

뇌기능 영상에서 인지 수행 능력, 신경 활성화 면적, 신경 활성화 크기의 상관관계

정순철[#], 손진훈^{*}, 오종현^{**}, 탁계래^{**}, 이정한^{**}, 이수열^{***}

Correlation between Cognitive Performance Ability, Neural Activation Area and Neural Activation Intensity in fMRI

Soon Cheol Chung[#], Jin Hun Sohn^{*}, Chong Hyun Oh^{**}, Gye Rae Tack^{**},
Jeong Han Yi^{**}, Soo Yeol Lee^{***}

ABSTRACT

This study compares two different methods of measuring brain-BOLD activation. By comparing two different methods of measurement i.e., one method calculating the neural activation area (the number of activated voxels), while the other measured the neural activation intensity (the mean intensity of selected activated voxels), this study identified the more precise method of measuring brain activation which results from the completion of a visuospatial task. 16 right-handed male college students (mean age 23.2 years) participated in this study as subjects. Functional brain images were scanned on them using a 3T MRI single-shot EPI method. No correlation was found between the levels of cognitive performance and number of activated voxels in the activated brain areas. However, a significant correlation was found between the levels of cognitive performance and the mean intensity of selected activated voxels in the parietal, frontal, and other areas. In conclusion, the method of mean intensity was considered a better index of brain activity rather than the activated voxels measurement method

Key Words : Cognitive performance ability (인지 수행 능력), neural activation area (신경 활성화 면적), neural activation intensity (신경 활성화 크기), fMRI (뇌기능 영상)

1. 서론

현재 기억, 언어, 공간, 학습, 추리, 정서 등의 다양한 인지 처리의 과정과 원리를 밝히기 위해 뇌기능 영상 기법 (function Magnetic Resonance Imaging: fMRI)이 많이 활용되고 있다.

젊은이에 비해 노인은 향 자극에 대해 인지 능력이 감소하고 일차 후각 영역의 신경 활성화의 면적도 감소하였다.¹ 또한 연령에 관계없이 동사 생성 과제의 난이도가 증가할수록, 즉 더 큰 인지 능력이 요구될수록 신경 활성화의 면적이 증가한다는 보고가 있었다.² 단어 기억 과제 수행 시 정상인에

^{***} 접수일: 2005년 1월 4일; 게재승인일: 2005년 5월 13일

[#] 교신저자: 건국대학교 의학공학부

E-mail scchung@kku.ac.kr Tel. (043) 840-3759

^{*} 충남대학교 심리학과

^{**} 건국대학교 의학공학부

^{***} 경희대학교 동서의학대학원

비해 알츠하이머 환자는 대부분의 대뇌 영역에서 신경 활성화의 면적이 감소하였고, 특히 알츠하이머 환자의 경우 기억 능력과 신경 활성화의 크기 사이에 양의 상관관계가 나타나 기억 능력이 우수할수록 신경 활성화의 크기가 증가하였다는 보고가 있었다.³ 다발성 경화증의 뇌 손상 환자를 대상으로 숫자 덧셈과 단어 기억 과제를 수행 했을 때 수행 능력이 큰 환자가 작은 환자에 비해 신경 활성화의 면적이 증가하였다.⁴ 공간지각 능력이 우수한 집단이 아닌 집단에 비해 특정 영역의 신경 활성화의 면적이 증가하였다는 보고가 있었고,⁵ 손가락 운동 학습 수행 시 운동 학습 우수자가 아닌 사람에 비해 오른쪽 대뇌 영역의 신경 활성화의 면적이 증가하였다는 보고가 있었다.⁶ 일반 산소 농도 (21%)에 비해 30%의 고농도 산소를 흡입하였을 때 공간 지각 능력이 증가하고 대뇌 신경 활성화의 면적이 증가하였다.⁷ 또한 각성제를 복용한 후 숫자 기억 과제를 수행할 때 과제 난이도가 증가할수록 prefrontal 영역의 신경 활성화의 크기가 증가하였다는 보고가 있었다.⁸ 공간 기억 과제 수행 시 작은 금전적 보상으로 인한 낮은 동기 부여에 비해 큰 금전적 보상이 주어지는 높은 동기 부여가 주어졌을 때 인지 수행 능력 증가와 함께 intraparietal sulcus, superior frontal sulcus 영역의 신경 활성화의 면적이 증가하였다.⁹ 또한 새로운 단어에 비해 반복 제시된 단어에 대한 반응시간이 짧아지고 동시에 prefrontal 영역의 신경 활성화의 크기도 감소한다는 보고가 있었다.¹⁰

이와 같이 젊은이와 노인 사이에, 환자와 정상인 사이에, 인지 능력이 우수한 사람과 아닌 사람 사이에, 인지 능력 증가를 위해 부가적인 자극이 있을 때와 없을 때, 동기 부여가 클 때와 작을 때, 인지 부하가 클 때와 작을 때 등의 두 그룹 간의 인지 수행 능력 변화와 뇌 활성화 양의 변화를 비교 분석한 연구가 다수 수행되고 있다.

인지 능력 변화에 따른 뇌 활성화 양의 변화를 정량적으로 관찰하기 위해 뇌기능 영상에서는 크게 두 가지 방법을 사용하고 있다. 즉, Blood Oxygenation Level Dependent (BOLD)를 기반으로 하여 신경 활성화의 면적 (number of activated voxel) 변화를 관찰하는 방법과¹⁻⁷ 신경 활성화의 크기 (intensity of activated voxel) 변화를 관찰하는 방법이^{3,8,10} 병행되어 사용되고 있다. 신경 활성화의 면적을 기반으로 하는 방법은 인지 수행 능력 변화

에 기인한 특정 영역의 활성화 된 voxel 수 변화를 관찰하는 것이고, 새롭게 신경 활성화가 발생한 영역을 이중 감산법 등을 통해 시각적으로 쉽게 확인할 수 있는 방법으로 대부분의 연구에서 활용되고 있는 방법이다. 신경 활성화의 크기를 기반으로 하는 방법은 동일 영역에서 활성화 된 voxel의 신호 강도 (BOLD 크기)를 관찰하는 방법으로, fMRI에서 BOLD 신호의 크기와 신경활성화 비율은 서로 양의 상관관계를 가지기 때문에 동일 영역에서 BOLD 신호의 강도가 커다는 것은 그만큼 신경활성화가 더 발생했다는 사실을 근거로 한다.¹¹⁻¹³ 그러나 신경 활성화의 크기를 기반으로 하는 방법은 신경 활성화가 발생한 영역을 확인한 후 추가적으로 BOLD 크기 신호를 추출하여야 한다는 번거로움이 있다. 두 가지 방법 모두 뇌 활성화 양의 변화를 정량적으로 측정하는 유용한 방법으로 인정되고 있지만, 분석 방법의 편의성과 시각적인 결과 제시 등의 장점 때문에 신경 활성화의 면적을 기반으로 하는 방법이 선호되고 있다.

본 연구에서는 다양한 수준의 인지 능력을 가진 정상 성인을 대상으로 공간 지각 과제를 수행하게 한 후, 신경 활성화의 면적을 기반으로 하는 방법 (활성화 voxel 수를 이용한 방법)과 신경 활성화의 크기를 기반으로 하는 방법 (활성화 voxel의 신호 크기를 이용한 방법)으로 신경 활성화 변화 양을 각각 추출하고 개인의 인지 수행 능력과의 상관관계를 비교 분석하고자 한다. 즉, 본 연구의 목표는 노인과 젊은이, 환자와 정상인 등과 같이 인지 처리 수행 능력과 뇌 활성화 양이 현격히 차이가 있는 두 그룹 간의 비교를 위해서가 아니라, 개인별 다양한 수준의 인지 수행 능력 변화와 뇌 활성화 양을 비교하기 위해서 위의 두 가지 방법으로 신경 활성화 변화 양을 추출한 후 상관관계를 분석하고, 이를 통해 다양한 수준의 인지 수행 능력 변화를 보다 민감하게 반영할 수 있는 방법이 어떤 것인지를 밝히고자 하는 것이다.

2. 실험 방법

2.1 실험 참여자

뇌 손상의 경험이 없고, 인지 처리가 정상인 16명의 오른손잡이 남자 대학생 (평균 23.2세)이 본 연구에 참여하였다.

2.2 공간 과제의 문항 선정

지능 진단 검사, 적성 진단 검사 그리고 일반 적성 검사 (General Aptitude Test Battery: GATB) 로부터 공간 지각 능력을 측정할 수 있는 20문항의 소 검사들을 선정하였다.¹⁴⁻¹⁶ 선정된 문제는 주어진 도형의 모양과 똑 같은 모양을 네 개의 보기 중에 찾는 유형과, 주어진 도형의 전개도를 찾는 유형으로 구성되어 있다.^{7,17}

2.3 실험 설계 및 절차

한 실험은 네 개의 블록으로 구성되었으며, 각 블록은 통제 과제 (1분)와 공간 과제 (1분)를 포함하도록 하였다. Fig. 1은 한 실험의 구성을 도식화한 것으로 한 실험 당 소요시간은 블록 당 2분씩, 총 8분이었다. 선정된 통제 과제와 공간 과제는 뇌 기능 영상 실험을 위한 자극 제시 S/W인 SuperLab 1.07 (Cedrus Co.)을 사용하여 제작하였고, 컴퓨터와 빔 프로젝터를 이용하여 MRI 내부의 피검자에게 거울을 통하여 제시하였다. 피검자는 제시된 문제에 대해 반응 버튼을 누르도록 하여 해답을 결정하도록 하였다. 통제 과제에서는 1, 2, 3, 4의 네 개 숫자 중 화면에 제시되는 번호에 해당하는 버튼을 누르게 하여 본 실험에 집중하게 하였다 (블록 당 8번 시행). 공간 과제에서는 문제들을 제시하고 각 문제의 정답에 해당하는 버튼을 눌러 반응하게 하였다 (블록 당 5번 시행).

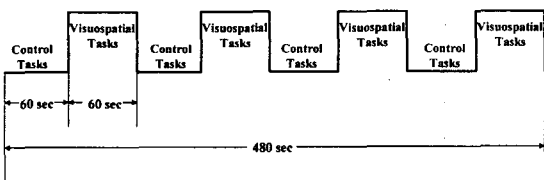


Fig. 1 Test procedure

2.4 뇌기능 영상 획득

뇌기능 영상 획득은 KAIST 뇌과학 연구 센터에 있는 3T ISOL Technology FORTE를 사용하였으며, single-shot Echo Planar Imaging (EPI) 방법 (TR/TE: 3000/35msec, FOV 240mm, matrix 64×64, slices thickness 4mm)으로 각 블록 당 35장의 뇌 절편 영상을 획득하였다. T1 강조영상법인 3-D FLAIR 방법 (TR/TE: 280/14msec, FOV 240mm, matrix 256×256, slice thickness 4mm)으로 해부학적 뇌 영

상을 획득하였다.

2.5 활성화 영역 추출

뇌기능 영상 데이터는 SPM-99 (Statistical Parametric Mapping-99, Wellcome Department of Cognitive Neurology, Oxford, 1999) S/W를 사용하여 분석하였다. 재배열 (realignment) 과정으로 머리의 움직임을 교정하고, 기능적 영상과 해부학적 영상을 상관정립 (coregister)하여 공통 좌표로 합성해주었다. 각 개인별 뇌의 형태적 차이를 교정하기 위하여 표준화된 뇌 공간에 template image (Montreal Neurologic Institute)를 사용하여 normalization 하였다.¹⁸ 감산법 (Visuospatial tasks - Control tasks)을 사용하여 공간 과제를 풀 때 신경망의 활성화가 발생하는 뇌 영역을 개인별로 t score에 따라 색채 부호화 (color coding)하여 추출하였다.

2.6 인지 수행 능력과 신경 활성화 면적의 상관관계 분석

공간 과제 수행 결과로부터 피험자들의 인지 수행 능력 (정답수/총문항수×100)을 계산하였다.

2.5절에서 추출된 뇌 활성화 영역을 바탕으로 후두엽과 두정엽 (occipital lobe + parietal lobe: O + P), 전두엽 (frontal lobe: F), 후두엽 + 두정엽 + 전두엽 (occipital lobe + parietal lobe + frontal lobe: O + P + F)의 세 가지 영역에 대해 좌, 우, 양쪽 모두 (좌+우)로 구분하여 총 아홉 종류에 대해 개인별로 활성화 된 면적 (활성화 된 voxel 수)을 계산하였다. 이때 각 영역별로 정확히 구분하여 활성화 voxel 수를 계산하여야 하나 후두엽과 두정엽 영역은 집단 (cluster)을 형성하고 있기 때문에 함께 voxel 수를 계산하였다. 마지막으로 인지 수행 능력과 신경 활성화 면적 간의 상관관계를 관찰하기 위하여, 공간 과제 수행 결과와 아홉 종류의 활성화 면적과의 상관관계를 Pearson Correlation을 이용하여 계산하였다.

2.7 인지 수행 능력과 신경 활성화 크기의 상관관계 분석

뇌 활성화 영역 분석 결과 (2.5절 분석 결과)로부터 신경 활성화 크기 (BOLD 신호의 강도)를 관찰하기 위하여 후두엽 (O), 두정엽 (P), 전두엽 (F), 후두엽 + 두정엽 + 전두엽 (O + P + F)의 네 가지

영역에 대해 좌, 우, 양쪽 모두 (좌+우)로 구분하여 총 열두 종류에 대해 개인별로 활성화 된 신호 크기를 계산하였다. 선정 기준은 후두엽과 두정엽은 활성화의 통계적 유의도가 가장 큰 voxel를 중심으로 5×5 영역으로 선택하였다 이때 좌우측 후두엽의 중심 voxel의 Talairach coordinates는 각각 (-28, -94, 6), (32, -92, 8)이고, 좌우측 두정엽의 중심 voxel의 Talairach coordinates는 각각 (-24, 70, 40), (24, -66, 56) 이다. 전두엽은 개인별로 활성화 영역에 차이가 있어서 중심 voxel 위치를 지정하지 않고, 좌우 각각 전두엽 영역의 모든 신호 크기의 평균을 이용하였다. 최종적으로 인지 수행 능력과 신경 활성화 크기 간의 상관관계를 관찰하기 위하여, 공간 과제 수행 결과와 열두 종류의 활성화 신호 크기와의 상관관계를 Pearson Correlation을 이용하여 계산하였다.

2.8 신경 활성화 면적과 신경 활성화 크기의 상관관계 분석

신경 활성화 면적과 신경 활성화 크기 사이의 상관관계를 Pearson Correlation을 이용하여 계산하였다. 신경 활성화 면적은 후두엽과 두정엽을 함께 계산해서 아홉 영역으로 구분하였고, 신경 활성화 크기는 후두엽과 두정엽을 구분하여 열두 영역이었다. 이 두 가지 방법의 상관관계를 직접 비교하기 위해서는 비교 영역 수가 같아야 하기 때문에 후두엽과 두정엽을 평균하여 신경 활성화 크기를 다시 계산하였고, 총 아홉 영역에 대해 두 가지 방법 간의 상관계수를 계산하였다.

3. 결과

3.1 활성화 영역

Fig. 2는 공간 과제를 수행하였을 때 공통 활성화되는 뇌 영역이다. 소뇌 (Cerebellum) 영역, 양측 후두엽 (Bilateral occipital lobes) 영역, 양측 상두정엽 (Bilateral superior parietal lobes), 양측 하두정엽 (Bilateral inferior parietal lobes), 양측 췌기앞소엽 (Bilateral precuneus), 양측 중심후이랑 (Bilateral postcentral gyri) 등을 포함하는 두정엽 (Parietal lobe) 영역, 그리고 양측 중간전두이랑 (Bilateral middle frontal gyri), 양측 하전두이랑 (Bilateral inferior frontal gyri), 양측 내측전두이랑 (Bilateral medial frontal gyri), 양측 상전두이랑 (Bilateral

superior frontal gyri), 양측 대상회 (Bilateral cingulate gyri) 등을 포함하는 전두엽 (Frontal lobe) 부분이 활성화되었다 (corrected $p < .05$).

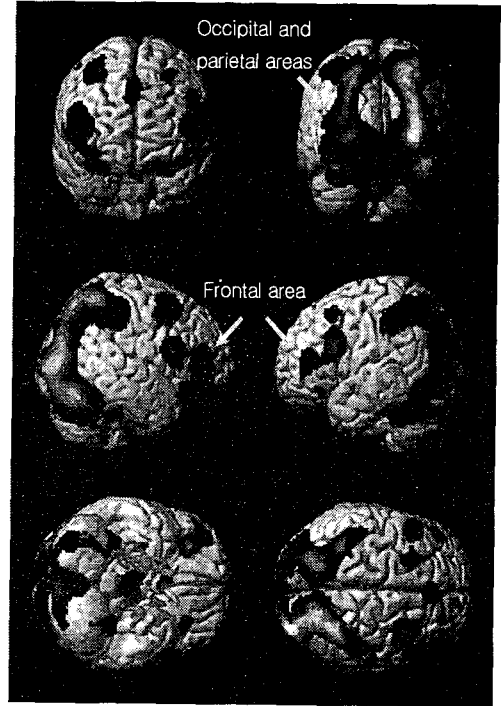


Fig. 2 Activation areas while performing visuospatial tasks (corrected $p < .05$)

3.2 인지 수행 능력과 신경 활성화 면적의 상관관계

세 가지 영역 (후두엽과 두정엽, 전두엽, 후두엽 + 두정엽 + 전두엽)에 대해 좌, 우, 양쪽 모두 (좌+우)로 구분하여 총 아홉 종류에 대한 활성화 된 면적과 인지 수행 능력과의 상관계수 (r value)를 Table 1에 나타내었다. 모든 영역에서 인지 수행 능력과 활성화 voxel 수 사이에 통계적으로 유의한 상관관계를 관찰할 수 없었다 ($p > .05$).

Table 1 Correlation between cognitive performance and number of activated voxel at the nine areas
O+P: occipital lobe+parietal lobe, F: frontal lobe, O+P+F: occipital lobe+parietal lobe+frontal lobe

Left			Right			Left + Right		
O+P	F	O+P+F	O+P	F	O+P+F	O+P	F	O+P+F
-0.093	0.193	-0.011	-0.072	0.179	0.050	-0.084	0.190	0.020

Table 2 Correlation between cognitive performance and intensity of activated voxel at the twelve areas
O: occipital lobe, P: parietal lobe, F: frontal lobe, O+P+F: occipital lobe+parietal lobe+frontal lobe

Left				Right				Left + Right			
O	P	F	O+P+F	O	P	F	O+P+F	O	P	F	O+P+F
0.235	0.087	0.064	0.183	0.391	0.699**	0.517*	0.700**	0.448	0.518*	0.332	0.554*

Table 3 Correlation between number of activated voxel and intensity of activated voxel at the nine areas
O+P: occipital lobe+parietal lobe, F: frontal lobe, O+P+F: occipital lobe+parietal lobe+frontal lobe

Left			Right			Left + Right		
O+P	F	O+P+F	O+P	F	O+P+F	O+P	F	O+P+F
0.292	0.464	0.404	-0.242	0.458	-0.044	0.003	0.589*	0.229

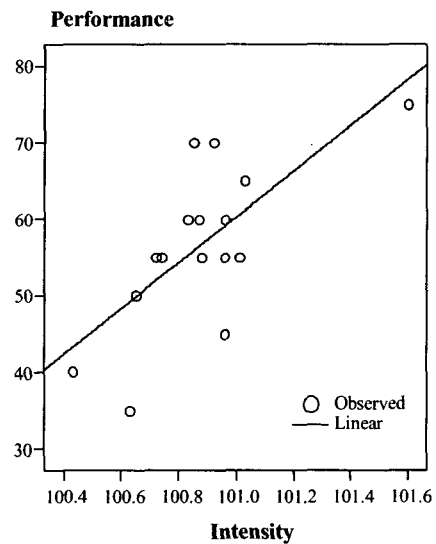
3.3 인지 수행 능력과 신경 활성화 크기의 상관관계

네 가지 영역 (후두엽, 두정엽, 전두엽, 후두엽 + 두정엽 + 전두엽)에 대해 좌, 우, 양쪽 모두 (좌+우)로 구분하여 총 열두 종류에 대한 활성화 된 신호 크기와 인지 수행 능력과의 상관관계수 (r value)를 Table 2에 나타내었다. 오른쪽 두정엽 ($r=0.699$, $p=0.003$), 오른쪽 전두엽 ($r=0.517$, $p=0.040$), 오른쪽 후두엽 + 두정엽 + 전두엽 ($r=0.700$, $p=0.003$), 좌우 두정엽 ($r=0.518$, $p=0.040$), 좌우 후두엽 + 두정엽 + 전두엽 ($r=0.554$, $p=0.026$) 영역에서 인지 수행 능력과 활성화 신호 크기 사이에 통계적으로 유의한 양의 상관관계를 관찰할 수 있었다. 오른쪽 두정엽과 좌우 후두엽 + 두정엽 + 전두엽에서 활성화 된 신호 크기와 인지 수행 능력과의 상관관계를 Fig. 3에 나타내었다.

3.4 신경 활성화 면적과 신경 활성화 크기의 상관관계

세 가지 영역 (후두엽과 두정엽, 전두엽, 후두엽 + 두정엽 + 전두엽)에 대해 좌, 우, 양쪽 모두 (좌+우)로 구분하여 총 아홉 종류에 대한 활성화 된 면

적과 크기와의 상관관계수 (r value)를 Table 3에 나타내었다. 좌우 전두엽 ($r=0.589$, $p=0.016$) 영역에서만 통계적으로 유의한 양의 상관관계를 관찰할 수 있었다 (Fig. 4).



(a)

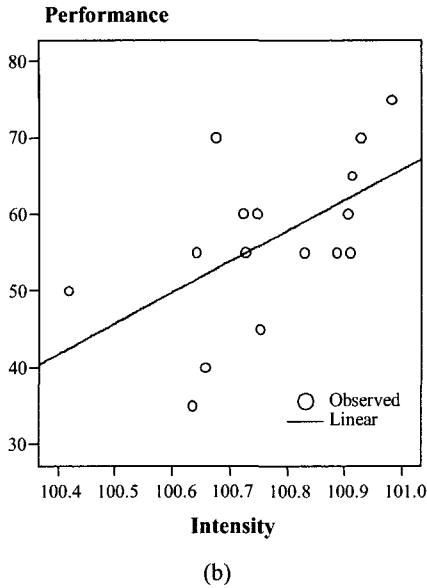


Fig. 3 Correlation between cognitive performance and intensity of activated voxel (a) in the right parietal lobe and (b) in the bilateral occipital, parietal, and frontal lobes

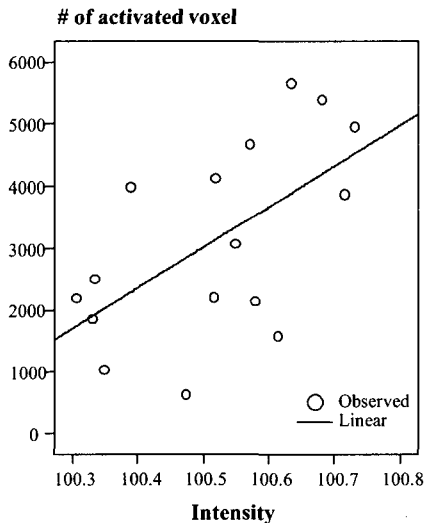


Fig. 4 Correlation between number of activated voxel and intensity of activated voxel in the bilateral frontal lobe

4. 토의

본 연구는 신경 활성화의 면적을 기반으로 하는 방법과 신경 활성화의 크기를 기반으로 하는 방법으로 각각 공간 인지 과제 수행에 따른 신경 활성화 변화 양을 추출하고 인지 수행 능력과의 상관 관계를 비교 분석한 후, 다양한 개인별 인지 수행 능력에 민감한 상관을 가지는 방법이 어떤 것인지를 밝히고자 하는 것이다.

공간 과제 수행 시 소뇌, 후두엽, 전두엽, 두정엽 등이 활성화 되고, 특히 두정엽 부분이 중요한 역할을 수행한다는 사실은 잘 알려져 있다.^{7,19,23} Fig. 2에서와 같이 본 연구에서도 공간 과제 수행 시 활성화 된 대뇌 영역은 선행 연구 결과와 일치한다.

지금까지 인지 수행 능력에 따른 뇌 신경활성화 양의 변화를 정량적으로 밝히기 위해 대부분의 연구에서는 신경 활성화 면적에 기반 한 방법을 사용하고 있다. 본 연구에서도 개인별 아홉 종류의 활성화 된 면적과 인지 수행 능력을 계산한 후, 둘 간의 상관계수를 구하였으나 통계적으로 유의한 영역은 없었다. 그러나 신경 활성화 크기에 기반 한 방법은 두정엽, 전두엽, whole brain에서 유의한 양의 상관을 관찰할 수 있었다. 또한 전두엽 영역에서만 신경 활성화 면적 변화와 크기 변화가 유의한 상관이 있었다.

특정 인지 처리 시 뇌에서의 BOLD 신호의 변화는 neuron 주위에 있는 모세혈관, 세정맥에서 발생하는 자화율 변화에 기인한다. 모세혈관과 세정맥의 직경은 대략 8 μ m와 25-50 μ m이고²⁴, 한 개의 voxel 크기가 3 \times 3 mm이면, 20000-50000개의 모세 혈관과 50-150개의 세정맥을 포함할 수 있다.¹² 인지 처리 수행 양에 따라 뇌신경 활성화 양이 변하고, 이러한 신경 활성화 양의 변화에 따라 기여하는 모세혈관과 세정맥의 수가 변한다.^{12,13} 만약 임의의 한 voxel 내부에서 인지 처리 수행 양이 작아서 신경 활성화에 기여하는 모세혈관의 수가 500개 이었다가, 인지 처리 수행 양이 증가하여 기여하는 모세 혈관의 수가 1000개로 증가한다면, 그 voxel에서 BOLD 신호 크기는 증가할 것이나 새롭게 활성화 되는 voxel은 없다. 그러나 인지 처리 수행 양이 크게 증가하여 기여하는 총 모세 혈관의 수가 50000개 이상으로 증가한다면, 새로운 voxel에서 활성화를 관찰할 수 있기 때문에 활성화 면적

의 변화를 관찰할 수 있을 것이다. 즉, BOLD 신호의 절대적인 크기는 작은 신경 활성화 변화에도 민감할 수 있으나, BOLD 신호 변화가 발생한 영역의 면적 변화는 상대적으로 민감도가 떨어질 수 있다.

지금까지 노인과 젊은이, 환자와 정상인, 인지 능력이 우수한 사람과 아닌 사람, 등과 같이 인지 처리 수행 능력과 뇌 활성화 양이 현격히 차이가 있는 두 그룹간의 비교에 신경 활성화 면적에 기반한 방법이 성공적으로 사용되어져 왔다. 그러나 본 연구에서와 같이 그룹들 간(2 수준)의 차이가 아니라 다양한 수준의 인지 처리 수행 능력과 뇌 활성화 양의 변화에 대한 상관관계를 밝히는 연구에서는 이 방법이 적절하지 않다는 사실을 밝힐 수 있었다. 그러나 상대적으로 신경 활성화 변화에 민감한 신경 활성화 크기에 기반한 방법으로 개인별 인지 처리 수행 능력과의 의미 있는 상관관계를 밝힐 수 있었다.

본 연구에서 신경 활성화의 면적을 기반으로 하는 방법은 후두엽과 두정엽 영역을 함께 분석하였기 때문에 큰 활성 면적에서 작은 면적 변화를 추출하여 민감도가 떨어질 수 있지만, 신경 활성화의 크기를 기반으로 하는 방법은 두 영역을 구분하였고 동시에 5×5×5의 작은 영역에 한정해서 신호 크기를 관찰하였기 때문에 민감도가 뛰어나갈 수 있을 것이라는 의문을 가질 수 있다. 그러나 이러한 영역 설정의 차이는 두 방법이 가지고 있는 본질적인 성질에 기인하는 것이고, 신경 활성화의 크기를 기반으로 하는 방법이 가지고 있는 장점이기도 하다.¹⁷ 또한 전두엽에서의 분석은 두 방법 모두 동일한 영역에서 수행이 되었지만, 신경 활성화 크기만이 인지 수행 능력과 관련성이 있는 것으로 나타났다. 이것은 BOLD 신호의 절대적인 크기가 작은 신경 활성화 변화에 보다 민감할 수 있다는 사실을 다시 한번 확인시키는 결과이다.

전두엽 영역에서만 신경 활성화 면적 변화와 크기 변화가 유의한 상관이 있었는데, 이것 역시 두 방법의 민감도의 차이 때문에 발생한 것으로 생각되어진다.

결론적으로, 신경 활성화의 면적 변화에 비해 크기 (BOLD 신호의 절대적인 크기) 변화는 작은 신경 활성화 변화에 민감할 수 있기 때문에 다양한 수준의 인지 수행 능력 변화를 반영할 수 있는 보다 나은 지표로 사용될 수 있을 것이다.

후 기

본 연구는 보건복지부 보건의료기술진흥사업의 지원에 의하여 수행되었음 (과제번호: 02-PJ3-PG6-EV07-0002)

참고문헌

1. Cerf-Ducastel, B., Murphy, C., "fMRI brain activation in response to odors is reduced in primary olfactory areas of elderly subjects," *Brain Research*, Vol. 986, pp. 39-53, 2003.
2. Persson, J., Sylvester, C.C., Nelson, J.K., Welsh, K.M., Jonides, J., Reuter-Lorenz, P.A., "Selection requirements during verb generation: differential recruitment in older and younger adults," *NeuroImage*, Vol. 23, pp. 1382-1390, 2004.
3. Remy, F., Mirrashed, F., Campbell, B., Richter, W., "Verbal episodic memory impairment in Alzheimer's disease: a combined structural and functional MRI study," *NeuroImage*, In press.
4. Mainero, C., Caramia, F., Pozzilli, C., Pisani, A., Pestalozza, I., Borriello, G., Bozzao, L., Pantano, P., "fMRI evidence of brain reorganization during attention and memory tasks in multiple sclerosis," *NeuroImage*, Vol. 21, pp. 858-867, 2004.
5. Sohn, J.H., Kim, Y.H., Lee, K.H., Park, S.H., "Brain areas activated by different levels of individual's visuospatial ability: an fMRI study," *Korean Journal of Brain Science and Technology*, Vol. 1, No. 2, pp. 201-209, 2001.
6. Heun, R., Freymann, N., Granath, D.O., Stracke, C.P., Jessen, F., Barkow, K., Reul, J., "Differences of cerebral activation between superior and inferior learners during motor sequence encoding and retrieval," *Psychiatry Research Neuroimaging*, Vol. 132, pp. 19-32, 2004.
7. Chung, S.C., Sohn, J.H., Kim, I.H., "The effect of highly concentrated oxygen administration on cerebrum lateralization of young men during visuospatial task," *Journal of the Korean Society of Precision Engineering*, Vol. 21, No. 8, pp. 180-188, 2004.
8. Mattay, V.S., Callicott, J.H., Bertolino, A., Heaton,

- I., Frank, J.A., Coppola, R., Berman, K.F., Goldberg, T.E., Weinberger, D.R., "Effects of Dextroamphetamine on cognitive performance and cortical activation," *NeuroImage*, Vol. 12, pp. 268-275, 2000.
9. Taylor, S.F., Welsh, R.C., Wager, T.D., Phan, K.L., Fitzgerald, K.D., Gehring W.J., "A functional neuroimaging study of motivation and executive function," *NeuroImage*, Vol. 21, pp. 1045-1054, 2004.
10. Lustig, C., Buckner, R.L., "Preserved Neural Correlates of Priming in Old Age and Dementia," *Neuron*, Vol. 42, pp. 865-875, 2004.
11. Ogawa, S., Tank, D.W., Menon, R., Ellermann, J.M., Kim, S.G., Merkle, H., Ugurbil, K., "Intrinsic signal changes accompanying sensory stimulation: Functional brain mapping with magnetic resonance imaging," *Proceeding of the National Academy of Sciences of the United States of America*, Vol. 89, pp. 5951-5955, 1992.
12. Moonen, C.T.W., Bandettini, P.A., "Functional MRI," Springer, New York, 1999.
13. Logothetis, N.K., "The neural basis of the blood-oxygen-level-dependent functional magnetic resonance imaging signal," *Philos. Trans. R. Soc. Lond. B. Biol. Sci.*, Vol. 29, pp. 1003-1037, 2002.
14. Lee, S.R., "Intelligence test 151-Ga Type (High school students ~ adults)," Jungangjucksung Press, Seoul, Korea, 1982.
15. Lee, S.R., Kim, K.R., "Aptitude test 251-Ga (High school students ~ adults)," Jungangjucksung Press, Seoul, Korea, 1985.
16. Park, S.B., "GATB (General Aptitude Test Battery): academic, job aptitude test type II (for students of middle schools, high schools and universities, and general public)," Jungangjucksung Press, Seoul, Korea, 1985.
17. Chung, S.C., Sohn, J.H., Lee, B., Lee, S.Y., "Visuospatial cognitive performance, hyperoxia and heart Rate due to oxygen administration," *Journal of the Korean Society of Precision Engineering*, Vol. 22, No. 1, pp. 193-198, 2005.
18. Talairach, J., Tournoux, P., "Co-Planar Stereotaxic Atlas of the Human Brain," Georg Thieme Verlag, Stuttgart, New York, 1988.
19. Fink, G.R., Marshall, J.C., Weiss, P.H., Zilles, K., "The neural basis of vertical and horizontal line bisection judgements: an fMRI study of normal volunteers," *NeuroImage*, Vol. 14, No. 1, pp. 59-67, 2001.
20. Ng, V.W., Eslinger, P.J., Williams, S.C., Brammer, M.J., Bullmore, E.T., Andrew, C.M., Suckling, J., Morris, R.G., Benton, A.L., "Hemispheric preference in visuospatial processing: a complementary approach with fMRI and lesion studies," *Human Brain Mapping*, Vol. 10, No. 2, pp. 80-86, 2000.
21. Ng, V.W., Bullmore, E.T., de Zubicaray, G.I., Cooper, A., Suckling, J., Williams, S.C. "Identifying rate-limiting nodes in large-scale cortical networks for visuospatial processing: an illustration using fMRI," *Journal of Cognitive Neuroscience*, Vol. 13, No. 4, pp. 538-545, 2001.
22. Gur, R.C., Alsop, D., Glahn, D., Petty, R., Swanson, C.L., Maldjian, J.A., Turetsky, B. I., Detre, J.A., Gee, J., Gur, R.E., "An fMRI study of sex differences in regional activation to a verbal and a spatial task," *Brain and Language*, Vol. 74, pp. 157-170, 2000.
23. Vitouch, O., Bauer, H., Gittler, G., Leodolter, M., Leodolter, U., "Cortical activity of good and poor spatial test performances during and spatial and verbal processing studied with slow potential topography," *International Journal of Psychology*, Vol. 27, pp. 183-199, 1997.
24. Guyton, A.C., "Textbook of medical physiology," W.B. Saunders, Philadelphia, 1991.