

# 30% 농도의 산소 공급이 기억력, 혈중 산소 농도, 심박률에 미치는 영향

정순철<sup>†</sup> · 탁계래 · 이봉수

건국대학교 의학공학부

## The Effect of 30% Oxygen on the Memory Performance, Hyperoxia and Heart Rate

Soon-Cheol Chung · Gye-Rae Tack · Bongsoo Lee

Department of Biomedical Engineering, Konkuk University, Chungju, 380-701

In this study, changes in memory performance, blood oxygen saturation and heart rate according to 30% concentration oxygen supply were observed. Ten healthy male and female college students (male:  $25.8 \pm 0.8$  years, female:  $24.2 \pm 1.9$  years) participated in the study. The experiment was performed as Rest (1min.), Control task (1min.), Word presentation (1min.), Reaction time task (1min.), Distractor (2min.), and Word recall (1min.) and the physiological signals such as blood oxygen saturation and heart rate were measured throughout the stages. Subjects who received 30% oxygen recalled more words than those who received 21% oxygen, which shows 30% oxygen supply has influenced positively on memory cognitive performance. When 30% concentration oxygen is supplied, the blood oxygen saturation in the task phases was increased and the heart rate decreased when comparing to 21%. It means that 30% oxygen can stimulate brain activation by increasing actual blood oxygen concentration in the process of cognitive performance, and the heart rate decreases because enough oxygen is supplied to process the cognitive performance.

**Keywords:** 30% oxygen, memory performance, hyperoxia, heart rate

### 1. 서론

인지 처리를 위해 뇌에서는 활발한 신진대사가 일어나고, 이것은 다양한 생리적 변화를 요구한다. 즉, 해당 인지 처리와 관련된 뇌 신경조직에 글루코스와 산소를 공급하기 위한 생리 변화가 발생하게 된다(Jonides *et al.*, 1997). 비디오 게임을 수행하거나, 복잡한 수학 문제를 풀게 되면 심박동률(heart rate)과 산소 소모가 증가한다고 보고된 바 있다(Turner and Carroll, 1985). Wientjes(1992)은 노력이 요구되는 인지 처리 수행은 빠

르고 많은 호흡을 유발한다고 보고하였다. 또한 기억해야 할 단어가 많으면 많을수록 심박동률과 호흡의 증가량은 커지고, 산소 요구량이 증가한다는 보고도 있었다(Backs and Selijos, 1994). 이러한 연구 결과로부터 인지 처리 수행은 심박동률, 호흡, 산소 소모 등의 생리 변화를 유발하고, 인지 부하가 증가할수록 생리 변화도 커진다는 사실을 알 수 있다.

산소는 인간의 생존에 필수적인 물질로서 신체 및 정신 활동에 필요한 에너지를 공급하는 역할을 한다. 산소 섭취가 부족하게 되면 작업 시에 생리 기능의 활성화에 의한 에너지 요구

이 논문은 2004년도 건국대학교 학술진흥연구비 지원에 의한 논문임.

<sup>†</sup>연락처 : 정순철 교수, 380-701 충북 충주시 단월동 322번지 건국대학교 의학공학부, Fax : 043-851-0620, E-mail : scchung@kku.ac.kr  
2004년 7월 18일 접수, 1회 수정 후 2005년 3월 24일 게재 확정.

량에 대하여 공급이 충족되지 못하는 상태가 되어 피로가 유발된다. 또한 기초적인 대사에 필요한 에너지가 공급되지 않아 생체 내 저산소증으로 빈혈이나 장기 장애 등을 일으키기도 한다(Fujiwara and Maeda, 2001; Sung *et al.*, 2002). 특히 산소는 인체에서 대사 작용이 가장 활발한 기관인 뇌 활동에 중요한 물질로서, 중추신경계는 산소 부족에 가장 민감한 조직이며, 동맥혈 산소 분압의 저하는 주의력, 기억력, 의사 결정 능력 등의 뇌 기능에 변화를 초래하기도 한다(Fujiwara and Maeda, 2001). 인지 과제를 수행하는 동안 대뇌에 글루코스와 산소의 공급이 증가한다는 사실은 잘 알려져 있다(Horwitz *et al.*, 1995; Jonides *et al.*, 1997). 반대로 hypoglycaemia(저혈당)일 때와 hypoxia(저산소증)일 때 기억력, 주의력 등의 인지 기능이 저하된다는 연구 결과도 있다(Gold *et al.*, 1985; Crowley *et al.*, 1992; Noble *et al.*, 1993). 또한 노화에 따른 인지 감소는 산소와 글루코스의 공급이 원활하지 않기 때문에 발생한다는 사실도 보고되었다(Eustache *et al.*, 1995).

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. Scholey(1999) 등은 100%의 산소 공급이 단어 기억력 증가에 긍정적인 영향을 미친다는 사실을 보고하였다. 또한 뇌 기능 영상 기법(Functional Magnetic Resonance Imaging)을 이용하여 일반 공기중의 산소 농도인 21%에 비해 30%의 산소 공급이 인지 능력 중 공간 지각 능력과 언어 능력에 긍정적인 영향을 미친다는 보고가 있었다(Chung *et al.*, 2004 a, b).

지금까지 100% 산소 농도일 때 기억력이 증가되었다는 보고가 있었으나(Scholey *et al.*, 1999), 산소 농도 변화에 따른 인지 처리 능력 변화에 대한 연구는 부족하였다. 30%의 산소 공급으로 유발된 공간 및 언어 능력 변화와, 뇌 활성화 변화를 본 연구팀에서 관찰한 바 있으나, 30%의 산소 공급으로 실제 혈중 산소 농도가 증가되고, 이렇게 증가된 산소가 뇌 활동에 사용될 수 있었는지에 대한 검증은 충분하게 이루어지지 못하였다(Chung *et al.*, 2004 a, b). 외부의 산소 공급이 없는 상태에서 인지 처리에 따른 생리 변화에 대한 다양한 연구가 수행된 바 있으나(Turner and Carroll, 1985; Wientjes, 1992; Backs and Selijos, 1994; Jonides *et al.*, 1997), 외부에서 고농도의 산소를 공급했을 때 인지 처리에 따른 생리 변화에 대한 연구는 아직 다양하게 수행되지 못하였다.

본 연구에서는 기억력의 인지 과제를 이용하여 30% 고농도의 산소 공급이 인지 처리 능력, 혈중 산소 농도, 심박률에 미치는 영향을 관찰하고자 한다. 본 연구의 구체적인 연구 목표는 세 가지이다. 첫째, 30%의 고농도 산소 공급이 기억력에 어떠한 영향을 미치는지 밝히고자 한다. 둘째, 30%의 산소 공급으로 인지 처리에 필요한 산소가 실제 혈류에 공급되어 뇌 신진대사 활동에 부응할 준비가 되었는지를 혈중 산소 포화도를

통해 측정하고자 한다. 셋째, 인지 처리 수행 시 심박동률을 측정하여 인지 부하(자율 신경계) 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. 5명의 남자 대학생(평균 25.8±0.8세)과 5명의 여자 대학생(평균 24.2±1.9세)을 실험 참여자로 선정하였다.

### 2.2 기억 과제 문항 선정

한국어 사전에서 기쁨단어, 슬픔단어, 위협단어 등의 두 음절 감성 단어를 추출하여 대학생 263명(남: 143명, 여:120명)을 대상으로 집단 기억력 검사를 실시하였다. 각각의 단어에 대한 기억률( $\frac{\text{정답자 수}}{\text{응답자 수}} \times 100$ )을 산출하고, 계산된 기억률 순위대로 단어를 나열한 후, 유사한 기억률의 단어들끼리 들쭉잡을 지어 총 20쌍의 40 단어를 최종 선정하였다.

### 2.3 생리 신호 측정

8500A(Ninin Medical Inc.)를 이용하여 실험 참여자의 왼손 약지 손가락에서 혈중 산소 포화도(SPO<sub>2</sub> (%))를 측정하였다. 이 제품은 LED를 이용하여 디스플레이만 가능하고 저장 장치가 없다. 그러므로 실험자가 5초 간격으로 측정값을 읽어서(1sample/5sec) 데이터를 기록하였다. Biopac MP100(Biopac Systems, Inc.)을 사용하여 Electrocardiogram(ECG)를 256 samples/sec로 측정하였고, Acqknowledge 3.5(Biopac Systems, Inc.)를 이용하여 심박동률(bit per minute: bpm)을 계산하였다. 이때 전극은 오른쪽 발



그림 1. 실험 장면.

목에 기준 전극(Reference electrode)을 부착하고, 양 손목에 측정 전극을 부착하였다. <그림 1>은 실험 모습이다.

2.4 실험 절차

21%일 때와 30% 산소 농도일 때 기억 과제를 수행하는 실험을 설계하였다. 유사한 난이도끼리 짝지어 선정된 20개의 기억 과제 단어들을 두 실험에 나누어 분포시킴으로써 두 실험의 문제 난이도에 차이가 없도록 하였다.

각 실험은 <그림 2>와 같이 안정, 통제 과제, 단어 제시, 반응 시간 과제, 숫자 세기 과제, 단어 기억의 여섯 구간으로 구성 되어 있다. 안정 구간은 백지 화면을 보며 1분 동안 안정하는 구간이다.

통제 과제 시작과 함께 산소(21% 또는 30%)가 공급되며, 이 구간에서는 1분 동안 1, 2, 3, 4의 네 개 숫자 중 화면에 제시되는 숫자에 해당하는 키보드 버튼을 누르게 하여 본 실험에 집중하게 하였다. 단어 제시 구간에서는 3초에 단어를 하나씩 제시하여 1분 동안 총 20개의 단어를 제시하였다. 반응 시간 과제에서는 제시되는 과일 이름 중에 ‘사과’라는 약속된 단어가 나올 때 마다 키보드의 버튼을 누르게 하여 반응 시간을 측정하였다. 숫자 세기 과제에서는 두 개의 지정된 숫자(끝자리가 2, 7 또는 3, 8)를 제외하고 1부터 연속하여 큰소리로 2분 동안 숫자를 세도록 함으로써 단어 기억을 방해하고자 하였다. 숫자 세기 과제가 끝나면 산소 공급이 중단된다. 단어 기억 구간에서는 1분 동안 단어 제시 구간에서 제시된 20개의 단어 중 기억하는 단어를 말하도록 하였고, 실험자는 실험 참여자가 기억하는 단어를 기록하였다.

두 가지 산소 농도를 각각 공급하면서 총 7분 동안 생리 신호의 변화를 관찰하였다. 모든 과제는 SuperLab 1.07(Cedrus Co.)을 사용하여 제작하였고, 컴퓨터 모니터를 이용하여 실험 참여자에게 제시하였다.

2.5 데이터 분석

두 개의 실험(21%, 30%)에 대해 각 실험 참여자의 기억률 점수((기억한 단어 수/총 단어 수(20))×100)과 반응 시간을 계산

하였다. paired t-test(SPSS ver. 10.0)를 이용하여 산소 농도에 따라 기억률과 반응시간에서 통계적 유의차를 검증하였다. 각 실험 참여자의 혈중 산소 포화도와 심박동률은 각 구간별(여섯 구간)로 하나의 평균값이 산출되었다. ANOVA(SPSS ver. 10.0) 분석을 사용하여 두 가지 산소 농도 사이에 그리고 각 구간별로 통계적 유의차를 검증하였다.

3. 결과

3.1 과제 수행 결과

21%와 30% 산소 농도에서 각각 기억 과제와 반응 시간 과제를 수행한 후 모든 실험 참여자의 기억률 점수와 반응 시간을 <표 1>에 나타내었다. 실험 참여자 10명 중 9명이 산소 21%에 비해 산소 30% 공급 시 기억한 단어 수가 증가하였다. 평균 기억률 점수는 21%와 30%에서 각각  $30.5 \pm 6.4$ 와  $38.5 \pm 9.4$ 이었고 <그림 3>과 같이 통계적 유의차가 발생하였다( $p < 0.01$ ). 평균 반응 시간은 21%와 30%에서 각각  $0.57 \pm 0.21$ [sec]와  $0.56 \pm 0.15$ [sec]이었고 유의한 차이가 없었다( $p > 0.05$ ).

표 1. 두 가지 산소 농도에서 모든 피험자의 기억률 점수와 반응 시간

피험자	기억률[%]		반응시간[sec]	
	21%	30%	21%	30%
#1	35	40	0.52	0.62
#2	35	45	0.59	0.37
#3	35	30	0.32	0.47
#4	20	25	0.71	0.59
#5	25	40	0.59	0.50
#6	30	35	0.87	0.77
#7	25	35	0.28	0.47
#8	40	50	0.31	0.36
#9	25	30	0.68	0.66
#10	35	55	0.83	0.79
AVG ± S.D	30.5 ± 6.43	38.5 ± 9.44	0.57 ± 0.21	0.56 ± 0.15

AVG: Average, S.D.: Standard Deviation

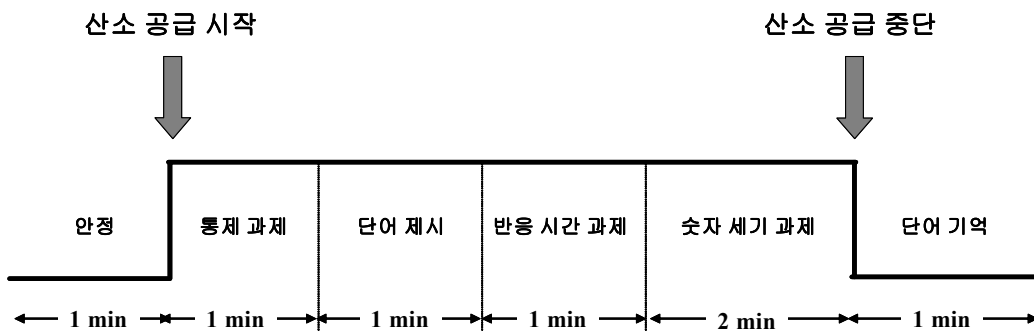


그림 2. 실험 절차.

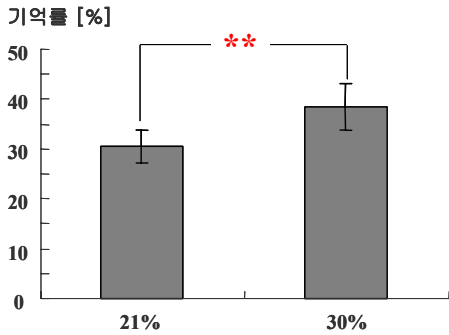


그림 3. 두 가지 산소 농도에 대한 평균 기억률 점수 (\*\*p<0.01).

3.2 생리 신호 결과

두 가지 산소 농도에 따라 각 구간별 혈중 산소 포화도와 심박동수를 <그림 4>와 <그림 5>에 나타내었다. <그림 4>에서와 같이 단어 제시, 반응 시간 과제, 숫자 세기 과제 단계에서 혈중 산소 포화도는 21%에 비해 30%일 때 유의하게 증가하였다(p<0.05, 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 혈중 산

소 포화도는 안정에 비해 통제 과제, 단어 제시, 반응 시간 과제, 숫자 세기 과제 단계에서 높게 측정되었다(p<0.05, p<0.05, p<0.01, p<0.05). 그리고 통제 과제, 단어 제시에 비해 반응 시간 과제 단계에서 증가하였다(p<0.05, p<0.05). 30%에서는 안정에 비해 단어 제시, 반응 시간 과제, 숫자 세기 과제, 단어 기억 단계에서 증가하였다(p<0.01, p<0.01, p<0.01, p<0.05). 그리고 통제 과제보다 단어 제시, 반응 시간 과제, 숫자 세기 과제, 단어 기억 단계에서 높게 측정되었다(p<0.01, p<0.01, p<0.05, p<0.05).

<그림 5>에서와 같이 심박동수는 21%에 비해 30%일 때 통제 과제, 단어 제시, 숫자 세기 과제 구간에서 유의하게 작았다(p<0.01, p<0.05, p<0.05). 이것은 21%에 비해 30%의 산소 공급 시 인지 처리에 필요한 요구 산소량이 충분히 공급되고 있기 때문에 심박동수가 감소한 것으로 판단된다. 구간별 심박동수를 살펴보면, 21%에서는 안정, 통제 과제, 반응 시간 과제 단계에 비해 숫자 세기 과제 단계에서 심박동수가 유의하게 증가하였다(p<0.01, p<0.01, p<0.01). 30%에서는 안정에 비해 단어 제시, 숫자 세기 과제, 단어 기억 단계에서 심박동수가 유의하게 증가하였다(p<0.05, p<0.05, p<0.05). 그리고 통제 과제 단계에 비해 단어 제시, 숫자 세기 과제, 단어 기억 단계에서 심박동수가 증가하였다(p<0.01, p<0.01, p<0.05).

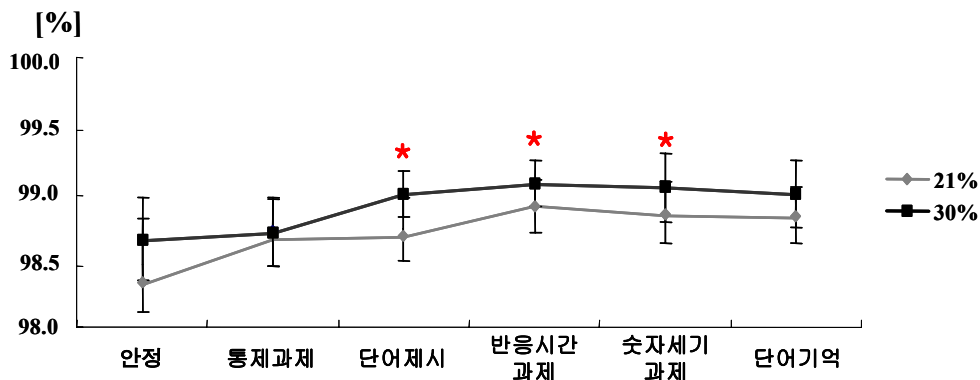


그림 4. 각 구간별 두 산소 농도 사이에 혈중 산소 포화도의 통계적 차이(\*p<0.05).

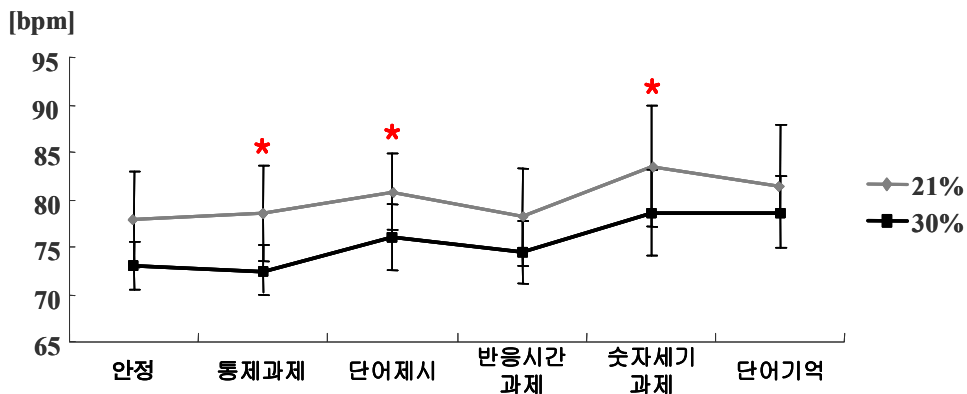


그림 5. 각 구간별 두 산소 농도 사이에 심박동수의 통계적 차이(\*p<0.05).

#### 4. 토 의

본 연구는 일반 공기중의 산소에 비해 30%의 고농도 산소 공급이 기억력에 어떠한 영향을 주는지에 대한 기초 연구를 기억 과제 수행 능력과 심박동률, 혈중 산소 포화도 결과를 비교하여 수행하였다. 선행 연구에서 100%의 산소 공급이 기억력을 증가시켰고(Scholey *et al.*, 1999), 30%의 산소 공급이 공간 및 언어 능력 증가에 긍정적인 영향을 미친다고 보고하였다(Chung *et al.*, 2004 a, b). 본 연구에서도 30%의 산소 공급 시 기억률이 유의하게 증가하여, 30%의 산소도 기억력 향상에 긍정적인 영향을 미친다는 결론을 도출할 수 있었다. 그러나 인지 반응 시간에는 영향을 끼치지 않았다.

선행 연구에서 30%의 산소 공급이 뇌 활성화 양을 증가시켜 인지 능력이 향상되었다는 사실을 뇌 기능 영상 결과로부터 유도하였지만, 30%의 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, 공급 시작 약 1분 이후 실제 인지 처리가 요구되는 단어 제시, 반응 시간 과제, 숫자 세기 과제 단계 구간에서 혈중 산소 포화도는 유의하게 증가하였다. 이것은 인지 처리가 요구되는 구간에서 21%에 비해 30%의 산소 공급이 실제 혈중 산소 농도를 증가시켜 뇌 활성화를 촉진시킬 수 있다는 사실을 의미하는 것으로, 본 연구팀의 선행 연구 결과를 뒷받침하는 증거가 될 수 있다. 통제 과제 구간에서부터 21% 또는 30% 농도의 산소가 공급되므로 21%에 비해 30% 산소 공급일 때 통제 과제 구간에서 혈중 산소 포화도가 높아야 될 것이다. 그러나 본 연구 결과에서는 두 가지 산소 농도에서 통제 과제 구간에서 혈중 산소 포화도에 차이가 없었다. 그 이유는 먼저 본 연구의 피험자 수가 적어 유의차가 나타나지 않을 수도 있기 때문일 것이다. 그리고 30%의 산소를 공급하여 실제 혈중 산소 농도가 증가할 때까지 rising time이 존재할 것이고, 이 때문에 통제 과제 구간에서의 혈중 산소 농도의 증가가 뚜렷하지 못해서 차이가 없는 것으로 나타날 수 있을 것으로 판단된다. 추가 확인 실험 결과 안정 상태에서 30%의 산소를 공급한 후 약 40-50초 이후에 혈중산소 포화도가 정상 상태에 도달한다는 사실을 확인하였다.

구간별 혈중 산소 포화도 변화를 살펴보면, 두 가지 산소 농도에서 안정 상태에 비해 단어 제시, 반응 시간 과제, 숫자 세기 과제, 단어 기억 단계에서 혈중 산소 포화도가 증가하였다. 이것은 인지 처리 수행 시 산소 요구량이 증가한다는 선행 연구 결과와 일치하는 것이다(Backs and Selijos; 1994 Scholey *et al.*, 1999).

구간별 심박동률의 변화를 살펴보면, 두 가지 산소 농도에서 모두 단계별로 유사한 패턴을 보였다. 안정 상태에 비해 인지 처리가 요구되는 구간에서 심박동률이 증가하였다. 이것은 인지 처리가 이루어지는 구간에서 심장 부하가 증가한다는 사실을 의미하고, 역시 인지 처리 수행 시 심박동률이 증가한다는

선행 연구 결과와 일치하는 것이다(Turner and Carroll, 1985; Backs and Selijos, 1994 Scholey *et al.*, 1999). 두 가지 산소 농도에서 모두 단어 제시, 숫자 세기, 단어 기억 단계에 비해 반응 시간 과제에서 심박동률이 감소하는 패턴을 관찰할 수 있었다. 인지 수행 노력과 생리 변화의 크기가 상관 관계가 있다는 보고를 참고한다면(Backs and Selijos, 1994), 다른 인지 처리에 비해 반응 시간 과제가 상대적으로 작은 인지 노력을 필요로 함을 알 수 있다.

21%에 비해 30%일 때 통제 과제, 단어 제시, 숫자 세기 과제 구간에서 심박동률이 유의하게 작았다. 이것은 30%의 산소 공급 시 뇌의 신진대사에 필요한 산소 요구량이 충분히 공급되고 있기 때문에 심박동률이 작아진 것으로 판단된다. 인지 처리가 없는 안정 단계에서 과산소 상태(hyperoxia)는 심박동률을 감소시킨다는 보고가 있었다(Lodato and Jubran, 1993). 이러한 사실로부터 과산소 상태일 때 인지 처리로부터 유발되는 심박동률이 작아질 수 있다는 것을 예측할 수 있고, 본 연구의 결과를 뒷받침할 수 있다. 결론적으로 인지 수행으로 심박동률이 증가되지만, 고농도의 산소 공급이 필요 산소량을 충분히 공급하여, 인지 처리에 필요한 심박동률을 감소시킨다는 결론을 도출할 수 있다.

본 연구 결과로부터 30% 고농도 산소 공급이 인지 처리 수행 시 혈중 산소 포화도를 증가시켜 기억력 증가에 긍정적인 영향을 미치고, 인지 처리의 부하를 감소시켜 심박동률을 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 판단할 수 있는 근거를 마련하였다. 그러나 향후 정확한 연구를 위해서는 피험자 수를 충분히 늘리고, 산소 공급 후 혈중 산소 농도의 rising time을 고려한 실험 설계가 필요할 것으로 판단된다.

향후 산소 농도, 산소 공급 시간 등의 변수가 인지 처리에 미치는 영향에 대한 연구가 필요할 것이다. 학습, 추리, 지각, 정서 등의 다양한 인간의 인지 기능뿐만 아니라 실제 물리적인 작업 수행에 고농도의 산소 공급이 어떠한 변화를 유발하는지에 대한 연구도 필요할 것이다. 또한 고농도 산소 공급의 긍정적인 효과뿐만 아니라 인간의 다양한 신체적 및 정신적 부정적 효과에 대한 검증 연구도 필요할 것이다. 마지막으로 실제 다양한 작업 및 사무 환경 개선에 어떻게 적용할 수 있는지에 대한 응용연구도 필수적일 것이다.

#### 참고문헌

- Backs, R.W. and Selijos, K.A. (1994), Metabolic and cardiorespiratory measures of mental efforts: The effects of level of difficulty in a working memory tasks, *International Journal of Psychophysiology*, 16, 57-68.
- Chung, S.C., Tack, G.R., Yi, J.H. and Sohn, J.H. (2004), Visuospatial cognitive performance following oxygen administration in healthy young

- men, *Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers*, 30(1), 11-16.
- Chung, S.C., Kim, I.H. and Sohn, J.H. (2004), Verbal cognitive performance following oxygen administration: An fMRI study, submitted to *Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers*.
- Crowley, J. S., Wesenten, N. W., Kamimori, G., Devine, M. E., Iwanyk, E. and Balkin, T. (1992), Effects of high terrestrial altitude and supplemental oxygen on human performance and mood, *Aviat Space Environ Med*, 63, 696-701.
- Eustache, F., Rioux, P., Desgranges, B., Marchal, G., Petittaboue, M.C., Dary, M., Lechevalier, B. and Baron, J.C. (1995), Healthy aging, memory subsystems and regional cerebral oxygen consumption, *Neuropsychologia*, 33, 867-887.
- Fujiwara, T. and Maeda, M.(2001), Effects of oxygen and refresh space for the elderly, *J Human Life Engineering*, 2(3), 8-11.
- Gold, P.E., Macleod, K.M., Deary, I.J. and Frier, B.M. (1985), Hypoglycaemic-induced cognitive dysfunction in diabetes mellitus: Effect of hypoglycaemic unawareness, *Physiology and Behavior*, 58, 501-511.
- Horwitz, B., McIntosh, A. R., Haxby, J. V. and Grady, C. L. (1995), Network analysis of brain cognitive function using metabolic and blood-flow data, *Behav Brain Res*, 66, 187-193.
- Jonides, J., Schumacher, E.H., Smith, E.E., Lauber, E.J., Awh, E., Minoshima, S. and Koeppel, R.A. (1997), Verbal working memory load affects regional brain activation as measured by PET, *Journal of Cognitive Neuroscience*, 9, 462-475.
- Lodato, R.F. and Jubran, A. (1993), Response time, automatic mediation and reversibility of hyperoxic bradycardia in conscious dogs, *Journal of Applied Physiology*, 74, 634-642.
- Noble, J., Jones, J.G. and Davis, E.J. (1993), Cognitive function during moderate hypoxaemia, *Anaesthesia and Intensive Care*, 21, 180-184.
- Scholey, A.B., Moss, M.C., Neave, N. and Wesnes, K.(1999), Cognitive performance, hyperoxia, and heart rate following oxygen administration in healthy young adults, *Physiology and Behavior*, 67, 783-789.
- Sung, E.J., Min, B.C., Jeon, H.J., Kim S.C. and Kim, C.J.(2002), Influence of oxygen rate on driver fatigue during simulated driving, *Korean Journal of the Science of Emotion and Sensibility*, 5(1), 71-78.
- Turner, L.A. and Carroll, D. (1985), Heart rate and oxygen consumption during mental arithmetic, a video game, and graded exercise: Further evidence of metabolically-exaggerated cardiac adjustments, *Psychophysiology*, 22, 261-267.
- Wientjes, C.J.E. (1992). Respiration in psychophysiology: Methods and applications, *Biological Psychology*, 34, 179-204.



#### 정순철

한국과학기술대학 전기및전자공학과 학사  
 한국과학기술원 정보통신공학과 석사  
 한국과학기술원 전기및전자공학과 박사  
 현재: 건국대학교 의학공학부 교수  
 관심분야: 뇌기능영상, 생체신호처리



#### 이봉수

서울대학교 원자핵공학과 학사  
 서울대학교 원자핵공학과 석사  
 플로리다대학 원자핵공학과 박사  
 현재: 건국대학교 의학공학부 교수  
 관심분야: 의광학, 의용방사선공학



#### 탁계래

한양대학교 기계공학과 학사  
 한양대학교 기계공학과 석사  
 아이오와대학 의공학과 박사  
 현재: 건국대학교 의학공학부 교수  
 관심분야: 유한요소해석, 동작분석