

공간 과제 수행 시 고농도 산소 공급에 의한 변연계 활성화에 관한 연구*

Activation of Limbic Area due to Oxygen Administration during Visuospatial Task

최미현** · 이수정** · 양재웅** · 김지혜** · 최진승** · 탁계래** · 정순철** · 김현준***†

Mi-Hyun Choi** · Su-Jeong Lee** · Jae-Woong Yang** · Ji-Hye Kim** · Jin-Seung Choi**

Gye-Rae Tack** · Soon-Cheol Chung** · Hyun-Jun Kim***†

건국대학교 의료생명대학 의학공학부, 의공학 실용기술 연구소**

Department of Biomedical Engineering, Research Institute of Biomedical Engineering,
College of Biomedical & Health Science, Konkuk University, Chungju, South Korea**

건국대학교 의학전문대학원 산부인과***

Department of Obstetrics & Gynecology, Konkuk University, Chungju, South Korea***

Abstract

The purpose of this study is to observe activation of limbic system during performing visuospatial tasks by 21% and 30% oxygen administration. Eight right handed male college students were selected as the subjects for this study. A visuospatial task was presented while brain images were scanned by a 3T fMRI system. The experiment consisted of two runs: one was a visuospatial task under normal air(21% oxygen) condition and the other under hyperoxic air(30% oxygen) condition. The neural activations were observed at the limbic system which is seperated 8 regions such as cingulate gyrus, thalamus, limbic lobe, hypothalamus, hippocampus, parahippocampa gyrus, amygdala, and mammiilary body. By two oxygen levels, activation areas of limbic system are almost identical. Increased neural activations were observed in the cingulate gyrus and thalamus with 30% oxygen administration compared to 21% oxygen. During 30% oxygen administration, improvement of visuospatial task performance has a relation to increase of neural activation of subcortical structures such as thalamus and cingulate gyrus as well as cerebral cortex.

Keywords : oxygen administration, visuospatial task, limbic system, fMRI

요약

본 연구에서는 공간 과제 수행 시 21%의 산소 농도와 30%의 고농도 산소 공급이 변연계의 활성화에 어떠한 변화를 유발하는지 관찰하였다. 총 8명의 오른손잡이 남자 대학생을 본 연구의 실험 참여자로 선정하였다. 공간 과제를 수행하는 동안 3T MRI 를 이용하여 뇌기능 영상을 획득하였다. 실험은 21%의 일반 공기 중의 산소 농도와 30%의 고농도 산소를 각각 공급하면서 공간 인지 과제를 수행하는 두 개의 회기로 구성된다. 변연계를 대상이랑(cingulate gyrus), 시상(thalamus), 변연엽(limbic lobe), 시상하부(hypothalamus), 해마(hippocampus),

* 이 논문은 건국대학교 학술진흥연구비 지원에 의한 논문임.

† 교신저자 : 김현준 (건국대학교 의학전문대학원 산부인과)

E-mail : icarus@kku.ac.kr

TEL : 043-840-8310

FAX : 043-840-6655

해마방회(parahippocampa gyrus), 편도(amygdala), 유두체(mammillary body)의 8 개의 영역으로 분리하여 뇌 활성화 영역을 비교하였다. 공간 과제 수행 시 두 가지 산소 농도에 따른 변연계의 활성화 영역은 거의 동일하였다. 그러나 21%의 산소 농도에 비해 30%의 고농도 산소 공급 시 대상이랑(cingulate gyrus)과 시상(thalamus) 영역에서 활성화가 증가하였다. 즉, 30%의 고농도 산소 공급 시 공간 인지 수행 능력의 증가는 공간 인지 처리와 관련이 있는 대뇌 피질 뿐만 아니라 시상(thalamus)과 대상이랑(cingulate gyrus) 같은 피질하 영역에서의 신경 활성화의 증가와도 관련이 있는 것으로 판단된다.

주제어 : 고농도 산소, 공간과제, 변연계, 뇌기능 영상

1. 서론

산소는 인간의 생존에 필수적인 물질로서 신체 및 정신 활동에 필요한 에너지를 공급하는 역할을 한다. 대기 중의 산소 농도는 용적비로 약 21% 이고, 이러한 환경에서 인간의 혈중 산소 농도는 95% 이상으로 유지된다. 산소는 인체에서 대사 작용이 가장 활발한 기관인 뇌 활동에 중요한 물질로서, 중추신경계는 산소 부족에 가장 민감한 조직이며, 동맥혈 산소 분압의 저하는 주의력, 기억력, 의사결정 능력 등의 뇌기능에 변화를 초래하기도 한다.1)2)

최근 뇌기능 영상 기법(functional Magnetic Resonance Imaging: fMRI)을 이용하여 공간, 언어, 기억 등의 다양한 고차 인지 처리에 관한 연구가 수행되고 있다.3) 이러한 다양한 인지 기능에 관한 연구는 정상인 뿐만 아니라 치매, 주의력 결핍 과잉행동장애(Attention Deficit Hyperactivity Disorder: ADHD), 알츠하이머(Alzheimer) 등과 같이 인지장애 질병을 가진 환자를 대상으로도 수행되기도 하였고, 정상인의 인지 기능과 비교 분석하는 연구가 수행되기도 하였다.4)5)

공간 과제 수행 시 활성화되는 영역은 배위 후두부(dorsal occipital), 두정엽(parietal lobe), 섬엽(insula), 하전두이랑(inferior frontal gyrus), 시상(thalamus), 미상핵(caudate nucleus), 두정후두영역(parieto-occipital regions), 전두 영역(frontal areas)을 포함한 대뇌 피질 신경망(cortical network)으로 잘 알려져 있으며, 공간과제의 난이도에 따라 뇌 활성화 영역이나 정답률, 반응시간 등에 변화가 생긴다.6)

21% 농도의 산소를 공급할 때 보다 30%의 고농도 산소 공급 시 공간 인지 기능을 담당하는 두정엽(parietal lobe)과 소뇌(cerebellum), 후두엽(occipital lobe), 전두엽(frontal lobe) 영역의 신경 활성화 면적이 증가하였고, 공간 과제의 평균 정답률도 유의미하게 증가하였다. 이러한 결과로부터 고농도 산소공급이 공간 과제를 수행하는 동안 과제수행에 필요한 산소 공급을 충분하게 하여 과제수행에 필요한 신경망을 보다 활성화시키며, 과제 수행 능력도 증가시킨다고 할 수 있다.7)8)9)10)11)

Wahlund, L.O. (2007). Reduced neuronal efficacy in progressive mild cognitive impairment: A prospective fMRI study on visuospatial processing. *Psychiatry Research: Neuroimaging*, 156, 43-57.

- 1) Fujiwara, T., & Maeda, M. (2001). Effects of oxygen and refresh space for the elderly. *Journal of Human Life Engineering*, 2(3), 8-11.
- 2) Horwitz, B., McIntosh, A.R., Haxby, J.V., & Grady, C.L. (1995). Network analysis of brain cognitive function using metabolic and blood-flow data, *Behavioral Brain Research*, 66, 187-193.
- 3) Kim, Y.H. (2001). Usefulness of functional MRI for the study of brain function. *Korean Journal of Brain Science and Technology*, 1(1), 65-76.
- 4) Vannini, P., Lehmann, C., Dierks, T., Jann, K., Viitanen, M., Wahlund, L.O., & Almkvist, O. (2008). Failure to modulate neural response to increased task demand in mild Alzheimer's disease: fMRI study of visuospatial processing. *Neurobiology of Disease*, 31, 287-297.
- 5) Vannini, P., Almkvist, O., Dierks, T., Lehmann, C., &

- 6) 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. (2000). An fMRI study of sex differences in regional activation to a verbal and a spatial task, *Brain and Language*, 74, 157-170.
- 7) Moss, M.C., & Scholey, A.B. (1996). Oxygen administration enhances memory formation in healthy young adults. *Psychopharmacology*, 124, 255-260.
- 8) Scholey, A.B., Moss, M.C., Neave, N., & Wesnes, K. (1999). Cognitive performance, hyperoxia, and heart rate following oxygen administration in healthy young adults. *Physiology & Behavior*, 67, 783-789.
- 9) Chung, S.C., Kim, I.H., Lee, B.S., Lee, J.M., Sohn, J.H., & Kim, S.C. (2003). A study on visuospatial cognitive performance following oxygen administration using fMRI. *Journal*

변연계(limbic system)는 변연엽(limbic lobe)과 이와 관련된 피질하 구조물(subcortical structures)을 포함하고, 기능적으로 기억, 특히 최근 기억(recent memory)과 관련 있으며, 이외에도 학습, 인지 등과 관련되는 것으로 알려져 왔다.¹²⁾

인간의 행동과 인지 기능은 고차원적인 정보처리를 가능케 하는 상호 긴밀히 연관된 신경망에 의해 조절되며, 각 신경망을 이루는 피질 및 피질하 구조물들이 다양한 정보들을 동시에 처리함으로써 그 기능을 수행하게 된다.¹³⁾ 최근에 공간, 주의력 과제 등의 인지 수행에 따른 대뇌 피질 영역(cortical areas)의 활성화에 대한 연구뿐만 아니라 피질하 영역(subcortical areas)에 관한 연구도 활발히 수행되고 있다.¹⁴⁾ 그러나 고농도 산소가 인지 기능에 어떠한 영향을 미치는지를 규명하기 위해서 수행된 선행 연구들은 주로 대뇌 피질에서의 신경 활성화 변화만을 관찰하였다.⁹⁾¹⁰⁾

그러므로 본 연구에서는 고농도(30%)의 산소 공급이 공간 과제 수행 시 대뇌 피질뿐만 아니라 변연계의 활성화에 어떠한 변화를 유발하는지 뇌기능 영상 기법(fMRI)을 이용하여 규명하고자 한다.

2. 실험 방법

2.1. 피험자 선출

뇌 손상의 경험이 없고, 인지 처리가 정상이며 Edinburgh의 개정판을 사용해 오른손잡이로 판명된 총 8명의 오른손잡이 남자 대학생(23.5±3.2세)을 실험 참여자로 선정하였다.

2.2. 공간 과제 선출

산소 공급은 21%와 30% 농도의 산소를 각각 8L/min의 양으로 일정하게 공급할 수 있는 산소 공급 장치(Oxy Cure Co.)를 사용하였다.

지능 진단 검사, 적성 진단 검사, 일반 적성 검사(General Aptitude Test Battery, GATB)로부터 공간 인지 능력을 측정할 수 있는 20문항의 소 검사들을 2세트(A, B 양식) 선정하였다.¹⁵⁾¹⁶⁾¹⁷⁾ 2세트의 문제지는 난이도가 동일하도록 소검사 문항들을 조절하였다. 선정된 문제는 주어진 도형의 모양과 똑같은 것을 네 개의 보기 중에 찾는 유형과, 주어진 도형의 전개도를 찾는 유형으로 구성되어 있다.

2.3. 실험 설계

실험은 그림 1과 같이 네 개의 블록으로 구성되었으며, 각 블록은 통제 과제(1분)와 공간 인지 과제(1분)를 포함하도록 하였다. 한 실험 당 소요시간은 블록당 2분 씩, 총 8분이었다. 뇌기능 영상 실험을 위한 자극 제시 S/W인 SuperLab 1.07(Cedrus Co. USA)을 사용하여 통제 과제와 공간 과제를 제작하였고, 컴퓨터와 빔 프로젝터를 이용하여 MRI 내부의 피검자에게 거울을 통하여 제시하였다.

피검자는 제시된 문제에 대해 반응 버튼을 누르도록 하여 해답을 결정하도록 하였다. 통제 과제에서는

of the Korea Society of Medical and Biological Engineering, 24(4), 267-273.

10) Chung, S.C., Sohn, J.H., Lee, B., Tack, G.R., Yi, J.H., You, J.H., Jun, J.H., & Sparacio, R. (2006). The effect of transient increase in oxygen level on brain activation and verbal performance. *International Journal of Psychophysiology*, 62, 103-108.

11) Chung, S.C., Lee, B., Tack, G.R., Yi, J.H., Lee, H.W., Kwon, J.H., Choi, M.H., Eom, J.S., & Sohn, J.H. (2008). Physiological mechanism underlying the improvement in visuospatial performance due to 30% oxygen inhalation. *Applied Ergonomics*, 39, 166-170.

12) Choi, C.G. (2004). Radiological Anatomy of The Limbic System. *Dementia and Neurocognitive Disorders*, 3, 73-76.

13) Mesulam, M.M. (1990). Large-scale neurocognitive networks and distributed processing for attention, language, and memory. *Ann Neurology*, 28, 597-613.

14) Kim, Y.H., Gitelman, D.R., Nobre, A.C., Parrish, T.B., Labar, K.S., & Mesulam, M.M. (1999). The Large-Scale Neural Network for Spatial Attention Displays Multifunctional Overlap But Differential Asymmetry. *NeuroImage*, 9, 269-277.

15) Lee, S.R. (1982). Intelligence test 151-Ga Type (High school students ~ adults), Jungangjucksung Chulpansa, Seoul, Korea.

16) Lee, S.R., & Kim, K.R. (1984). Aptitude test 251-Ga (High school students ~ adults), Jungangjucksung Chulpansa, Seoul, Korea.

17) Park, S.B. (1985). 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.

1, 2, 3, 4의 4개 숫자 중 화면에 제시되는 번호에 해당하는 버튼을 누르게 하여 본 실험에 집중하게 하였다(블록당 8회 시행). 공간 인지 과제에서는 문제들을 제시하고 각 문제의 정답에 해당하는 버튼을 눌러 반응하게 하였다(블록당 5회 시행).

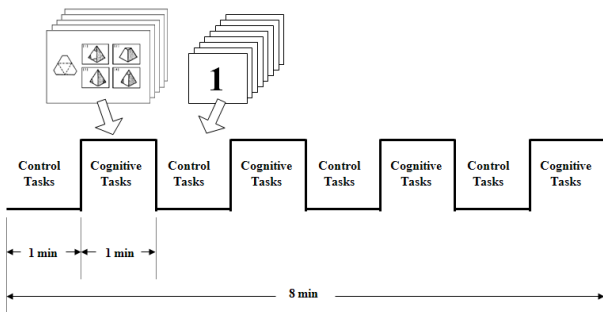


그림 1. 실험 구성도

실험에 참여하기 전 피험자들은 실험에 대한 전반적인 설명을 듣고 문제 유형을 익히기 위해 연습문제를 풀어보도록 하였다. 산소 농도 21%일 때 A 양식의 문제를 풀었던 피험자들은 산소 농도 30%일 때 B 양식을 풀도록 하였고, 산소 농도 21%일 때 B 양식의 문제를 풀었던 피험자들은 산소 농도 30%일 때 A 양식의 문제를 풀도록 하였다.

산소 공급의 순서는 랜덤하게 진행하였다. 첫 번째 농도(21% 또는 30%)의 산소를 공급하면서 실험을 수행하고 난 후, 일주일 뒤 동일 피험자를 대상으로 두 번째 농도의 산소를 공급하면서 실험을 수행하였다.

2.4. 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 블록당 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 영상을 획득하였다.

2.5. 뇌기능 영상 분석

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 개인별 뇌의 형태적 차이를 교정하기 위하여 표준화된 뇌 공간에 template image(Montreal Neurologic Institute)를 사용하여 normalization 하였다.¹⁸⁾ 활성화된 뇌 영역은 normalization 된 개인의 영상자료를 그룹으로 분석하여 활성화의 평균치를 구하고 T-Score에 따라 색채 부호화(color coding)하여 개인별 및 그룹별로 뇌 지도를 얻었다.

2.6. 뇌 활성화 영역 분석

전체 활성화 영역 중 변연계 부분만의 활성화를 관찰하기 위해 SPM99의 Toolbox 중 하나인 WFU_PickAtlas(Wake Forest University School of Medicine, Radiology Department)를 사용하였다. ROI 분석법을 사용하였고, 산소농도에 따라 활성화 voxel 수에 차이가 있는지 규명하고자 하였다.

또한 이중 감산법(30%의 산소 농도일 때 활성화된 뇌 영역 - 21%의 산소 농도 일 때 활성화된 뇌 영역)을 사용하여 산소 농도에 따라 공간 과제 수행 시 특징적으로 활성화에 차이가 나타나는 뇌 영역을 관찰하였다.

3. 결과

21%와 30%의 산소 공급에 따른 공간 과제 수행 결과 30%의 고농도 산소 공급 시 공간 과제 수행 능력이 유의하게 증가하였다($t=3.252, df=7, p=0.014$).

산소 농도 21%와 30%에서 활성화 되는 변연계 영역은 양측 시상(bilateral thalamus), 양측 대상이랑(bilateral cingulate gyrus), 양측 변연엽(bilateral limbic lob), 양측 해마방회(bilateral parahippocampal)로 동일하였다(그림 2 (a)(b))(uncorrected $p<0.05$). Table 1은 21%와 30% 산소 공급 시 변연계 영역에서의 활성화 voxel 수를 나타낸다.

18) Talairach, J., & Tournoux, P. (1988). Co-planar stereotaxic atlas of the human brain. Georg Thieme Verlag, Stuttgart, New York.

Table 1. 공간 과제 수행 시 산소 농도의 따른 활성화 영역의 MNI coordinates, T-score, # of Voxel

Limbic system Region	21%					
	side	x	y	z	T-score	# of Voxel
cingulate gyrus	L	-20	6	52	12.56	76
cingulate gyrus	R	4	28	36	11.76	158
thalamus	L	-8	-18	8	11.9	421
thalamus	R	4	-16	10	9.17	308
parahippocampal	L	-30	-56	-10	13.95	233
parahippocampal	R	32	-46	-14	14.43	268
limbic lobe	L	-30	-58	-10	14.52	410
limbic lobe	R	28	-74	10	16.86	630

Limbic system Region	30%					
	side	x	y	z	T-score	# of Voxel
cingulate gyrus	L	-20	6	52	15.43	130
cingulate gyrus	R	2	22	46	13.57	197
thalamus	L	-10	-18	8	11.45	606
thalamus	R	8	-20	8	9.8	547
parahippocampal	L	-30	-56	-10	13.66	216
parahippocampal	R	32	-46	-14	12.14	225
limbic lobe	L	-20	6	52	15.43	457
limbic lobe	R	28	-74	10	16.59	560

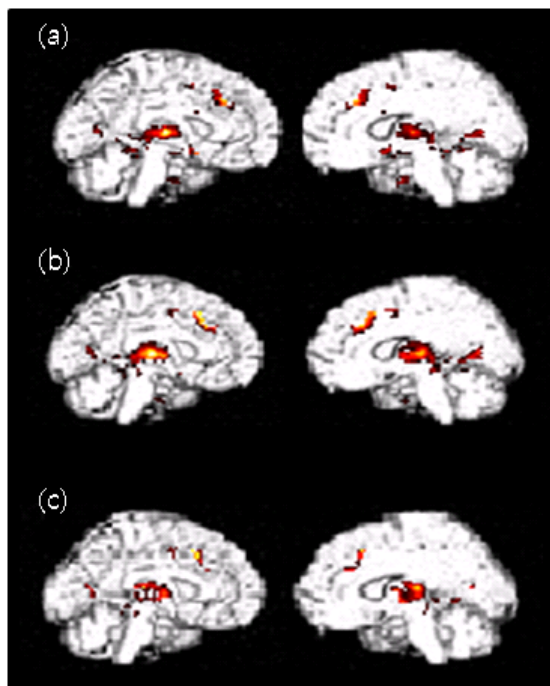


그림 2. 공간 과제 수행 시 산소 농도에 따른 활성화 영역 (uncorrected $p < 0.05$) : (a) 21% (b) 30% (c) 30%-21%

이중 감산법을 이용하여 분석한 결과 21%에 비해 30% 농도의 산소일 때 양측 시상(bilateral thalamus)과 양측 대상이랑(bilateral cingulate gyrus)에서 뇌 활성화의 증가가 나타났다(그림 2(c)). Table 2는 21%에 비해 30%의 고농도 산소 공급 시 활성화가 증가된 영역과 증가된 활성화 voxel 수를 나타낸다. 고농도 산소 공급으로 시상(thalamus)과 대상이랑(cingulate gyrus) 영역에서 활성화가 증가하였다는 것을 확인할 수 있었다.

Table 2. 30~21%일 때 활성화 영역의 MNI coordinates, T-score, # of Voxel

Limbic System Region	30~21%					
	side	x	y	z	T-score	#of Voxel
cingulate gyrus	L	-2	18	46	9.82	53
cingulate gyrus	R	2	18	46	8.14	42
thalamus	L	-20	-26	10	4.92	221
thalamus	R	12	-20	8	7.76	275

4. 토의

본 연구에서는 fMRI를 이용하여 공간 과제 수행 시 21%의 일반 공기 중의 산소 농도와 30%의 고농도의 산소 공급이 변연계의 활성화에 어떠한 변화를 유발하는지 관찰하고자 하였다. ROI 분석법을 이용하여 변연계를 대상이랑(cingulate gyrus), 시상(thalamus), 변연엽(limbic lobe), 시상하부(hypothalamus), 해마(hippocampus), 해마방회(parahippocampa gyrus), 편도(amygdala), 유두체(mammillary body)의 8개의 영역으로 분리하여 관찰하였다. 산소 농도에 관계없이 4개의 영역(양측 시상, 양측 대상이랑, 양측 변연엽, 양측 해마방회)에서 활성화가 관찰되었으며, 이 중 30%의 고농도 산소 공급으로 활성화가 증가된 영역은 대상이랑(cingulate gyrus)과 시상(thalamus)이었다.

Gitelman(1996)은 공간 지각 주의력 과제 수행 시 후두정엽(posterior parietal), 전운동피(premotor cortex), 전대상회피질(anterioringulate cortex)가 활성화 된다고 보고하였고,¹⁹⁾ Corbetta(1993)은 전측대상회(anterior

19) Gitelman, D.R., Alpert, N.M., Kosslyn, S., Daffner, K., Scinto, L., Thompson, W., & Mesulam, M.M. (1996). Functional imaging of human right hemispheric activation for exploratory movements. *Ann Neurology*, 39, 174-9.

cingulate gyrus) 영역과 상두정피질(superior parietal cortex), 상전두피질(superior frontal cortex) 영역이 활성화 된다고 보고하였다.²⁰⁾ Kim(1998)은 spatial priming task를 통해 과제 수행 시 활성화되는 뇌 영역은 섬엽(insula), 대상(cingulate), 배외측 전전두 피질(dorsolateral prefrontal cortex), 시상(thalamus), 피각(putamen)이라고 보고하였다.¹³⁾

공간 지각 능력이 뛰어난 사람들의 경우 양측 대상회(bilateral cingulate gyrus)의 활성화가 증가되었으며, 전측 대상피질(anterior cingulate gyrus)이 공간위치의 학습이나 장기기억에 중요하게 관련되어 있다고 보고된 바 있다.²¹⁾ 정신분열증, 치매를 가진 인지 장애자와 정상인의 공간 과제 수행 능력과 과제 수행 시 뇌 활성화 영역을 비교해 보았을 때 인지 장애자보다 정상인의 공간 과제 수행 능력이 뛰어났다. 정상인과 인지 장애자의 공간 과제 수행 시 BOLD signal change 변화를 관찰 했을 때 전두엽(frontal lobe), 후두엽(occipital lobe), 후두 측두이랑(occipitotemporal cortex), 기저핵(basal ganglia), 시상(thalamus) 영역에서 정상인이 더 높은 BOLD signal change를 보였다.²²⁾

전측 대상회(anterior cingulate gyrus)의 배측 부분은 인지 처리 영역(dorsal cognitive division: ACcd)이며, 문측-복측 부분은 정서처리(rostro-ventral affective division: ACad)를 담당하는 것으로 알려져 있다.²³⁾²⁴⁾ 또한 시공간 주의력을 조절하는 신경망은 전두 안구 영역(frontal eye field), 후두정엽(posterior parietal lobe), 대상회(cingulate gyrus) 등 대뇌 피질부와 시상 및 선조체(striatum) 등 피질하 구조물들로 이루어져 있으며

대뇌 피질의 각 부위들은 기능적 분화가 이루어져 있다고 한다.²⁵⁾²⁶⁾²⁷⁾ 이와 같이 대상이랑(cingulate gyrus)과 시상(thalamus)은 공간 인지 처리와 밀접한 영역으로 알려져 왔다.

선행연구 결과와 본 연구 결과를 비교해 볼 때 30%의 고농도 산소 공급으로 공간 과제 수행 능력과 더불어 대상이랑(cingulate gyrus)과 시상(thalamus)에서 활성화의 증가가 나타난 것은 의미 있는 결과라고 판단된다. 즉, 30%의 고농도 산소 공급에 의한 공간 인지 수행 능력의 증가는 공간 인지 처리와 관련이 있는 대뇌 피질뿐만 아니라 시상(thalamus)과 대상이랑(cingulate gyrus)에서의 신경 활성화의 증가와도 관련이 있는 것으로 판단된다.

향후 고농도 산소 공급에 따른 인지 처리 능력 변화에 관한 정확한 메커니즘을 규명하기 위해서는 대뇌 피질뿐만 아니라 피질하 구조물들과의 상호관계도 고려되어야 할 요소로 생각된다.

참고문헌

- Choi, C.G. (2004). Radiological anatomy of the limbic system. *Dementia and Neurocognitive Disorders*, 3, 73-76.
- Corbetta, M., Miezin, F.M., Shulman, G.L., & Petersen, S.E. (1993). A PET study of visuospatial attention. *Journal of Neuroscience*, 13, 1202-1226.
- Chung, S.C., Kim, I.H., Lee, B.S., Lee, J.M., Sohn, J.H., & Kim, S.C. (2003). A study on visuospatial cognitive performance following oxygen administration using fMRI. *Journal of the Korea Society of Medical and Biological Engineering*, 24(4), 267-273.
- Chung, S.C., Sohn, J.H., Lee, B., Tack, G.R., Yi, 20) Corbetta, M., Miezin, F.M., Shulman, G.L., & Petersen, S.E. (1993). A PET study of visuospatial attention. *Journal of Neuroscience*, 13, 1202-26.
- 21) Sohn, J.H., Kim, Y.H., Lee, K.H., & Park, S.H.(2001). Brain areas activated by different levels of individual's visuospatial ability: An fMRI study. *Korean Journal of Brain Science and Technology*, 1(2), 201-209.
- 22) Prvulovic, D., Hubi, D., Sack, A.T., Melillo, L., Maurer, K., Frolich, L., Lanfermann, H., Zanella, F.E., Goebel, R., Linden, D.E.J., & Dierks, T. (2002). Functional imaging of visuospatial processing in Alzheimer's disease. *NeuroImage*, 17, 1403-1414.
- 23) Vogt, B.A., Finch, D.M., & Olson, C.R. (1992). Functional heterogeneity in cingulate cortex: the anterior executive and posterior evaluative regions. *Cerebral Cortex*, 2, 435-443.
- 24) Devinsky, O., Morrell, M. J., & Vogt, B.A (1995). Contributions of anterior cingulate cortex to behavior. *Brain*, 118, 279-306.
- 25) Gitelman, D.R., Nobre, A.C., Parrish, T.B., LaBar, K.S., Kim, Y.H., Meyer, J.R., & Mesulam, M.M. (1999). A large-scale distributed network for covert spatial attention. Further anatomical delineation based on stringent behavioral and cognitive controls. *Brain*, 122, 1093-1106.
- 26) Kim, Y.H., Gitelman, D.R., Nobre, A.C., Parrish, T.B., Labar, K.S., & Mesulam, M.M. (1999). The large scale neural network for spatial attention displays multi-functional overlap but differential asymmetry. *Neuroimage*, 9, 269-277.
- 27) Kim, Y.H., Gitelman, D.R., Parrish, T.B., Nobre, A.C., Labar, K.S., & Mesulam, M.M. (1998). Posterior cingulate activation varies according to the effectiveness of attentional engagement. *Neuroimage*, 7(4), S67.

- J.H., You, J.H., Jun, J.H., & Sparacio, R. (2006). The effect of transient increase in oxygen level on brain activation and verbal performance. *International Journal of Psychophysiology*, 62, 103-108.
- Chung, S.C., Lee, B., Tack, G.R., Yi, J.H., Lee, H.W., Kwon, J.H., Choi, M.H., Eom, J.S., & Sohn, J.H. (2008). Physiological mechanism underlying the improvement in visuospatial performance due to 30% oxygen inhalation. *Applied Ergonomics*, 39, 166-170.
 - Devinsky, O., Morrell, M. J., & Vogt, B.A (1995). Contributions of anterior cingulate cortex to behavior. *Brain*, 118, 279-306.
 - Fujiwara, T., & Maeda, M. (2001). Effects of oxygen and refresh space for the elderly. *Journal of Human Life Engineering*, 2(3), 8-11.
 - Gitelman, D.R., Alpert, N.M., Kosslyn, S., Daffner, K., Scinto, L., Thompson, W., & Mesulam, M.M. (1996). Functional imaging of human right hemispheric activation for exploratory movements. *Ann Neurology*, 39, 174-179.
 - Gitelman, D.R., Nobre, A.C., Parrish, T.B., LaBar, K.S., Kim, Y.H., Meyer, J.R., & Mesulam, M.M. (1999). A large-scale distributed network for covert spatial attention. Further anatomical delineation based on stringent behavioral and cognitive controls. *Brain*, 122, 1093-1106.
 - 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. (2000). An fMRI study of sex differences in regional activation to a verbal and a spatial task. *Brain and Language*, 74, 157-170.
 - Horwitz, B., McIntosh, A.R., Haxby, J.V., & Grady, C.L. (1995). Network analysis of brain cognitive function using metabolic and blood-flow data. *Behavioral Brain Research*, 66, 187-193.
 - Kim, Y.H., Gitelman, D.R., Nobre, A.C., Parrish, T.B., LaBar, K.S., & Mesulam, M.M. (1999). The large-scale neural network for spatial attention displays multifunctional overlap but differential asymmetry. *NeuroImage*, 9, 269-277.
 - Kim, Y.H. (2001). Usefulness of functional MRI for the study of brain function. *Korean Journal of Brain Science and Technology*, 1(1), 65-76.
 - Kim, Y.H., Gitelman, D.R., Nobre, A.C., Parrish, T.B., LaBar, K.S., & Mesulam, M.M. (1999). The large scale neural network for spatial attention displays multi-functional overlap but differential asymmetry. *Neuroimage*, 9, 269-277.
 - Kim, Y.H., Gitelman, D.R., Parrish, T.B., Nobre, A.C., LaBar, K.S., & Mesulam, M.M. (1998). Posterior cingulate activation varies according to the effectiveness of attentional engagement. *Neuroimage*, 7(4), S67.
 - Lee, S.R. (1982). Intelligence test 151-Ga Type (High school students ~ adults), Jungangjucksung Chulpansa, Seoul, Korea.
 - Lee, S.R., & Kim, K.R. (1984). Aptitude test 251-Ga (High school students ~ adults), Jungangjucksung Chulpansa, Seoul, Korea.
 - Moss, M.C., & Scholey, A.B. (1996). Oxygen administration enhances memory formation in healthy young adults. *Psychopharmacology*, 124, 255-260.
 - Mesulam, M.M. (1990). Large-scale neurocognitive networks and distributed processing for attention, language, and memory. *Ann Neurology*, 28, 597-613.
 - Park, S.B. (1985). 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.
 - Prvulovic, D., Hubi, D., Sack, A.T., Melillo, L., Maurer, K., Frölich, L., Lanfermann, H., Zanella, F.E., Goebel, R., Linden, D.E.J., & Dierks, T. (2002). Functional imaging of visuospatial processing in Alzheimer's disease. *NeuroImage*, 17, 1403-1414.
 - Scholey, A.B., Moss, M.C., Neave, N., & Wesnes, K. (1999). Cognitive performance, hyperoxia, and heart rate following oxygen administration in healthy young adults. *Physiology & Behavior*, 67, 783-789.
 - Sohn, J.H., Kim, Y.H., Lee, K.H., & Park, S.H. (2001). Brain areas activated by different levels of individual's visuospatial ability: An fMRI study. *Korean Journal of Brain Science and Technology*, 1(2), 201-209.
 - Talairach, J., & Tournoux, P. (1988). Co-planar stereotaxic atlas of the human brain. Georg Thieme

Verlag, Stuttgart, New York.

- Vannini, P., Almkvist, O., Dierks, T., Lehmann, C., & Wahlund, L.O. (2007). Reduced neuronal efficacy in progressive mild cognitive impairment: A prospective fMRI study on visuospatial processing. *Psychiatry Research: Neuroimaging*, 156, 43-57.
- Vannini, P., Lehmann, C., Dierks, T., Jann, K., Viitanen, M., Wahlund, L.O., & Almkvist, O. (2008). Failure to modulate neural response to increased task demand in mild Alzheimer's disease: fMRI study of visuospatial processing. *Neurobiology of Disease*, 31, 287-297.
- Vogt, B.A., Finch, D.M., & Olson, C.R. (1992). Functional heterogeneity in cingulate cortex: the anterior executive and posterior evaluative regions. *Cerebral Cortex*, 2, 435-443.

원고접수 : 09.10.08

수정접수 : 09.11.10

게재확정 : 09.11.20