

고농도 산소가 덧셈과제 수행능력과 생리신호에 미치는 영향*

Effect of Highly Concentrated Oxygen Administration on Addition Task Performance and Physiological Signals

정순철** · 임대운***†

Soon-Cheol Chung** · Dae-Woon Lim***†

건국대학교 의학공학부 의공학실용기술연구소**

Dept. of Biomedical Engineering, Research Institute of Biomedical Engineering, Konkuk University

동국대학교 정보통신공학과***†

Dept. of Information & Communication Engineering, Dongguk University

Abstract : This study investigated the effect of 40% oxygen administration on the addition task performance in three levels of difficulties and physiological signals. Ten male and female college students were selected as the subjects for this study. The experiment consisted of two runs: one was a addition task, with normal air (21% oxygen) administered and the other was with hyperoxic air (40% oxygen) administered. The experimental sequence in each run consisted of Rest1 (3 min), Task1 (1 min, one digit addition task), Task2 (1 min, two digit addition task), Task3 (1 min, three digit addition task), and Rest2 (4 min). Blood oxygen saturation and heart rate were measured throughout the five phases. The accuracy rates of the addition task were enhanced with 40% oxygen administration compared to 21% oxygen. Difference in the accuracy rates grew higher with the rise of difficulty. When 40% concentration oxygen is supplied, blood oxygen saturation increased and heart rate was decreased comparing to 21%. This study showed that the supply of high concentration oxygen increases blood oxygen saturation, which in turns accelerates brain activation resulting from cognitive process and enhances arithmetic abilities. Particularly when difficulty is high, demand for oxygen increases and, as a result, the effect of high concentration oxygen becomes more significant.

Key words : addition task, oxygen, blood oxygen saturation, heart rate

* (과제지원) 이 연구에 참여한 연구자는 정보통신부 NEXT 사업의 지원비를 받았음.

† 교신저자 : 임 대 운 (동국대학교 정보통신학과)

E-mail : daewoonlim@gmail.com

TEL : 02-2260-8923

FAX : 02-2285-3343

요약 : 본 연구에서는 40% 농도의 산소 공급이 난이도에 따른 덧셈과제 수행 능력, 혈중 산소 포화도, 심박동율의 변화에 어떠한 영향을 미치는지 관찰하였다. 10명의 남자와 10명의 여자 대학생이 두 가지 농도의 산소 (21%, 40%)를 흡입하면서 세 가지 난이도의 덧셈연산을 수행하였다. Rest1 (3분), Task1 (1분, 한 자리 수 덧셈), Task2 (1분, 두 자리 수 덧셈), Task3 (1분, 세 자리 수 덧셈), Rest2 (4분)의 순서로 실험이 진행되었고, 모든 구간에서 혈중 산소 포화도와 심박동율이 측정되었다. 21%에 비해 40% 농도의 산소를 공급했을 때 평균 정답률이 증가하였고, 난이도가 증가할수록 정답율의 차이가 더 컸다. 21%에 비해 40%의 산소가 주어질 때 모든 구간에서 혈중 산소 포화도는 증가하였고, 심박동율은 감소하였다. 결론적으로 고농도 산소 공급이 혈중 산소 포화도를 증가시켜 인지 처리에 따른 뇌 활성화를 촉진 시킬 수 있고 이로 인해 연산 수행 능력이 증가되었다는 사실을 도출 할 수 있다. 특히 난이도가 증가할수록, 즉 인지 처리의 요구가 커질수록 고농도 산소의 효과가 더 명확히 나타난다는 사실을 도출할 수 있다.

주제어 : 덧셈과제, 산소, 혈중 산소 포화도, 심박동율

1. 서론

인지 처리가 시작되면 뇌신경조직에 글루코스와 산소를 공급하기 위한 다양한 생리 변화가 발생하게 된다[7]. 비디오 게임을 수행하거나, 복잡한 수학 문제를 풀게 되면 심박동율 (heart rate) 과 산소 소모가 증가한다고 보고 된 바 있다 [12]. 노력이 요구되는 인지 처리 수행은 빠르고 얇은 호흡을 유발한다는 보고가 있었다[13]. 또한 기억해야 할 단어가 많으면 많을수록 심박동율과 호흡의 증가량은 커지고, 산소 요구량이 증가한다는 보고도 있었다[1]. 이러한 연구 결과로부터 인지 처리 수행은 심박동율, 호흡, 산소 소모의 증가와 같은 생리 변화를 유발하고, 인지 처리의 요구가 커질수록 (인지 부하가 증가할수록) 생리 변화도 커진다는 사실을 알 수 있다.

100%의 산소 공급이 단어 기억력 증가에 긍정적인 영향을 미친다는 사실이 보고되었다 [8-11, 14]. 본 연구팀에서는 30%의 산소 공급 시 공간 및 언어 인지 능력에 어떠한 변화를 유발하는지에 대한 기초 연구를 뇌기능 영상 기법 (functional Magnetic Resonance Imaging: fMRI)을 이용하여 수행하였다[2, 5]. 일반 공기

중의 산소 농도 환경 (21%)에 비해 30%의 고농도 산소 환경에서 각 인지 기능을 담당하는 뇌 영역에서 신경 활성도가 증가하였다. 또한 과제 수행 결과에서도 30% 농도의 산소 공급일 때 평균 정답률이 유의미하게 증가하였다. 이것으로부터 고농도 산소공급이 인지 처리에 필요한 산소 공급을 충분하게 하여 신진대사를 보다 활성화시키고 과제 수행 능력 증가에도 긍정적인 역할을 한다는 결론을 도출하였다. 또한 30%의 고농도 산소 공급이 실제 혈중 산소 포화도를 증가시켜 공간, 언어, 기억력 등의 인지 능력 증가에 긍정적인 영향을 미치고, 인지 처리에 필요한 산소량을 충분하게 하여 심박동율의 증가를 감소시킨다는 사실을 보고하기도 하였다[3, 4, 6].

외부의 산소 공급이 기억력, 공간 및 언어 능력에 긍정적인 영향을 미친다는 보고가 있었지만[2-11, 14] 연산, 학습, 추리 등의 다양한 인지 능력에 어떠한 영향을 미치는지에 관한 연구는 부족한 실정이다. 100%와 30% 농도의 산소를 이용하여 다수의 연구가 수행되어 왔으나, 다양한 산소 농도 변화에 따른 인지 처리 능력 변화에 관한 연구도 아직 부족한 실정이다. 특히 과제 난이도에 따라서 외부의 산소 공급이 어떠한 영향을 미치는지에 관한 연구도 전무한 실정

이다.

그러므로 본 연구에서는 세 가지 난이도의 덧셈 과제를 이용하여 40% 고농도의 산소 공급이 계산 수행 능력에 미치는 영향을 분석하고자 한다. 또한 혈중 산소 포화도와 심박동율을 측정하여 고농도 산소 공급에 따른 생리 변화를 관찰하고자 한다.

2. 연구 방법

2.1. 산소 공급 장치 및 실험 참여자

21% 및 40% 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 전달되었다.

10명의 남자대학생 (평균 25.2±0.9세)과 10명의 여자대학생 (평균 22.4±1.9세)을 실험참여자로 선정하였고 각 실험 참여자는 두 번의 실험(21%와 40%)에 참여하였다.

2.2. 덧셈과제

50명의 대학생을 대상으로 하여 세 가지 종류의 덧셈 과제의 난이도를 평가하였다. 최저 1과 최고 7사이로 주관적으로 평가하였을 때 한 자리 수 덧셈은 1.15, 두 자리 수 덧셈은 3.05, 세 자리 수 덧셈은 6.72의 난이도를 가졌고 세 가지 종류의 덧셈 과제 난이도에 통계적으로 유의한 차이가 있었다 ($p < 0.001$).

덧셈 과제 문제지를 각 자리수마다 2종류를 제작하여 한사람의 피험자가 두 가지 산소 농도 실험에서 각각 다른 문제지를 풀도록 하였다. 이때 2종류의 문제지는 두 가지 산소 농도 실험에 무작위로 배정하였다.

2.3. 실험 설계 및 절차

각 실험은 그림 1과 같이 Rest1 (3분), Task1 (1분, 한 자리 수 덧셈), Task2 (1분, 두 자리 수 덧셈), Task3 (1분, 세 자리 수 덧셈), Rest2 (4분)의 다섯 구간으로 구성되어 있다. SuperLab 1.07 (Cedrus Co.)을 사용하여 제작된 덧셈 과제가 컴퓨터 모니터를 통해 실험 참여자에게 제시되었다. 실험 참여자는 네 가지 보기 중 정답을 선택하여 키보드의 버튼을 누르도록 하였다. Rest1 구간은 산소를 공급하기 시작하면서 백지 화면을 보며 3분 동안 안정하는 구간이다. Task1 (한 자리 수 덧셈), Task2 (두 자리 수 덧셈), Task3 (세 자리 수 덧셈) 구간에서는 각각 1분 동안 10문제를 제시하였다. 1문제당 6초의 시간 안에 정답 버튼을 누르도록 하였다. Rest2는 산소 공급을 중지한 후 백지 화면을 보고 4분 동안 휴식하는 구간이다. 피험자는 1시간 간격으로 두 가지 산소 농도 실험을 수행하였다. 이때 두 가지 종류의 산소의 공급 순서는 무작위로 하였다.

2.3. 생리 신호 측정

8500A (Nonin Medical Inc.)를 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 측정 값을 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 심박동율 (bit per minute: bpm)을 계산하였다. 오른쪽 발목에 기준 전극을 부착하고, 양 손목에 측정 전극을 부착하였다. 두 가지 농도의 산소를 각각

공급하면서 모든 구간에서 생체 신호 (심박동률, 혈중 산소 포화도)를 측정하였다.

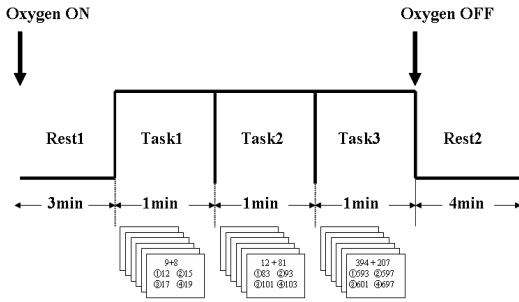


그림 1. 실험 과정

2.4. 데이터 분석

두 개의 실험 (21%, 40%)에 대해 각 실험 참여자의 정답수를 계산하였다. Two-way repeated measures ANOVA (SPSS ver. 12.0)를 사용하여 그룹 (21%, 40%)과 덧셈의 난이도 (덧셈의 자리 수)에 따라 정답률에 통계적으로 유의한 차이가 있는지를 검증하였다.

각 실험 참여자의 혈중 산소 포화도와 심박동율은 각 구간별 (다섯 구간)로 하나의 평균값이 산출되었다. 그룹 (21%, 40%)과 구간을 독립변인으로 하는 two-way repeated measures ANOVA를 사용하여 두 가지 산소 농도 사이에 그리고 각 구간별로 심박동율과 혈중 산소 포화도에서 유의한 차이가 있는지를 검증하였다.

3. 결 과

3.1. 덧셈과제 수행결과

그림 2와 같이 21%에 비해 40% 산소 농도에서 평균 정답률이 증가하였고, 난이도 (덧셈의 자리 수)가 증가 할수록 평균 정답율의 차이가 더 컸다.

표 1과 같이 그룹 (21%, 40%)과 난이도를 독립변인으로 하는 ANOVA 분석을 수행하였다. 그룹 ($p<0.001$)과 난이도 ($p<0.001$)에서 통계적으로 유의차가 발생하여 21%와 40% 산소 농도 사이에 그리고 난이도별로 정답률에 유의미한 차이가 있다는 사실이 관찰되었다. 그리고 그룹과 난이도 사이에 상호작용 효과 ($p<0.001$)가 관찰되어 정답율의 변화 양상이 차이가 있는 것으로 나타났다. 상호 작용 효과를 해석하기 위하여 단순 주 효과 분석을 실시한 결과 한 자리 수 덧셈과 두 자리 수 덧셈에서는 유의차가 없었지만 세 자리 수 덧셈 ($p<0.001$)에서 유의차가 발생하였다 (그림 2).

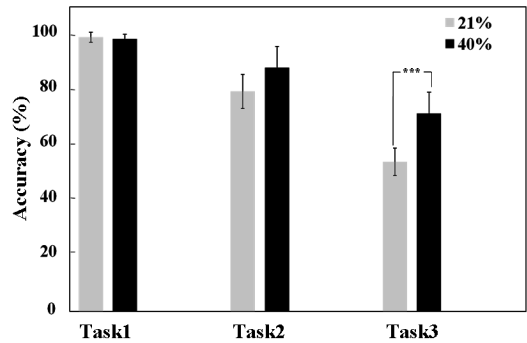


그림 2. 두 가지 산소 농도에서 덧셈과제 난이도에 따른 정답율 변화 *** $p<0.001$

표 1. 그룹 (21%, 40%)과 난이도를 독립변인으로 하는 정답율의 ANOVA 분석결과

Source	TypeIII Sum of Square	df	Mean Square	F
Group	21.68	1	21.68	20.77***
Difficulty	261.60	2	130.80	101.30***
Group×Difficulty	16.20	2	8.10	11.93***

*** $p<0.001$

3.2. 생리신호 분석결과

그림 3과 같이 모든 구간에서 혈중 산소 포화도는 21%에 비해 40%일 때 증가하였다. 이것은 덧셈 연산이 수행되는 구간에서 21%에 비해 40%의 산소 공급 시 실제 혈중 산소 농도가 증가되어 뇌 활동에 보다 도움을 줄 수 있다는 사실을 의미한다. 표 2와 같이 그룹 (21%, 40%)과 구간을 독립변인으로 하는 ANOVA 분석을 수행하였다. 그룹 ($p<0.001$)과 구간 ($p<0.05$)에서 유의한 차이가 나타나 21%와 40% 산소 농도 사이에 그리고 구간별로 혈중 산소 포화도에 유의한 차이가 있다는 사실이 관찰되었다. 그룹과 구간의 상호작용 효과는 없는 것으로 나타나 두 가지 산소 농도에 따라 혈중 산소 농도의 변화 양상은 차이가 없는 것으로 나타났다 ($p>0.05$) (표 2).

그림 4와 같이 모든 구간에서 심박동율은 40%에 비해 21%일 때 증가하였다. 표 3과 같이 그룹 (21%, 40%)과 구간을 독립변인으로 하는 ANOVA 분석을 수행하였다. 그룹 ($p<0.05$)과 구간 ($p<0.001$)에서 유의한 차이가 나타나 두 가지 산소 농도에 따라 그리고 구간별로 심박동율의 크기에 차이가 있다는 사실이 관찰되었다. 그룹과 구간 사이에 상호작용 효과 ($p<0.05$)가 관찰되어 심박동율의 변화 양상이 차이가 있는 것으로 나타났다. 상호 작용 효과를 해석하기 위하여 단순 주 효과 분석을 실시한 결과 Task2와 Task3 구간에서 두 산소 농도 간에 유의차 ($p<0.05$)가 발생하였다 (그림 4).

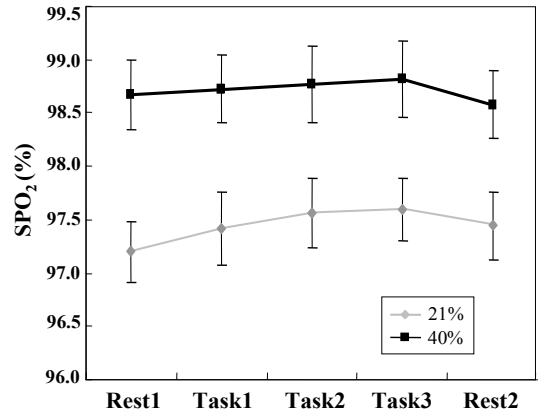


그림 3. 두 가지 산소 농도에서 구간별 혈중 산소 포화도의 변화

표 2. 그룹 (21%, 40%)과 구간을 독립변인으로 하는 혈중 산소 포화도의 ANOVA 분석결과

Source	TypeIII Sum of Square	df	Mean Square	F
Group	61.65	1	61.65	69.59***
Phase	1.18	4	0.30	2.76*
Group×Phase	0.55	4	0.14	2.28

* $p<0.05$ *** $p<0.001$

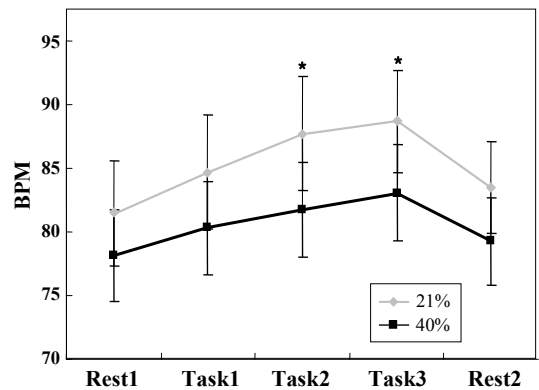


그림 4. 두 가지 산소 농도에서 구간별 심박동율의 변화 * $p<0.05$

표 3. 그룹 (21%, 40%)과 구간을 독립변인으로 하는 심박동율의 ANOVA 분석결과

Source	Type III Sum of Square	df	Mean Square	F
Group	1091.61	1	1091.61	13.19*
Phase	980.70	4	245.18	40.68***
Group×Phase	46.97	4	11.74	3.88*

*p<0.05 ***p<0.001

4. 토의

본 연구는 일반 공기 중의 산소 농도(21%)에 비해 40%의 고농도 산소 공급이 난이도에 따라 덧셈 수행 능력에 어떠한 영향을 주는지에 대한 기초 연구를 과제 수행 능력과 생체신호 (심박동률, 혈중 산소 포화도) 결과를 비교하여 수행하였다.

먼저 본 연구에서 사용된 세 종류의 덧셈 과제는 통계적으로 유의하게 난이도에 차이가 있는 것으로 나타나 본 연구의 목적에 부합하는 것으로 나타났다. 21%에 비해 40%의 산소 공급 시 덧셈 연산 수행 능력이 유의하게 증가하여 고농도의 산소가 덧셈 연산 능력 향상에도 긍정적인 영향을 미친다는 결론을 도출할 수 있었다. 특히 덧셈 연산의 난이도가 증가 할수록 고농도의 산소 효과가 더 컸다 (그림 2). 이것은 인지 처리의 요구가 커질수록 (인지 부하가 증가할수록) 이에 따라 산소 요구량도 함께 증가하기 때문에 공급된 고농도의 산소가 보다 더 효과적으로 활용될 수 있다는 사실을 의미하는 결과이다[1]. 즉, 어렵고 복잡한 인지 처리가 요구될수록 고농도 산소가 더 큰 효과가 있음을 알 수 있다.

구간별 혈중 산소 포화도 변화를 살펴보면, 두 가지 산소 농도에서 모두 구간별로 유의한

차이가 있었고, 안정 상태에 비해 연산 처리가 이루어지는 Task 구간에서 혈중 산소 포화도가 증가하였다. 또한 덧셈 연산의 난이도가 증가할수록 혈중 산소 포화도도 함께 증가하였다. 이것은 인지 처리 수행 시 호흡량과 산소 요구량이 증가하고, 인지 처리의 요구가 커질수록 생리 변화도 커진다는 선행 연구 결과와 일치하는 것이다[1, 10-13]. 21%에 비해 40%의 산소를 공급할 때 인지 처리가 요구되는 Task 구간에서 혈중 산소 포화도는 유의미하게 컸고 (그림 3), 인지 수행 능력도 증가하였다. 이것은 뇌 신진대사가 활성화 되는 구간에서 21%에 비해 40%의 산소 공급이 실제 혈중 산소 농도를 증가시켜 뇌 활성화를 촉진시킬 수 있다는 사실을 다시 한번 증명하는 결과이다.

심박동율이 구간별로 유의한 차이가 있었다. Rest 상태에 비해 인지 처리가 요구되는 구간에서 심박동율이 증가하였고, 난이도에 비례하여 심박동율도 함께 증가하였다. 이것 역시 선행 연구결과와 일치하는 것이다[1, 10-13]. 21%에 비해 40%의 산소를 공급할 때 심박동율은 감소하였다. 특히 Task2와 Task3 구간에서 통계적으로 유의하게 심박동율의 차이가 관찰되어 고농도 산소가 인지처리에 수반되는 심박동율의 증가를 감소시킬 수 있다는 사실을 확인하였다.

본 연구에서는 40%의 고농도 산소가 덧셈 과제 수행에 긍정적인 영향을 미치고, 특히 난이도가 증가 할수록 고농도의 산소 효과가 더 크다는 사실을 도출하였다. 향후 다양한 산소 농도에 대한 연구로부터 인지 기능을 최대한 높일 수 있는 최적의 산소 농도를 찾는 연구가 필요할 것이다. 본 연구에서와 같이 인지 기능에 대한 단기 효과 (10분 동안의 짧은 실험 시간) 뿐만 아니라 장기적으로 고농도의 산소가 어떠한 영향을 미치는지에 대한 연구도 필요할 것으로 생각된다. 학습, 추리, 지각 등의 다양한 인간의 인지 처리에 고농도의 산소 공급이 어떠한 변화를

유발하는지에 대한 연구도 필요할 것이다. 또한 고농도 산소 공급의 인지 기능에 대한 긍정적인 효과뿐만 아니라 인간의 다양한 신체적 및 정신적 부정적 효과에 대한 검증 연구도 필요할 것으로 판단된다.

참고문헌

- [1] Backs, R. W., & 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.
- [2] Chung, S. C., Tack, G. R., Lee, B., Eom, G. M., Lee, S. Y., & Sohn, J. H. (2004). The effect of 30% oxygen on visuospatial performance and brain activation: An fMRI study. *Brain and Cognition*, 56, 279-285.
- [3] Chung, S. C., Tack, G. R., & Lee, B. (2005). The effect of 30% oxygen on the memory performance, hyperoxia and heart rate. *IE Interfaces*, 18(2), 178-183.
- [4] Chung, S. C., Iwaki, S., Tack, G. R., Yi, J. H., You, J. H., & Kwon, J. H. (2006). Effect of 30% oxygen administration on verbal cognitive performance, blood oxygen saturation and heart rate. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 31(4), 281-293.
- [5] 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.
- [6] 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(2), 166-170.
- [7] Jonides, J., Schumacher, E. H., Smith, E. E., Lauber, E. J., Awh, E., Minoshima, S., & Koeppel, R. A. (1997). Verbal working memory load affects regional brain activation as measured by PET. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 9, 462-475.
- [8] Moss, M. C., & Scholey, A. B. (1996). Oxygen administration enhances memory formation in healthy young adults. *Psychopharmacology (Berlin)*, 124, 255-260.
- [9] Moss, M. C., Scholey, A. B., & Wesnes, K. A. (1998). Oxygen administration selectively enhances cognitive performance in healthy young adults: A placebo-controlled double blind crossover study. *Psychopharmacology*, 138, 27-33.
- [10] Scholey, A. B., Moss, M. C., & Wesnes, K. A. (1998). Oxygen and cognitive performance: The temporal relationship between hyperoxia and enhanced memory. *Psychopharmacology*, 140, 123-126.
- [11] Scholey, A. B., Moss, M. C., Neave, N., & Wesnes, K. A. (1999). Cognitive performance, hyperoxia, and heart rate following oxygen administration in healthy young adults. *Physiology & Behavior*, 67(5), 783-789.

- [12] Turner, L. A., & Carroll, D. (1985). Heart rate and oxygen consumption during mental arithmetic, a video game and graded exercise: Further evidence of metabolically-exaggerated cardiac adjustment. *Psychophysiology*, 22, 261-267.
- [13] Wientjes, C. J. E. (1992). Respiration in psychophysiology: Methods and applications. *Biological Psychology*, 34, 179-204.
- [14] Winder, R., & Borrill, J. (1998). Fuels for memory: The role of oxygen and glucose in memory enhancement. *Psychopharmacology*, 136, 349-356.

원고접수 : 08/02/27

수정접수 : 08/03/06

게재확정 : 08/03/10