Table 2. Relative specific areas for the semantic processing of different languages

Region (/Brodmann area)	Talairach Coordinates			maximal Z	voxel number
	x	y	z		
Korean words					
right superior frontal / 9	12	52	44	3.21	55
right orbitofrontal / 11	30	24	-24	3.12	165
right anterior cingulate / 32	18	40	22	2.84	66
right Heschl's / 41	36	-26	16	3.10	188
left middle temporal / 21	-44	-34	-14	3.33	218
right inferior temporal / 20	20	-10	-36	3.22	115
left posterior cingulate / 31	-2	-48	34	3.79	538
left putamen	-26	8	-4	3.06	99
English words					
right middle temporal / 37	62	-54	-10	3.38	103
right lateral occipital / 18	34	-80	2	2.88	71
right cerebellum	34	-38	-34	3.72	59

되는 어의처리 과정에 매개되는 신경회로가 국어 및 외국어의 사용에서 어떤 차이를 보이는가를 규명하는데 있었다. 이를 위하여 본 연구에서 사용된 과제들은 모두 기본적으로 작동기억을 요구하는 과제들이었다. 실제로 연구실험은 보다 광범위한 차원에서 이루어졌고, 본 연구와는 다른 측면인 주의와 작동기억에 대한 비교탐색이 이미 공표된 바 있다.¹⁸⁾ 본 연구를 포함한 연구실험에서 피검자들은 과제 수행을 위해 고도의 주의집중이 필요하였고, 결과에 제시된 높은 수행도에서 알 수 있듯이 성공적으로 과제를 이행하였다. 비록 본 연구의 자극과제 자체는 작동기억을 요구하는 것이기는 하나, 감산을 통해 공통 요소인 작동기억 요소는 제거되었고, 본 연구에서 의도하는 동물 여부의 판단과 이를 위한 단어들의 어의처리만이 남게 하였다.

[과제1-과제3]의 감산분석을 통해 관찰된 국어 단어에 대한 어의처리 동안의 뇌 활성화 양상은 좌측 편측화가 현저한 방추상이랑의 활성화가 특징적이었다. 또 [과제2-과제3]의 감산분석을 통해 관찰된 영어단어에 대한 어의처리 동안에도 좌측 편측화는 정도가 덜 하지만 방추상이랑의 활성화가 현저하였다. 사실 이 부분이 손상되는 경우 독서불능증(alexia)이 유발됨은 잘 알려진 사실이다.¹⁹⁾ 이처럼 방추상이랑이 국어 및 영어 단어 처리에 공통적으로 관여한다는 결과는 이전의 연구 보고와 일치하는 것이다. Petersen 등²⁰⁾은 방추상이랑을 포함한 전선조피질(prefrontal cortex)이 실질적 단어 뿐 아니라, 단순한 글자나열, 글자모양의 기호 등에서도 유사하게 반응한다고 하였다. 단 예외적으로 좌측 전선조피질의 경우 단지 발음 가능한 단어 및 비단어에서만 반응한다고 하였다. 이러한 결과를 바탕으로 Petersen 등²⁰⁾은 이 부분이 시각적 단어형성체계의 위치라고 결론 지었고, 이러한 결과는 후속 연구들을 통해 연이어 증명되었다.²¹⁾²²⁾ 본 연구에서 어의처리 동안의 방추상이랑의 활성화는 매우 강하고 광범위하게 일어남이 관찰되었는데, 이는 정보처리방식과 관련된 가능성이 높다. 즉 정상인에서 단어의 인식은 글자의 인식만큼이나 빨리 일어나고, 따라서 쓰여진 단어에서 글자들의 처리는 직렬적(serial)이라기보다는 병렬적(parallel)으로 일어나

는 것 같다. 이러한 병렬적 처리 방식 때문에 이 영역들에서 활성도는 단어를 보는 시간이 증가함에 따라 같이 증가한다.²¹⁾

또 본 연구에서 영어단어처리와 관련되는 것으로 밝혀진 좌측 하측두이랑 후반부도 단어형성체계에 중요한 것으로 보고된 바 있다.²³⁾²⁴⁾ 기능적 연구들을 종합하면 하측두이랑은 중측두이랑 및 방추상이랑과 함께 사물에 대한 시각재인을 담당하는 부위이다.²⁵⁾ 저자 등²⁶⁾은 이 영역이 시각적으로 제시된 단어의 어의처리를 요구하는 기억과제에서도 유의하게 활성화된다는 것을 보고한 바 있다. 비록 국어 단어 처리 과정에서는 이 부분의 활성화가 관찰되지 않았지만, 이는 본 연구의 분석과정에서 비교적 엄격한 통계적 유의수준을 적용하였기 때문에 관찰되지 않은 제2형 오류에 기인했을 가능성이 있다.

사실 [과제1-과제3]과 [과제2-과제3]의 감산에서는 과제1과 과제2에서 유의하게 혈류량이 감소하는 부위도 관찰된다. 그러나 이들 부위는 그 의미를 설명하기가 매우 어렵다. 즉 어의처리에 따른 뇌혈류량 증가에 따른 보상성 감소, 어의처리 자체와 관련된 억제성 활성화, 혹은 어의처리와 관계없이 과제3에서의 모양지각과 관련된 활성화 등 다양한 요소가 개입될 여지가 있다. 따라서 본 연구에는 어의처리 자체에 초점을 맞추기 위해 이 부분에 대한 분석을 제외하였다. 이에 비해 [과제1-과제2]의 감산에서는 양쪽 모두 목표가 되는 과제이므로, 감산을 통한 공통요소 제거 뒤에 과제1의 국어 어의처리에서의 증가와 과제2의 영어 어의처리에서의 증가로 정의하였다. 물론 앞에서 제기한 문제요소들이 이 감산에도 개입될 가능성이 여전하지만 신경영상 연구에서 통상적으로 사용되는 방법이므로 이를 채택하였다. 실제로 이러한 문제점은 감산분석의 필연적 한계로, 보다 정교한 과제 디자인과 상관분석을 이용한 영상통계처리 등을 통해 해결할 수밖에 없다.

[과제1-과제2]의 감산을 통해 관찰된 국어단어에 특이한 어의처리 영역은 뇌 전반에 걸쳐 다발성으로 관찰되었다. 여기서 무엇보다 특징적인 영역으로 우측 일차청각영역의 활성화를 들 수 있다. 본 연구의 과제들은 청각요소는 배제된 시각과제로만

구성되어 있다. 따라서 국어단어에 대한 어의처리에서 일차청각피질이 활성화된다는 것은 단어를 시각적으로만 제시한다고 하더라도 내적 청각반응이 일어날 수 있다는 것을 의미한다. 기능적 뇌영상 연구들에 의하면 통상적으로 언어처리를 요구하는 기억과제들에서 일차청각피질을 포함한 상측두이랑(superior temporal gyrus), 모서리위이랑(supramarginal gyrus), 전운동피질(premotor cortex) 및 부운동피질(supplementary motor cortex), 뇌섬엽(insula) 및 소뇌 등 매우 다양한 영역들이 활성화된다고 한다.²⁷⁾²⁸⁾ 사실 이 영역들은 기억부하 자체보다는 언어과제가 포함하는 음성처리에 개입하는 부위들인 것 같다. 특히 상측두이랑은 일차적으로 청각연합피질로 작용하는 영역으로서 수동적으로 단어보기와 같은 언어재료에 대한 시각 제인 과제에서 활성화된다는 것이 관찰되었다.²⁷⁾²⁹⁾³⁰⁾ 이 영역은 심지어 음소(phoneme)를 수동적으로 지각하기만 하여도 활성화된다.³¹⁾ 이는 직접적 청각자극이 없다고 하더라도 시각적으로 제시되는 단어들이 음성부호로 전환되어 아발성이행체계(subvocal rehearsal system)를 통해 조음고리(articulatory loop)에 접근하기 때문인 것 같다.

그러나 본 연구를 통해 밝혀진 중요한 사실은 이와 같은 내적 청각반응이 영어단어에서는 일어나지 않는다는 것이다. 영어단어에 특이한 어의처리 영역은 단지 우측 중측두이랑과 우측 외후두이랑(lateral occipital gyrus)과 같은 시각영역에 국한되어 있다. 특히 우측에 국한되는 것은 좌측 편측성의 언어관련 영역은 감소되어 제거되는데 비해, 우측 편측성의 모양지각 요소가 특이적으로 남아 관찰되는 현상인 것 같다.

영어 과제의 수행 동안 왜 상대적으로 내적 청각반응의 결핍이 있는지 확실하게 설명하기는 어렵지만, 궁극적으로 국어와 영어간의 어의처리 과정의 차이는 언어를 습득한 나이의 차이에 기인하는 것 같다. 본 연구의 대상자들은 모두 사춘기 이후에 영어를 배웠고 국어에 비해 낮은 숙련도를 나타냈다. 뇌영상 연구들은 일관되게 언어 습득의 나이 혹은 숙련도 수준이 모국어와 외국어간에 서로 다른 피질 활성화 반응양상 결정에 가장 중요한 요소라는

것을 제시해 왔다.⁷⁾⁹⁾ 이는 비록 어휘요소(lexicon)는 비교적 쉽게 습득될 수 있지만, 사춘기 이후에 배운 이차언어의 경우 음운적 요소(phonological components)가 상대적으로 결핍되기 때문일 가능성이 높다.

본 연구의 결과는 언어이해와 관련된 뇌 활성화가 언어를 통틀어 다르지 않다고 한 Kim 등⁷⁾의 연구결과와 다른 것이다. 또 중국어와 영어를 병행해 사용하는 이중언어자들에서 한자에 대한 어의처리가 그림보다는 영어단어에 대한 어의처리와 더 유사하다는 Chee 등³²⁾의 최근 연구와도 대조가 된다. 사실 한자는 언어학적으로 도식적 단위를 가진 표의적 형태소(morpheme)의 결합에 기초한 것으로, 서기소(grapheme)와 음소(phoneme)들의 결합으로 구성된 국어 및 영어의 체계와는 근본적으로 다른 것이다. 따라서 이는 다소 의외의 결과인 것 같지만, 이 역시 언어 숙련도의 차이에서 파생된 결과로 설명될 수 있다. 즉 이전 연구의 대상자들은 양쪽 언어를 비교적 능숙하게 구사하는 이중언어자인데 비해, 본 연구에 대상자들은 이차언어인 영어에 대해 낮은 숙련도를 갖고 있었다.

다시 말해 본 연구에서 국어 및 영어 사이에 관찰된 차이는 언어 숙련도에 따라 다른 전략적 신경 회로가 사용됨에 따라 파생된 결과일 가능성이 있다. 일반적으로 낮은 숙련도의 언어를 사용한 어떤 과제에서 높은 숙련도의 언어를 사용한 다른 과제에서의 수행도에 비기는 높은 수행도를 성취하기 위해서는 처리과정에 무언가 다른 전략이 사용될 필요가 있을 것이다. 본 연구의 결과를 바탕으로 추론하여 보면, 높은 숙련도의 국어단어에 대한 시각적 과제수행에 암독(silent reading) 혹은 내적 음운처리(internal phonological processing)가 중요한데 비해, 낮은 숙련도의 외국어의 경우에는 주로 시각적 주사(visual scanning)가 중요한 요소를 구성한다고 하겠다.

요 약

목적: 높은 숙련도의 국어와 낮은 숙련도의 영어의 단어들을 사용하는 시각 과제에서 어의처리에

매개되는 뇌 신경회로의 공통요소와 특이요소를 탐색하고자 하였다. **대상 및 방법:** 정상인 13명을 대상으로 국어단어에 대한 어의처리 과제, 영어단어에 대한 어의처리 과제, 단순 도형을 이용한 대조 과제 등 세 가지 인지과제를 주고, 과제 수행 동안 [¹⁵O]H₂O를 추적자로 한 양전자방출단층촬영을 실시한 후 감산분석을 통해 두 언어에 대한 어의처리 과정에 공통적으로 관여하는 뇌영역과 각각에 특이하게 작용하는 뇌영역을 탐색하였다. **결과:** 국어 및 영어단어에 공통적으로 어의처리 과정에 좌측 편측성의 방추상이랑(fusiform gyrus)의 활성화가 관찰되었고, 추가적으로 영어단어의 경우 좌측 하측두이랑(inferior temporal gyrus)의 활성화가 관찰되었다. 국어단어에 특이한 어의처리 영역은 우측 일차청각영역을 포함하는 뇌 전반에 걸친 다발성 활성화가 특징이었던데 반해, 영어단어에 특이한 어의처리 영역은 우측 시각영역에 한정된 양상이었다. **결론:** 높은 숙련도의 국어단어를 이용한 시각적 과제수행에는 내적 음운처리가 중요한데 비해, 낮은 숙련도의 영어단어를 이용한 과제수행의 경우에는 주로 시각적 주사(visual scanning)가 중요한 요소를 구성한다.

참고 문헌

- 1) Johnson JS, Newport EL. Critical period effects in second language learning: the influence of maturational state on the acquisition of English as a second language. *Cognit Psychol* 1989;21: 60-99.
- 2) Flege JE, Munro MJ, MacKay IRA. Effects of age of second language learning on the production of English consonants. *Speech Communication* 1995;16:1-26.
- 3) Albert ML, Obler LK. *The bilingual brain: neuropsychological and neurolinguistic aspects of bilingualism*. New York: Academic Press; 1978.
- 4) Perani D, Dehaene S, Grassi F, Cohen L, Cappa SF, Dupoux E, et al. Brain processing of native and foreign languages. *Neuroreport* 1996;7: 2439-44.
- 5) Weber-Fox CM, Neville HJ. Maturational constraints on functional specializations for language processing: ERP and behavioral evidence in bilingual speakers. *J Cogn Neurosci* 1996;8: 231-56.
- 6) Yetkin O, Zerrin YF, Haughton VM, Cox RW. Use of functional MR to map language in multilingual volunteers. *Am J Neuroradiol* 1996;17: 473-7.
- 7) Kim KHS, Relkin NR, Lee KM, Hirsch J. Distinct cortical areas associated with native and second languages. *Nature* 1997;388:171-4.
- 8) Dehaene S, Dupoux E, Mehler J, Cohen L, Paulesu E, Perani D, et al. Anatomical variability in the cortical representation of first and second language. *Neuroreport* 1997;8:3809-15.
- 9) Perani D, Paulesu E, Galles NS, Dupoux E, Dehaene S, Bettinardi V, et al. The bilingual brain. Proficiency and age of acquisition of the second language. *Brain* 1998;121:1841-52.
- 10) Fox PT, Mintun MA, Raichle ME, Miezin FM, Allman JM, Van Essen DC. Mapping human visual cortex with positron emission tomography. *Nature* 1986;323:806-9.
- 11) Andreasen NC, Arndt S, Cizadlo T, O'Leary DS, Watkins GL, Ponto LLB, et al. Sample size and statistical power in [¹⁵O]H₂O studies of human cognition. *J Cereb Blood Flow Meta* 1996;16:804-16.
- 12) First MB, Spitzer RL, Gibbon M, Williams JBW. *Structured Clinical Interview for DSM-IV Axis I Disorders*. New York: New York State Psychiatric Institute, Biometrics Research; 1996.
- 13) Annett M. A classification of hand preference by association analysis. *Br J Psychology* 1970;61: 303-21.
- 14) Friston KJ, Worsley KJ, Frackowiak RSJ, Mazziotta JC, Evans AC. Assessing the significance of focal activations using their spatial extent. *Hum Brain Mapp* 1994;1:210-20.
- 15) Friston KJ, Holmes AP, Worsley KJ, Poline JP, Frith CD, Frackowiak RSJ. Statistical parametric maps in functional imaging: a general linear approach. *Hum Brain Mapp* 1995;2:189-210.
- 16) Talairach J, Tournoux P. *Co-planar stereotaxic atlas of the human brain*. New York: Thieme; 1988.
- 17) Friston KJ, Ashburner J, Frith CD, Poline J-B, Heather JD, Frackowiak RSJ. Spatial registration and normalization of images. *Hum Brain Mapp*

- 1995;2:165-89.
- 18) Kim JJ, Cho SS, Kim MS, Son JW, Lee JS, Lee DS, et al. Comparison of the brain activation patterns during focused attention and working memory using positron emission tomography. *J Korean Neuropsychiatr Assoc* 2001;40:270-8.
 - 19) Binder JR, Mohr JP. The topography of callosal reading pathway. A case-control analysis. *Brain* 1992;115:1807-26.
 - 20) Petersen SE, Fox PT, Snyder AZ, Raichle ME. Activation of extrastriate and frontal cortical areas by words and word-like stimuli. *Science* 1990;249:1041-4.
 - 21) Price CJ, Wise RJS, Frackowiak RSJ. Demonstrating the implicit processing of visually presented words and pseudowords. *Cereb Cortex* 1996;6:62-70.
 - 22) Rumsey JM, Horwitz B, Donohue BC, Nace K, Maisog JM, Andreason P. Phonological and orthographic components of word recognition. A PET-rCBF study. *Brain* 1997;120:739-59.
 - 23) Howard D, Patterson K, Wise R, Brown WD, Friston K, Weiller C, et al. The cortical localization of the lexicons. *Brain* 1992;115:1769-82.
 - 24) Puce A, Allison T, Asgari M, Gore JC, McCarthy G. Differential sensitivity of human visual cortex to faces, letterstrings, and textures: a functional magnetic resonance imaging study. *J Neurosci* 1996;16:5205-15.
 - 25) Kim JJ, Crespo-Facorro B, Andreasen NC, O'Leary DS, Zhang B, Harris G, et al. An MRI-based parcellation method for the temporal lobe. *Neuroimage* 2000;11:271-88.
 - 26) Kim JJ, Andreasen NC, O'Leary DS, Wiser AK, Ponto LLB, Watkins GL, et al. Direct comparison of the neural substrates of recognition memory for words and faces. *Brain* 1999;122:1069-83.
 - 27) Paulesu E, Frith CD, Frackowiak RSJ. The neural correlates of the verbal component of working memory. *Nature* 1993;362:342-5.
 - 28) Salmon E, Van der Linden M, Collette F, Delfiore G, Maquet P, Degueldre C, et al. Regional brain activity during working memory tasks. *Brain* 1996;119:1617-25.
 - 29) Petersen SE, Fox PT, Posner MI, Mintun M, Raichle ME. Positron emission tomographic studies of the cortical anatomy of single-word processing. *Nature* 1988;331:585-9.
 - 30) Wise R, Chollet F, Hadar U, Friston K, Hoffner E, Frackowiak R. Distribution of cortical neural networks involved in word comprehension and word retrieval. *Brain* 1991;114:1803-17.
 - 31) Zatorre RJ, Evans AC, Meyer E, Gjedde A. Lateralization of phonetic and pitch discrimination in speech processing. *Science* 1992;256:846-9.
 - 32) Chee MWL, Weekes B, Lee KM, Soon CS, Schreiber A, Hoon JJ, et al. Overlap and dissociation of semantic processing of Chinese characters, English words, and pictures: evidence from fMRI. *Neuroimage* 2000;12:392-403.