

기능적 자기공명영상에 나타난 한글 의미·통사 문장 처리의 해리

이홍재* 이동훈* 남기춘* 이은정** 문찬홍** 유재욱** 나동규**
*고려대학교 심리학과
**성균관대학교 의과대학 삼성병원 영상의학과
hjerp@korea.ac.kr

Dissociation of the semantic and syntactic processing reflected on fMRI in Korean sentences

Hongjae Lee*, Donghoon Lee*, Kichun Nam*, Eunjung Lee**, Chanhong Moon**,
Jaewook Ryoo**, Donggyu Na**
Department of Psychology, Korea University*
Department of Radiology, Samsung Medical Center, College of Medicine,
SungKyunKwan University**

요 약

본 연구에서는 기능적 자기공명영상을 이용하여 한글 문장의 의미와 통사 처리에 관한 뇌의 활성화 양상을 비교함으로써 한글문장 이해의 과정에 대한 신경해부학적 증거를 찾고자 하였다. 6명의 자원자를 대상으로 문장진위판단과제를 이용하여 활성화를 유도하였다. 1.5T 초전도 자기공명영상 장치에서 EPI로 BOLD 기법을 이용하여 기능적 영상을 얻었으며, 영상 후 처리는 SPM99 분석 프로그램을 이용하였다. 의미관련·통사관련 문장 모두에서 좌·우 전두회(frontal gyrus) 영역에서 활성화되었다. 의미와 통사처리 영역을 구분하기 위하여 감산법을 적용한 결과, 의미처리는 좌반구의 중측두회(middle temporal gyrus) 영역에서, 통사처리는 우반구의 하전두회(BA44) 부위에서 더 많이 활성화되었다. 의미처리에서 더 우세한 성향을 띠는 부위로 밝혀진 중측두회 영역은 의미처리시에 활성화되는 영역으로 보고하는 기존의 연구와 일치하는 결과이다. 의미와 통사 문장처리시의 뇌 활성화 양상은 뇌의 여러 영역에서 중첩되어 있기는 하지만, 특정영역에서의 차이를 보이고 있으므로, 의미와 통사처리는 다른 기전(mechanism)에 의해서 일어남을 시사해 준다.

1. 서론

언어는 근본적인 인간의 능력이지만, 언어를 사용하는데 관련된 정보처리는 매우 복잡하다. 언어기능의 주된 목적은 인간의 의사소통을 해주는 것이다. 이 목적을 이루기 위해서, 화자와 청자는 수많은 과제를 수행하게 된다. 단어를 조합하여 의미를 만들어내고, 문장내 단어간의 관계로부터 이치에 맞도록 연결하거나 추론하게 된다. 그동안 문장의 의미·통사의 언어심리학적 구분가능성에 대한 노력이 있어왔다. 이 의미/통사의 구분가능성에 대한 증거중의 하나는 환자가 보이는 해리현상(dissociation)을 들 수 있다. 치매 환자들은 통사적 능력은 보존되어 있는 반면, 의미처리 능력은 손상되어 있다; Broca 실어증 환자들은 단어를 이해하는 능력은 보존되어 있는 반면, 통사적 능력에 장애가 있어서 언어표현에 어려움이 있다. 이러한 현상은 상이한 유형의 언어정보를 처리하는데는 상이한 신경적

표상과 처리가 관여하고 있음을 보여주는 것이다. 이러한 기능적 구분가능성에 이어, 해부학적으로도 의미와 통사처리가 뇌의 다른 영역이 담당하고 있는지에 대한 물음이 제기되고 있다. 뇌손상 환자의 언어적 결함과 기저의 신경실체(손상부위)를 연결지음으로써, 언어기능을 수행하는데 필요한 뇌의 영역에 대한 정보를 찾으려는 시도가 있어왔다. 그러나, 손상 연구로부터 뇌기능의 특성성(functional specialization)에 대한 추론을 하는 것은 제한이 있다. 왜냐하면, 손상된 뇌 구조물이 특정기능에 필요하다는 사실외에 그 구조물의 역할을 결정할 수 없기 때문이다(1).

최근 PET, fMRI와 같은 뇌활동 영상화 기법이 발전함에 따라 인지적 처리과정과 해부학적 신경구조물을 연결짓는 것이 가능해 졌다(2,3,4,5,6) 이러한 영상기법을 이용하여 의미와 통사처리에 관여하는 뇌 영역이 다르다는 증거가 제시되고 있다(7). 이러한 연구는 언어수행의 이 두가지 측면을 구분해주는 신경해부학적

상관물이 있음을 암시한다. 의미정보와 통사정보를 처리하는 동안에 나타나는 뇌활성화 영역이 중첩되어 나타나지 않는다면, 이 두 언어처리는 상이한 신경 표상(neural implementation)을 가진다고 추론할 수 있다. 나아가, 의미과제와 통사과제의 수행에 특정적으로 나타나는 뇌활성화 분포를 통하여 의미와 통사가 어디에서 표상되고 처리되는지 추측할 수 있을 것이다. 뇌의 활성화 영역은 연구마다 차이가 있기는 하지만, 일반적으로 통사과제에는 좌측Brodmann 영역 44,45(Broca영역)가 관여하고, 의미과제에서는 브로카 영역 앞쪽의 좌하전두영역과, 측두두정피질(Brodmann영역 39, 20, 28)이 활성화된다고 하는 면에서는 연구들간에 일치를 보이고 있다(Price, 1998). 본 연구에서는 한글 문장의 이해과정에 있어 의미와 통사 처리에 관한 뇌의 활성화 양상을 비교함으로써 의미와 통사를 담당하는 뇌의 영역이 다른지 알아보려고 하였다.

2. 연구방법

피험자

신경학적 장애가 없고, 대학 재학 이상의 성인남녀가 실험에 참여하였다. 이들은 신경심리검사(8)를 통하여 오른손잡이로 판정된 19~27세(평균21.2세)의 남자 4명과 여자2명으로 구성되었다.

자극과 절차

피험자에게 제시하는 자극은 4어절로 이루어진 문장들이다. 의미관련 문장, 통사 관련문장 각각 10개를 한 묶음으로 하여 8묶음을 준비하였다. 의미 처리의 경우 "아버지가 거실에서 신문을 읽는다"와 같은 정상문장과 "어머니가 안방에서 짜장면을 읽는다"와 같은 오류문장들이고, 통사처리의 경우 "벤치에 앉아 담배를 피우다"와 같은 정상문장과 "우리집 마당에 꽃이 피우다" 같은 오류문장들로 구성하였다. 의미 정상 문장과 통사 정상문장의 난이도를 통제하기 위해 어절길이를 같게 하였고 문장의 마지막 동사부분에서 오류가 일어나는 것들로 만들었다. 실험은 각 피험자당 의미문장과제 통사문장과제를 수행하는 동안 기능적 자기공명영상을 얻는 방법으로 이루어졌다. 피험자들은 head coil에 부착된 거울을 통하여 반투명 스크린에 투영되는 시각적인 자극을 보면서 과제를 수행하도록 하였다. 과제는 휴식기 9 번, 활성화기 8번을 번갈아 가며 제시하였다. 각각의 활성화기에는 의미

관련문장 4개, 통사관련문장 4개가 무선적으로 제시된다. 각 활성화기과 휴식기 시간은 30초 였다. 휴식기에는 +, ++와 같은 중립자극을 무선적으로 제시하여, +가 제시될때는 왼쪽버튼(피험자의 오른손에 버튼이 있음)을, ++에는 오른쪽 버튼을 누르도록 하였다. 활성화기에는 맞는 문장은 왼쪽버튼, 틀리는 문장은 오른쪽 버튼을 누르도록 하였다. 그러므로 휴식기와 활성화기의 차이는 옳고 그름을 판단하는 결정과정은 동일하게 하였다.

자기공명영상 획득과 데이터 분석

자기공명영상 장치는 1.5T 초전도 자기공명영상 장치(GE medical system, Milwaukee, USA)를 사용하였다. fMRI 영상을 얻기전, 피험자의 뇌 전체를 포함하도록 40 절편의 해부학적 영상을 EPI-BOLD(Echo Planar Imaging-Blood Oxygenation Level Dependent) 기법을 사용하여 얻었다(TR/TE 3000/64msec, matrix 256× 256, 절편두께5mm, no slice gap, FOV 24× 24cm). 기능적 자기공명영상은 EPI-BOLD 기법을 사용하였으며 AC-PC(Anterior commissure -Posterior commissure) line 을 기준으로 20 절편(axial slices)을 얻었다. 또한 영상이 평형기(equilibrium state)를 이루기 전의 높은 신호를 보정하기 위해 활성화 영상을 얻기 전의 12초(4phase)의 모조영상(dummy scan)을 추가로 얻었다. 영상에 사용된 매개변수 값들은 다음과 같다:TR은 3000msec, TE는 64msec, flip angle은 90°, matrix size는 64× 64, slices 5mm thick without separation, Resolution : 3.75 × 3.75 × 5 mm, 이렇게 얻어진 EPI image 데이터를 가지고 fMRI 분석 software인 SPM99(Statistical Parametric Mapping, version 99, MRC cyclotron Unit, London, UK) 프로그램을 이용하여 off-line으로 분석하였다. 먼저 각각 개별 피험자 데이터 images를 실험전 얻은 Whole Brain images 중 첫 이미지를 참조로 Realigning 하였으며, Smoothing (FWHM=10mm)과정을 거친후 SPM에서 제공하는 표준 좌표에 따라 정규화(normalize)되었다. 이렇게 정규화된 자료를 SPM99를 이용하여 통계분석을 수행하였다. 6명의 data를 합산(conjunction)하였고, 유의수준 $p < .0001$ 또는 $p < .00001$ 을 기준으로 얻어진 영상화 지도는 표준화된 T1 영상에 중첩하여 최종의 기능적 영상을 얻었다.

3. 결과

각 과제별로 활성화된 영역을 표1에 정리하였다.

표 1. 한글 문장 읽기에 관여하는 대뇌활성화 영역들

뇌 활성화 영역	Talairach 좌표					cluster size
	BA	x mm	y mm	z mm	t-score	
의미(semantics)						
좌 cu	17	-16	-102	-2	25.36	21961
GF _i	44	-44	14	30	25.27	5645
GF _s	6	-4	16	58	14.26	2539
GF _m	11	-40	40	-12	5.02	2
Ci	35	-18	-18	-12	4.81	30
우 GF _m	9	52	26	30	16.83	3624
Fo	27	26	-28	-4	6.03	89
GT _s	21	52	-26	-2	4.96	29
통사(syntax)						
좌 GF	18	-28	-80	-16	26.34	21109
GF _i	44	-42	12	32	25.25	5599
GF _s	6	-4	16	58	17.81	2552
cc		-26	-32	4	5.57	89
우 GF _m	9	54	20	36	20.90	5196
NC		14	10	4	6.35	122
GT _s	21	52	-26	-2	6.03	42
Fo	27	26	-28	-4	5.97	78
의미+통사						
좌 GF	18	-28	-80	-16	35.65	18729
GF _i	44	-42	12	30	35.18	5026
GF _s	6	-4	16	58	22.39	2130
Fo		-26	-32	2	7.75	73
GF _m	11	-40	40	-12	5.91	2
우 GF _m	9	52	26	30	26.23	3868
NC		26	-28	-4	8.34	38
GT _m	21	52	-26	-2	7.67	13
GF _m	6	40	-2	50	5.95	1
의미>통사						
좌 GT _m	39	-36	-68	16	6.14	58
통사<의미						
우 GF _i	44	56	14	18	6.16	46

Cluster size의 크기는 voxel($2 \times 2 \times 2 \text{mm}^3$)의 숫자를 의미한다. t점수는 활성기와 통제기의 신호의 차이를 통계분석한 값이다. Talairah좌표를 보고 뇌의 3차원 위치를 알아볼 수 있다. Talairah 좌표의 z는 Co-Planar Stereotaxic Atlas of the Human Brain의 horizontal section slice의 수치이고, 이 slice의 수평좌표는 x, 수직좌표는 y이다. Cluster는 활성화된 덩이들을 말한다. BA: Brodman area, CC: Corpus callosum(腦梁), Ci: Cingulum(帶狀束), Cu: Commissura epithalami(後交連), Fo: Fornix(腦弓), GF: fusiform Gyrus fusiformis(紡錘回), GF_i: Gyrus frontalis inferior(下前頭回), GF_m: Gyrus frontalis medius(中前頭回), GF_s: Gyrus frontalis superior(上前頭回), GT_m: Gyrus temporalis medius(中側頭回), GT_s: Gyrus temporalis superior(上側頭回), NC: Nucleus caudatus(尾狀核)

의미처리과제와 통사처리과제에서 양측 전두엽, 두정엽, 후두엽의 여러 부위에서 비슷한 활성화 신호가 나타났다(그림1,2) 전두엽의 경우 하전두회(inferior frontal gyrus) 및 전전두피질(prefrontal cortex)에서 활성화 신호가 있었고, 좌반구의 활성화가 우반구에 비해 더 많았다. 활성화된 피질의 영역으로는 뇌량, 대상속, 후교련과 같은 좌우피질 연결부 등과 뇌궁, 미상핵부 등이다. 의미와 통사처리 각각에 대해 더 많이 활성화되는 부위를 찾아내기 위해서는 일반적으로 알려진 감산법(substraction)을 사용하였다. 통사처리과제에 비해 의미처리과제에서 더 많이 활성화되는 영역은 좌측 중측두회(middle temporal gyrus)였고(그림3), 통사처리에 더 많은 활성화를 보인 영역은 우측 하전두회(BA44)였다(그림4). 비활성화영상(그림5,6)에서 대뇌의 여러 부위에서 활성기에 비활성화된 영역이 나타났다. 비활성화 영상과의 비교에서 의미처리과제에서 더 많은 활성화를 보인 좌측 중측두회의 경우는 활성화 영상에서 활성화를 보이지 않았던 부분이며, deactivation 영상에서 의미처리과제에서보다 통사처리과제 비해 많은 비활성화를 보인 영역이었다. 그러므로, 이 중측두회 영역은 본실험에서 제

시한 문장을 처리할 때, 통사처리에 비해서 의미처리에 우세한 영역이라고 할 수 있을 것이다. 혹은 통사처리에 이 영역의 혈류가 좌우반구 연결로를 통해서 우반구로 이동할 가능성도 있다.



그림 3. 의미에서 통사를 감산한 좌반구 영상그림. 차이를 보이는 중측두회 영역이 희게 보인다.



그림 4. 통사에서 의미를 감산한 우반구 영상그림. 활성화된 하전두회 영역(BA44)이 희게 보인다.

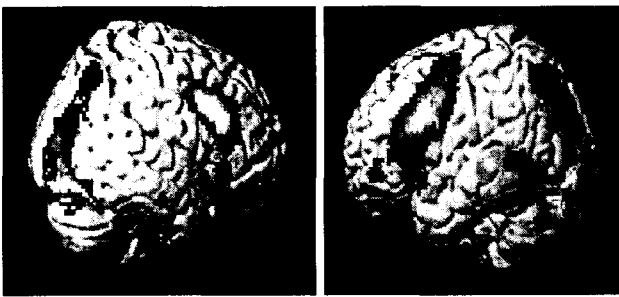


그림1. 의미처리시 활성화된 뇌 영상그림. 왼쪽은 우반구, 오른쪽은 좌반구의 측면그림이다.

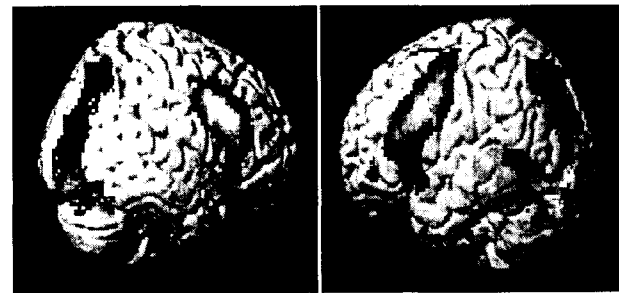


그림2. 통사처리시 활성화된 뇌 영상그림. 왼쪽은 우반구, 오른쪽은 좌반구의 측면그림이다.

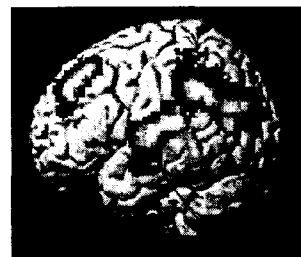


그림6. 통사처리시의 비활성화 뇌 영상그림

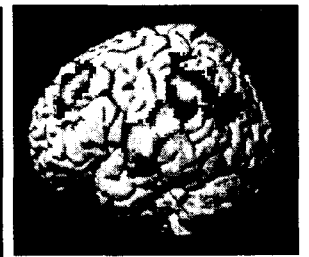


그림5. 의미처리시의 비활성화 뇌 영상그림

4. 논의

본 연구에서는 한글 문장의 의미와 통사 처리에 관한 뇌의 활성화 양상을 비교함으로써 한글문장 이해의 과정에 대한 신경해부학적 증거를 찾고 그동안 언어심리학적 견해에 대한 함의점을 찾고자 하였다. 전반적으로 문장을 읽을 때에는 의미관련·통사관련 문장 모두에서 전두회(frontal gyrus)의 상·중·하 부분에 걸쳐서 활성화되는 양상을 보이고 있다. 이러한 양상은 특히 좌반구에서 두드러지게 나타나며, 우반구에서는 측두회(temporal gyrus) 부분이 활성화되었다. 의미와 통사처리에 뇌의 많은 영역이 중첩되어 활성화되었다. 그러나, 의미와 통사를 감산하여 영상을 얻었을 때, 의미처리는 좌반구의 중측두회(middle temporal gyrus) 영역에서, 통사처리는 우반구의 Brodmann영역 44인 하전두회(inferior frontal gyrus) 부위에서 더 많이 활성화되었다. 이러한 결과는 의미와 통사 문장이해는 뇌의 여러 영역에서 중첩되어 활성화되지만, 서로 다른 차이를 보이고 있으므로, 의미와 통사처리는 다른 기전(mechanism)에 의해서 일어난다고 할 수 있을 것이다.

통사처리에 비해서 의미처리에서 더 우세한 성향을 띠는 부위로 본 연구에서 밝혀진 중측두회 영역이 의미처리에 활성화되는 영역 중의 하나임을 보고하는 연구(1)와 일치하는 결과이다. 본 연구에서 Brodmann 영역 44가 우반구에서 통사처리에 더 많이 활성화된 것에 대하여는 논쟁의 여지가 많이 있을 수 있다. Dapretto등(1999)은 fMRI를 이용하여 피험자들로 하여금 의미정보와 통사정보를 조작하여 제시되는 두문장이 같은지 여부를 판단하도록 하였는데, 의미에 선택적으로 관련된 영역은 좌하전두회(Brodman영역 47, pars orbitalis)이고, 통사에는 Brodmann 영역 44, pars opercularis가 관련된다고 하는 결과를 얻었다(7). 이것은 본 연구의 결과와는 일치하지 않는 것이다. Hagoort(1999)와 Vigliocco(2000)는 좌반구에 비해서 활성화 정도에서 미약하기는 하지만 언어처리시 활성화되는 우반구의 양상으로는 Brodmann 영역 44에는 통사처리가, 47은 의미처리 영역이라고 보고하고 있다(9,10). 또한, 좌반구가 언어처리를 주로 담당한다고 하는 기존의 견해에 대하여, 우반구도 언어기능에 있어서 중요하다고 하는 입장도 대두되고 있다(11). 그러므로, 우반구 영역이 더 활성화된 것으로 나타난 본 연구의 결과가 오히려 흥미로울 수 있다. 연구마다 활성화된 뇌의 영역이 다른데, 이것은 무

엇보다도 사용된 과제가 연구마다 차이가 있음을 반영한다. 그러나, 본 연구는 여러종류의 의미문장과 통사문장을 이용한 사전 연구를 거쳐서 가능한 의미와 통사요소의 다른 요소는 통제하였다. 물론 연구자들이 의도한 언어처리외의 다른 처리가 개재될 수도 있을 가능성도 여전히 남아있다.

언어이해의 신경적 기초에 대한 연구는 아직 유아적 상태에 있고, 많은 근본적인 의문들이 해결되어야 한다. 문장이해에 대한 연구가 자기공명영상의 기법으로 시도한 것은 해외에서도 최근에 유행하기 시작하였고, 국내에서는 본 연구가 시작점이라고 해도 과언이 아니기 때문에 좀더 많은 여러 연구를 통해서 문장처리의 신경실체를 규명해야 할 것이다. 아울러, PET나 fMRI와 같은 공간적 해상도(spatial resolution), 문장처리의 실시간(on-line) 정보를 제공해 주는 ERP와 같은 시간적 해상도(temporal resolution)의 기법들을 통하여 수렴적인 정보를 얻는다면 이러한 의문에 대한 강력한 방법으로 제시될 것이다(12).

5. 참고문헌

- [1]Price, C.J. 1998. The functional anatomy of word comprehension and production. *Trends in cognitive sciences*. 2. 8. 281-288
- [2]Belliveau JW, Kennedy DN, McKinstry RC, et al.1991. Functional mapping of the human visual cortex by magnetic resonance imaging. *Science*. 254:716-719
- [3]Binder JR, Rao SM, Hammeke TA, et al. 1994. Functional magnetic resonance imaging of human auditory cortex. *Annual Neurology*, 35:662-672.
- [4]Connelly A, Jackson GD, Frackowiak FSJ, Belliveau JW, Bargha-Khadem F, Gadian DG.1993. Functional mapping of activated human primary cortex with a clinical MR imaging system. *Radiology* 188: 125-130.
- [5]Rao SM, binder JR, Hammeke TA, et al. 1995. Somatotopic mapping of the human primary motor cortex with functional magnetic resonance imaging. *Neurology* 45:919-924.
- [6]Yekim FZ, Mueller WM, Hammeke TA, et al.1995. functional magnetic resonance imaging mapping of

- the sensorimotor cortex with tactile stimulation. *Neurosurgery*. 36:921-925.
- [7]Dapretto, M. & Bookheimer, S.Y. 1999. Form and content: syntax and semantics in sentence comprehension. *Neuron* 24 427-432.
- [8]. Oldfield RC. 1971.The assessment and analysis of handedness: the Edinburgh Inventory. *Neuropsychologia* 9:97-113.
- [9]Hagoort, P. Brown, C.M. & Osterhout, L. 1999. The neurocognition of syntactic processing. In Brown, C.M. & Hagoort, P. (Ed), *The Neurocognition of Language* Oxford University Press, 273-316.
- [10]Vigliocco, G. 2000. Language processing: The anatomy of meaning and syntax *Current Biology*. 10, 2 78-80.
- [11]Faust, M. 1998. Obtaining evidence of language comprehension from sentence priming. In Beeman, M & Chiarello (Ed), *Right hemisphere language comprehension*, 141-160. Lawrence Erlbaum Associates.
- [12]Posner, M.I. & Abdullaev, Y.G. 1999. Neuroanatomy, circuitry and plasticity of word reading. *Neuroreport* 10. 12-23