

## 인지부하 환경에서 호흡방식이 생체신호의 변화에 미치는 영향 Comparing Physiological Changes in Breathing Conditions during Cognitive Tasks

정주연<sup>1</sup> · 이영배<sup>2†</sup> · 박현미<sup>3</sup> · 강창기<sup>4†</sup>

Ju-Yeon Jung<sup>1</sup> · Yeong-Bae Lee<sup>2†</sup> · Hyeon-Mi Park<sup>3</sup> · Chang-Ki Kang<sup>4†</sup>

### Abstract

With external air pollution forcing many people indoors, new methods of facilitating healthier indoor life are necessary. This study, therefore, investigates the effects of indoor oxygen concentration and respiration methods on biosignals and cognitive ability. The study included twenty healthy subjects who inhaled air through a mask from a gas delivery system. All subjects were asked to perform three types of breathing (nasal, oral, and oral breathing with high oxygenation) and respond to cognitive stimuli (rest close eye, rest open eye, 1-back and 2-back working memory tasks). The changes in cognitive load according to respiration were analyzed by measuring response time, accuracy, and biosignals to stimuli. The result showed that, in all three respirations, heart rate significantly increased with the increase in cognitive load. Also, in oral respiration, the airway respiration rate significantly increased according to the increase in cognitive load. The change appeared to compensate for insufficient oxygen supply in oral respiration during cognitive activity. Conversely, there was no significant change in airway respiration rate during oral respiration with a high concentration oxygen supply as in nasal respiration. This result suggests that a high concentration oxygen supply might play a role in compensating for insufficient oxygen concentration or inefficient oxygen inhalation, such as oral respiration. Based on the results of this study, a follow-up study is necessary to determine the impact of changes in the autonomic nervous system, such as stress and emotions, to find out more precise and comprehensive effects of oxygen concentration and breathing type.

**Key words:** High Oxygen Concentration, Oral Respiration, Working Memory, Vital Signs

### 요약

대기오염 등의 영향으로 실내 활동 시간이 증가하는 상황에서 뇌기능과 신체활동 측면에서 보다 건강한 실내 생활을 위한 다양한 방안에 대한 고려가 절실한 실정이다. 본 연구는 실내 산소의 농도와 호흡의 방법에 따라 인지능력과 생체신호에 어떤 영향을 미치는지에 대해 연구하여 보다 건강한 실내 일상생활을 제안하고자 한다. 건강한 성인 20명을 대상으로 공기 전달 시스템을 통해 공급된 공기를 산소마스크를 통해 흡입하도록 하였다. 호흡 방법과 산소 농도에 따른 변화를 확인하기 위해 모든 피험자는 3가지 호흡(비강, 구강, 및 고농도 산소공급과 함께 구강 호흡)을 인지부하자극(눈 감은 휴식기, 눈 뜬 휴식기, 1-back 및 2-back 작업기억 과제) 별로 각각 수행하였다. 자극에 대한

---

\* This work was supported by the Korea Environment Industry & Technology Institute (KEITI) through the Digital Infrastructure Building Project for Monitoring, Surveying and Evaluating the Environmental Health, funded by Korean Ministry of Environment (MOE) (2021003340002).

<sup>1</sup> 정주연: 가천대학교 일반대학원 보건과학과 박사과정

<sup>2†</sup> (교신저자 1) 이영배: 가천대학교 의과대학 신경과 교수, 가천대학길의료센터 신경과 교수 / E-mail: yeongbaelee@gmail.com / TEL: 032-460-3346

<sup>3</sup> 박현미: 가천대학교 의과대학 신경과 교수, 가천대학길의료센터 신경과 교수

<sup>4†</sup> (교신저자 2) 강창기: 가천대학교 보건과학대학 방사선학과 부교수 / E-mail: cckang@gachon.ac.kr / TEL: 032-820-4110

반응시간, 정확도 및 생체신호를 측정하여 호흡에 따른 인지부하별 변화를 분석하였다. 그 결과, 3가지 호흡에서 모두 인지부하의 증가에 따라 심박동수는 유의하게 증가하면서 인지부하와 높은 상관성이 있는 생체신호임을 확인하였다. 또한 구강호흡에서는 분당 호흡 횟수가 인지부하증가에 따라 유의하게 증가하는 변화가 나타났으며, 인지활동 시 구강호흡에서 부족한 산소공급을 보완하기 위한 생체신호의 변화를 확인하게 되었다. 반면 고농도 산소공급과 함께 수행한 구강호흡에서는 비강호흡과 같이 분당 호흡 횟수의 유의한 변화는 없는 것으로 나타났다. 이는 고농도 산소공급이 구강호흡과 같이 비효율적인 산소 흡입이나 산소 농도가 부족한 환경에서 이를 보완해 주는 역할을 할 가능성이 있음을 시사한다. 본 연구 결과를 기반으로 후속 연구에서는 자율신경계 변화까지 분석하여 인지 뿐만 아니라 심리에 미치는 영향까지 종합적으로 규명하고자 한다.

**주제어:** 고농도 산소, 구강호흡, 작업 기억, 생체신호

## 1. 서론

최근 대기오염에 대한 관심은 날씨보다 먼저 확인할 만큼 높은 실정이다. 특히 대기오염의 경우 전 세계인이 직면한 문제로, 화석연료 및 지구온난화로 급변하는 기후변화가 지속적으로 대기오염에 영향을 주기 때문에 일시적이 아니라 점점 가속화되는 실정이다(Doherty et al., 2017). 따라서 전 세계 주요기관에서는 미세먼지가 건강에 미치는 위험성에 대해 경고하고 있고, 위험요인들에 대한 연구가 많이 알려지고 있어 미세먼지로 인한 국민의 인식과 불안함 또한 높아지고 있는 실정이다. 특히 대한민국은 이제 계절과 상관없이 항시 미세먼지와 황사의 영향을 받기 때문에 대기오염에 대한 관심은 일상생활에 깊게 자리 잡고 있다.

따라서 이러한 환경 변화에 맞추어 일상생활방식에도 많은 변화가 나타나고 있다. 실제로 국민 인식조사 결과 국민 대다수가 미세먼지로 인해 일상생활에 불편함을 느끼고 있으며, 미세먼지로 인한 건강 악화와 실외활동 제약이 가장 큰 피해인 것으로 나타났다(Min, 2019). 이에 실내 활동이 증가하는 변화가 나타나고 있으며, 이는 곧 건강한 실내 환경과 생활방법에 대한 관심 증가로 이어지고 있다.

실외 대기오염이 심각해져 건강을 위협하는 만큼 실내의 공기 질을 쾌적하게 유지하고자 하는 욕구가 증가하고 있으며(Eom et al., 2019), 실내 활동이 증가할수록 올바른 생활 방법을 통해 실내 환경과 상호작용하여 효율적인 생산 활동과 건강을 유지하기 위한 연구가 많이 이루어지고 있다. 최근에는 실내 이산화탄소 농도에 따른 혈중산소포화도 수준과 집중력의 관련성이 보고되어 생산 활동에서 대기 중 기체 농도가 중요

한 것으로 밝혀졌다(Xia et al., 2020). 그리고 호흡의 방법도 중요하게 여겨지고 있다. 호흡은 대기환경과 직접적으로 상호작용하는 생명 활동으로 대기 중 기체가 호흡으로 흡입되면서 신체에 영향을 끼치게 된다. 일반적으로 호흡은 비강을 통해 수행하지만, 대다수의 많은 사람들이 구강호흡을 경험하고 있다(Pevernagie et al., 2005). 그리고 구강호흡은 비정상적인 구조와 비효율적인 산소 흡수 기전으로 부정적인 영향들이 많이 알려져 있는데, 최근에는 인지능력과의 관련성도 연구되어 구강호흡 방법에 따라 휴식시의 뇌활성과 인지활동시의 뇌활성이 비강호흡과 차이가 있는 것으로 보고되었다(Lee et al., 2016; Lee et al., 2020; Jung et al., 2020; Jung & Kang, 2021). 그러나 아직까지 실내 공기와 호흡 방법에 따른 인지능력의 변화는 많이 알려지지 않았다. 특히 흡수되는 산소와 인지기능 사이의 유의미한 연관성이 보고되고 있지만 아직까지 산소 농도에 따른 영향은 밝혀지지 않았고 인지과제 난이도에 따른 변화도 밝혀지지 않았다. 따라서 본 연구는 실내 산소의 농도와 호흡 방법에 따라 생체신호와 인지능력에 미치는 영향을 조사하고 고농도 산소 공급이 구강호흡에 어떤 영향을 주는지 확인하고자 한다.

## 2. 실험 방법 및 분석

### 2.1. 피험자 모집

본 연구는 30대 이하의 건강한 성인을 대상으로 총 20명(남성: 6명, 여성: 14명)을 모집하였으며 평균 연령은 22.8±3.43 였다. 피험자는 정신적 및 신체적 장애가

Table 1. General characteristics

	Mean ± SD	min	max
Age (years)	22.8±3.43	19	31
Height (cm)	164.03±8.98	148	182
Weight (kg)	60.32±12.16	43	90

없는 건강한 성인으로 선정하였고, 비염 및 호흡기 질환이 있는 피험자는 제외하였다. 모든 피험자는 실험에 참여하기 전에 실험에 관련된 사항에 대한 설명을 듣고 자발적으로 실험 동의서를 작성하였다. 모집된 피험자의 인적 특성은 Table 1에 표기하였다. 해당 연구는 가천대학교 생명윤리심의위원회(IRB)의 승인을 받고 진행하였다(승인번호: 1044396-201706-HR-108-02).

### 2.2. 호흡 중재 절차

호흡 상태에 따른 생체신호의 변화를 확인하기 위해 모든 피험자는 각각 구강호흡, 비강호흡, 그리고 고농도 산소 공급과 함께 구강호흡을 수행하였다. 호흡 중재를 위해서 모든 피험자는 의료용 산소마스크를 착용한 상태로 실험을 진행하였다. 구강호흡과 비강호흡시에는 산소마스크에 공기 펌프(air pump)를 연결하여 대기중의 일반 공기를 호흡할 수 있도록 공급해 주었고, 고농도 산소공급 구강호흡에서는 산소통과 일반 공기가 혼합될 수 있도록 산소마스크를 연결하여 약 30%의 산소 포화도를 가진 고농도 산소를 공급해 주었다(Fig. 1). 또한 호흡방법을 통제하기 위해 실시간 모니터링을 실시하였고, 비강호흡시에는 입을 다물고 호흡하도록 지시하였으며 구강호흡시에는 코마개를 착용하여 호흡하도록 하였다.

세 가지의 호흡 중재 순서는 모두 무작위로 배치하여 순서에 의한 효과를 상쇄시켰다. 호흡은 모두 편안한 상태에서 진행되었으며 호흡변화에 따라 약 5분간의 적응시간을 가진 후 실험에 참여하였다.

### 2.3. 인지자극 절차

인지자극은 난이도별로 총 4가지로 나누어 적용하였고, 세 종류의 호흡상태에서 각각 수행되었다. 4개의 자극은 다음의 순서로 인지부하 난이도가 점차 증가하도록 하였다. 첫째, 눈을 감은 상태로 편안히 휴식을 취하는 상태(RC: rest close eye), 둘째, 눈을 뜬 상태로

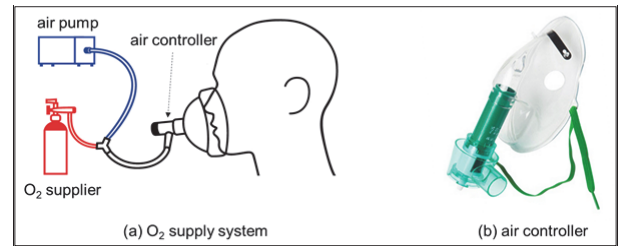


Fig. 1. Air delivery system  
(a) O2 or air supply (b) air controller

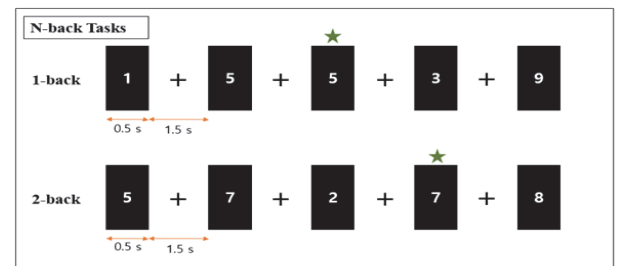


Fig. 2. N-back working memory tasks

목표지점 (+)을 바라보며 휴식을 취하는 상태(RO: rest open eye), 셋째, 1-back 작업기억 과제(1B), 넷째, 2-back 작업기억 과제(2B) 순으로 인지자극의 난이도를 조절하였다. 4가지 자극은 각각 5분간 수행되었으며 약 5분간의 휴식 이후 다른 인지과제를 수행하도록 하였다. 4가지 자극이 제공되는 순서는 모두 무작위 순서로 배치하여 순서 효과를 배제하였다.

1B와 2B는 N-back이라는 작업기억 과제로 1부터 9까지의 숫자가 2초 간격으로 무작위로 하나씩 제시되며 n번 이전의 숫자가 현재의 숫자와 동일한지를 판단하여 반응해야 하는 과제이다. 1B의 경우 1번 이전의 자극이 현재와 동일한 경우 positive, 동일하지 않은 경우 negative 반응을 하도록 하였고, 2B의 경우 2번 이전의 자극이 현재와 동일한 경우 positive, 동일하지 않은 경우 negative 반응을 하도록 하였다(Fig. 2). N-back 과제는 모두 5분간 수행하였으며 총 150 회의 자극이 제시되었다. N-back 과제를 통해서 자극 반응에 대한 정확도(accuracy)와 반응시간(reaction time) 변수를 수집하였다. N-back 과제는 psytoolkit(www.psytoolkit.org)을 이용하여 수행하였다.

### 2.4. 생체신호 측정

모든 피험자의 생체신호는 환자 모니터링 장치(patient monitoring system, Bionics Company Limited, Korea)과

펄스옥시미터(pulse oxymeter)를 사용해서 측정하였다. 측정된 변수는 혈중 산소포화도(SpO2: saturation of percutaneous oxygen), 분당 호흡 횟수(AWRR: airway respiration rate), 호기말 이산화탄소농도(EtCO2: end-tidal CO2) 그리고 심박동수(PR: pulse rate)가 측정되었다. 생체신호 측정은 모두 인지과제를 수행하는 동안 측정하였으며 5분간의 측정이 이루어졌다. 5분간의 호흡데이터는 모두 1 Hz의 샘플링 속도로 수집되었으며 총 300개의 데이터를 평균하여 분석에 이용하였다.

### 2.5. 통계 분석

각 호흡별로 1B과 2B 과제 수행 시 인지난이도에 따른 정확도와 반응시간의 차이를 확인하기 위해 윌콕슨 부호순위 검정(Wilcoxon rank test) 을 사용하여 비교하였다. 그리고 N-back 과제에 대한 정확도와 반응시간이 각 호흡별로 어떤 차이가 있는지 확인하기 위해 3수준(비강호흡, 구강호흡, 고농도 산소 구강호흡) 반복측정 분산분석을 사용해 호흡에 따른 N-back 과제의 정확도와 반응시간 차이를 비교하였다.

생체신호는 4수준(RC, RO, 1B, 2B) 반복측정 분산분석을 사용하여 과제 난이도별 생체신호의 차이를 비교하였다. 반복측정 분산분석은 구형성 가정을 통과하지 못했기 때문에 Greenhous-Geisser가 제안한 수정된 검정 통계량을 통해 분석을 수행하였다. 그리고 반복측정 분산분석의 사후분석으로 Tukey test를 사용하여 수준별 변화를 확인하였다.

## 3. 연구 결과

### 3.1. 작업기억능력 수행 결과

인지난이도와 각 호흡조건에 따른 N-back 과제의 수행 능력을 비교하기 위해 윌콕슨 부호순위 검정과 반복측정 분산분석을 수행하였다. 인지난이도에 따른 과제 정확도의 변화는 비강호흡과 구강호흡에서는 나타났으나( $P = 0.009$ ;  $P = 0.002$ ), 산소공급 구강호흡에서는 나타나지 않았다( $P = 0.431$ ). 반응시간의 변화는 비강호흡, 구강호흡, 그리고 산소공급 구강호흡 모두에서 나타났다( $P < .001$ ;  $P < .001$ ;  $P = 0.001$ ) (Table 2 and 3).

비강호흡과 구강호흡, 그리고 산소공급 구강호흡 사이의 정확도와 반응시간을 반복측정 분산분석으로 비교한 결과, 구강호흡의 1B 과제와 2B 과제의 정확도

Table 2. Comparison of accuracy and response time between 1B and 2B

	Breath	Statistic	P-value
Accuracy	Nose	94.50	<b>0.009</b>
	Mouth	114.50	<b>0.002</b>
	Mouth+O2	65.50	0.431
Response time	Nose	14.00	<b>&lt; .001</b>
	Mouth	2.00	<b>&lt; .001</b>
	Mouth+O2	24.00	<b>0.001</b>

Abbreviation: 1B, 1 back; 2B, 2 back

Table 3. Description of accuracy and response time of N-back tasks according to the breathing type

			Nose	Mouth	Mouth + O2
Accuracy (%)	1B	Median	96.00	96.00	95.33
		(SE)	(1.00)	(0.62)	(3.63)
	2B	Median	94.33	93.67	95.33
		(SE)	(1.68)	(1.39)	(1.58)
Response time (sec)	1B	Median	0.52	0.51	0.53
		(SE)	(0.02)	(0.02)	(0.06)
	2B	Median	0.66	0.63	0.66
		(SE)	(0.04)	(0.04)	(0.04)

Abbreviation: 1B, 1 back; 2B, 2 back; SE, standard error.

Table 4. Within subjects effects of accuracy and response time of N-back tasks according to the breathing type

			Nose	Mouth	Mouth + O2
Accuracy	1B	Mean Square		228.663	
		df		1.064	
		F(P)		1.854 (0.189)	
	2B	Mean Square		2.613	
		df		1.957	
		F(P)		0.244 (0.780)	
Response time	1B	Mean Square		0.037	
		df		1.195	
		F(P)		1.268 (0.281)	
	2B	Mean Square		0.011	
		df		1.942	
		F(P)		1.361 (0.269)	

Abbreviation: 1B, 1 back; 2B, 2 back; df, degree of freedom. The df value of between-subjects effects is 19.

평균이 가장 높았으며, 1B 과제의 반응시간도 구강호흡에서 가장 빠른 것으로 나타났다. 그러나 1B과 2B의 정확도와 반응시간 모두 비강호흡과 구강호흡, 그리고 산소공급 구강호흡 사이에서 통계적으로 유의한 차이는 없는 것으로 나타났다(Table 4).

### 3.2. 인지난이도에 따른 생체신호 결과

각 호흡조건에서 인지부하에 따른 호흡변수의 변화를 확인하기 위해 반복측정 분산분석을 수행한 결과는 다음과 같다.

구강호흡시에는 AWRR( $F(2.15,17) = 4.000, P = 0.024$ )과 PR( $F(2.64,17) = 20.012, P < .001$ ) 그리고 SpO2( $F(2.2,16) = 9.969, P < .001$ )가 인지부하에 따라 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다. AWRR의 경우 눈 감은 휴식기 보다 2B 과제 수행시 유의하게 증가하였으며( $T = 3.253, \text{Mean Difference} = 2.003, P = 0.011$ ), 눈 뜬 휴식기 보다 눈 감은 휴식기에서 유의하게 감소하였다( $T = -2.656, \text{Mean Difference} = -1.636, P = 0.049$ ) (Tables 5 and 6).

PR의 경우 인지부하가 증가할수록 증가하는 경향을 나타내었다. 눈감은 휴식기보다 1B 과제와 2B 과제 수행시 유의하게 증가하였으며( $T = 5.053, \text{Mean Difference} = 4.678, P < .001; T = 7.157, \text{Mean Difference} = 6.626, P < .001$ ), 눈 뜬 휴식기보다 1B 과제와 2B 과제 모두

Table 5. The estimated marginal means of biosignals

RM Factors	AWRR		PR		SpO2		
	Mean	SE	Mean	SE	Mean	SE	
Mouth	RC	15.95	69.98		97.17		
	RO	17.59	0.85	71.91	1.94	97.44	0.16
	1B	17.20		74.66		97.65	
	2B	17.95		76.61		97.89	
Nose	RC	16.75		68.14		97.36	
	RO	16.98	0.85	71.00	1.98	97.44	0.16
	1B	17.90		74.67		97.68	
	2B	18.73		75.86		97.78	
Mouth + O2	RC	16.01		68.43		98.32	
	RO	15.83	0.85	70.18	1.38	98.48	0.16
	1B	17.42		98.54		98.54	
	2B	17.98		98.53		98.53	

Abbreviation: RM, repeated measure; AWRR, airway respiration rate; RC, rest close eye; RO, rest open eye; 1B, 1 back; 2B, 2 back

유의하게 증가하였다( $T = 2.968, \text{Mean Difference} = 2.748, P = 0.023; T = 5.072, \text{Mean Difference} = 4.696, P < .001$ ) (Tables 5 and 7).

SpO2도 PR과 마찬가지로 인지부하가 증가할수록 증가하는 경향을 나타내었다. 눈 감은 휴식기 보다 1B과 2B 과제 수행 시에 유의하게 증가하였으며( $T = 3.529, \text{Mean Difference} = 0.483, P = 0.005; T = 5.244, \text{Mean Difference} = 0.718, P < .001$ ), 눈 뜬 휴식기보다 2B 과제 수행 시에 유의하게 증가하는 것으로 나타났다( $T =$

Table 6. Multiple comparison of AWRR

	AWRR Comparison				
	RM Factor	RM Factor	Mean Difference	t	Ptukey
Mouth	1B	2B	-0.757	-1.230	0.611
		RC	1.246	2.023	0.193
	2B	RO	-0.390	-0.633	0.921
		RC	2.003	3.253	<b>0.011</b>
		RO	0.368	0.597	0.932
		RC	RO	-1.636	-2.656

Abbreviation: RM, repeated measure; SE, standard error; AWRR, airway respiration rate; PR, pulse rate; SpO2, saturation of percutaneous oxygen; RC, rest close eye; RO, rest open eye; 1B, 1 back; 2B, 2 back

Table 7. Multiple comparison of PR

	PR Comparison				
	RM Factor	RM Factor	Mean Difference	t	Ptukey
Mouth	1B	2B	-1.948	-2.104	0.166
		RC	4.678	5.053	< <b>.001</b>
	2B	RO	2.748	2.968	<b>0.023</b>
		RC	6.626	7.157	< <b>.001</b>
		RO	4.696	5.072	< <b>.001</b>
		RC	RO	-1.930	-2.085
Nose	1B	2B	-1.192	-1.409	0.500
		RC	6.534	7.719	< <b>.001</b>
	2B	RO	3.667	4.332	< <b>.001</b>
		RC	7.726	9.128	< <b>.001</b>
		RO	4.859	5.741	< <b>.001</b>
		RC	RO	-2.867	-3.387
Mouth + O2	1B	2B	-2.396	-2.198	0.137
		RC	4.703	4.315	< <b>.001</b>
	2B	RO	2.961	2.717	<b>0.043</b>
		RC	7.099	6.513	< <b>.001</b>
		RO	5.357	4.915	< <b>.001</b>
		RC	RO	-1.742	-1.599

Abbreviation: RM, repeated measure; PR, pulse rate; RC, rest close eye; RO, rest open eye; 1B, 1 back; 2B, 2 back

Table 8. Multiple comparison of SpO2

		SpO2 Comparison			
	RM Factor	RM Factor	Mean Difference	t	P <sub>Tukey</sub>
Mouth	1B	2B	-0.235	-1.715	0.327
		RC	0.483	3.529	<b>0.005</b>
	2B	RO	0.211	1.539	0.423
		RC	0.718	5.244	<b>&lt; .001</b>
		RO	0.446	3.255	<b>0.011</b>
RC	RO	-0.273	-1.989	0.206	
Nose	1B	2B	-0.095	-0.801	0.853
		RC	0.317	2.665	<b>0.049</b>
	2B	RO	0.236	1.984	0.208
		RC	0.413	3.467	<b>0.006</b>
		RO	0.332	2.785	<b>0.036</b>
RC	RO	-0.081	-0.681	0.904	

Abbreviation: RM, repeated measure; SpO2, saturation of percutaneous oxygen; RC, rest close eye; RO, rest open eye; 1B, 1 back; 2B, 2 back

3.255, Mean Difference = 0.446,  $P = 0.011$ ) (Table 8).

비강호흡에서는 PR( $F(2.28,17) = 34.683$ ,  $P < .001$ )과 SpO2( $F(1.76,17) = 5.320$ ,  $P = 0.013$ )가 인지부하에 따라 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다. PR의 경우 구강호흡과 동일하게 눈 감은 휴식기보다 1B 과제와 2B 과제 수행 시 유의하게 증가하였으며( $T = 7.719$ , Mean Difference = 6.534,  $P < .001$ ;  $T = 9.128$ , Mean Difference = 7.726,  $P < .001$ ), 눈 뜬 휴식기보다 1B 과제와 2B 과제 모두 유의하게 증가하였다( $T = 4.332$ , Mean Difference = 3.667,  $P < .001$ ;  $T = 5.741$ , Mean Difference = 4.859,  $P < .001$ ). 뿐만 아니라 휴식기에서도 차이가 나타났는데, 눈 뜬 휴식기 보다 눈 감은 휴식기에서 유의하게 감소하였다( $T = -3.387$ , Mean Difference = -2.867,  $P = 0.007$ ) (Table 7).

SpO2도 PR과 마찬가지로 인지부하가 증가할수록 증가하는 경향을 나타내었다. 눈 감은 휴식기 보다 1B과 2B 과제 수행 시에 유의하게 증가하였으며( $T = 2.665$ , Mean Difference = 0.317,  $P = 0.049$ ;  $T = 3.467$ , Mean Difference = 0.413,  $P = 0.006$ ), 눈 뜬 휴식기보다 2B 과제 수행 시에 유의하게 증가하는 것으로 나타났다( $T = 2.785$ , Mean Difference = 0.332,  $P = 0.036$ ) (Table 8).

산소흡입 구강호흡에서는 PR에서만 인지부하에 따라 유의한 차이가 나타났다( $F(1.86,17) = 16.662$ ,  $P < .001$ ). 눈 감은 휴식기보다 1B 과제와 2B 과제 수행 시 유의하게 증가하였으며( $T = 4.315$ , Mean Difference = 4.703,  $P < .001$ ;  $T = 6.514$ , Mean Difference = 7.099,

$P < .001$ ), 눈 뜬 휴식기보다 1B 과제와 2B 과제에서 모두 유의하게 증가하였다( $T = 2.717$ , Mean Difference = 2.961,  $P = 0.043$ ;  $T = 4.915$ , Mean Difference = 5.357,  $P < .001$ ) (Table 7). EtCO2는 호흡별 인지부하 자극 과제별로 통계적으로 유의한 차이가 없었다.

## 4. 논의

인지부하에 따른 작업기억 과제반응과 생체신호들의 변화가 호흡방법별로 나타났다. 각 호흡에 따른 1B과 2B를 비교해 본 결과, 과제의 정확도는 비강호흡과 구강호흡 모두 2B에서 유의하게 감소한 것을 확인할 수 있었고, 반응시간은 비강호흡, 구강호흡 그리고 산소공급 구강호흡 모두 2B에서 유의하게 증가하였다. 이러한 인지부하 차이에 대한 영향은 생체신호에서도 나타났다.

PR은 모든 호흡조건에서 자극과 휴식기간 차이가 있는 것을 확인할 수 있었다. 이는 인지부하가 주어졌을 때 집중을 위한 긴장도가 증가하기 때문인 것으로 생각되며, PR이 호흡 상태와 상관없이 인지부하 정도를 가장 잘 대변해 주는 생체신호로 나타났다. 이전 연구에서도 인지부하와 심박동수 사이에 유의한 상관성이 있음이 보고되었으며 이는 인지부하에 따라 교감신경이 활성화되기 때문인 것으로 사료된다(Solhjoo et al., 2019).

SpO2 또한 인지부하에 따라 차이가 있는 것을 확인할 수 있었다. 구강호흡과 비강호흡 모두에서 2B 과제에서 휴지기 상태(RC 및 RO) 보다 유의하게 증가하였고, 1B도 RC보다 유의하게 증가하였다. 이는 인지부하에 따라 산소소모량이 증가하기 때문인 것으로 보인다. 일반적으로 사람들이 주의를 집중하거나 까다로운 작업을 수행할 때 호흡과 심진대사가 바뀌게 된다(Backs & Seljos, 1994). 이는 인지부하가 증가할수록 뇌활성에 필요한 에너지 소비가 증가하여 나타나는데(Scholey et al., 2001), 이때 인지부하에 따라 산소소모량은 증가하는 것으로 밝혀져 있다(Grassmann et al., 2016). 본 연구에서도 인지 과제 난이도의 증가에 따라 증가하는 산소 요구량에 맞추어 추가적인 대뇌 산소를 공급하기 위해 혈액에 흡수되는 산소량이 증가한 것으로 생각된다. 반면에 산소공급 구강호흡에서는 SpO2의 차이가 나타나지 않았다. 이는 고농도 산소 흡입으로 산소 요구량을 상회하는 충분한 산소가 혈액에 공급되어지기 때문인 것으로 보인다.

AWRR은 구강호흡에서만 인지부하에 따라 변화하는 것으로 나타났다. 비강호흡과 산소공급 구강호흡에서는 인지부하에 따라 AWRR의 차이가 두드러지게 나타나지 않았으나, 구강호흡에서는 2B 인지과제 수행에서 RO와 RC 등의 휴식기 보다 AWRR이 유의하게 증가한 것으로 나타났다. 이는 인지부하에 따라 요구되는 산소소모량에 비해 구강호흡에서 흡입하는 산소 흡수가 충분하지 않기 때문인 것으로 생각된다. 일반적으로 구강호흡의 호흡기전은 비효율적으로 알려져 있다 (Flanell, 2019; Lundberg, 2008; Martin et al., 1996). 특히 구강호흡에서는 산소와 이산화탄소의 가스교환이 불충분하게 이뤄진다(Flanell, 2019; Martin et al., 1996). 이는 비강내에 있는 일산화질소가 구강호흡에서는 공급되지 않기 때문일 수 있다. 비강에서 공급되는 일산화질소는 폐포로 들어가 모세혈관을 확장시켜 산소공급이 잘 일어나도록 돕는 역할을 하는데(Lundberg, 2008), 구강호흡에서는 일산화질소가 공급되지 않기 때문에 비강호흡에서 보다 혈관확장이 잘 일어나지 않는다(Lundberg, 2008). 때문에 구강호흡에서는 효율적인 산소공급이 이루어지지 않아 호흡수를 늘려서 증가하는 산소 요구량에 대응한 것으로 보인다. 반면 비강호흡에서는 효율적인 산소 흡수 기전으로 인해 인지부하에 따라 안정적인 호흡수를 유지하면서 충분한 산소를 공급할 수 있는 것으로 보인다.

뿐만 아니라 이러한 현상은 산소공급 구강호흡에서도 AWRR이 비강호흡과 같이 인지부하에 따라 유의한 차이가 없는 것으로 나타나면서 구강호흡에 의한 비효율적인 산소 흡수 환경에서 고농도 산소공급을 통한 충분한 SpO2의 유지가 효과가 있음을 확인할 수 있었다.

본 연구에서는 호흡 상태별로 인지부하에 따라 생체신호에 차이가 있음을 알아냈고, 특히 구강호흡에서 불충분한 산소 흡수로 인해 인지부하에 따라 호흡수가 증가하는 현상이 나타났고, 산소공급 구강호흡에서는 이러한 변화가 나타나지 않아 충분한 산소공급을 통해 구강호흡의 문제점이 완화될 수 있음을 알 수 있었다.

하지만, 본 연구에서는 혼합 공기의 구성 농도 미측정으로 인해 실제 흡입되는 산소의 농도를 정확하게 수치로 확인하지 못하였다. 또한, 산소포화도 조절 장치의 정밀도가 다소 낮아 흡입된 산소 농도의 변동이 클 수 있다는 한계가 존재할 수 있었다. 추후 연구에서는 흡입 산소포화도를 조절할 수 있는 측정 및 공급

장치를 활용할 필요가 있다. 또한, 피험자에게 코 혹은 입을 통한 호흡을 하도록 지시하였으나 비강호흡을 습관적으로 하는 사람들에게서 구강호흡을 자발적으로 하게 하였기 때문에 완벽하게 입으로만 수행하는데 어려움이 있을 수 있었고, 호흡의 불편함으로 인한 호흡계통의 기능적·생리적 작용에 미치는 영향을 완벽히 배제하지는 못하였다. 따라서 향후 호흡 방식을 조절할 수 있는 방안을 함께 고려하여야 할 필요가 있다. 또한, 혈중 산소포화도를 측정하기 위한 방안으로 펄스옥시미터를 사용하였다. 하지만, 펄스옥시미터는 신체 전체의 포화도를 간접적으로 제시할 수 있기 때문에 향후에는 대뇌 혈중 산소포화도 측정을 통해 호흡변화와 산소 공급의 변화가 뇌 혈류에 미치는 영향을 관측할 필요가 있다. 특히 본 연구는 인지과제 수행 시 산소공급과 함께한 구강호흡이 생체신호에 영향을 미치는 것을 밝혀낸 초기 연구이다. 추후에는 본 연구를 기반으로 호흡과 대기농도 변화가 스트레스 및 자율신경계에 미치는 영향을 분석해 인지 및 심리변화에 미치는 효과를 종합적으로 규명할 필요가 있다.

## 5. 결론

본 연구에서는 비강호흡, 구강호흡 그리고 고농도 산소공급 구강호흡 상태에서 인지과제 수행 시 나타나는 생체신호의 변화를 분석한 연구로, 인지부하가 증가할수록 생체신호인 PR, SpO2 그리고 AWRR이 변화하는 것을 발견하였다. 특히 인지부하가 증가할수록 구강호흡에서의 호흡변화가 크게 나타나는 것을 발견했고, 고농도 산소공급 시 구강호흡의 호흡 변화를 보완할 수 있음을 확인하였다.

## REFERENCES

- Backs, R. W., & Seljos, K. A. (1994). Metabolic and cardiorespiratory measures of mental effort: The effects of level of difficulty in a working memory task. *International Journal of Psychophysiology*, 16(1), 57-68.
- Doherty, R. M., Heal, M. R., & O'Connor, F. M. (2017).

- Climate change impacts on human health over Europe through its effect on air quality. *Environmental Health*, 16(1), 118. DOI: 10.1186/s12940-017-0325-2
- Flanell, M. (2019). *The Athlete's Secret Ingredient: The Power of Nasal Breathing*. 5.
- Grassmann, M., Vlemincx, E., von Leupoldt, A., Mittelstädt, J. M., & Van den Bergh, O. (2016). Respiratory changes in response to cognitive load: A systematic review. *Neural Plasticity*, 2016, 8146809. DOI: 10.1155/2016/8146809
- Jung, J.-Y., & Kang, C.-K. (2021). Investigation on the effect of oral breathing on cognitive activity using functional brain imaging. *Healthcare*, 9(6), 645. DOI: 10.3390/healthcare9060645
- Jung, J.-Y., Park, C.-A., Lee, Y.-B., & Kang, C.-K. (2020). Investigation of functional connectivity differences between voluntary respirations via mouth and nose using resting state fMRI. *Brain Sciences*, 10(10), 704. DOI: 10.3390/brainsci10100704
- Lee, K.-J., Lee, S.-Y., Park, S.-Y., Jang, S.-R., & Kang, C.-K. (2016). EEG study for the effects of mouth breathing on brain functions. *Science of Emotion and Sensibility*, 19(4), 119-126. DOI: 10.14695/KJSOS.2016.19.4.119
- Lee, K.-J., Park, C.-A., Lee, Y.-B., Kim, H.-K., & Kang, C.-K. (2020). EEG signals during mouth breathing in a working memory task. *International Journal of Neuroscience*, 130(5), 425-434. DOI: 10.1080/00207454.2019.1667787
- Lundberg, J. O. (2008). Nitric oxide and the paranasal sinuses. *The Anatomical Record*, 291(11), 1479-1484. DOI: 10.1002/ar.20782
- Martin, U., Bryden, K., Devoy, M., & Howarth, P. (1996). Increased levels of exhaled nitric oxide during nasal and oral breathing in subjects with seasonal rhinitis. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 97(3), 768-772. DOI: 10.1016/S0091-6749(96)80154-0
- Min, J.-W. (2019). Public perception survey on fine dust – The economic cost of fine dust is estimated at KRW 4 trillion per year. *Korea Economic Review*, 833, 1-16.
- Pevernagie, D. A., De Meyer, M. M., & Claeys, S. (2005). Sleep, breathing and the nose. *Sleep Medicine Reviews*, 9(6), 437-451. DOI: 10.1016/j.smrv.2005.02.002
- Scholey, A. B., Harper, S., & Kennedy, D. O. (2001). Cognitive demand and blood glucose. *Physiology & Behavior*, 73(4), 585-592. DOI: 10.1016/S0031-9384(01)00476-0
- Solhjoo, S., Haigney, M. C., McBee, E., van Merriënboer, J. J. G., Schuwirth, L., Artino, A. R., Battista, A., Ratcliffe, T. A., Lee, H. D., & Durning, S. J. (2019). Heart rate and heart rate variability correlate with clinical reasoning performance and self-reported measures of cognitive load. *Scientific Reports*, 9, 14668. DOI: 10.1038/s41598-019-50280-3
- Eom, Y.-S., Kim, J.-O., & Ahn, S.-E. (2019). Measuring willingness to pay for PM<sub>10</sub> risk reduction: Evidence from averting expenditures for anti-PM<sub>10</sub> masks and air purifiers. *Environmental and Resource Economics Review*, 28(3), 355-383.
- Xia, Y., Shikii, S.-I., & Shimomura, Y. (2020). Determining how different levels of indoor carbon dioxide affect human monotonous task performance and their effects on human activation states using a lab experiment: A tracking task. *Ergonomics*, 63(11), 1350-1358. DOI: 10.1080/00140139.2020.1784466

원고접수: 2022.03.14

수정접수: 2022.04.12.

게재확정: 2022.04.20.