

## 뇌기능 영상을 이용한 외부 산소 공급에 따른 공간 지각 능력 변화에 관한 연구

정순철 · 김익현 · 이봉수 · 이정미\* · 손진훈\* · 김승철\*\*

건국대학교 의과대학 의학공학부, 충남대학교 심리학과 뇌과학 연구소\*, (주)옥시큐어\*\*

(2003년 6월 19일 접수, 2003년 8월 26일 채택)

### A Study on Visuospatial Cognitive Performance Following Oxygen Administration using fMRI

Soon-Cheol Chung, Ik-Hyeon Kim, Bongsoo Lee, Jeong-Mi Lee\*, Jin-Hun Sohn\*, Seung-Chul Kim\*\*

Department of Biomedical Engineering, College of Medicine, Konkuk University, Department of Psychology, Brain  
Research Institute, Chungnam National University\*, Oxycure Co. Ltd.,\*\*

(Received June 19, 2003. Accepted August 26, 2003)

**요약**: 본 연구에서는 일반 공기 중의 산소 농도 (21%) 환경에 비해 외부에서 고 농도 (30%)의 산소 공급이 공간 지각 능력에 어떠한 변화를 유발하는지 관찰하고자 한다. 8명의 남자 대학생 (평균 23.5세)을 뇌기능 연구의 실험 참여자로 선정하였고, 21%와 30% 산소 농도를 각각 8L/min의 양으로 일정하게 공급할 수 있는 장치를 개발하였다. 공간 지각 능력 측정을 위해 20 문항을 포함하는 두 개의 문제지를 제작하였고, 과제 수행 결과로부터 정답률을 산출하였다. 실험 패러다임은 30%의 산소 농도에서 과제를 수행하는 회기와 21%의 산소 농도에서 과제를 수행하는 회기로 각각 이루어져 있다. 각 회기는 네 개의 block으로 구성되고, 각 block은 통제 과제 8문항, 공간지각 과제 5문항을 포함한다. 3T MRI 기기를 사용하였고, single-shot EPI 방법으로 뇌기능 영상을 획득하였다.

산소 농도 21%에 비해 30% 상태에서 양측 후두엽 영역, 양측 상두정엽, 양측 하두정엽, 양측 췌기앞소엽, 양측 중심후이랑 등의 두정엽 영역, 그리고 양측 중간전두이랑, 양측 하전두이랑, 양측 내측전두이랑, 양측 상전두이랑, 양측 대상회 등의 전두엽 영역의 활성화가 증가하였고, 과제 수행 결과에서도 산소 농도 21%에 비해 30% 상태에서 정답률이 증가했다. 본 연구의 결과로부터 외부에서의 고농도의 산소 공급이 공간 지각 능력 증가에 긍정적인 영향을 미친다는 결론을 도출할 수 있다.

**Abstract**: The present study attempted to observe what changes the supply of highly concentrated (30%) oxygen cause to people's ability of visuospatial cognition, compared to air of normal oxygen concentration (21%). This study sampled eight male university students (the average age: 23.5) as subjects for functional Magnetic Resonance Imaging (fMRI) study. It also developed equipment that supplies 21% and 30% oxygen at a constant rate of 8L/min. Two questionnaires containing 20 questions were developed to measure the ability of visuospatial cognition, and accuracy was calculated from the result of task performance. The experiment paradigm consisted of the run conducting tasks at 30%'s concentration of oxygen and another run at 21%'s concentration of oxygen. Each run was composed of four blocks and each block included eight control tasks and five visuospatial tasks. 3T MRI was used and fMRI was obtained through the single-shot EPI method.

The activation in the occipital-associated area, bilateral superior parietal lobes, bilateral inferior parietal lobes, bilateral precuneus, bilateral postcentral gyri, bilateral middle frontal gyri, bilateral inferior frontal gyri, bilateral medial frontal gyri, bilateral superior frontal gyri, bilateral cingulate gyri was significantly increased at the 30%'s concentration of oxygen rather than 21%'s. Furthermore, the result of task performance showed the accuracy increased at 30%'s concentration of oxygen rather than 21%'s. From the result of this study, it is concluded that the supply of highly concentrated oxygen has a positive effect on the ability of visuospatial cognition.

**Key words**: Visuospatial cognitive performance, Oxygen administration, fMRI, Accuracy

통신저자: 정순철, (380-701) 충북 충주시 단월동 322번지  
건국대학교 의과대학 의학공학부

Tel. 043)840-3759, Fax. 043)851-0620

E-mail. scchung@kku.ac.kr

서 론

산소는 인체에서 대사 작용이 가장 활발한 기관인 뇌 활동

에 중요한 물질로서, 중추신경계는 산소 부족에 가장 민감한 조직이며, 동맥혈 산소 분압의 저하는 주의력, 기억력, 의사결정 능력 등의 뇌기능에 변화를 초래한다 [1]. 인지 과제를 수행하는 동안 대뇌에 글루코스와 산소의 공급이 증가한다는 사실은 잘 알려져 있다 [2-4]. 반대로 저 혈당 (hypoglycaemia) 일 때와 저 산소증 (hypoxia) 일 때 인지 저하가 일어난다는 연구 결과도 있다 [5-10]. 또한 노화에 따른 인지 감소는 산소와 글루코스의 공급이 원활 하지 않기 때문에 발생한다는 사실도 보고되었다 [11]. Turner and Carrol은 인지 과제 수행 시 뇌동맥의 혈류 증가와 대뇌의 대사 과정이 변하는 양상을 연구하였으며 그 결과 복잡한 수학 문제를 풀 때 혹은 비디오 게임을 할 때 심박동과 혈중 내 산소 소비가 증가하였다고 발표하며 있다 [12].

Moss 등과 Scholey 등은 외부에서의 산소 공급이 단어를 기억 할 수 있는 능력에 어떠한 영향을 미치는지를 연구하였다 [13,14]. 단어 목록을 보여 주기 이전에 1분 동안 산소를 공급하고, 단어 목록을 제시한 후 10분 또는 24시간 이후에 기억한 단어수를 비교했을 때, 산소를 공급하지 않은 상태에 비해 산소를 공급했을 때 기억해 낸 단어 수가 현격히 증가하였다고 보고하였다. 이러한 결과로부터 외부에서 부가된 산소 공급이 기억 형성에 영향을 미친다는 사실을 알 수 있다. 또한 약속된 임의의 단어가 컴퓨터 모니터 상에 제시되었을 때 반응 버튼을 가능한 한 빨리 누르게 한 과제를 수행했을 때, 외부 산소 공급이 있는 경우 반응 시간이 빨라진다고 보고하였다 [14].

이와 같이 산소는 인간의 신체 및 정신 활동에 필수적인 물질이며, 특히 뇌 기능에 중요한 역할을 수행한다. 또한 외부에서의 산소 공급이 인지 능력 중 기억력을 향상시킨다는 사실이 부분적으로 소개되었다. 그러나 외부 산소 공급에 따른 인지 능력 변화에 대한 선행 연구는 기억해 낸 단어의 개수를 비교하거나, 얼마나 빨리 반응하였는가의 시간 측정을 통해서 획득한 간접적인 결과이고 직접적인 인지 처리가 이루어지는 뇌의 상태를 관찰한 결과가 아니다. 또한 외부에서의 산소 공급이 기억력 외에 언어, 학습, 추리, 지각, 정서 등의 다양한 인간의 인지 기능에 어떠한 변화를 유발하는지에 대한 구체적인 다양한 연구 보고는 아직까지 미비한 실정이다.

1980년대 후반부터 발전되기 시작한 뇌 기능 영상은 살아있는 인간의 두뇌를 대상으로 뇌가 활동하는 양상을 연구할 수 있게 하는 기법이다. 특히 1990년 이후 가장 비 침습적인 뇌 기능 영상법으로 functional Magnetic Resonance Imaging (fMRI) 연구 방법이 소개되었고, 이 기법은 공간 및 시간 해상도가 뛰어난 장점을 가지고 있다 [15, 16]. 현재 fMRI 기법을 이용하여 인간의 오감인 시각, 청각, 후각, 미각, 촉각을 담당하는 각 대뇌피질의 지도화 (mapping)를 가능하게 하고 있을 뿐만 아니라 언어, 기억, 인지, 정서 관련 기능 등에 대해서도 현재 활발한 연구가 진행 중이다 [17, 18].

그러므로 본 연구에서는 외부에서 고 농도 (30%)의 산소 공급 시 인지 능력 중 특히 공간 지각 능력에 어떠한 변화를 유발하는지에 대한 기초 연구를 뇌기능 영상 기법을 이용하여

수행하고자 한다. 즉, 외부에서의 고 농도의 산소 공급이 이루어지는 동안 fMRI 기법을 통해 뇌에서의 인지 처리 과정과 결과를 직접 관찰할 수 있다면, 산소 공급과 인지 능력 변화의 상관관계를 보다 체계적이고 정량적으로 밝힐 수 있을 것이다.

## 연구 방법

본 연구는 크게 네 가지로 구성된다. 먼저 피검자에게 정량적으로 산소를 공급할 수 있는 장치의 개발이다. 둘째로, 공간 지각의 인지 능력 변화를 높은 신뢰도로 측정 할 수 있는 검사지의 개발이다. 셋째로, 개발된 문제지를 이용하여 피검자에게 인지 과제를 수행하게 하여 적절한 인지 변화를 유발시키고, 뇌기능 영상 기법을 통하여 유발 된 인지 변화를 측정할 수 있는 상세한 실험 절차 및 실험 설계가 필요하다. 마지막으로 이러한 절차로 수립된 실험 설계로부터 뇌기능 실험을 수행하고, 획득된 뇌기능 영상 결과와 인지 검사의 결과를 분석하는 작업이 필요하다.

### 1. 산소 공급 장치 및 실험 참여자

본 연구를 위해 일반 공기 중의 산소 농도인 21%의 산소와 30%의 고농도 산소를 각각 8L/min의 양으로 일정하게 공급할 수 있는 산소 공급 장치 (Oxy Cure Co.)를 개발하였다. 산소 공급 장치에서 발생된 산소는 농도와 유량을 일정하게 유지할 수 있도록 마스크를 통하여 실험 참여자에게 전달되었으며, 실험 참여자는 어떠한 농도의 산소가 공급되는지 모르게 하였다.

신체 내 보철기를 착용하지 않고, 뇌수술, 고막수술 경험이 없고, 폐쇄공포증이 없고, 난시가 없는 8명의 오른손잡이 남자 대학생들 (평균 23.5세)이 본 연구에 참여하였다.

### 2. 공간 지각 과제 검사지 개발

공간 지각 능력 측정을 위한 문항 선정을 위해, 집단검사를 통하여 유사한 난이도의 문항을 포함하는 두 개의 문제지를 제작하였다. 자세한 선정 과정은 다음과 같다. 먼저 집단검사에 사용할 문제지를 구성하기 위하여 지능 진단 검사, 적성 진단 검사 그리고 일반 적성 검사 (General Aptitude Test Battery: GATB) 로부터 공간 지각 능력을 측정할 수 있는 소 검사들을 선정하였다 [19-21]. 집단검사 문제지는 A와 B, 두 가지 유형으로 제작되었으며, 그 구성은 표 1과 같다.

각 45 문항의 문제들로 구성된 문제지 A, B를 이용하여, 263명 (남: 143명, 여: 120명)의 대학생을 대상으로 집단검사를 실시하였다. A형 문제지를 푼 학생은 139명 (남: 77명, 여: 62명)이었으며, B형 문제지를 푼 학생은 124명 (남: 66명, 여: 58명)이었다. A, B의 총 90 문항 각각에 대한 정답률 ((정답자수/응답자 수)×100)을 산출하여, 유사한 난이도를 보이는 문항들끼리 들쭉 짝을 지어 총 20쌍 (40 문항)을 선정하였다. 그리고 20 문항이 포함되어 있는 두 개의 공간 지각 과제 문제지를 각각 제작하였다. 선정된 문항들은 38.69-90.79%의 정답률 범위에 있는 문항들이었다.

표 1. 집단검사 문제지의 구성

**Table 1.** Structure of group test questionnaire

문제지 유형 출처	A형 (45문항)	B형 (45문항)
지능진단검사 中 공간지각검사 (15문항)	15문항 (공통)	
적성진단검사 中 공간관계검사 (20문항)	홀수번 10문항	짝수번 10문항
GATB 中 검사 D (40문항)	짝수번 20문항	홀수번 20문항

**3. 실험 설계 및 절차**

21% 산소 농도 일 때 공간 지각 과제를 수행하는 회기와, 30% 산소 농도 일 때 과제를 수행하는 회기, 두 개 회기로 이루어진 실험을 설계하였다. 유사한 난이도끼리 짝지어 선정된 20쌍의 공간지각 문제들을 두 회기 (A, B양식)에 나누어 분포 시킴으로써 회기 간에 문제 난이도의 차이가 없도록 하였다. 한 회기는 네 개 블록으로 구성되었으며, 각 블록은 통제 과제와 공간 지각 과제를 포함하도록 하였다. 선정된 통제 과제와 인지 과제는 뇌기능 영상 실험을 위한 자극 제시 S/W인 SuperLab 1.07 (Cedrus Co.)을 사용하여 제작하고, 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). 공간지각 과제에서는 공간지각 문제들을 제시하고 각 문제의 정답에 해당하는 버튼을 눌러 반응하게 하였다 (블록 당 5번 시행). 또한 각 시행들이 한 블록 내에서 무작위로 제시되도록 하였다. 그림 1은 한 회기의 구성을 도식화한 것이다. 한 회기 당 소요시간은 블록 당 2분씩, 총 8분이었다.

실험에 참여하기 전 실험 참여자들은 실험에 대한 전반적인 설명을 듣고 문제 유형을 익히기 위해 연습문제를 풀어 보도록 하였다. 산소 농도 21% 일 때 A양식의 문제를 풀었던 실험 참여자들은 산소 농도 30% 일 때 B양식을 풀도록 하였고, 산소 농도 21% 일 때 B양식의 문제를 풀었던 실험 참여자들은 산소 농도 30% 일 때 A양식을 풀도록 하였다.

뇌기능 영상을 획득하면서 각 실험 참여자는 두 개 회기 (21%와 30% 산소 농도)에 걸쳐 공간 지각 과제를 수행하였고, 과제 수행 결과로부터 정답률 ((정답수/총문항수)×100)을 산출하였다.

**4. 뇌기능 영상 획득 및 데이터 분석**

뇌기능 영상 획득은 KAIST 뇌과학 연구 센터에 있는 3T ISOL technology FORTE를 사용하였으며, single-shot Echo Planar Imaging (EPI) 방법 (TR/TE : 3000/35 msec, FOV 240mm, matrix 64\*64, slices thickness 4mm)으로 각 볼륨당 35장의 뇌절편 영상을 수집하였다. 자기적 평형상태에 도달하

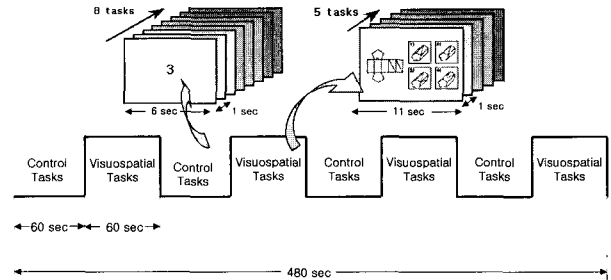


그림 1. 실험 절차  
Fig. 1. Test procedure

기 위하여, 처음 5개의 볼륨신호는 분석에서 제외하였다. 해부학적 뇌 영상은 T1 강조영상 (matrix 256\*192, Slice thickness 4mm)을 수집하였다.

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 합성해 주었다. 각 개인의 뇌 형태적 차이를 교정하기 위하여 표준화된 뇌 공간에 template image (Montreal Neurologic Institute)를 사용하여 normalization 하였다 [22]. 활성화된 뇌 영역은 normalization 된 개인의 영상 자료를 그룹으로 분석하여 활성화의 평균치를 구하고 T score에 따라 색채 부호화 (color coding)하여 개인별 및 그룹별로 뇌지도를 얻었다. 감산법 (substraction)을 사용하여 인지 과제 수행에 따른 신경망의 활성화를 밝히고, 이중 감산법을 사용하여 산소 농도에 따라 인지 과제를 풀 때 특징적으로 활성화가 일어나는 뇌 영역을 추출하였다.

**결 과**

21%와 30% 산소 농도에서 각각 공간 지각 과제를 수행한 후 모든 실험 참여자의 정답률을 계산하였다. 21%에 비해 30% 산소 농도에서 8명의 실험 참여자 중 7명의 실험 참여자가 정답률이 높게 나왔고, 1명은 동일하게 나왔다. 평균 정답률은 21%와 30% 산소 농도에서 각각  $50.63 \pm 8.63$ 과  $62.50 \pm 9.64$  이었고 그림 2와 같이 정답률에서 두 농도간의 통계적 유의차가 발생하였다 ( $p < .05$ ).

그림 3에서와 같이 산소 농도 21%와 30%에서 각각 공간 지각 과제를 수행하였을 때 활성화되는 뇌 영역은 동일하였다. 소뇌 (cerebellum) 영역, 양측 후두엽 (occipital lobe) 영역, 양측 상두정엽 (bilateral superior parietal lobes), 양측 하두정엽 (bilateral inferior parietal lobes), 양측 뺨기앞소엽 (bilateral precuneus), 양측 중심후이랑 (bilateral postcentral gyri) 등을 포함하는 두정엽 (parietal lobe) 영역, 그리고 양측

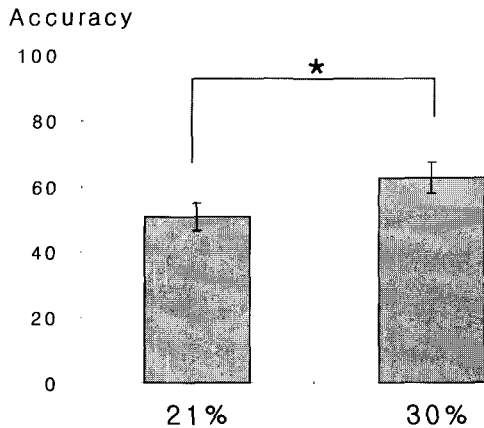


그림 2. 평균 정답률 (n=8, \* p<.05)  
 Fig. 2. Result of average accuracy of all subjects (n=8, \* p<.05)

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 동일하게 활성화되었다 (corrected p<.05).

그러나 산소 농도 21%에 비해 30% 농도 일 때 활성화 된 모든 대뇌피질 영역에서 활성화 양 (면적)이 증가하였다. 그림 3 (b)에서와 같이 활성화 양이 증가 된 영역을 화살표로 표시하였다. 그림 3 (b)에서 1번 화살표는 소뇌, 후두엽, 두정엽 영역이고, 2번 화살표는 전두엽 영역을 나타낸다. 증가된 활성화 양을 정량적으로 계산하기 위해, 위의 두 영역에 대하여 각 피검자의 활성화 voxel 수를 계산하여 표 2에 나타내었다 (corrected p<.05). 이때 각 영역별로 구분하여 voxel 수를 계산하여야 하나 1번 화살표 영역과 같이 소뇌, 후두엽, 두정엽 영역들이 모두 집단(cluster)을 형성하고 있기 때문에 함께

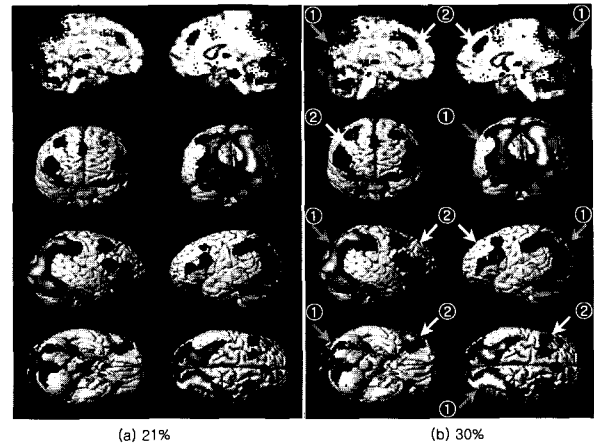


그림 3. 산소 농도 21%와 30%에서 각각 공간 지각 과제를 수행하였을 때 활성화되는 뇌 영역 (n=8, corrected p<.05)  
 Fig. 3. Activation areas while performing visuospatial task following 21% and 30% oxygen administration respectively (n=8, corrected p<.05)

voxel 수를 계산하였다. 그림 4에서와 같이 1번 화살표 (소뇌, 후두엽, 두정엽)영역과, 2번 화살표 (전두엽)에서 모두 산소 농도 21%에 비해 30% 농도 일 때 활성화 양이 유의미하게 증가하였다 (\*p<.05, \*\*p<.01). 특히 전두엽 영역의 활성화 양이 컸다.

논 의

공간지각과 관련된 뇌 신경망 및 뇌 기능에 관한 연구들은 공간지각과제 유형, 난이도, 성별, 개인 능력에 따라 다양하고 다소 불일치한 연구 결과들을 보고해 왔다.

Fink 등은 정상성인들이 수직선이나 수평선의 이등분 판단 (line bisection judgement)과제와 같은 공간지각과제를 수행하는 동안 fMRI 기법을 이용하여 뇌 활성화를 측정하였다 [23]. 우측 두정 후두엽과 양측 상 후측 두정피질은 수평선에

표 2. 활성화 된 각 영역의 피검자들의 활성화 voxel 수 (corrected p<.05)  
 Table 2. Number of voxel at each activated areas (corrected p<.05)

Subjects	21%		30%	
	· Occipital lobe · parietal lobe · cerebellum	Frontal lobe	· Occipital lobe · parietal lobe · cerebellum	Frontal lobe
#1	14051	2187	15702	3738
#2	15183	3486	18367	5119
#3	16079	3212	12867	3238
#4	20328	838	22790	2320
#5	14759	829	17269	1491
#6	15203	2280	21196	3194
#7	14404	1767	17350	4039
#8	15590	1595	16856	2072
Mean±S.D	15700±989	2042±490	17800±1545	3151±586

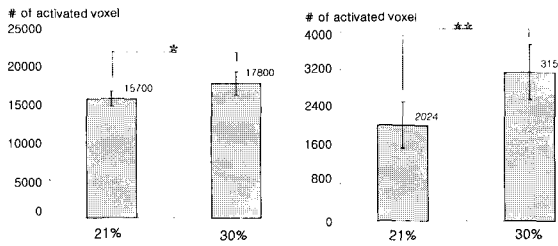


그림 4. 각 영역의 활성화 평균 voxel 수와 통계적 유의도 (n=8, \* p(<.05), \*\* p(<.01))

Fig. 4. Number of voxel at each activated areas and statistical significance (n=8, \* p(<.05), \*\* p(<.01))

비해 수직선 이등분 판단과제를 수행하는 동안 더 많이 활성화되었다. 뇌 손상 환자들을 대상으로 한 fMRI 연구에서도 이와 유사한 결과를 보고하였다 [24]. 양측 두정엽이 손상된 후 환자들은 선 방향 판단 (judgement of line orientation) 과제를 잘 수행하지 못하였다.

공간지각과제의 난이도에 따른 뇌 활성화 연구도 Carpenter 등에 의해서 수행되었다 [25]. 심상회전 과제의 난이도는 각도의 증가로 조작되었으며, 난이도가 증가할수록 양측 두정내구 (intraparietal sulcus) 영역의 활성화가 증가하였다. 또한 격자 스캐닝 (grid-scanning) 과 같이 체계적 눈 움직임을 요구하는 과제의 경우, 두정엽과 하측 측두엽에서는 상대적으로 적은 활성화를 보이지만 중심전회 (precentral gyrus)와 후측 중간 전두엽 (posterior middle frontal region)에서 활성화되었다. 이 연구 결과는 과제 유형뿐만 아니라 과제에 요구되는 노력의 양에 따라서도 시공간 정보처리에 관련된 뇌 영역이 달라질 수 있다는 것을 제안한다.

성별과 과제난이도에 따라 공간지각과 관련된 뇌 활성화 영역이 다르다는 연구결과도 보고 되었다 [26]. 공간과제가 어려울수록 활성화되는 뇌 부위는 보다 편측화되고 제한되는 양상을 보여주었다. 공간지각에 의한 뇌 활성화는 우반구에서 우세하게 나타났지만, 성별에 따라 차이가 있었다. 여성의 경우, 공간지각과제를 푸는 동안 우반구가 더 많이 활성화되었지만, 남성의 경우에는 양측반구가 모두 활성화되었다.

Vitouch 등은 우수한 공간지각능력을 가진 사람들일수록 공간지각을 위해 적은 대뇌 피질을 사용한다는 연구결과를 발표하였다 [27]. Sohn 등은 우측 두정엽 영역이 공간지각과제 수행시 활성화되는 것을 확인하였고, 특히 공간지각 능력이 우수한 집단이 그렇지 못한 집단보다 우측 상두정엽과 전측 대상회에서의 활성화 양이 증가하였다고 Vitouch와는 상반되는 연구결과를 보고하였다 [28]. 이러한 결과는 공간지각 능력이 우수한 사람들은 과제를 해결하는데 있어, 보다 넓은 뇌 피질영역을 사용하고, 과제에 대하여 더 많은 주의와 인지적 노력을 기울이기 때문이라고 논의하였다.

선행 연구들과 유사하게 본 연구의 결과에서도 공간지각 과제 수행 시 공통적으로 활성화된 대뇌 영역은 양측 후두엽 영역, 양측 상두정엽, 양측 하두정엽, 양측 뺨기앞소엽, 양측 중심후이랑 등을 포함하는 두정엽 영역, 그리고 양측 중간전두이

랑, 양측 하전두이랑, 양측 내측전두이랑, 양측 상전두이랑, 양측 대상회 등을 포함하는 전두엽 (frontal lobe) 부분이다. 특히 본 연구에서는 남자성인들을 대상으로 연구가 수행되었고, 그 결과 선행 연구와 마찬가지로 양측반구가 모두 활성화 되었다 [26].

그러나 본 연구의 주된 관심이었던 두 가지 산소 농도에 따른 뇌 활성화 양은 다르게 나타났다. 위에서 언급한 각 활성화 영역에서 산소 농도 21%에 비해 30% 농도 일 때 활성화 양이 증가하였다. 특히 고차 인지 기능을 담당하는 양측 전두엽 영역의 활성화 증가량이 컸다. 또한 공간지각과제 수행 결과에서도 30% 농도의 산소 공급일 때 평균 정답률이 유의미하게 증가하였다. 이러한 결과로부터 고농도 (30%)의 산소공급이 공간지각과제를 수행하는 동안 과제수행에 필요한 산소 공급을 충분하게 하여 과제수행에 필요한 신경망을 보다 활성화시키게 되고, 그 결과로 과제 수행 능력도 증가한다는 결론을 이끌어 낼 수 있다. 즉, 개인의 인지능력은 고정되어 있으나, 충분한 산소 공급이 더 많은 주의와 인지적 노력을 기울이게 하는데 도움이 된다는 결론을 이끌어 낼 수 있다.

Moss 등과 Scholey 등은 외부에서의 산소 공급이 인지 능력 중 단어 기억력 증가에 긍정적인 영향을 미친다고 보고하였다 [13, 14]. 본 연구에서도 외부에서의 고농도의 산소 공급이 인지 능력 중 공간 지각 능력 증가에 긍정적인 영향을 미친다는 유사한 결론을 도출하였다. 특히 본 연구에서는 공간지각수행 결과의 비교뿐만 아니라, 직접적인 인지 처리가 이루어지는 뇌의 상태를 관찰하여 결론을 도출하였다.

### 참 고 문 헌

1. T. Fujiwara and M. Maeda, "Effects of oxygen and refresh space for the elderly", J. Human Life Engineering, Vol. 2, No. 3, pp. 8-11, 2001
2. B. Horwitz, A.R. McIntosh, J.V. Haxby and C.L. Grady, "Network analysis of brain cognitive function using metabolic and blood-flow data", Behav. Brain Res, Vol. 66, pp. 187-193, 1995
3. M.E. Phelps, D.E. Khul and J.C. Mazzioti, "Metabolic mapping of the brain's response to visual stimulation: Studies in humans", Science Vol. 211, pp. 1445-1448, 1981
4. M. Reivich and A. Alavi, "Positron emission tomographic studies of local cerebral glucose metabolism in humans in physiological and pathological conditions", Add. Metabol. Dis, Vol. 10, pp. 135-176, 1983
5. J.S. Crowley, N.W. Wesenten, G. Kamimori, M.E. Devine, E. Iwanyk and T. Balkin, "Effects of high terrestrial altitude and supplemental oxygen on human performance and mood", Aviat. Space Environ. Med, Vol. 63, pp. 696-701, 1992

6. G.E. Gibson, W. Pulsinelli, J.P. Blass and T.E. Duffy, "Brain dysfunction in mild to moderate hypoxia", *Am. J. Med.*, Vol. 70, pp. 1247-1254, 1981
7. P.E. Gold, K.M. Macleod, I.J. Deary and B.M. Frier, "Hypoglycaemic-induced cognitive dysfunction in diabetes mellitus: Effect of hypoglycaemic unawareness", *Physiol. Behav.*, Vol. 58, pp. 501-511, 1985
8. J. Noble, J.G. Jones and E.J. Davis, "Cognitive function during moderate hypoxaemia", *Anaesth. Intens. Care*, Vol. 21, pp. 180-184, 1993
9. L.A. Taylor and S.J. Rachman, "The effects of blood sugar level changes on cognitive function, affective state and somatic symptoms", *J. Behav. Med.*, Vol. 11, pp. 279-291, 1988
10. B. Widom and D.C. Simonson, "Glycaemic control and neuropsychologic function during hypoglycaemia in patients with insulin dependent diabetes mellitus", *Ann. Intern. Med.*, Vol. 112, pp. 904-912, 1990
11. F. Eustache, P. Rioux, B. Desgranges, G. Marchal, M.C. Petittaboue, M. Dary, B. Lechevalier and J.C. Baron, "Healthy aging, memory subsystems and regional cerebral oxygen consumption", *Neuropsychologia*, Vol. 33, pp. 867-887, 1995
12. J.R. Turner and D. Carrol, "Heart rate and oxygen consumption during mental arithmetic, a video game, and graded exercise: Further evidence of metabolically-exaggerated cardiac adjustments", *Psychophysiology*, Vol. 22, pp. 261-267, 1985
13. M.C. Moss and A.B. Scholey, "Oxygen administration enhances memory formation in healthy young adults", *Psychopharmacology (Berlin)*, Vol. 124, pp. 255-260, 1996
14. A.B. Scholey, M.C. Moss, N. Neave and K. Wesnes, "Cognitive performance, hyperoxia, and heart rate following oxygen administration in healthy young adults", *Physiology & Behavior*, Vol. 67, No. 5, pp. 783-789, 1999
15. S. Ogawa, D.W. Tank, R. Menon, J.M. Ellermann, S.G. Kim, H. Merkle and K. Ugurbil, "Intrinsic signal changes accompanying sensory stimulation: Functional brain mapping with magnetic resonance imaging", *Proc. Natl. Acad. Sci., USA*, Vol. 89, pp. 5951-5955, 1992
16. K.K. Kwong, J.W. Belliveau, D.A. Chesler, I.E. Goldberg, R.M. Weisskoff, B.P. Poncelet, D.N. Kennedy, B.E. Hoppel, M.S. Cohen, R. Turner, H.M. Cheng, T.J. Brady and B.R. Rosen, "Dynamic magnetic resonance imaging of human brain activity during primary sensory stimulation", *Proc. Natl. Acad. Sci., USA*, Vol. 89, pp. 5675-5679, 1992
17. F. Jessen, M. Erb, U. Klose, M. Lotze, W. Grodd and R. Heun, "Activation of human language processing brain regions after the presentation of random letter strings demonstrated with event-related functional magnetic resonance imaging", *Neuroscience Letters*, Vol. 270, pp. 13-16, 1999
18. M. D'Esposito, E. Zarahn and G.E. Aguirre, "Event-related functional MRI: Implications for cognitive psychology", *Psychological Bulletin*, Vol. 125, No. 1, pp. 155-164, 1999
19. S.R. Lee, Intelligence test 151-Ga Type (High school students~adults), Jungangjucksung Chulpansa, Seoul, Korea, 1982
20. S.R. Lee and K.R. Kim, Aptitude test 251-Ga (High school students~adults), Jungangjucksung Chulpansa, Seoul, Korea, 1985
21. S.B. Park, GATB (General Aptitude Test Battery): academic, job aptitude test type II (for students of middle schools, high schools and universities, and general public), Jungangjucksung Chulpansa, Seoul, Korea, 1985
22. J. Talairach and P. Tournoux, Co-Planar Stereotaxic Atlas of the Human Brain, Georg Thieme Verlag, Stuttgart, New York, 1988
23. G.R. Fink, J.C. Marshall, P.H. Weiss and K. Zilles, "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
24. V.W. Ng, P.J. Eslinger, S.C. Williams, M.J. Brammer, E.T. Bullmore, C.M. Andrew, J. Suckling, R.G. Morris and A.L. Benton, "Hemispheric preference in visuospatial processing: a complementary approach with fMRI and lesion studies", *Human Brain Mapping*, Vol. 10, No. 2, pp. 80-86, 2000
25. P.A. Carpenter, M.A. Just, T.A. Keller, W. Eddy and K. Thulborn, "Graded functional activation in the visuospatial system with the amount of task demand", *Journal of Cognitive Neuroscience*, Vol. 11, No. 1, pp. 9-24, 1999
26. R.C. Gur, D. Alsop, D. Glahn, R. Petty, C.L. Swanson, J.A. Maldjian, B. I. Turetsky, J.A. Detre, J. Gee and R.E. Gur, "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
27. O. Vitouch, H. Bauer, G. Gittler, M. Leodolter and U. Leodolter, "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

28. J.H. Sohn, Y.H. Kim, K.H. Lee and S.H. Park,

*"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