

휴식용 향과 고농도 산소를 이용한 복합 자극의 효과: fNIRS 연구

The Effects of Combined Stimulation Using Relaxation Scent and High Concentration Oxygen: fNIRS Study

민병찬[†]

Byung-Chang Min[†]

Abstract

This study aims to explore the effect of combined stimulation consisting of relaxation-inducing scent and high-concentration oxygen on psychological/physiological responses. The cerebral blood flow responses and arousal that occur when oxygen concentration is controlled under the same scent conditions were observed. The experiment's scent was lavender oil (relaxing scent), and the oxygen concentrations were normal (21%) and high (30%). The experiment involved 12 male adults repeating a 5-minute rest period and a 5-minute stimulation period. The hemoglobin (HbO) concentration was extracted using the Beer-Lambert law to observe cerebral blood flow responses. Arousal was assessed using a 5-point scale questionnaire. A paired t-test was used to compare the two stimuli (lavender +21%, lavender +30%). Results reveal that HbO concentration in the frontal lobe increased, whereas arousal decreased at lavender +30% vs. lavender +21%. These results suggest that adding high-concentration oxygen to scent stimulation can induce more brain activation and relaxation.

Key words: High-Oxygen Concentration, Lavender Oil, fNIRS, Arousal-Relaxation, Hemodynamic Responses

요약

이 연구의 목적은 이완을 유도하는 향과 고농도 산소를 결합한 자극이 심리적/생리적 반응에 미치는 영향을 탐구하는 것이다. 같은 향 조건 하에서 산소 농도를 조절했을 때 나타나는 뇌혈류 반응과 각성도가 관찰되었다. 실험에 사용된 향은 라벤더 오일(이완 향)이었고, 산소 농도로는 일반 농도 산소(21%)와 고농도 산소(30%)가 사용되었다. 실험은 총 12명의 성인 남성을 대상으로 휴식 기간(5분)과 자극 기간(5분)을 반복하여 실시되었다. 뇌혈류 반응을 관찰하기 위해 비어-램버트(Beer-Lambert) 법칙에 따라 헤모글로빈(HbO) 농도가 추출되었다. 각성도는 5점 척도 설문지를 사용하여 평가되었다. 두 자극(라벤더+21%, 라벤더+30%) 간 비교를 위해 쌍체 t-검정이 실시되었다. 결과적으로 라벤더+30%에서 라벤더+21%에 비해 전두엽의 HbO 농도가 증가하고 각성도가 감소하였다. 이 결과들은 기존의 향 자극에 고농도 산소가 추가된 복합 자극이 더 많은 뇌 활성화와 이완을 유도할 수 있음을 시사한다.

주제어: 고농도 산소, 라벤더 오일, fNIRS(기능성 근적외선 분광법), 각성-이완, 혈류역학 반응

* 이 논문은 2022학년도 한밭대학교 대학회계 연구비를 지원받아 작성되었음.

This study was financially supported by Hanbat National University Financial Accounting Research Fund in 2022.

[†] 민병찬: 국립한밭대학교 산업경영공학과 교수 / E-mail: bmin@hanbat.ac.kr / TEL: 042-821-1227

1. 서론

인위적인 외부 자극을 통해 심신의 상태를 조절하는 다양한 연구가 진행되고 있다. 그 중 essential oil을 통한 향 자극, 고농도의 산소 공급과 같이 호흡을 통한 자극에 의한 심리/생리적 반응을 관찰하는 연구가 진행되어 왔다. 향의 종류에 따라 신체/정신적 각성과 이완을 유발할 수 있다는 사실은 잘 알려져 있다. Nakano의 연구에서는 peppermint, jasmine, rose, lavender 등 여러 향에 대해 arousal-relaxation 좌표를 사용하여 분류하였다(Nakano et al., 1992). Min의 연구에서는 Rose, Jasmin, Lemon, Lavender oil 향 자극에 대해 arousal/relaxation 평가를 진행하였다. Rose향은 각성을, lavender향은 이완을 유발하는 것으로 나타났다(Min et al., 1999). 향 자극을 통해 유발된 심신의 이완은 스트레스 해소, 수면의 질 향상과 같은 효과를 보이기도 한다. Masahiro의 연구에서는 lavender 향 자극의 스트레스 완화 효과를 생리적 스트레스 지표(cortisol, chromogranin A)를 통해 확인하였다(Toda & Morimoto, 2008). 고농도 산소 공급이 심리/생리적 반응과 인지 처리 능력, 스트레스 및 피로 경감에 긍정적인 영향을 미친다는 효과도 여러 방법으로 증명되고 있다. Chung의 연구에서는 30%의 고농도 산소 공급이 visuospatial 인지능력을 향상시키고, 혈중 산소 포화도를 증가시킨다고 보고하였다(Chung et al., 2008). Choi의 연구에서는 21%에 비해 30%의 고농도 산소를 공급하였을 때 cingulate gyrus와 thalamus에서 뇌 활성화가 증가되었다고 보고하였다(Choi et al., 2010). 이처럼 특정 자극을 이용하여 이완을 유도하거나 뇌를 활성화시키는 연구들이 지속되고 있다.

본 연구에서는 인간의 심리/생리적 반응에 영향을 미치는 특정 자극들을 동시에 제시하여 중첩효과를 살펴보고자 한다. 기존의 연구들에서는 향과 고농도 산소의 효과를 단일적으로 살펴봤다면, 본 연구에서는 두 자극을 동시에 제시하였을 때 나타나는 효과에 대해 검증하고자 한다. 즉, 고농도 산소가 라벤더 향의 이완 유발 효과를 더욱 증가시키는지, 반대로 감소시키는지 관찰하고자 한다. 객관적인 검증을 위해 fNIRS를 통한 뇌 활성화와 주관적 평가의 정량화를 통해 향과 고농도 산소의 중첩효과를 검증하고자 한다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 2장에서는 실험 및 분석 방법을 살펴본다. 제 3장에서는 결과를 기술한다. 제 4장에서는 결론을 기술한다.

2. 이론적 배경

2.1. 실험참여자

후각 및 호흡기 질환이 없는 성인 남성(23±2세) 12명이 자발적으로 실험에 참여하였다. Hemodynamic response 측정에 영향을 줄 수 있는 요인(카페인, 약물, 흡연, 음주)을 배제하였고 실험 전일 7시간 이상의 충분한 수면을 취하도록 권장되었다. 모든 실험자에게 참여동의서를 받을 수 실험을 진행하였으며, 실험 도중 중도포기할 수 있음을 설명하였다. 실험을 참여한 모든 실험자는 시간당 1만원의 사례비를 지급받았다.

2.2. 실험프로세스

실험은 Fig. 1(a)와 같이 휴식기 (5분)와 자극기 (5분)로 진행되었다. 자극기 동안 주의집중을 위한 task를 진행하였다. Fig. 1(b)와 같이 세 자릿수 덧셈 문제를 5초 동안 제시되었으며 한 번의 자극기 동안 총 50문제가 제시되었다.

휴식기와 자극기 동안 fNIRS를 통해 hemodynamic data를 측정하였다. 또한, 각각의 자극제시가 끝난 후 arousal-relaxation 정도를 5점 척도로 평가하도록 하였다.

2.3. 데이터 수집 및 분석

NIRSport2 (NIRx, Germany)를 사용하여 32개의 optodes

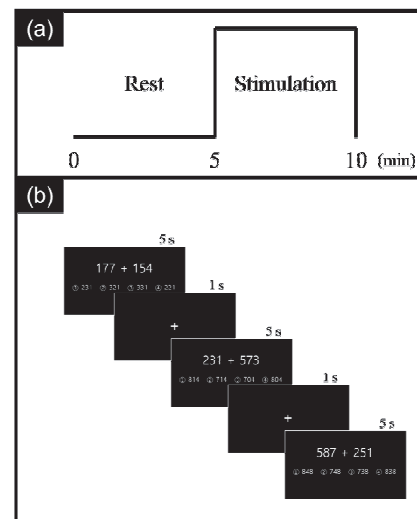


Fig. 1. Experiment procedure

(source:detector=16:16)를 Prefrontal, Frontal, Central, Parietal 영역에 부착하여 총 45개 채널에 대한 광학데이터를 측정하였다(Fig. 3).

획득한 데이터에 대해 NirsLAB software를 이용하여 분석을 진행하였다. 먼저, physiological noises를 제거하기 위해 bandpass filtering (0.01 - 0.20 Hz)을 수행하였다. 이후, 휴식기 데이터를 기준으로 baseline을 조정하였다. 전처리가 끝난 광학데이터는 Beer-Lambert law를 이용하여 hemodynamic data로 변환하여 oxyhemoglobin (HbO) 농도를 추출하였다.

향 자극은 일정한 양(0.02ml)의 lavender oil을 숨에 적셔 제시하였다. 또한, 피험자가 자신의 호흡을 통해 자연스럽게 향을 맡을 수 있도록 코에서 5cm 떨어진 곳에 위치시켰다(Kim & Min, 2019).

산소 자극은 산소와 질소로 구성된 cylinder에 산소 마스크를 연결하여 일정한 압력(10 psi)으로 제시하였다. 일반 산소 농도의 cylinder는 21%의 산소와 79%의

질소로, 고농도 산소의 cylinder는 30%의 산소와 70%의 질소로 구성하였다.

Fig. 2와 같이 향과 산소는 동시에 제시되었다. 라벤더 향과 일반 산소 농도의 조합 (Lav+21%)과 라벤더 향과 고농도 산소의 조합 (Lav+30%)으로 제시되었다. 시계열 형태로 추출된 HbO 농도는 MATLAB R2021b (Mathworks, USA)을 이용하여 분석하였다. 먼저, 각각의 자극과 채널마다 자극기 데이터(5분) 중 마지막 1분 데이터의 HbO 농도의 평균값을 산출하였다. 이후, 두 자극 간의 차이를 보기 위해 paired t-test를 수행하였다.

3. 연구결과 및 토의

3.1. 혈류역학 반응

Fig. 4는 Lav+21%에 비해 Lav+30% 조건에서 HbO 농도가 유의미하게 증가한 채널(적색 선)을 나타낸 것이다. 전체 45개 채널 중 12개의 채널에서 HbO 농도가 증가하였고 38번 채널을 제외한 모든 채널이 frontal 영역에 해당하였다.

Fig. 5는 Lav+21% 조건에 비해 Lav+30% 조건에서 HbO 농도가 유의미하게 증가한 12개 채널들의 HbO 농도를 나타낸 것이다. Ch.11 (FCz-FC1)은 Lav+21%일 때 HbO 농도가 $-3.37 \times 10^{-5} \text{mmol/L}$ 에서 Lav+30%일 때 $0.72 \times 10^{-5} \text{mmol/L}$ 로 증가하였다. Ch12 (F1-F3)는 $-4.32 \times 10^{-5} \text{mmol/L}$ 에서 $0.92 \times 10^{-5} \text{mmol/L}$ 로, Ch15 (Fp1-AF7)는 $-4.62 \times 10^{-5} \text{mmol/L}$ 에서 $1.53 \times 10^{-5} \text{mmol/L}$ 로, Ch16



Fig. 2. Experiment environment

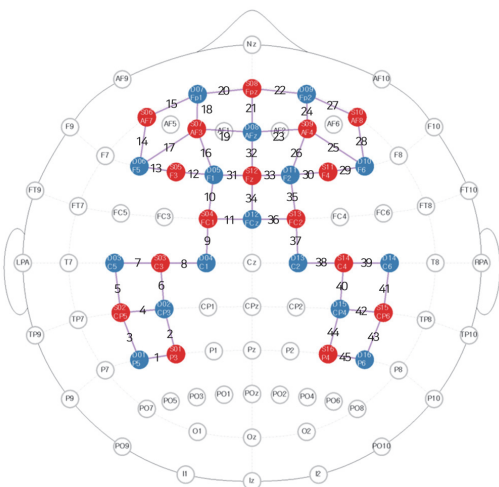


Fig. 3. The positions of optodes and channels (Red circle: Source, Blue circle: Detector, Black line: Channel)

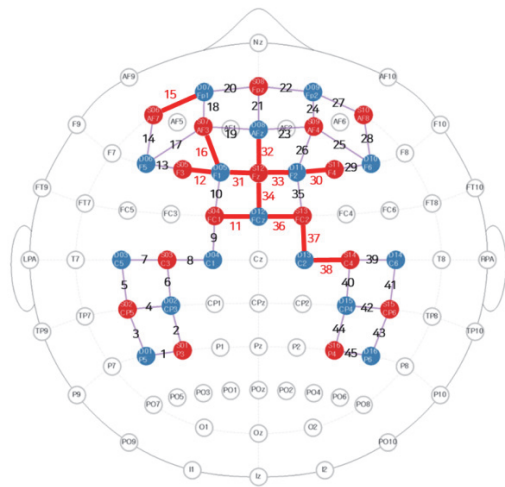


Fig. 4. Channels with significantly increased HbO concentration (mmol/L) (*: $p < .05$, **: $p < .01$)

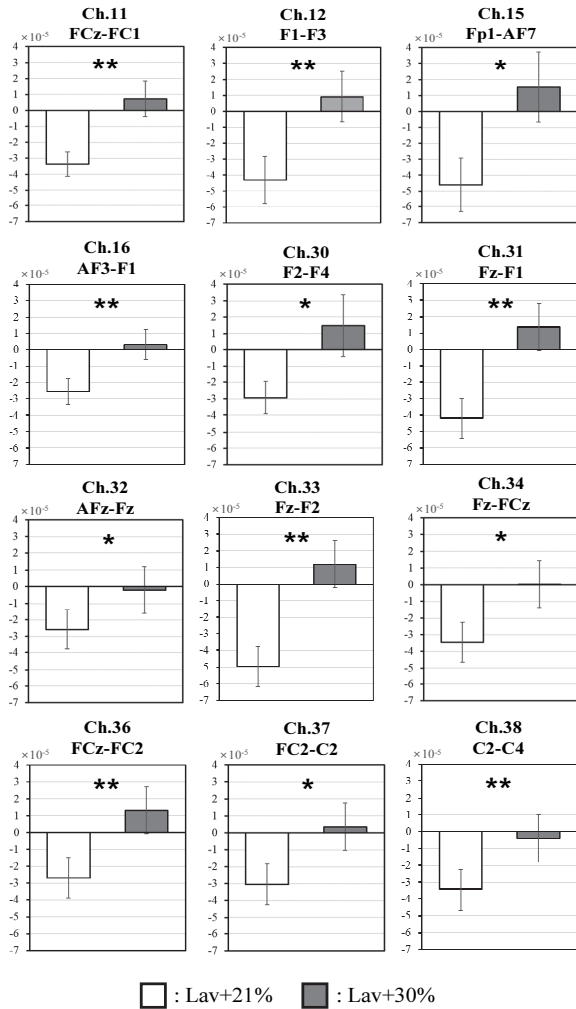


Fig. 5. Concentration of HbO for each channel (*: $p < .05$, **: $p < .01$)

Table 1. Result of paired t-test

No.	Channel	MD (Lav+21% - Lav+30%)	t	p
1	11(FCz-FC1)	-4.089×10^{-5}	-3.221	0.008
2	12(F1-F3)	-5.241×10^{-5}	-3.479	0.005
3	15(Fp1-AF7)	-6.148×10^{-5}	-2.836	0.016
4	16(AF3-F1)	-2.856×10^{-5}	-3.182	0.009
5	30(F2-F4)	-4.423×10^{-5}	-2.374	0.037
6	31(Fz-F1)	-5.581×10^{-5}	-3.904	0.002
7	32(AFz-Fz)	-2.367×10^{-5}	-2.352	0.038
8	33(Fz-F2)	-6.154×10^{-5}	-3.850	0.003
9	34(Fz-FCz)	-3.467×10^{-5}	-2.875	0.015
10	36(FCz-FC2)	-4.026×10^{-5}	-3.188	0.009
11	37(FC2-C2)	-3.389×10^{-5}	-2.537	0.028
12	38(C2-C4)	-3.033×10^{-5}	-2.235	0.047

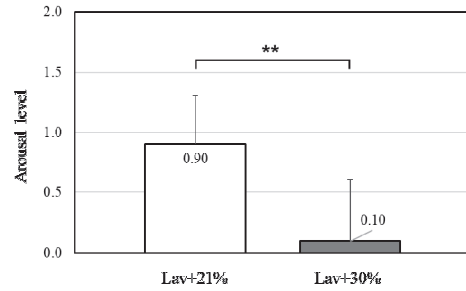


Fig. 6. The 5-point scale scores for arousal level across each condition

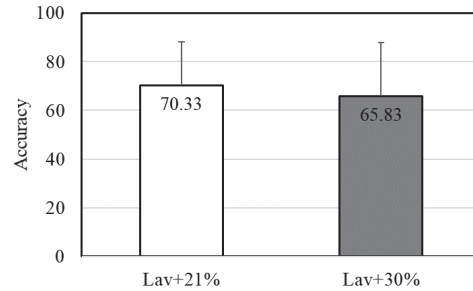


Fig. 7. The accuracy rate (%) for tasks across each condition

(AF3-F1)은 $-2.54 \times 10^{-5} \text{mmol/L}$ 에서 $0.32 \times 10^{-5} \text{mmol/L}$ 로, Ch30 (F2-F4)은 $-2.94 \times 10^{-5} \text{mmol/L}$ 에서 $1.48 \times 10^{-5} \text{mmol/L}$ 로, Ch31 (Fz-F1)은 $-4.21 \times 10^{-5} \text{mmol/L}$ 에서 $1.37 \times 10^{-5} \text{mmol/L}$ 로, Ch32 (AFz-Fz)는 $-2.57 \times 10^{-5} \text{mmol/L}$ 에서 $-0.21 \times 10^{-5} \text{mmol/L}$ 로, Ch33 (Fz-F2)은 $-4.97 \times 10^{-5} \text{mmol/L}$ 에서 $1.19 \times 10^{-5} \text{mmol/L}$ 로, Ch34 (Fz-FCz)는 $-3.45 \times 10^{-5} \text{mmol/L}$ 에서 $0.02 \times 10^{-5} \text{mmol/L}$ 로, Ch36 (FCz-FC2)은 $-2.70 \times 10^{-5} \text{mmol/L}$ 에서 $1.33 \times 10^{-5} \text{mmol/L}$ 로, Ch37 (FC2-C2)은 $-3.03 \times 10^{-5} \text{mmol/L}$ 에서 $0.36 \times 10^{-5} \text{mmol/L}$ 으로, Ch38 (C2-C4)은 $-3.43 \times 10^{-5} \text{mmol/L}$ 에서 $-0.40 \times 10^{-5} \text{mmol/L}$ 로 HbO 농도가 증가하였다. Table 1은 각 조건별 paired t-test 결과이다.

3.2. Arousal-Relaxation

Arousal에 대한 분석 결과, Lav+21% (0.90 ± 0.41)에 비해 Lav+30% (0.10 ± 0.50)일 때 각성도가 감소하였으며 유의 수준 5%에서 차이가 인정되었다(Fig. 6). 즉, 향과 고농도 산소를 동시에 제시하였을 때 심리/생리적 이완이 유발된 것으로 보인다.

5. 결론

본 연구는 향과 고농도 산소를 이용한 복합자극을 통해 심리/생리적 반응을 관찰하고자 하였다. 이완을 유발하는 라벤더향과 30%의 고농도 산소를 동시에 제시하여 뇌 혈류 반응과 주관적 각성도를 관찰하였다. 일반 산소 농도 조건(21%)에서의 라벤더향 자극에 비해 고농도 산소 조건(30%)에서 라벤더향을 제시하였을 때 frontal 영역의 활성화가 관찰되었으며 각성도 또한 낮아짐을 확인하였다. 즉, 이완을 유발하는 향과 고농도 산소를 동시에 제시할 경우 더욱 높은 심리적 이완과 뇌 활성화를 유발할 수 있다는 사실을 검증하였다. 기존의 연구에서 이완을 유발하는 자극과 전두엽의 활성화 관계가 보고되어 왔다. Zhang의 연구에서는 brief relaxation practice이 frontal lobe를 활성화(HbO 증가)시킨다고 보고하였다(Zhang et al., 2020). Feng의 연구에서는 이완 유도 음악을 통해 prefrontal lobe의 활성화를 관찰하였다(Feng et al., 2019). 자극의 종류는 다르지만, 인간이 이완상태일 때 frontal lobe가 활성화된다는 점에서 유사한 결과를 보였다. 라벤더 향과 고농도 산소의 복합자극이 심리/생리적 이완에 긍정적인 영향을 미친 것은 각각의 자극이 가진 특성이 중첩되어 일종의 시너지 효과가 나타난 것으로 판단된다. 각 자극에 대한 효과를 살펴보면, 본 연구의 결과와 유사하게 라벤더 향을 이용한 후각자극이 심리적 이완을 유발한다는 것은 다양한 선행연구에서 입증되어 왔다(Cavanagh & Wilkinson, 2005; Shiina et al., 2008; Karan, 2019). 또한 뇌파, 심전도 등 생리적 이완에 대한 연구도 존재한다. Sayorwan의 연구에서는 라벤더 향의 공급에 따른 자율/중추 신경계의 반응을 관찰하였다. 라벤더 향을 제시하였을 때 혈압, 심박수, 그리고 피부온도가 감소하는 것을 확인하였다. 또한, EEG 분석 결과 전두엽과 후두엽에서 alpha파가 증가하는 것을 확인하였다(Sayorwan et al., 2012). 따라서 라벤더 향을 통해 생리적 이완을 확인할 수 있었다는 점에서 유사한 결과를 보였다. 고농도 산소의 공급에 따른 생리적 반응은 피로감소, 심박수 감소 등 이완 상태를 유도한다. Sung의 연구에서 고농도 산소(30%)가 저농도 산소(18%)에 비해 운전 중 피로감을 감소시킨다고 보고하였다(Sung et al., 2002). Lodato의 연구에서는 hyperoxia가 심박수를 감소시킬 수 있음을 보고하였다(Lodato, 1989). 또한, Chung의 연구에서는 고농도 산소가 뇌 활성화, 혈중 산소포화도 증가

및 심박수 감소를 유발한다고 보고하였다(Chung et al., 2004; Chung et al., 2006; Chung et al., 2007). 이러한 결과는 인간의 대사활동에 필요한 산소 요구량을 외부에서 인위적으로 공급함으로써 인체 내부의 부하가 줄어들어(이완상태) 나타난 것으로 보고 있다. 향과 산소 농도의 중첩효과에 대한 일부 연구도 존재한다. Ji의 연구에서는 두 가지 향(라벤더, 페퍼민트)과 두 가지 산소 농도(21%, 40%)의 복합자극을 운전 중에 제시하였고 심박동율을 관찰하였다(Ji et al., 2012). 그 결과, 라벤더 향을 제시하였을 때 산소 농도 간의 심박동율의 차이는 나타나지 않았다. 이완을 유발하는 향과 고농도 산소의 복합자극이 이완을 유발하지 못하였다는 점에서 본 연구의 결과와 상이하였다. 이러한 결과는 주어진 환경에 따라서 중첩효과가 다르게 나타난다는 것을 보인다. 라벤더 향과 고농도 산소의 복합자극은 동적인 상황(운전)보다 정적인 상황에서 그 효과가 유의미하다는 해석이 가능하다. 또한, 제시된 산소 농도가 상이하(본 연구: 30%, 선행연구: 40%) 나타난 결과일 수 있다. 이는 외부로부터 인위적으로 제시되는 산소 농도에 대해 인간이 수용할 수 있는 임계치가 존재할 수 있다는 점을 보인다. 이에 대한 추가적인 연구가 필요해 보인다. 본 연구에서는 향과 산소의 효과 중 이완에 대해서만 조사하였다. 고농도 산소는 피로의 감소 효과를 보이기도 하지만, 인지처리 능력이 향상되는 효과를 보이기도 한다. 즉, 고농도 산소는 향자극에 의해 유발된 이완을 증폭시켜주는 역할을 했다고 예상할 수 있다. 따라서, 추후 연구에서는 각성향을 사용하여 고농도 산소가 각성을 증폭하는 효과에 대한 검증을 기대할 수 있을 것이다.

REFERENCES

- Karan, N. B. (2019). Influence of lavender oil inhalation on vital signs and anxiety: A randomized clinical trial. *Physiology & Behavior*, 211, 112676.
- Cavanagh, H. M., & Wilkinson, J. M. (2005). Lavender essential oil: a review. *Australian Infection Control*, 10(1), 35-37.
- Choi, M. H., Lee, S. J., Yang, J. W., Choi, J. S., Kim, H. S., Kim, H. J., & Chung, S. C. (2010). Activation of the limbic system under 30% oxygen during a visuospatial task: An fMRI study. *Neuroscience*

- Letters*, 471(2), 70-73.
- 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, 281-293.
- Chung, S. C., Kwon, J. H., Lee, H. W., Tack, G. R., Lee, B., Yi, J. H., & Lee, S. Y. (2007). Effects of high concentration oxygen administration on n-back task performance and physiological signals. *Physiological Measurement*, 28(4), 389-396.
- Chung, S. C., Lee, B., Tack, G. R., Yi, J. H., Lee, H. W., Kwon, J. H., & Sohn, J. H. (2008). Physiological mechanism underlying the improvement in visuospatial performance due to 30% oxygen inhalation. *Applied Ergonomics*, 39(2), 166-170.
- Chung, S. C., Min, B. C., Kim, S. G., Min, B. W., Oh, J. Y., & Kim, S. J. (1999). Effects of odors on the autonomic responses caused by mental stress. *In Korea Society for Emotion and Sensibility*, 413-416.
- 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(3), 279-285.
- Feng, K., Shen, C. Y., Ma, X. Y., Chen, G. F., Zhang, M. L., Xu, B., & Ju, Y. (2019). Effects of music therapy on major depressive disorder: A study of prefrontal hemodynamic functions using fNIRS. *Psychiatry Research*, 275, 86-93.
- Ji, D. H., Min, C. K., Ryu, T. B., Shin, M. S., Chung, S. C., Kang, J. K., & Min, B. C. (2012). Effect of Highly Concentrated Oxygen and Stimulus of Odors on the Performance of Secondary Tasks While Driving Using Vehicle Graphic Driving Simulator. *Journal of the Society of Korea Industrial and Systems Engineering*, 35(4), 55-62.
- Kim, K. B., & Min, B. C. (2019). The effects of peppermint fragrance on simultaneous stimuli in a vehicle graphic driving simulator. the convergent research society among humanities, *Sociology, Science, and Technology*, 9(5), 481-490.
- Lodato, R. F. (1989). Decreased O₂ consumption and cardiac output during normobaric hyperoxia in conscious dogs. *Journal of Applied Physiology*, 67(4), 1551-1559.
- Nakano, Y., Kikuchi, A., Matsui, H., & Hatayama, T. (1992). A study of fragrance impressions, evaluation and categorization. *Tohoku Psychologica Folia*, 52, 83-90.
- Sayorwan, W., Siripornpanich, V., Piriyaapunyaporn, T., Hongratanaworakit, T., Kotchabhakdi, N., & Ruangrunsi, N. (2012). The effects of lavender oil inhalation on emotional states, autonomic nervous system, and brain electrical activity. *Journal of the Medical Association of Thailand*, 95(4), 598-606.
- Shiina, Y., Funabashi, N., Lee, K., Toyoda, T., Sekine, T., Honjo, S., & Komuro, I. (2008). Relaxation effects of lavender aromatherapy improve coronary flow velocity reserve in healthy men evaluated by transthoracic Doppler echocardiography. *International Journal of Cardiology*, 129(2), 193-197.
- Sung, E. J., Min, B. C., Jeon, H. J., Kim, S. C., & Kim, C. J. (2002). Influence of oxygen rate on driver fatigue during simulated driving. *Korean Society for Emotion and Sensibility*, 5(1), 71-78.
- Toda, M., & Morimoto, K. (2008). Effect of lavender aroma on salivary endocrinological stress markers. *Archives of Oral Biology*, 53(10), 964-968.
- Zhang, Z., Olszewska-Guizzo, A., Husain, S. F., Bose, J., Choi, J., Tan, W., & Ho, R. (2020). Brief relaxation practice induces significantly more prefrontal cortex activation during arithmetic tasks comparing to viewing greenery images as revealed by functional near-infrared spectroscopy (fNIRS). *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(22), 8366.

원고접수: 2024.07.05

수정접수: 2024.07.12

게재확정: 2024.07.30