

# 산소 공급으로 유발된 공간 인지 능력, 혈중 산소 농도, 심박동율의 변화

정순철<sup>#</sup>, 손진훈<sup>\*</sup>, 이봉수<sup>\*\*</sup>, 이수열<sup>\*\*\*</sup>

## Visuospatial Cognitive Performance, Hyperoxia and Heart Rate due to Oxygen Administration

Soon Cheol Chung<sup>#</sup>, Jin Hun Shon<sup>\*</sup>, Bongsoo Lee<sup>\*\*</sup> and Soo Yeol Lee<sup>\*\*\*</sup>

### ABSTRACT

Changes in visuospatial cognitive performance, blood oxygen saturation and heart rate due to the highly concentrated oxygen administration were observed in this study. Six male ( $25.8 \pm 1.0$ ) and six female ( $23.8 \pm 1.9$ ) adults were asked to perform 20 visuospatial tasks with the same level of difficulties by supplying two different oxygen levels (21%, 30%). Experiment consisted of Rest1 (1 min.), Control (1 min.), Task (4 min.), and Rest2 (4 min.) and physiological signals such as blood oxygen saturation and heart rate were measured through each stage. The result showed the accuracy of task performance increased significantly at 30% oxygen concentration compared with 21%, which means oxygen supply has positive effects on visuospatial cognitive performance. When 30% oxygen was supplied, blood oxygen saturation during control and task phases was increased and heart rate was decreased compared with 21%. It means that 30% oxygen can stimulate brain activities by directly increasing the actual level of blood oxygen concentration during cognitive performance, and enough oxygen supply during cognitive performance make heart rate decrease.

**Key Words :** Visuospatial cognitive performance (공간 인지 능력), Hyperoxia (과 산소), Heart rate (심박동율), Oxygen administration (산소 공급)

### 1. 서론

인지 처리를 위해서 뇌에서는 활발한 신진대사가 일어나고, 이것은 다양한 생리적 변화를 요구한다. 즉, 해당 인지 처리와 관련된 뇌 신경조직에 글루코스와 산소를 공급하기 위한 생리 변화가 발생

하게 된다.<sup>1</sup> 비디오 게임을 수행하거나, 복잡한 수학 문제를 풀게 되면 심박동율 (heart rate)과 산소 소모가 증가한다고 보고 된 바 있다.<sup>2</sup> Wientjes<sup>3</sup>은 노력이 요구되는 인지 처리 수행은 빠르고 얇은 호흡을 유발한다고 보고하였다. 또한 기억해야할 단어가 많으면 많을수록 심박동율과 호흡의 증가량은

접수일: 2004년 5월 31일; 게재승인일: 2004년 11월 19일

# 교신저자: 건국대학교 의학공학부

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

\* 충남대학교 심리학과

\*\* 건국대학교 의학공학부

\*\*\* 경희대학교 동서의학대학원

커지고, 산소 요구량이 증가한다는 보고도 있었다.<sup>4</sup> 이러한 연구 결과로부터 인지 처리 수행은 심박동율, 호흡, 산소 소모 등의 생리 변화를 유발하고, 인지 처리의 요구가 커질수록 (인지 부하가 증가할수록) 생리 변화도 커진다는 사실을 알 수 있다.

현재 의료용, 사무용, 산업용, 가정용 등의 다양한 산소 공급 장치들이 출시되고 있다. 또한 다양한 인지 기능을 필요로 하는 사무 및 작업 환경의 개선을 위해, 고농도의 산소가 인간의 인지 기능에 어떠한 영향을 미치는가에 대한 기초적인 연구가 근래에 수행되기 시작하였다. Moss<sup>5</sup> 등은 외부에서의 산소 공급이 단어 기억력 증가에 긍정적인 영향을 미친다는 사실을 보고하였다. 본 연구팀에서는 외부에서 고 농도 (30%)의 산소 공급 시 인지 능력 중 특히 공간 인지 능력에 어떠한 변화를 유발하는지에 대한 기초 연구를 뇌기능 영상 기법 (functional Magnetic Resonance Imaging: fMRI)을 이용하여 수행하였다.<sup>6</sup> 일반 공기 중의 산소 농도 환경 (21%)에 비해 30%의 고농도 산소 환경에서 공간 인지 기능을 담당하는 두정엽이 포함된 소뇌, 후두엽 영역과 전두엽 영역의 신경 활성화 면적이 증가하였고, 특히 공간 인지 처리와 밀접한 관련이 있는 두정엽 영역의 대칭화의 증가하였다. 또한 공간 과제 수행 결과에서도 30% 농도의 산소 공급일 때 평균 정답률이 유의미하게 증가하여 고농도의 산소공급이 인지 처리에 필요한 산소 공급을 충분하게 하여 뇌 신진대사를 보다 활성화시키고, 그 결과로 과제 수행 능력도 증가한다는 결론을 도출하였다.

정상 상태 (외부의 산소 공급이 없는 상태)에서 인지 처리에 따른 생리 변화에 대한 다양한 연구가 수행된 바 있으나<sup>1-4</sup>, 외부에서 고농도의 산소를 공급했을 때 인지 처리에 따른 생리 변화에 대한 연구는 아직 구체적으로 수행 되지 못하였다. 또한 외부의 산소 공급으로 유발된 인지 능력 변화와, 뇌 활성화 변화를 본 연구팀에서 관찰한 바 있으나<sup>6</sup>, 고농도의 산소 공급으로 실제 혈중 산소 농도가 증가되고, 이렇게 증가된 산소가 뇌 활동에 사용될 수 있었는지에 대한 검증은 충분하게 이루어지지 못하였다. 그러므로 본 연구의 구체적인 연구 목표는 두 가지이다. 첫째, 외부의 산소 공급으로 인지 처리에 필요한 산소가 실제 혈류에 공급되어 뇌 신진대사 활동에 부응할 준비가 되었는지를 혈중 산소 포화도를 통해 측정하고자 한다. 둘째, 공간 인

지 처리 수행 시 심박동율을 측정하여 인지 부하 변화를 관찰하고, 외부의 산소 공급이 인지 부하에 어떠한 영향을 미치는지 관찰하고자 한다.

## 2. 실험 방법

### 2.1 산소 공급 장치 및 실험 참여자

21% 및 30% 농도의 산소를 각각 8L/min의 양으로 일정하게 공급할 수 있는 산소 공급 장치 (Oxy Cure Co.)를 사용하였다. 산소 공급 장치에서 발생된 산소는 마스크를 통하여 실험 참여자에게 전달되었고, 실험 참여자는 어떤 농도의 산소가 공급되는지 모르게 하였다. 6명의 남자 대학생 (평균 25.8±1.0세)과 6명의 여자 대학생 (평균 23.8±1.9세)을 실험 참여자로 선정하였다.

### 2.2 공간 인지 과제의 문항 선정

공간 인지 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<sup>7</sup>, 적성 진단 검사<sup>8</sup> 그리고 일반 적성 검사 (General Aptitude Test Battery: GATB)<sup>9</sup>로부터 공간 인지 능력을 측정할 수 있는 소 검사들을 선정하였다. 집단검사 문제지는 A와 B, 두 가지 유형으로 제작되었다. A형의 집단검사 문제지는 지능 진단 검사 중에 공간 지각 검사 15문항, 적성 진단 검사 중에 공간 관계 검사 홀수번 10문항, 그리고 일반 적성 검사 중에 공간 지각 검사와 관련 있는 검사 D의 짝수번 20문항으로 하여 총 45문항으로 구성 되어 있다. B형의 집단검사 문제지는 지능 진단 검사 중에 공간 지각 검사 15문항, 적성 진단 검사 중에 공간 관계 검사 짝수번 10문항, 그리고 일반 적성 검사 중에 공간 지각 검사와 관련 있는 검사 D의 홀수번 20문항으로 하여 총 45문항으로 구성 되어 있다. 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/응답자수)×100)을 산출하였다. 집단검사로 부터 계산된 정답률을 바탕으로 총 90 문항을 정답률 순위대로 나

열하여 A와 B에 유사한 난이도의 문제가 포함되도록 문제지를 재구성하였다. 이 중에서 39-91%의 정답률 범위에 있는 총 20쌍 (40 문항)을 공간 인지 과제로 최종 선정하였다. 선정된 20쌍의 공간 인지 문제 종류는 두 가지 유형이다. 주어진 도형의 모양과 똑 같은 모양을 네 개의 보기 중에 찾는 유형과, 주어진 도형의 전개도를 찾는 유형으로 구성되어 있다.<sup>6</sup>

### 2.3 생리 신호 측정

미국의 ninin사의 제품인 8500A를 이용하여 실험 참여자의 왼손 약지 손가락에서 혈중 산소 포화도 (SPO2 [%])를 측정하였다. 이 제품은 LED를 이용하여 디스플레이만 가능하고 저장 장치가 없다. 그러므로 실험자가 5초 간격으로 측정값을 읽어서 (1sample/5sec) 데이터를 기록하였다. Biopac system의 Biopac MP100을 사용하여 심전도 (Electrocardiogram: ECG)를 256 samples/sec로 측정하였고, Acqknowledge 3.5를 이용하여 심박동율 (bit per minute: bpm)을 계산하였다. 이때 전극은 오른 쪽 발목에 도출 전극을 부착하고, 양 손목에 측정 전극을 부착하였다.

### 2.4 실험 설계 및 절차

21%일 때와 30% 산소 농도 일 때 공간 과제를 수행하는 실험을 설계하였다. 유사한 난이도끼리 짝지어 선정된 20개의 공간 과제 문제들을 두 실험에 나누어 분포시킴으로써 두 실험의 문제 난이도에 차이가 없도록 하였다. 각 실험은 Fig. 1과 같이 Rest1, Control, Task, Rest2인 네 구간으로 구성되어 있다. Rest1 구간은 산소 (21% 또는 30%)를 공급하기 시작하면서 백지 화면을 보며 1분 동안 안정하는 구간이다. Control은 1분 동안 1, 2, 3, 4의 네 개 숫자 중 화면에 제시되는 숫자에 해당하는 버튼을 누르게 하여 본 실험에 집중하게 하였다. Task는 4분 동안 20문제의 공간 과제들을 제시하고 각 문제의 정답에 해당하는 버튼을 누르게 하였다. Rest2는 산소 공급을 중지한 후 백지 화면을 보고 4분 동안 휴식하는 구간이다. 두 가지 산소 농도를 각각 공급하면서 총 10분 동안 생리 신호의 변화 (혈

중 산소 포화도, 심박동율)를 관찰하였다. 이때 Control과 Task는 SuperLab 1.07 (Cedrus Co.)을 사용하여 제작하였고, 컴퓨터 모니터를 이용하여 실험 참여자에게 제시하였다.

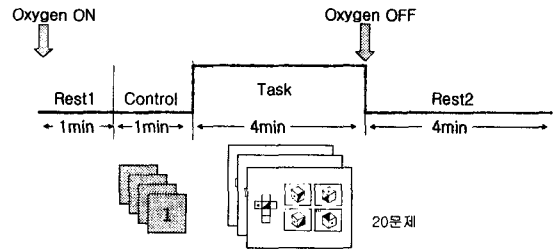


Fig. 1 Test procedure

### 2.5 데이터 분석

두 개의 실험 (21%, 30%)에 대해 각 실험 참여자의 공간 과제 정답률 ((정답수/총문항수)×100)을 계산하였다. paired t-test (SPSS ver. 10.0)를 이용하여 산소 농도에 따라 정답률에서 통계적으로 유의미한 차이가 있는지를 검증하였다. 각 실험 참여자의 혈중 산소 포화도와 심박동율은 각 구간별 (네 구간)로 하나의 평균값이 산출되었다. ANOVA (SPSS ver. 10.0) 분석을 사용하여 두 가지 산소 농도 사이에 그리고 각 구간별로 유의한 차이가 있는지를 검증하였다.

## 3. 결과

### 3.1 공간 과제 수행 결과

21%와 30% 산소 농도에서 각각 공간 인지 과제를 수행한 후 모든 실험 참여자의 정답률을 Table 1에 나타내었다. 21%에 비해 30% 산소 농도에서 12명의 실험 참여자 중 10명의 실험 참여자의 정답률이 높았고, 1명은 동일하였고, 1명은 낮았다. Fig. 2와 같이 평균 정답률은 21%와 30% 산소 농도에서 각각  $55.41 \pm 11.37$  [%]와  $65.41 \pm 10.75$  [%]이었고 통계적으로 유의미한 차이가 발생하였다 ( $t = -3.546$ ,  $df = 11$ ,  $p = 0.005$ ).

Table 1 Accuracy rate of all subjects

Subject	Accuracy [%]	
	21%	30%
#1	60	65
#2	35	50
#3	45	50
#4	65	65
#5	50	60
#6	60	80
#7	50	55
#8	70	80
#9	55	80
#10	75	65
#11	55	70
#12	45	65
Mean±S.D	55.41± 11.37	65.41± 10.75

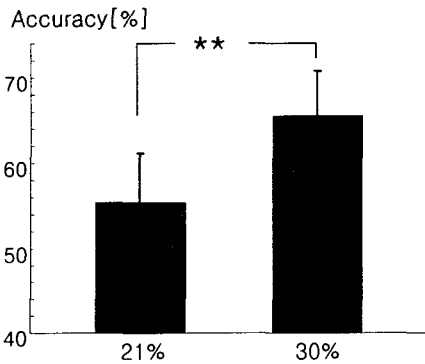


Fig. 2 Mean accuracy rate and statistical significance (\*\*p<0.01)

### 3.2 생리 신호 분석 결과

두 가지 산소농도에 따라 각 구간별 혈중 산소 포화도와 심박동율을 Fig. 3과 4에 나타내었다. Fig. 3에서와 같이 혈중 산소 포화도는 21%에 비해 30%일 때 Control과 Task 구간에서 유의미하게 컸다 (p=0.05, p=0.05). 이것은 인지 처리가 요구되는 구간에서 21%에 비해 30%의 산소 공급 시 실제 혈중 산소 농도가 증가되어 뇌 활동에 보다 도움을 줄 수 있다는 사실을 의미한다. 구간별 혈중 산소 포화도를 살펴보면, 21%에서는 Rest2에 비해 Task 구간에서 유의미하게 증가하였으며 (p=0.045), 30%에서는 Rest1에 비해 Control과 Task 구간에서 증가하였고 (p=0.019, p=0.009), Rest2에 비해 Control과 Task 구간에서 유의미하게 증가하였다 (p=0.004, p=0.001).

Fig. 4에서와 같이 심박동율은 21%에 비해 30%일 때 Control과 Task 구간에서 유의미하게 작았다 (p=0.001, p=0.043). 이것은 21%에 비해 30%의 산소 공급 시 인지 처리에 필요한 요구 산소량이 충분히 공급되고 있기 때문에 심박동율의 증가가 감소한 것으로 판단된다. 구간별 심박동율을 살펴보면, 21%에서는 Rest1에 비해 Task 구간에서 유의미하게 증가하였고 (p=0.013), 30%에서는 Rest1, Control, Rest2에 비해 Task 구간에서 유의미하게 증가하였다 (p=0.043, p=0.003, p=0.037).

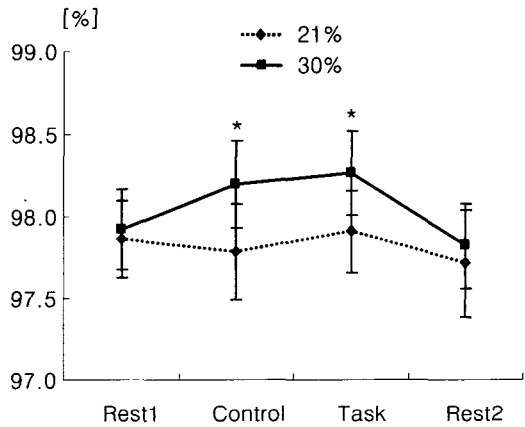


Fig. 3 Blood oxygen saturation (%) during experimental phases (\*p<0.05)

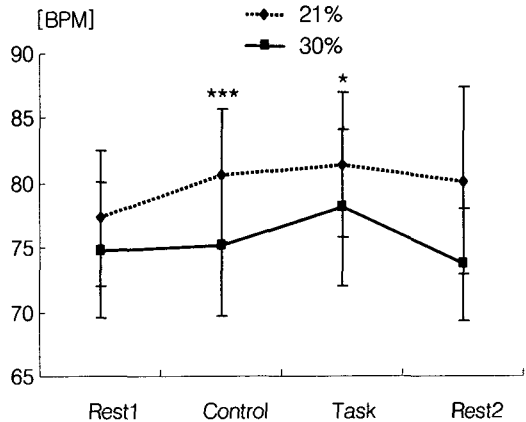


Fig. 4 Heart rate (bpm) during experimental phases (\*p<0.05, \*\*\*p<0.001)

#### 4. 토의

본 연구는 외부에서 고 농도 (30%)의 산소 공급이 공간 인지 능력과 생리 변화 (혈중 산소 포화도, 심박동율)에 어떤 영향을 미치는지 관찰하고자 하였다. 선행 연구와<sup>6</sup> 마찬가지로 21%에 비해 30%의 산소 농도일 때 정답률이 유의미하게 증가하여, 고 농도의 산소 공급이 공간 인지 능력 향상에 긍정적인 영향을 미친다는 사실을 다시 한번 검증할 수 있었다.

선행 연구에서 고농도의 산소 공급이 뇌 활성화 양을 증가시켜 공간 인지 능력이 향상 되었다는 사실을 뇌기능 영상 결과 (fMRI)로부터 유도하였지만, 고농도의 산소 공급으로 실제 혈중 산소 농도가 증가되어 뇌 활성화에 사용될 수 있었는지에 대한 중간 과정의 검증이 없었다. 본 연구의 결과에서 21%에 비해 30%의 산소를 공급할 때 인지 처리가 요구되는 Control과 Task 구간에서 혈중 산소 포화도는 유의미하게 컸다. 이것은 뇌 신진대사가 활성화 되는 구간에서 21%에 비해 30%의 산소 공급이 실제 혈중 산소 농도를 증가시켜 뇌 활성화를 촉진시킬 수 있다는 사실을 의미하고, 선행 연구 결과를 강력히 뒷받침하는 증거가 될 수 있다. 구간별 혈중 산소 포화도 변화를 살펴보면, 두 가지 산소 농도에서 모두 안정 상태에 비해 인지 처리가 이루어지는 구간 (특히 Task 구간)에서 혈중 산소 포화도가 증가하였다. 이것은 인지 처리 수행 시 산소 요구량이 증가한다는 선행 연구 결과와 일치하는 것이다.<sup>4</sup>

구간별 심박동율의 변화를 살펴보면, 두 가지 산소 농도에서 모두 안정 상태에 비해 인지 처리가 이루어지는 Task 구간에서 심박동율이 유의미하게 증가하였다. 이것은 인지 처리가 이루어지는 Task 구간에서 심장 부하가 증가한다는 사실을 의미하고, 역시 인지 처리 수행 시 심박동율이 증가한다는 선행 연구 결과와 일치하는 것이다.<sup>2,4</sup> 그러나 21%에 비해 30%일 때 인지 처리가 요구되는 Control과 Task 구간에서 심박동율 증가가 유의미하게 작았다. 이것은 30%의 산소 공급 시 뇌의 신진대사에 필요한 산소 요구량이 충분히 공급되고 있기 때문에 심박동율 (심장 부하)의 증가가 작아진 것으로 판단된다. 안정 단계 (인지 처리가 없는 단계)에서 과 산소 상태 (hyperoxia, 혈중 산소 포화도가 증가된 상태)는 심박동율을 감소시킨다는 보

고가 있었다.<sup>10</sup> 이러한 사실로부터 과 산소 상태 일 때 인지 처리로부터 유발되는 심박동율의 증가율이 작아질 수 있다는 것을 예측할 수 있고 본 연구의 결과를 뒷받침 할 수 있다. 결론적으로 인지 수행으로 심박동율이 증가되지만, 고농도의 산소 공급이 필요 산소량을 충분히 하여, 인지 처리에 필요한 심박동율의 증가를 감소시킨다는 결론을 도출 할 수 있다.

본 연구 결과로부터 외부의 고농도 산소 공급이 혈중 산소 포화도를 증가시켜 공간 인지 능력 증가에 긍정적인 영향을 미치고, 심박동율을 감소시킨다는 결론을 도출할 수 있다. 그러므로 본 연구는 21%와 30%의 산소 농도일 때 인지 처리 능력의 변화뿐만 아니라, 생리 신호의 변화까지 관찰하여, 산소의 긍정적인 효과를 보다 객관적이고 신뢰성 있게 판단 할 수 있는 근거를 마련하였다.

#### 후 기

본 연구는 한국과학재단의 연구비 지원을 받아 수행되었음. (과제번호: R11-2002-103)

#### 참고문헌

1. Jonides, J., Schumacher, E.H., Smith, E.E., Lauber, E.J., Awh, E., Minoshima, S., Koeppel, R.A., "Verbal working memory load affects regional brain activation as measured by PET," J. Cog. Neurosci, Vol. 9, pp. 462-475, 1997.
2. Turner, L.A., Carroll, D., "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.
3. Wientjes, C.J.E., "Respiration in psychophysiology: Methods and applications," Biol. Psychol, Vol. 34, pp. 179-204, 1992.
4. Backs, R.W., Selijos, K.A., "Metabolic and cardiorespiratory measures of mental efforts: The effects of level of difficulty in a working memory tasks," Int. J. Psychophysiology, Vol. 16, pp. 57-68, 1994.
5. Moss, M.C., Scholey, A.B., "Oxygen administration enhances memory formation in healthy young

- adults,” *Psychopharmacology* (Berlin), Vol. 124, pp. 255-260, 1996.
6. Chung, S.C., Shon, J.H., Kim, I.H., “The effect of highly concentrated oxygen administration on cerebrum lateralization of young men during visuospatial task,” *J. of KSPE*, Vol. 21, pp. 180-187, 2004.
  7. Lee, S.R., “Intelligence test 151-Ga Type (High school students ~ adults),” Jungangjucksung Press, Seoul, Korea, 1982.
  8. Lee, S. R., Kim, K. R., “Aptitude test 251-Ga (High school students ~ adults),” Jungangjucksung Press, Seoul, Korea, 1985.
  9. 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.
  10. Lodato, R. F., Jubran, A., “Response time, automatic mediation and reversibility of hyperoxic bradycardia in conscious dogs,” *J. Appl. Physiol*, Vol. 74, pp. 634-642, 1993.