

단어 유창성 과제 수행에 동반된 뇌활성화 양상

이수화*

이경민*†

서울대학교 인지과학협동과정*
서울시 관악구 신림동 산56-1, 우: 151-742
westwins@hitel.net

서울대학교 의과대학 신경과†
서울시 종로구 연건동 28, 우: 110-744
kminlee@plaza.snu.ac.kr

Brain Activation Associated With Verbal Fluency Tasks : A fMRI study

Soohwa Lee*

Kyoungmin Lee*†

Interdisciplinary Program in Cognitive Science* and Department of Neurology†,
Seoul National University

요약

정상 피험자에 있어서 수행 성적의 차이를 보이는 음소적 단어 생성과 의미적 단어생성에 관련한 대뇌 피질의 활동양상의 차이를 밝히기 위해 피험자에게 단어 생성의 과제를 주면서 기능적 자기공명 영상술(functional magnetic resonance imaging, fMRI)을 시행하였다. 모두 7명의 정상인에서 음소 단서에 의한 단어생성은 의미 범주 단어에 의한 단어생성보다 광범위한 피질 영역의 활성화를 보였는데, 특히 bilateral posteroinferior temporal cortices, left premotor cortex, right cerebellum, bilateral superior parietal lobules에서 더 높은 활성화를 보였다. 이에 반하여 의미적 단어생성은 주로 bilateral posterior cingulate gyri에서 더 높은 활성화를 보였다. 이런 결과는 음소적 생성은 가능한 자모를 조합하여 어휘를 생성한 후 작업기억에 일시 저장시켜 놓고 verbal rehearsal 과정을 사용하여 단어 여부를 판별하는 것을 시사하며, 의미적 생성은 mental imagery를 통하여 시각적 인출 단서를 찾은 후, 의미 기억으로부터 단어를 직접 인출하는 것으로 보인다.

1 서론

언어 유창성 과제는 한정된 시간 내에 가능한 많은 수의 단어를 만들어 내도록 하는 과제이다. 음소적 단어 유창성(phonological verbal fluency)은 단어 생성의 단서로 음소를 제시하는 과제이며, 의미적 단어 유창성(semantic verbal fluency)은 의미적 범주를 단서로 제시하는 과제이다. 이 두 과제는 통상 뇌의 손상부위나 손상 정도를 검사하기 위하여 신경심리검사의 일환으로 사용된다 [1-2]. 정상인의 경우에 이 두 가지 과제는 수행 성적의 차이를 보여서 의미적 단어생성의 개

수가 일반적으로 음소적 단어 생성보다 많은데, 이런 차이의 원인은 명확히 밝혀져 있지 않다.

최근 단어 생성 과정에 관한 뇌활성화 연구의 예를 들면 단어 생성과 단어 재인의 차이에 관한 연구 [3], 명사와 관련된 동사 생성에 관한 연구 [4-6], 음소적 단어생성의 국재화(localization)에 관한 연구 [7]등이 있다. 단어생성과제에 있어서 어떻게 단어들이 정신 어휘집으로부터 인출되는가는 매우 흥미로운 주제이다. 본 연구에서는 두 가지 과제에서 각각 주어지는 음소적 단서와 의미적 단서가 서로 다른 인출 방식을 사용할 것인가를 알아보고 또한 각기 다른 인출 방식이 다른 피질 영역에 의해 관장되는 것인가를 알아보고자 fMRI를 시행하였다.

fMRI의 기본원리를 알아보면 다음과 같다. 신경세포가 활성화되면 그 주위로의 국소혈류량이 증가하는데 신경세포의 산소 소모 증가량보다도 혈류가 더 많이 증가한다. 따라서 활성화된 신경세포 주위의 모세혈관에서 환원헤모글로빈(deoxyhemoglobin)의 농도는 오히려 감소한다. 이때 환원헤모글로빈은 부자성 물질(paramagnetic material)로서 주위에 있는 수소원자핵의 자기장 내 반응에 영향을 끼쳐 자기공명 시 T2* 신호를 감소시키는데, 앞서 설명한 바와 같이 신경활성이 일어나는 부위에서 그 농도가 감소하므로 T2* MR 신호는 반대로 증가된다. 그러므로 MR 신호의 변화를 연속적으로 측정하면서 일정한 외부 자극에 맞추어 MR 신호 증가가 일어나는 부위를 찾아내면 곧 활성화된 뇌부위로 추정할 수 있다 [8].

2 실험방법

2.1 피험자와 수행과제

실험에는 피험자로서 건강한 정상 남녀 7명이 참여하였다. 자극은 반투명 스크린에 투영되는 글자를 사용하였다. MRI 촬영 시간은 6분 12초로 구성되

어 있으며 최초 39초와 마지막 33초 동안에는 스크린에 고정십자가 제시되었다. 십자가 제시되는 이 두 시점을 아무런 인지과제도 수행하지 않는 기저상태로 가정하였다. 피험자는 화면에 제시되는 단서에 따라 총 300초 동안 30초씩 10번 단어생성 과제를 수행하였으며 음소적 단어생성과 의미적 단어생성을 번갈아 가며 시행했다. 음소적 단어생성의 경우에 사용된 단서는 'ㄷ'·'아'·'ㄱ'·'오'·'ㅅ'이며 의미적 단어생성의 경우는 동물·과일·음식·올림픽 경기종목·직업이었다. 과제의 처음 시작은 피험자마다 무선적으로 두 과제 중 하나를 시작하는 것으로 하였다. 피험자에게는 촬영시 머리를 고정시키라는 사항과 될 수 있는 대로 많은 단어를 속으로 말하라는 지시사항이 주어졌다.

2.2 데이터 획득

MRI촬영은 1.5T GE scanner로 이뤄졌으며, echo planar imaging(EPI)을 구현한 gradient echo sequence를 이용하였다. 기타 조건은 다음과 같다. TR 3,000ms, TE 60ms, flip angle 90도, slice thickness 5.0mm, number of slices 20 without separation, matrix 64 x 64, FOV 24 x 24cm, inplane resolution 3.75 x 3.75 mm. 촬영평면은 AC-PC (anterior commissure - posterior

commissure)선과 평행하게 위치하였다.

2.3 이미지 분석

MRI영상을 표준화된 공간으로 정규화시킨 후 [9], matlab으로 구현된 SPM(Statistical Parametric Mapping) 소프트웨어 패키지 [10-11]를 이용하였다. 통계처리 한 결과는 다음과 같은 대조 조건에 맞춰 활성화 상태끼리, 그리고 활성화 상태와 기저상태가 상호 비교되었다.

- (1) 음소적 단어생성 - 기저상태
- (2) 의미적 단어생성 - 기저상태
- (3) 음소적 단어생성 - 의미적 단어생성
- (4) 의미적 단어생성 - 음소적 단어생성

3 실험 결과

표1에 각각의 활성화 영역 내의 가장 큰 Z값을 가지는 voxel(pixel of volume)의 좌표와 그 영역의 Brodmann 영역 번호, 그리고 각 영역의 voxel 개수(k)와 Z값을 정리하였다.

3.1 음소적 단어생성 - 기저상태

이 대비조건에서 활성화되는 영역은 모두 9개로서 bilateral frontal(표1의 4번, 7번), supplementary

	피질영역	BA	Talairach coordinates			z-score	cluster size
			x mm	y mm	z mm		
음소적 단어생성 - 기저상태							
1	Left-Right middle frontal gyri / SMA	6 & 8	-8	4	64	9.03	180
2	Left fusiform gyrus	37	-56	-52	-16	8.34	138
3	posterior cingulate gyrus	23	-16	-44	16	7.5	15
4	frontal pole	10	-24	52	8	7.22	25
5	Right middle temporal gyrus	39	36	-36	8	8.18	64
6	cerebellum	NA	24	-64	-28	8.02	29
7	middle frontal gyrus	9	44	36	32	7.92	32
8	posterior cingulate gyrus	23	12	-36	20	7.25	18
9	lingual gyrus	18	28	-60	0	5.86	18
의미적 단어생성 - 기저상태							
10	Left-Right middle frontal gyri / SMA	6	-4	20	52	8.98	154
11	Left middle temporal gyrus	21	-56	-40	-8	8.23	77
12	postcentral gyrus	3	36	-36	8	7.99	34
13	fusiform gyrus	37	-24	-84	32	7.92	78
14	cuneus	19	-32	52	12	7.58	25
15	frontal pole	10	32	52	12	7.34	37
16	Right parieto-occipital sulcus	19	24	-68	32	8.17	52
17	calcarine sulcus	17	-32	-32	64	8.04	111
18	transverse temporal gyrus	41	-20	-64	-16	7.99	57
음소적 단어생성 - 의미적 단어생성							
19	Left superior parietal lobule / supramarginal gyrus	7 & 40	-24	-68	56	8.32	257
20	corpus callosum	17	-8	-92	4	7.66	22
21	posterior/inferior temporal gyrus	37	-52	-52	-16	7.57	72
22	superior frontal gyrus	6	-24	-4	60	7.12	24
23	inferior frontal gyrus	44	-52	8	36	7.12	55
24	Right superior parietal lobule	7	24	-60	56	8.11	152
25	calcarine sulcus	17	16	-88	0	6.09	19
26	posterior/inferior temporal gyrus	37	52	-48	-20	6.07	31
의미적 단어생성 - 음소적 단어생성							
27	Left inferior parietal lobule	40	-40	-68	44	6.65	21
28	cingulate gyrus	31	-12	-52	8	5.68	58
29	superior frontal gyrus	6	-20	20	56	5.63	17
30	Right cingulate gyrus	31	4	-56	24	6.29	18

표 1. 음소적 단어생성과 의미적 단어생성시 활성화 영역, 좌표, voxel갯수 및 활성화 강도

motor area(SMA, 표1의 1번), left fusiform gyrus(표1의 2번), bilateral posterior cingulate gyrus(표1의 3번, 8번), right cerebellum(표1의 6번), right lingual gyrus(표1의 9번), right middle temporal gyrus(표1의 3번)이다.

3.2 의미적 단어생성 - 기저상태

9개의 활성화 영역으로서 left frontal(표1의 15번), supplementary motor area(SMA, 표1의 10번), left middle temporal gyrus(표1의 11번), left postcentral gyrus(표1의 12번), left fusiform gyrus(표1의 12번), left cuneus(표1의 14번), left parieto-occipital sulcus(표1의 16번), right calcarine sulcus(표1의 17번), right transverse temporal gyrus(표1의 18번)이다.

3.3 음소적 단어생성 - 의미적 단어생성

8개의 활성화 영역으로서 left superior parietal lobule/supramarginal gyrus(표1의 19번), left corpus callosum(표1의 20번), left posteroinferior temporal cortex(표1의 21번), left superior frontal gyrus(표1의 22번), left inferior frontal gyrus(표1의 23번), right superior parietal lobule(표1의 24번), right calcarine sulcus(표1의 25번), right posteroinferior temporal cortex(표1의 26번)이다.

3.4 의미적 단어생성 - 음소적 단어생성

4개의 영역으로서 left inferior parietal lobule(표1의 27번), bilateral cingulate gyri(표1의 28번, 30번), left superior frontal gyrus(표1의 29번)이다.

4 토의

우선 좌측 전두엽 영역과 SMA가 두 과제 모두에서 활성화되었다. 이는 선행연구들과 같은 결과로서 두 영역이 단어생성에 필수적인 피질 영역임을

알 수 있다 [3-4,12].

음소적 단어생성에서 의미적 단어생성에 비해 현저하게 활성화된 영역에는 bilateral postero-inferior temporal cortices가 포함된다. 이 영역은 단어, 사물, 색, 글자의 명명에 공통적으로 관련되어 있는 영역이다 [12]. 그리고 음소적 정보처리의 임시 저장소 역할을 한다고 보고된 left supramarginal gyrus가 광범위한 voxel에 걸쳐서 활성화되었다 [13]. 또한 left precentral sulcus가 활성화되었다. 이 영역은 운동 준비를 담당하며 right cerebellum 활성화와 더불어 이 과제수행과 구음 운동간의 관련성을 나타낸다. 음운·본질적 원소들로부터 단어를 찾아내는 과정에서 verbal rehearsal을 위해 운동 준비영역을 사용한다고 보는 견해는 이러한 관련성을 뒷받침한다 [7].

반대로 의미적 단어생성(그림 2)에서 더 활성화된 영역으로서 bilateral posterior cingulate gyri가 있다. 이 영역은 일화적 기억(episodic memory)에 관련이 있다고 임상적으로 보고된 곳이다 [14-16]. 이 medial parietal 영역이 기억술의 한 방법인 mental imagery 수행시 활성화된다는 점[17-18]도 보고되었다. 두 가지를 종합해볼 때, 의미적 단어생성과제에서 주어진 단서는 해당하는 항목의 semantic network에서 하나의 feature node인 외형 혹은 시각적 특성 node를 활성화시키고 이를 통해 단어 생성을 유도하는 것이라고 추측할 수 있다 [19-20].

과제의 수행시 특징적으로 음소적 단어생성은 의미적 단어생성에 비해서 더 많은 수의 인지적 요소를 필요로 하는 것으로 보인다. 적용시켜야 하는 철자 규칙, 규칙을 철자 순서에 맞추어 적용시킬 때 어디까지 적용시켰는지 기억하기 위한 self-monitoring, 규칙에 의해 만들어진 단어 후보가 mental lexicon에 존재하는지 검사하는 기능 등이 필요할 것으로 추측된다. 이러한 여러 가지의 인지 기능을 수행하고, 기능간의 협응을 통제하기 위해서는 작업기억이 필요하다 [21]. 작업기억의 피질적 영역

SPMZ

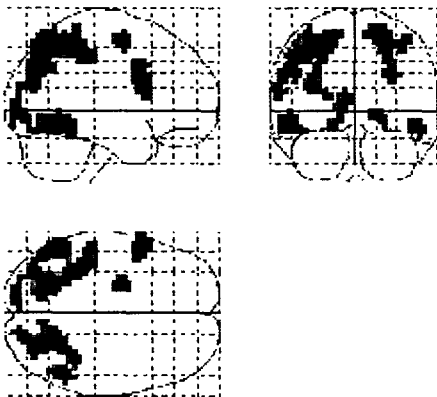


그림 1. 음소적 단어생성이 의미적 단어생성보다 더 활성화된 영역 ($p < 0.001$, corrected)

SPMZ

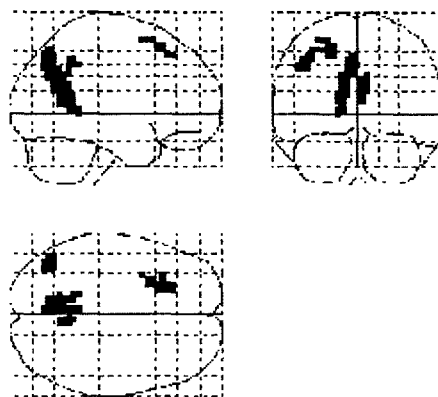


그림 2. 의미적 단어생성이 음소적 단어생성보다 더 활성화된 영역 ($p < 0.001$, corrected)

으로 거론되는 bilateral superior parietal lobules(SPL)영역의 활성화는 음소적 단어생성 과제 수행에 작업기억이 활발히 사용되고 있음을 확인시켜준다. 그렇다면 어떻게 단어 후보를 단어-비단어로 판별할 것인가? 앞서 살펴보았듯이 음소적 과제에 있어서 left precentral sulcus와 right cerebellum의 활성화는 posterior parietal 영역의 활성화와 더불어 verbal rehearsal의 증거로 볼 수 있다 [22-23]. 또한 left precentral sulcus의 손상환자는 음성 발화의 착수와 순서 매김이 힘들다는 보고도 있다 [7]. 그러므로 이 영역들의 사용을 통해 판별이 가능해진다고 볼 수 있다. 기본적으로 비단어인 경우 단 한번도 발음해본 적이 없을 가능성이 높으므로 motor rehearsal에서 그 분별력을 지닐 수 있을 것으로 보인다.

반면에 의미적 단어생성은 의미 범주에 드는 개개의 아이템을 찾기 위해서 mental imagery를 이용하는 듯하다. 제시된 범주는 모두 보통명사를 포괄하도록 되어 있으므로(동물 이름, 음식 이름 등) 사물의 공통적인 외관적 feature를 상상함으로써(하늘을 나는 동물, 호수에 사는 동물, 기어다니는 동물 등) 같은 feature를 공유하는 여러 항목을 찾을 수 있다. 항목을 찾기 위해 기억해 두어야 할 내용은 주어진 범주를 더 잘게 쪼갤 수 있는 시각적 특징이다.

EEG 신호 강도와 작업기억의 부하간의 양(+)의 상관관계를 보고한 연구[24]를 고려하면, 활성화 영역의 활성 강도와 작업기억 부하간의 관련성이 있다고 할 수 있다. SPL의 활성화뿐만 아니라, 음소적 정보처리의 임시저장소인 left supramarginal gyrus의 광범위한 활성화 양상은 수행해야 하는 인지적 기능이 많은 음소적 단어생성 과제가 작업기억의 부하가 크다는 점으로 설명할 수 있으며, 반면 의미적 생성이 상대적으로 작은 활성화 양상을 보이는 것은 작업기억의 부하가 적기 때문으로 볼 수 있다.

수행 성적의 차이를 또 다른 측면에서 살펴본다면, 기억에 존재하는 단어는 사전적인 순서로 배열되어 있는 것이 아니라, 의미적, 기능적으로 배열되어 있다는 견해 [27]를 간접적으로 지지한다. Mental lexicon에서의 어휘 배열이 사전적으로 이루어져 있다면 두 과제간의 수행차이가 정반대로 나타났을 것이라 추측할 수 있기 때문이다.

요약하자면 본 연구에서는 두 가지 과제에서 각각 주어지는 음소적 단서와 의미적 단서가 서로 다른 인출 방식을 사용할 것인가, 또한 다른 피질 영역에 의해 관장되는 것인가를 알아보고자 fMRI를 사용하였다. 이 두가지 과제는 여러 가지 영역에서 뇌활성화의 차이를 보이는데, 이는 기억부하의 차이, verbal rehearsal시의 무의식적 입 움직임 여부의 차이, 의미적, 기능적 인 lexicon 구성 방식 등에 연관성이 있다고 볼 수 있다. 추후적 과제로는 시간적 해상도를 보완하는 다른 실험 방법을 통하여 두 가지 과제를 수행하는데 사용되는 활성화된 피질 영역간의 시간적 선후관계를 밝히는 실험이 필요할 것이다.

참고문헌

[1] Lezak MD : *Neuropsychological assessment*, 3rd ed, pp. 544-548, Oxford university Press. New york. 1995.

[2] Miller E : Verbal fluency as a function of a measure of verbal intelligence and in relation to different types of cerebral pathology, *British Journal of Clinical Psychology*. Vol 23, pp. 53-57, 1984.

[3] Frith CD, Friston KJ, Liddle PF and Frackowiak RSJ : A PET study of word finding, *Neuropsychologia*, Vol. 29 No. 12, pp. 1137-1148, 1991

[4] Demonet JF, Chollet F, Ramsay S, Cardebat D, Nespoulous JL, Wise R, Rascol A and Frackowiak R: The anatomy of phonological and semantic processing in normal subjects, *Brain*, Vol. 115, pp. 1753-1758, 1992

[5] Peterson SE, Fox PT, Posner MI, Mintun M and Raichle ME : Positron emission tomographic studies of the cortical anatomy of single word processing, *Nature*, Vol. 331, pp. 585-589, 1988

[6] Peterson SE, Fox PT, Snyder AZ and Raichle ME : Activation of extrastriate and frontal cortical areas by words and word-like stimuli, *Science*, Vol. 249, pp. 1041-1044, 1990

[7] Pujol J, Vendrell P, Deus J, Kulisevsky J, Marti-Vilalta JL, Garcia G, Junque C, Capdevila A : Frontal lobe activation during word generation studied by functional MRI, *Acta Neurologica Scandinavica*, Vol. 93, pp. 403-410, 1996.

[8] Cohen MS and Bookheimer SY : Localization of brain function using magnetic resonance imaging, *Trends in Neuroscience*, Vol. 17, No. 7, pp. 268-277, 1994

[9] Talairach J and Tournoux P : A Co-planar stereotaxic atlas of a human brain, Theime, Stuttgart. 1988

[10] Friston KJ, Jezzard P and Turner R : The analysis of functional MRI time-series, *Human Brain Mapping*, Vol 2, pp. 69-78, 1994.

[11] Frackowiak RSJ, Friston KJ, Frith CD, Dolan RJ and Mazziotta JC : *Human Brain Function*, pp. 34-39, Academic Press, San Diego. 1997.

[12] Damasio AR, Damasio H : The anatomic basis of pure alexia, *Neurology*, Vol. 33, pp. 1573-1583, 1983.

[13] Paulesu E, Frith CD and Frackowiak RSJ : The neural correlates of the verbal component of working memory, *Nature*, Vol. 362, pp. 342-344, 1993

[14] Moscovitch M : *Models of consciousness and memory*. In *Cognitive Neuroscience*, pp. 1341-1355, MIT Press. Boston. 1995

[15] Valenstein E, Bowers D, Varfaellie M, Day A and Watson RT : Retrosplenial amnesia, *Brain*, Vol. 110, pp. 1631-1646, 1987.

[16] Rudge P and Warrington E : Selective impairment of memory and visual perception in

- splenial tumours, *Brain*, Vol. 114, pp. 349-360, 1993.
- [17] Fletcher P, Frith CD, Baker S, Shallice T, Frackowiak RSJ and Dolan RJ : The mind's eye-activation of the precuneus in memory related imagery, *Neuroimage* Vol. 2, pp. 196-200, 1995.
- [18] Fletcher P, Frith CD and Rugg MD : The functional neuroanatomy of episodic memory, *Trends in Neuroscience* Vol. 20, No. 5, pp. 213-218, 1997.
- [19] Anderson JR : Arguments concerning representations for mental imagery, *Psychological Review*, Vol. 85, No. 4 pp. 249-277, 1978
- [20] Durkin J : *Expert system : Design and Development*, pp. 68-77, Macmillan, New Jersey. 1994
- [21] Baddeley AD : Working memory, *Science*, Vol. 255, pp. 556-559, 1992
- [22] Crammond DJ : Motor imagery: never in your wildest dream, *Trends in Neuroscience*, Vol. 20, No. 2, pp. 54-57, 1997
- [23] Sirigu A, Duhamel JR, Cohen L, Pillon B, Dubois B and Agid Y : The mental representation of hand movements after parietal cortex damage, *Science*, Vol. 273, pp. 1564-1568, 1996
- [24] Gevins A, Smith ME, Leong H, McEvoy L, Whitfield S, Du R : Monitoring working memory load during computer-based tasks with EEG pattern recognition methods, *Human Factors*, Vol. 40, No. 1, pp. 79-91, 1998.
- [25] Damasio H, Grabowski TJ, Tranel D, Hichwa RD, Damasio AR : A neural basis for lexical retrieval, *Nature*, Vol. 380, pp. 499-505, 1996