

다중언어화자의 기능적 자기공명영상¹

조재민 · 유재욱 · 최대섭 · 신태범 · 정성훈 · 김지은 · 한 헌² · 김삼수² · 전용환²

목적: 다중언어화자들을 대상으로 대뇌 언어처리영역을 기능적 자기공명영상을 통해 알아보고 모국어와 외국어의 차이점을 알아보고자 하였다.

대상과 방법: 한국어, 불어, 영어를 구사할 수 있는 한국인 9명을 대상으로 하였다. 실험참가자가 어휘판단과제와 그림명명과제를 수행하는 동안 기능적 영상을 획득하였으며 한국어, 영어, 불어에 대해 각각 이루어졌다. 언어별, 자극과제별로 나타난 활성화 신호를 분석하였고 각 언어에 따른 차이를 비교하였다.

결과: 어휘판단과제에서는 Broca영역, 모서리상회, 방추회 등의 영역에서 활성화가 나타났다. 그림명명과제에서는 Broca영역과 함께 좌전중회, 소뇌, 우반구 선조외피질의 활성화가 나타났다. 어휘판단과제에서 모국어와 외국어를 비교하였을 때 모두 Broca영역의 활성화가 있었으나 외국어에서 활성화의 범위가 넓었으며 또한 우반구 우전두전영역의 활성화 수준이 높았다. 그림명명과제에서는 좌전두회에서 외국어의 활성화가 높았다.

결론: 언어처리에 핵심영역으로 알려진 Broca영역은 모국어와 외국어를 불문하고 어휘판단과제와 그림명명과제 모두에서 활성화가 보였다. 외국어의 언어처리영역은 모국어와 일치하는 부분이 많았으나, 활성화 영역의 범위가 넓고 다른 활성화 영역도 존재하여 모국어보다 많은 대뇌영역이 관여하는 것으로 보인다.

기능적 자기공명영상(functional MRI, 이하 fMRI)은 최근 기능적 뇌지도화(functional brain mapping)를 연구하는 비침습적 수단으로 많이 이용되고 있다. fMRI는 기존의 다른 뇌 기능영상 촬영방법인 양전자방출 단층촬영법(positron emission tomography, PET)보다 안전하며 공간적인 해상도가 뛰어나 현재 뇌기능에 대한 영상방법으로 많이 사용되고 있으며, fMRI 도입 당시에는 시각, 감각, 운동 등의 단순한 자극에 대한 연구가 시작되었으나 최근에는 언어, 기억 등의 고등인지기능의 영상화에 관한 연구들이 진행되었다(1-19).

이 중 언어 화자 (bilingual) 혹은 다중언어 화자 (multilingual)는 모국어 이외에 한 가지 혹은 두 가지 이상의 언어를 구사할 수 있는 사람을 말한다. 이러한 이중언어화자나 다중언어화자에서 모국어와 외국어의 언어영역이 동일한 대뇌처리과정을 거치는지 아니면 서로 다른 대뇌영역이 관련되는지에 대하여 많은 관심이 있었으며, 양전자방출 단층촬영, 수술 중 전기자극을 이용한 뇌지도화, fMRI 등을 이용한 많은

연구가 진행되었다(1-19).

모국어와 외국어 언어영역에 관한 초기의 기본적인 가설은 서로 다른 언어는 서로 다른 대뇌 영역이 관여한다는 것이다. 실제로 실어증이 생긴 다중언어화자 환자에서 다른 언어 기능은 정상이었으나 한 언어만의 기능 저하가 나타났었고(20, 21), 언어기능의 회복도 각각의 언어에 따라 다른 정도로 일어났으며 심지어 서로 반대의 회복양상이 있었던 예도 보고되었다(22). 또한, 다중언어화자에서의 전기자극 실험에서는 각각의 전기자극에 따라 서로 다른 언어의 기능에 문제가 있었으며(1-3), 이중언어화자에서 신경외과적 수술을 시행하였을 때에도 한 언어의 기능이상만이 나타났던 사례도 보고되었다(23). 상기의 임상적인 사례들은 서로 다른 언어는 서로 다른 대뇌영역이 관여한다는 기본적인 가설을 뒷받침하고 있으나, PET나 fMRI를 이용한 최근까지의 연구는 기본적인 가설과 일치하지는 않는다. 최근의 여러 연구에서 다른 언어라 할지라도 같은 대뇌영역의 활성화가 일어난다고 보고한 반면(4-8), 또 다른 여러 연구에서는 각각의 언어는 서로 다른 대뇌영역과 연관이 있다고 보고되었다(9-11). 이처럼 상이한 연구결과가 나온 배경은 아직 명확하게 규명되지는 않았으나 다중언어화자의 외

¹경상대학교 의학전문대학원 영상의학교실

²강원대학교 의과대학 영상의학교실

이 논문은 2009년 5월 26일 접수하여 2009년 7월 1일에 채택되었음.

국어 습득시기(age of acquisition), 언어의 유창도(fluecy)가 연관이 있을 것으로 생각하고 있고, 또한 시각, 청각 등 자극의 종류나 실험과제의 종류 등 연구방법의 차이도 관련이 있으리라 추정된다(11, 12).

본 연구에서는 한국어를 사용하는 한국인으로서 영어, 불어의 두 가지 언어를 모두 사용할 수 있는 다중언어화자들을 대상으로 삼았으며 각각의 언어에서 활성화되는 대뇌영역을 알아보았다. 이 연구의 목적은 한국어, 영어, 불어를 구사할 수 있는 다중언어화자들을 대상으로 어휘판단과제와 그림명명과제를 통한 대뇌 언어처리영역을 fMRI를 통해 각각의 언어조건에서 알아보고, 모국어와 외국어의 차이점을 알고자 하는 것이다.

대상과 방법

대상

한국어, 영어, 불어를 유창하게 구사할 수 있는 한국인 남녀 9명을 대상으로 하였고 모두 모국어가 한국어이었다. 남자가 4명, 여자가 5명이었으며 나이는 32세에서 52세로 평균 41.1세이었다. 실험참가자들은 실험에 들어가기 전에 준비된 설문지를 통해 영어와 불어를 처음 접한 시기와 유창하게 구사할 수 있게 된 시기를 작성하였다(Table 1). 실험참가자들이 외국어를 처음 접한 시기는 영어의 경우 12세에서 14세로 평균 13세였고, 불어는 16세에서 22세로 평균 18세였다. 외국어를 유창하게 구사할 수 있게 된 시기는 영어는 평균 22세이었고, 불어는 평균 26세이었다. 그리고 모국어 및 외국어에 대한 유창성에 대해 10점 척도로 자기평가점수를 작성하였으며, 읽기, 쓰기, 말하기, 듣기의 4개 항목에 대해 작성하였다(Table 1). 또한, 이들에 대해 Oldfield가 개발한 신경심리검사(edinburgh inventory handedness scale)를 이용하여 손잡이 여부를 판단하였으며 전원 오른손잡이로 판단되었다. 질문을 통해 모두에게 신경학적인 이상이 없음을 확인하였다.

기능적 자기공명영상

기능적 자기공명영상은 1.5T 초전도 자기공명영상장치(GE

medical system, Milwaukee, USA)에서 EPI BOLD 기법을 이용하여 시행하였다(Interleaved gradient echo single shot EPI, TR/TE 3000/60, 숙임각(flip angle) 90°, matrix 64 × 64, 절편 두께 5 mm, no slice gap, FOV 24 × 24 cm). 영상은 전교련(anterior commissure)과 후교련(posterior commissure)을 연장한 AC-PC line을 기준으로 뇌의 아래에서부터 위로 횡단면 20절편(slices)으로 구성된 체적 영상(volume image)을 매 3초마다 획득하였으며 가능한 대뇌전체가 포함되도록 조정하였다. EPI 영상 전에 같은 위치에서 T1 강조영상(TR/TE 417/9, matrix 256 × 256, 절편 두께 5 mm, no slice gap, FOV 24 × 24 cm)을 얻어 해부학적 영상으로 사용하였다.

영상 획득은 실험참가자가 헤드 코일에 부착된 거울을 통해 자기공명영상 장치 외부에서 영사기를 사용하여 시각적으로 제시하는 화면을 보며 과제를 수행하는 동안 이루어졌다. 각 과제는 2초에 한 번씩 제시되는 하나의 화면을 보고 자극이 제시되는 0.5초를 포함하여 다음 자극이 제시되기 전까지 판단하는 과정으로 이루어졌다. 자극 제시는 뇌 영상 연구에서 가장 기본적인 설계인 블록 설계(block design: box-car design)로서 5번의 통제 조건과 4번의 활성화 조건이 번갈아 제시되도록 구성하였으며, 각 언어에 따라 한국어 조건, 영어 조건, 불어 조건으로 총 3번이 시행되었다. 각 조건은 실험 참가자에 따라 역균형화(counter-balancing) 시켰다. 각각의 통제기 및 활성화기에 단면당 10회의 영상을 얻었으며 각 영상 획득시간은 30초였다. EPI 영상이 평형기(equilibrium state)를 이루기 전의 높은 신호를 보정하기 위해 12초간의 모조영상(dummy scan)을 활성화 영상을 얻기 전에 추가로 얻었으며, 총 영상획득시간은 모조영상을 포함하여 282초가 소요되었다(Fig. 1).

실험은 언어 이해과정을 반영하는 어휘판단과제(lexical decision task, LDT)와 언어 산출과정을 반영하는 그림명명과제(picture naming task, PNT)로 구성하였으며 언어처리 이외의 일반적인 뇌 활성화를 빼기(subtraction)위해 각각의 과제에서 통제과제(control task)를 시행하였다.

어휘판단과제의 통제기에는 어휘판단과제 수행 과정에서 개

Table 1. Self Assessment Fluency, Age of Acquisition, and Age of Fluency for Each Individual Participant

| Sub- ject | Sex | Age (year) | Korean | | | | AA | AF | English | | | | AA | AF | French | | | |
|--------------|-----|---------------|-------------------------|----|----|----|----|----|-------------------------|----|---|---|----|----|-------------------------|----|----|----|
| | | | Self Assessment Fluency | | | | | | Self Assessment Fluency | | | | | | Self Assessment Fluency | | | |
| | | | R | W | S | L | | | R | W | S | L | | | R | W | S | L |
| 1 | F | 44 | 10 | 10 | 10 | 10 | 14 | 20 | 9 | 7 | 4 | 6 | 19 | 22 | 10 | 9 | 9 | 9 |
| 2 | M | 43 | 10 | 10 | 10 | 10 | 13 | 30 | 9 | 5 | 6 | 6 | 17 | 33 | 10 | 9 | 9 | 9 |
| 3 | F | 32 | 10 | 9 | 10 | 10 | 13 | 18 | 9 | 6 | 6 | 4 | 17 | 25 | 9 | 8 | 8 | 7 |
| 4 | M | 40 | 10 | 10 | 10 | 10 | 13 | 22 | 6 | 4 | 4 | 4 | 19 | 34 | 8 | 8 | 8 | 8 |
| 5 | M | 45 | 10 | 10 | 10 | 10 | 13 | 21 | 9 | 8 | 8 | 7 | 16 | 26 | 9 | 9 | 9 | 9 |
| 6 | M | 35 | 10 | 10 | 9 | 10 | 12 | 18 | 8 | 7 | 8 | 9 | 19 | 26 | 9 | 9 | 9 | 9 |
| 7 | F | 52 | 10 | 10 | 10 | 10 | 13 | 25 | 10 | 10 | 6 | 6 | 16 | 20 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| 8 | F | 44 | 10 | 10 | 10 | 10 | 12 | 23 | 10 | 6 | 5 | 8 | 16 | 26 | 10 | 8 | 8 | 10 |
| 9 | F | 35 | 10 | 10 | 10 | 10 | 13 | 19 | 5 | 5 | 6 | 5 | 22 | 26 | 7 | 7 | 9 | 8 |

R=reading, W=writing, S=speaking, L=listening, AA=age of acquisition (year), AF=age of fluency (year)

입되는 시각적인 활성화와 일반적인 판단과정에서 활성화되는 뇌 활성화를 제거하기 위해 아랍어 크기판단과제(Arabic words size decision)를 시행하였다. 크기판단과제는 실험참가자가 습득한 경험이 전혀 없는 아랍어를 사용하였고 좌우에 제시되는 두 단어의 크기를 같거나 달리하여 두 단어의 크기가 같은 화면과 크기가 같지 않은 화면이 골고루 제시되었으며, 실험참가자가 크기가 같은지 틀린지를 마우스를 통해 신호하게 하였다(Fig. 2A). 어휘판단과제는 한국어, 영어, 불어 조건에서 각각 화면에 제시되는 두 음절의 낱말이 단어인지 아닌지를 판단하도록 하였으며 아랍어 크기판단과제와 같이 마우스를 통해 신호하게 하였다(Fig. 2A). 자극은 각 블록당 15개로 크기 판단의 경우 75개가 제시되었으며, 어휘판단의 경우 의미가 있는 단어 30개와 읽기는 가능하지만, 의미가 없는 비단어 30개가 무작위로 섞여 총 60개가 각각의 언어조건에서 제시되었다.

그림명명파제의 경우 통제조건에서는 그림명명파제 수행과정에서 개입되는 시각적인 활성화와 그림에 의한 복합적 시각 자극에 의한 활성화를 제거하기 위해 선으로 그려진 무의미한 도형을 보게 하였고(meaningless picture gaze), 실험조건은 선으로 그려진 의미 있는 그림을 보고 그림의 이름을 한국어, 영어, 불어 조건에서 각각의 언어로 속으로 말하게 하는 것이었다(Fig. 2B).

영상후처리

얻어진 활성화 영상의 영상후처리(postprocessing)는 fMRI분석 소프트웨어인 statistical parametric mapping

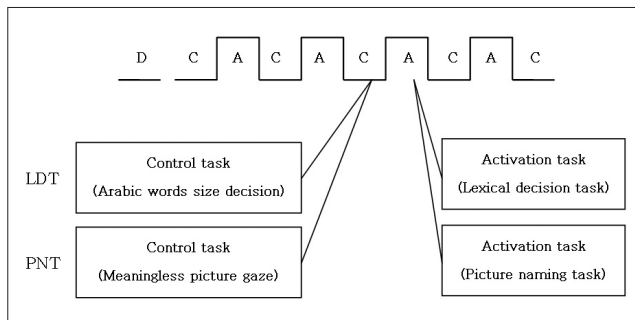


Fig. 1. Block design for subtraction. D=dummy scan, C=control task, A=activation task, LDT=lexical decision task, PNT=picture naming task

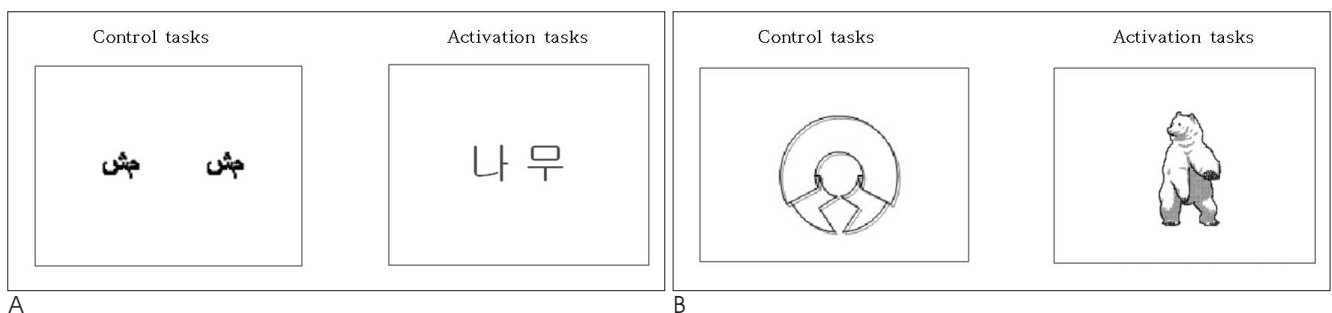


Fig. 2. Examples of control and activation task stimuli of the lexical decision task (A) and the picture naming task (B).

(SPM99, Wellcome Department of Cognitive Neurology, London, UK) 프로그램을 이용하여 off line으로 시행하였다. 통계분석 전단계 과정으로 재정렬(realignment), coregister, 표준화(normalization), 영상 다듬기(smoothing)를 수행하였다. 활성화 영상은 첫 12초 동안 4개(phase)의 모조영상을 제외한 72개의 체적영상들(volume images)을 첫 번째 영상을 기준으로 호흡, 맥박 등으로 인한 움직임을 보정하여 재정렬(realignment)하였다. 이후 고속으로 촬영한 EPI(echo plana image)는 해부학적인 위치를 정확하게 파악하기 위해 얻은 T1 영상과 공간 해상도가 달라 공통좌표로 맞추어 주는 coregister 과정을 수행하였다. 이후 각 실험참가자의 뇌를 표준화(normalization)하기 위해 SPM99에서 제공하는 표준 뇌영상(template image)을 이용하였다. 이후 잡음(noise)제거 및 3차원 가우스범위(Gaussian field)를 만들기 위해 7.5 mm FWHM(full-width, half maximum) gaussian kernel을 이용하여 영상 다듬기(smoothing)를 수행하였다.

이렇게 준비된 각 실험참가자의 체적 영상(volume data 혹은 image)들에 대한 통계분석은 실험 시 자극을 주었던 조건을 대상으로 일반 선형 모형(general linear model)에 기초한 모수 추정(parameters estimation)을 수행하였다. 실험참가자의 개별 데이터는 고정효과모델(fixed effect model)에 기초한 대비 분석을 수행하고 나서, 일정한 유의수준(corrected $p < 0.001$)을 역치로 하여 각 자극 조건에 따른 영상을 확인하였다. 개별참가자들의 결과를 확인하고 2단계로 그룹 분석을 시행하였다. 그룹분석은 개별 참가자의 자극조건에 대한 대조영상들(contrast images)을 원 자료로 하는 임의 효과분석(random effect analysis)을 수행하였다. 수행결과에 대해 일정한 유의수준 (uncorrected $p < 0.001$)을 역치로 하여 얻은 최종 활성화 영상 (SPM t-map, SPMt)을 SPM에서 제공하는 NMI 동위상 좌표에 적용하여 활성화 위치를 확인하였다.

결 과

어휘판단과제에서는 Broadmann area (BA) 44, 45에 해당하며 대뇌 언어 처리영역으로 알려진 Broca 영역과 더불어 모서리상회(supramarginal gyrus), 방추회(fusiform gyrus) 등의 영역에서 활성화가 나타났다(Fig. 3). 그림명명

과제에서는 Broca 영역 외에 조음과정과 관련된 좌중심전회(left precentral gyrus, BA 6), 소뇌의 활성화가 나타났으며, 그림자극에 따른 우반구 선조외피질(right extrastriate cortex, BA 19)의 활성화가 두드러졌다(Fig. 3).

어휘판단과제에서 모국어와 외국어를 비교하였을 때 전반적으로 대뇌 활성화 수준이 외국어에서 높았다(Fig. 3). 모국어는 전통적인 언어영역에서 활성화가 보였고, 외국어에서는 이 영역의 범위가 더욱 광범위하였으며 우반구의 우전두전영역(right prefrontal area)의 활성화 수준이 높았다. 불어 및 영어조건에서 한국어 조건을 감하였을 때 우전두전영역과 좌하전두회(left inferior frontal gyrus, BA 44)의 활성화가 보였다(Fig. 4). 그림명명과제에서는 어휘판단과제에 비해 모국어와 외국어의 차이가 많이 나지 않았으며 좌전두회(left prefrontal gyrus, BA 45)에서 외국어의 활성화가 약간 높았다(Fig. 4).

어휘판단과제와 그림명명과제를 비교하였을 때 어휘판단과제에서 두정엽-후두엽 경계부위 (parieto-occipital junction

area)의 활성화가 모든 언어조건에서 두드러졌으며 그 외 다른 영역의 활성화 차이가 각 언어조건마다 있었지만 공통되지는 않았다(Fig. 5). 그림명명과제에서는 보조운동영역(SMA, supplementary motor area), 우측 소뇌의 활성화가 모든 언어조건에서 어휘판단과제에 비해 두드러졌으며 외국어 조건에서는 좌측 소뇌의 활성화가 높았다(Fig. 5).

고 찰

이중언어화자에서 언어기능의 대뇌영역에 대한 영상연구는 1994년에 최초로 PET을 통해 이루어졌다(13). 이 연구에서는 영어-프랑스어 이중언어화자를 대상으로 청각적으로 제시되는 단어를 따라 말하게 하는 과제를 실시하였는데 모국어와 외국어에서 활성화되는 영역은 대부분 유사하였고 외국어 조건에서 조가비핵(putamen)에 보다 많은 활성화가 있었다. 이후에도 Klein 등(14)은 중국어-영어 후기 이중언어화자들을 대상으로 동사생성과제(verb generation task)를 이용한

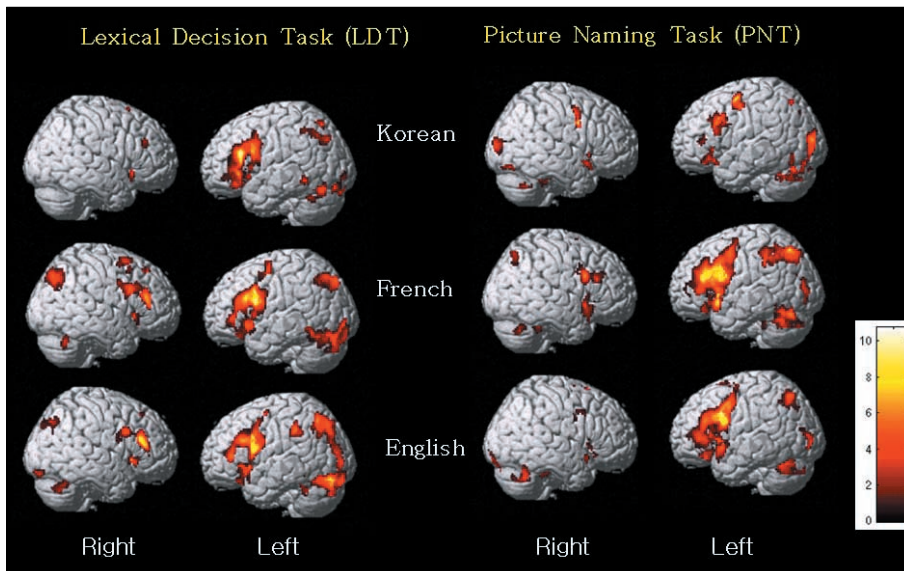


Fig. 3. Cortical activation areas during lexical decision task and picture naming task.

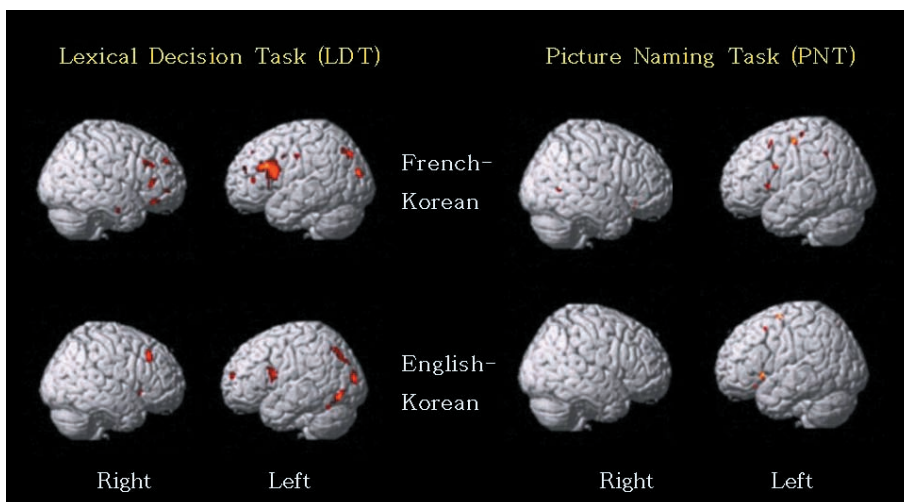


Fig. 4. Subtraction of cortical activation areas between languages.

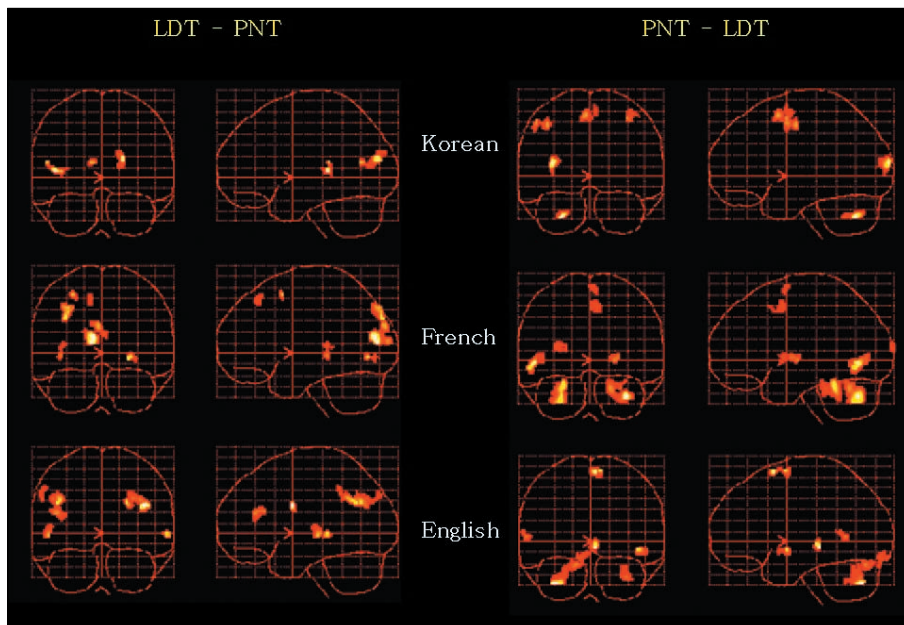


Fig. 5. Subtraction of cortical activation areas between tasks.

PET 연구를 시행하였는데 중국어가 모국어이고 영어를 사춘기 이후에 배운 이중언어화자임에도 불구하고 두 언어 간의 대뇌 영역상의 차이가 없었다. 다른 연구에서도 모국어와 외국어의 언어영역의 차이가 없었다는 보고가 많았으나 이와는 상반되게 모국어와 외국어의 언어영역의 차이가 있었던 연구도 있었다(4-11). Dehaene 등(9)은 fMRI를 이용하여 프랑스어-영어 이중언어화자들을 대상으로 짧은 이야기를 듣고 이해하는 과제를 실시하였는데 모국어는 좌측두상구(left superior temporal sulcus) 주위의 좌측두엽에 거의 동일한 활성화를 보였으나 외국어는 좌우 측두엽과 전두엽의 활성화가 다양하게 나타났으며 심지어 대뇌 우반구에만 활성화가 있었던 경우도 있었다. Kim 등(10)은 fMRI를 사용하여 초기 및 후기 이중언어화자들을 대상으로 문장을 속으로 구사하는 과제를 수행하였는데 초기이중언어화자의 경우 Broca 영역에서 활성화 중심점의 차이가 거의 없었으나 후기 이중언어화자의 경우에는 활성화 중심점의 차이가 있어 외국어 습득시기에 따라 Broca 영역의 기능적 구조가 다르다고 주장하였다. 그러나 이러한 결과는 외국어 유창도를 고려하지 않은 결과이므로 외국어 습득시기의 문제가 아니라 유창도의 차이라는 주장도 제기되고 있다(12). Perani 등(15)은 PET을 이용하여 초기 및 후기 이중언어화자에서 이야기 듣기과제를 수행하였는데 유창도가 낮은 초기 이중언어화자의 경우에는 측두엽과 측두-후두 피질(temporo-occipital cortex)의 활성화가 외국어에서 높게 나타난 반면 외국어 유창도가 높은 초기 및 후기 이중언어화자에서는 이러한 차이가 보이지 않아 외국어 습득시기보다는 외국어 유창도가 중요한 역할을 한다고 주장하였다. 또한, 이들은 최근의 보고에서 외국어를 유창하게 구사하는 초기 이중언어화자일지라도 단어추출과제에서 모국어에서 대뇌활성화 정도가 외국어보다 낮게 나와 외국어습득시기와 외국어사용기간이 대뇌활성화 정도에 관여한다고 주장하였다(16). 전체적으

로 이러한 여러 연구결과를 토대로 볼 때 모국어와 외국어는 언어영역에서 서로 공유되는 부분들도 많지만, 부분적으로는 별개의 신경망을 가지는 것으로 해석할 수 있다(11, 12). 저자들의 연구에서도 어휘판단과제 및 그림명명과제에서 모국어와 외국어의 대뇌활성화 부위가 일치하는 부분이 많았으나 부분적으로 외국어에서만 활성화되는 대뇌부위가 있어 상기의 가설을 뒷받침하고 있다.

최근까지 보고된 이중언어화자 및 다중언어화자에서의 언어영역에 관한 다양한 연구결과는 외국어 습득시기와 유창도에 따른 연구대상의 차이와 더불어 다양한 연구방법의 차이에 기인한다고 생각된다. 연구 방법적으로는 영상방법(PET, fMRI), 자극방법(시각, 청각), 실험과제의 종류(이야기 듣기, 최근일 기술하기, 동의어 말하기, 번역하기, 단어반복하기, 명사-동사 생성하기, 의미 결정하기), 통제과제의 종류에 따라 다양한 방법이 존재한다. 특히 대뇌 활성화 부위가 여러 연구에서 동일하지 않은 이유는 자극방법과 실험과제의 종류에 따라 많은 차이가 있을 것으로 보인다. 저자들은 청각적인 대뇌 활성화를 배제하기 위해 시각자극을 선택하였으며, 단순한 언어이해과정을 반영하는 어휘판단과제와 보다 상위적인 언어처리가 요구되는 언어산출과정인 그림명명과제의 두 가지 과제를 선택하여 모국어와 외국어의 차이점과 각 과제 간의 차이점을 알고자 하였다.

저자들의 연구에서 외국어와 모국어를 사용한 어휘판단과제와 그림명명과제에서 모두 운동성 언어중추로 알려진 Broca 영역의 활성화가 나타나 이 영역이 언어처리의 중추적 역할을 담당함을 알 수 있고 언어의 이해과정뿐만 아니라 언어 산출과정에도 관여한 것으로 생각하며 최근까지의 보고와 일치하였다(12, 17, 18). 어휘판단과제에서는 Broca 영역 외에도 모서리상회, 방추회등의 영역에서 활성화가 나타났다. 좌모서리상회는 BA 39, 40에 해당하는 영역으로 음운표현과정

(phonological representation processing)과 관계된다고 보고되는 영역이며(24, 25), 방추회는 BA 19, 37에 해당하는 영역으로 복잡한 시각정보처리인 얼굴인식(face cognition)과 관련성이 있는 것으로 보고되었고(26, 27), 문자인식에서는 철자정보처리(orthographic processing)와 의미처리와도 연관성이 있는 곳으로 보고되었다(28, 29). 그림명명과제에서는 Broca 영역 외에도 중심전회의 활성화가 나타나는데 이 같은 전두엽의 활성화는 단어생성 및 발성을 위한 언어출력단계와 연관 있는 것으로 판단된다. 그러나 이들 기능을 제외한 판단과제를 수행했을 때도 전두엽의 활성화가 보인 연구들이 있어 언어의 이해와도 관련성이 있을 것으로 생각하고 있다(30, 31).

모국어와 외국어의 비교에서는 어휘판단과제의 경우 외국어에서 모국어보다 Broca 영역의 활성화 범위와 강도가 높았으며 이외에도 우전두전 영역의 활성화가 높게 나와 모국어와 외국어의 언어영역의 차이가 부분적으로라도 있음을 알 수 있었다. 외국어에서 Broca 영역은 모국어와 같이 활성화가 되지만 그 범위와 강도가 높은 것은 모국어보다 친숙하지 않은 외국어에서 어휘처리에 보다 많은 노력이 요구되고 있음을 알 수 있으며 이전의 여러 문헌의 결과와 유사하였다(11, 12, 17, 18). 외국어에서 보이는 우뇌의 활성화에 대해서도 여러 문헌에서 보고되고 있다(9, 32, 33). 특히 후기 다중언어화자 혹은 유창하지 않은 외국어에서 의미 있게 우뇌의 활성화가 높다는 보고가 많은데 Ullman (34)은 외국어 습득과정은 대뇌 우반구에 편재화 되어있는 서술적 기억장치(declarative memory system)에 의존하기 때문이라고 주장했다. 그러나 이에 반해 모국어에서 대뇌 우반구의 활성화가 높게 나온 연구도 있었다(12).

어휘판단과제에 비해서 그림명명과제에서 보조운동영역과 소뇌 우반구의 활성화가 높게 나타났는데 이는 단순한 언어이해 과정인 어휘판단과제보다는 언어 산출을 요구하는 그림명명과제에서 능동적인 과정이 개입된 것이 원인으로 판단된다. 소뇌는 언어영역에서의 역할이 대뇌에 비해 미미하다고 판단되어 무시되는 경우가 많았으나 최근에는 언어인지과정에서 중요한 역할을 한다고 간주하고 있다(35). 소뇌는 시상과 대뇌 피질, 특히 전두엽과 두정엽과의 광범위한 해부학적인 연결을 바탕으로 대부분 언어처리의 조절역할을 한다고 생각되고 있으며, 특히 소뇌 우반구의 역할이 언어기능에 더 중요한 역할을 한다는 연구결과가 많았다(35-37). 이것은 언어중추가 속해있는 좌전두엽은 소뇌 우반구와 연결되어 있다는 교차 소뇌-대뇌 편열(crossed cerebellocerebral diaschisis) 가설과 일치한다(38).

이 연구의 제한점으로는 다중언어화자에서 실험대상자의 수가 작아 초기 및 후기의 구분과 유창성에 대한 구분이 없었던 것에 있다. 그러나 초기 및 후기의 구분도 최초 언어를 습득하는 시기와 사춘기 이전 등으로 아직 정립되어 있지 않은 상태이며 유창성에 대한 척도도 주관적인 부분이 많은 상태로 객관적인 기준이 마련되어야 할 것으로 생각하며 앞으로 많은 연구와 보완이 필요할 것으로 생각한다.

언어의 처리는 한가지의 단순한 대뇌처리의 결과물이 아니며 언어의 이해와 산출 등의 다양한 처리과정을 거치는 것으로 생각한다. 언어의 이해와 산출과정도 세부적인 여러 과정을 거쳐야 할 것으로 생각하며 일부는 공유되는 요소도 있고 일부는 독립적인 요소도 있을 것이라 생각한다. 또한, 이중언어화자의 경우 외국어나 모국어라 할지라도 한국어, 영어, 중국어, 일어 등과 같이 문자규칙이 상이한 상태에서는 각 언어의 문자적인 특성에도 차이가 있고 이에 따라 각 언어마다 여러 가지 다양한 언어처리 기제가 존재할 것으로 보여 단순히 모국어와 외국어로 나누는 것도 문제가 있을 것으로 보인다. 이러한 다양성 때문에 최근까지의 연구결과도 매우 다양하며, 심지어 상반되기까지도 한 결과물이 나왔으리라 추정되며 향후 연구의 고려 대상이 되었으면 한다.

결론적으로 모국어인 한국어와 외국어인 영어 및 불어를 구사하는 다중언어화자에서의 연구결과로 보면 언어처리에 핵심 영역으로 보고되는 Broca 영역은 언어의 이해와 산출과정에 모두 관여한 것으로 보이며, 외국어의 언어처리영역은 모국어의 언어처리 영역과 일치하는 부분이 많았으나, 모국어보다 활성화 영역의 강도와 범위가 넓고 우반구 등의 다른 활성화 영역도 존재하여 모국어 처리과정보다 많은 대뇌영역이 관여하는 것으로 보인다.

참 고 문 헌

1. Ojemann G, Whitaker HA. The bilingual brain. *Arch Neurol* 1978;35:409-412
2. Ojemann G. Brain organization for language from the perspective of electrical stimulation mapping. *Behav Brain Sci* 1983;6:189-206
3. Black PM, Ronner SF. Cortical mapping for defining the limits of tumor resection. *Neurosurgery* 1987;20:914-919
4. Klein D, Milner B, Zatorre RJ, Meyer E, Evans AC. The neural substrates underlying word generation: a bilingual functional-imaging study. *Proc Natl Acad Sci USA* 1995;92:2899-2903
5. Illes J, Francis WS, Desmond JE, Gabrieli JD, Glover GH, Poldrack R, et al. Convergent cortical representation of semantic processing in bilinguals. *Brain Lang* 1999;70:347-363
6. Chee MW, Tan EW, Thiel T. Mandarin and English single word processing studied with functional magnetic resonance imaging. *J Neurosci* 1999;19:3050-3056
7. Hasegawa M, Carpenter PA, Just MA. An fMRI study of bilingual sentence comprehension and workload. *Neuroimage* 2002;15:647-660
8. Pu Y, Liu HL, Spinks JA, Mahankali S, Xiong J, Feng CM, et al. Cerebral hemodynamic response in Chinese (first) and English (second) language processing revealed by event-related functional MRI. *Magn Reson Imaging* 2001;19:643-647
9. 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;8:3809-3815
10. Kim KH, Relkin NR, Lee KM, Hirsch J. Distinct cortical areas associated with native and second languages. *Nature* 1997;388:171-174
11. Pillai JJ, Araque JM, Allison JD, Sethuraman S, Loring DW, Thiruvaiyaru D, et al. Functional MRI study of semantic and phonological language processing in bilingual subjects: preliminary findings. *Neuroimage* 2003;19:565-576

12. Vingerhoets G, Van Borsel J, Tesink C, van den Noort M, Deblaere K, Seurinck R, et al. Multilingualism: an fMRI study. *Neuroimage* 2003;20:2181-2196
13. Klein D, Zatorre RJ, Milner B, Meyer E, Evans AC. Left putaminal activation when speaking a second language: evidence from PET. *Neuroreport* 1994;5:2295-2297
14. Klein D, Milner B, Zatorre RJ, Zhao V, Nikelski J. Cerebral organization in bilinguals: a PET study of Chinese-English verb generation. *Neuroreport* 1999;10:2841-2846
15. 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;121:1841-1852
16. Perani D, Abutalebi J, Paulesu E, Brambati S, Scifo P, Cappa SF, et al. The role of age of acquisition and language usage in early, high-proficient bilinguals: an fMRI study during verbal fluency. *Hum Brain Mapp* 2003;19:170-182
17. Yetkin O, Zerrin Yetkin F, Houghton VM, Cox RW. Use of functional MR to map language in multilingual volunteers. *AJNR Am J Neuroradiol* 1996;17:473-477
18. Briellmann RS, Saling MM, Connell AB, Waites AB, Abbott DF, Jackson GD. A high-field functional MRI study of quadri-lingual subjects. *Brain Lang* 2004;89:531-542
19. Ogawa S, Tank DW, Menon R, Ellermann JM, Kim SG, Merkle H, et al. Intrinsic signal changes accompanying sensory stimulation: functional brain mapping with magnetic resonance imaging. *Proc Natl Acad Sci USA* 1992;89:5951-5955
20. Albert ML, Obler LK. *The bilingual brain: neuropsychological and neurolinguistic aspects of bilingualism*. New York: Academic Press, 1978:262-275
21. Paradis M. *Aspects of bilingual aphasia*. Oxford: Pergamon, 1995
22. Paradis M. *Bilingualism and aphasia*. In Whitaker H, Whitaker HA. *Studies in neurolinguistics*. New York: Academic Press, 1977: 65-121
23. Gomez-Tortosa E, Martin EM, Gaviria M, Charbel F, Ausam J. Selective deficit of one language in a bilingual patient following surgery in the left perisylvian area. *Brain Lang* 1995;48:320-325
24. Moore CJ, Price CJ. Three distinct ventral occipitotemporal regions for reading and object naming. *Neuroimage* 1999;10:181-192
25. Poeppel D. A critical review of PET studies of phonological processing. *Brain Lang* 1996;55:317-351
26. Clark VP, Keil K, Maisog JM, Courtney S, Ungerleider LG, Haxby JV. Functional magnetic resonance imaging of human visual cortex during face matching: a comparison with positron emission tomography. *Neuroimage* 1996;4:1-15
27. Kanwisher N, McDermott J, Chun MM. The fusiform face area: a module in human extrastriate cortex specialized for face perception. *J Neurosci* 1997;17:4302-4311
28. Petersen SE, Fox PT, Snyder AZ, Raichle ME. Activation of extrastriate and frontal cortical areas by visual words and word-like stimuli. *Science* 1990;249:1041-1044
29. Uchida I, Kikyo H, Nakajima K, Konishi S, Sekihara K, Miyashita Y. Activation of lateral extrastriate areas during orthographic processing of Japanese characters studied with fMRI. *Neuroimage* 1999;9:208-215
30. Binder JR, Rao SM, Hammeke TA, Frost JA, Bandettini PA, Jesmanowicz A, et al. Lateralized human brain language systems demonstrated by task subtraction functional magnetic resonance imaging. *Arch Neurol* 1995;52:593-601
31. Binder JR, Frost JA, Hammeke TA, Cox RW, Rao SM, Prieto T. Human brain language areas identified by functional magnetic resonance imaging. *J Neurosci* 1997;17:353-362
32. Chee MW, Hon N, Lee HL, Soon CS. Relative language proficiency modulates BOLD signal change when bilinguals perform semantic judgments. *Neuroimage* 2001;13:1155-1163
33. Calabrese P, Neufeld H, Falk A, Markowitsch HJ, Muller C, Heuser L, et al. [Word generation in bilinguals-fMRI study with implications for language and memory processes.] *Fortschr Neurol Psychiatr* [German] 2001;69:42-49
34. Ullman M. The neural basis of lexicon and grammar in first and second language: the declarative/procedural model. *Bilingualism: Lang Cogn* 2001;4:105-122
35. Pillai JJ, Allison JD, Sethuraman S, Araque JM, Thiruvaiyaru D, Ison CB, et al. Functional MR imaging study of language-related differences in bilingual cerebellar activation. *AJNR Am J Neuroradiol* 2004;25:523-532
36. Marien P, Engelborghs S, DeDeyn PP. Cerebellar neurocognition: a new avenue. *Acta Neurol Belg* 2001;101:96-109
37. Engelborghs S, Marien P, Martin JJ, DeDeyn PP. Functional anatomy, vascularisation and pathology of the human thalamus. *Behav Neurosci* 1998;98:252-265
38. Broich K, Hartmann A, Biersack HJ, Horn R. Crossed cerebello-cerebral diaschisis in a patient with cerebellar infarction. *Neurosci Lett* 1987;83:7-12

Functional MRI of Multilingual Subjects¹

Jae Min Cho, M.D., Jae Wook Ryoo, M.D., Dae Seob Choi, M.D., Tae Beom Shin, M.D.,
Sung Hoon Chung, M.D., Ji Eun Kim, M.D., Heon Han, M.D.²,
Sam Soo Kim, M.D.², Yong Hwan Jeon, M.D.²

¹Department of Radiology, Gyeongsang National University School of Medicine

²Department of Radiology, Kangwon National University College of Medicine

Purpose: To evaluate brain activation areas during the processing of languages in multilingual volunteers by functional MRI and to examine the differences between the mother and foreign languages.

Materials and Methods: Nine multilingual (Korean, French, and English speaking) Korean individuals were enrolled in this study. Functional images were acquired during a lexical decision task (LDT) and picture naming task (PNT) in each of the Korean, French and English languages. The areas activated were analyzed topographically in each language and task, and compared between languages.

Results: Activation was noted in Broca's area, supramarginal gyrus, fusiform gyrus during the LDT. During the PNT, activation was noted in Broca's area, left prefrontal area, cerebellum, right extrastriated cortex. While Broca's area activation was observed for all languages during LDT, there was more activation in Broca's area and additional activation in the right prefrontal area with foreign languages. During the PNT, there was more activation in the left prefrontal area with foreign languages.

Conclusion: Broca's area, which is known as a major language region, was activated by all languages and tasks. The brain activation areas were largely overlapping with the mother and foreign languages. However, there were wider areas of activation and additional different activation areas with foreign languages. These results suggest more cerebral effort during foreign language processing.

Index words : Brain

Magnetic resonance (MR), Functional
Multilingualism

Address reprint requests to : Jae Wook Ryoo, M.D., Department of Radiology, Gyeongsang National University Hospital
90 Chilam-dong, Jinju 660-702, Korea.
Tel. 82-55-750-8818 Fax. 82-55-758-1568 E-mail: ryoojw@gnu.ac.kr