

자발적인 흉강 내압 조절이 전전두엽 뇌기능 변화 및 뇌혈관 역학에 미치는 영향

Effects of Voluntary Intrathoracic Pressure Adjustments on Prefrontal Brain
Function and Cerebrovascular Dynamics

정주연¹ · 이영배² · 강창기^{3†}

Ju-Yeon Jung¹ · Yeong-Bae Lee² · Chang-Ki Kang^{3†}

Abstract

This study aimed to investigate the effects of voluntary intrathoracic pressure adjustment during the Valsalva maneuver (VM) on changes in prefrontal brain function and cerebral blood flow dynamics using diagnostic ultrasound and near-infrared spectroscopy (NIRS). Sixteen healthy adults performed VM by adjusting their expiratory pressure. Their regional oxygen saturation (rSO₂) and oxidized hemoglobin (HbO) levels were measured to confirm changes in prefrontal lobe function. To confirm hemodynamic changes in cerebral blood vessels, this study measured peak systolic velocity (PSV), heart rate (HR), vascular stiffness (STIFF), and pulse wave velocity (PWV) in the common carotid artery before and after the VM. Results showed significant cerebrovascular physiological changes after 30mmHg VM. In particular, PSV increased significantly following VM, whereas PWV and STIFF significantly decreased. A similar trend was observed in 40mmHg VM to 30mmHg, but no significant change was observed except for HR, which showed a significant decrease. Furthermore, rSO₂ tended to increase in the prefrontal region after performing 30 and 40mmHg VM, but it did not show a significant difference. In contrast, HbO significantly decreased after performing 30 and 40mmHg VM. This trend did not show any difference depending on intrathoracic pressure. In conclusion, VM performance at both intrathoracic pressure levels has the same effect on brain function, but induces difference changes in cerebrovascular vessels' physiological function. Thus, at 40mmHg VM, it interferes with effective vascular relaxation due to high intrathoracic pressure. However, 30mmHg VM has an effective effect on cerebrovascular function by causing a significant increase in the elasticity of arterial blood vessels. Such VM performance can effectively improve cerebrovascular function.

Key words: Intrathoracic Pressure, Valsalva Maneuver, Common Carotid Artery, Pulse Wave Velocity, NIRS

요약

본 연구는 진단초음파 및 근적외선분광법 (NIRS)을 사용하여 발살바 조작 (VM)을 수행하기 위한 자발적인 흉강 내 압력 조절이 전전두엽 뇌기능 및 뇌혈류 역학의 변화에 미치는 영향을 조사하고자 하였다. 건강한 성인 16명을 대상으로 30과 40mmHg VM을 수행하고, NIRS를 통해 대뇌산소포화도 (rSO₂)와 산화헤모글로빈 (HbO)을 측정하였다. 그리고 진단초음파를 사용해 경동맥 (CCA)에서 최대혈류속도 (PSV)와 심박수 (HR)를 측정하고, 혈관경직도

※ This work was supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Korea government (MSIT) (2020R1A2C1004355).

¹ 정주연: 가천대학교 휴먼보건과학융합연구소 연구교수

² 이영배: 가천대학교 의과대학 신경과 교수

^{3†} (교신저자) 강창기: 가천대학교 의과대학 방사선학과 부교수 / E-mail: ckkang@gachon.ac.kr / TEL: 032-820-4110

(STIFF)와 맥파전달속도 (PWV)를 도출하여 VM 수행 전후 차이를 비교하였다. 그 결과 30mmHg VM 수행 후 PSV가 유의하게 증가하였고, PWV와 STIFF는 유의하게 감소하는 것으로 나타났다. 반면, 40mmHg에서는 HR의 유의한 감소만 나타났다. VM 수행 후 전전두엽의 뇌기능은 30과 40mmHg VM에서 rSO₂가 증가하는 경향을 보였으나 유의한 변화는 나타나지 않았다. 반면 HbO는 VM 수행 후 유의한 감소를 보여주었다. 결론적으로, 두 가지 강도의 흉강 내압에서 VM 수행은 뇌기능에 동일한 영향을 미치는 것으로 나타났으나, 흉강 내압이 높은 경우에는 체압이 높아 효과적인 혈관 이완이 나타나지 않았다. 반면, 낮은 흉강 내압에서는 혈관의 탄성도가 크게 증가되어 뇌혈관의 기능 개선에 효과적으로 작용할 수 있을 것으로 판단된다.

주제어: 흉강 내압, 발살바 조작, 총경동맥, 맥파전달속도, 근적외선분광법

1. 서론

우리의 뇌 조직은 다양한 환경의 변화에도 필요한 만큼의 혈류를 유지하기 위한 능력을 가지고 있다. 그러나 동맥의 단단한 정도를 의미하는 혈관경직도가 증가하면 할수록 이러한 혈류를 유지하기 위한 능력이 감소되어 뇌 조직에 필요한 대사량에 비해 부족한 혈액 공급의 원인이 될 수 있다 (Jefferson et al., 2018). 이러한 부족한 혈액 공급은 뇌 질환 및 뇌혈관 질환의 발병률을 높이는 작용을 할 수 있다. 그래서 뇌혈류를 증가시키는 것이 뇌기능을 증진시키는 것으로 여겨지며 다양한 뇌기능 및 뇌혈관 자극 기법의 연구가 이루어지고 있다 (Yi et al., 2023; Pulgar, 2015). 하지만, 대부분의 뇌혈류 관련 연구들은 혈관기능에 대한 고려 없이 혈류증진을 목적으로 수행되고 있고, 특히 과도하게 증가된 혈류속도에 대한 위험성은 고려되지 않고 있는 실정이다. 게다가, 과도한 혈류속도 증가는 심장과 혈관의 부하를 증가시켜서 심혈관 질환으로 인한 고혈압을 유발할 수 있다고 보고되고 있다 (Madaminjonovna, 2024). 이와 같이 혈관경직도가 혈관 건강에 미치는 악영향이 매우 높음에도 불구하고 뇌혈관 질환이 발생하기 전까지 별도의 관리는 이뤄지고 있지 않는 실정이다. 최근 이러한 위험성을 해결하기 위한 방안으로 뇌혈관의 탄력성 향상을 위한 연구들이 진행되고 있다 (Belfort et al., 2001; Jin et al., 2017). 동맥의 탄성력은 혈관저항을 감소시켜 혈류속도를 감소시키면서도 혈류량을 증가시킬 수 있기 때문에 순환기 건강에 중요한 진단 지표로 여겨지고 있다.

발살바 조작 (Valsalva maneuver, VM)은 단시간에 환경의 제약이나 비용 부담 없이 수행 가능한 자율신

경계 기능의 검사법으로 잘 알려져 있다 (Bloomfield et al., 1997; Pstras et al., 2016a). 특히 증가된 흉강 내압이 순간적으로 혈압을 증가시켜 심혈관 및 자율신경계의 변화를 야기할 수 있어 다양한 분야에서 적용하고 있다 (Pstras et al., 2016b; Tiecks et al., 1996). 더욱이 증가된 흉강 내압은 혈관에 물리적인 자극을 주어 혈관경직도에 영향을 주고 혈류의 변화를 야기할 수 있어 혈관기능을 변화시킬 수 있다. 하지만, 기존의 VM은 40mmHg 이상의 높은 수준의 흉부 내압을 요구해 고령이나 고혈압 등의 환자에게는 권장하지 않을 뿐더러, 일반인에게도 높은 압력을 유지하는 것이 어려워 수행의 난이도와 위험성으로 인하여 사용에 제한이 있다 (Fisher-Hubbard et al., 2016). 특히 40mmHg로 흉부 내압이 증가할 때 뇌혈류의 과도한 증가로 인해 동맥압이 증가하며 동맥류 파열 및 조직손상의 위험성이 보고되기도 하였다 (Tiecks et al., 1995). 뿐만 아니라 VM에 의한 저혈압은 뇌혈류를 감소시켜 실신을 유발시킬 수도 있다 (Klein et al., 1964). 즉 VM의 강도가 개인의 호흡능력에 최적화되지 않으면 높은 피로감, 어지럼증 및 불편감을 유발하기 때문에 혈관기능 개선을 위한 자극으로 적용하기 어렵다. 따라서, VM 자극은 가장 편안하고 안정적인 자극의 유도가 중요한 것으로 볼 수 있다. 이에 본 연구에서는 뇌기능 및 뇌혈류 개선을 위해 다양한 흉강 내압 강도에 대한 효과를 연구하고자 한다. 먼저 가장 대표적으로 VM 수행에 이용되고 있는 흉부 내압 기준인 40mmHg 강도를 적용하고, 40mmHg에서의 잠재적인 부작용을 줄이며 보다 편안한 VM 수행이 가능한 30mmHg의 강도를 같이 사용하여 뇌기능 및 뇌혈류에 미치는 영향을 알아보고자 한다.

2. 실험 방법 및 분석

2.1. 피험자 모집

16명의 건강한 성인을 대상으로 기관연구심의위원회 승인 (IRB no. 1044396-202207-HR-146-01)을 받은 연구 내용에 대하여 연구 참여에 대한 서면 동의서를 작성하고 연구에 참여하였다. 모든 피험자는 혈관 또는 자율신경계에 영향을 줄 수 있는 약물 또는 카페인 섭취를 실험 전 24시간 동안 통제하여 영향을 제한하였고, 실험에 영향을 줄 수 있는 심혈관계 및 신경계 질환이나 40mmHg VM을 수행하는 데 문제가 있는 피험자는 제외되었다. 모집된 피험자의 신체 정보 및 생체 신호는 Table 1에 표기하였다.

Table 1. General characteristics and resting vital signs of participants.

Variables	Total (n = 16)
Age (years)	22.75 ± 2.08
Height (cm)	169.56 ± 6.68
Weight (kg)	64.81 ± 10.02
SBP (mmHg)	117.31 ± 9.17
DBP (mmHg)	68.31 ± 7.57
HR (bpm)	81.32 ± 25.89

Abbreviations: DBP, diastolic blood pressure; HR, heart rate; SBP, systolic blood pressure.

2.2. 실험 절차

실험 전 VM 절차를 익히기 위해 모든 참가자는 검사용 침대에 누운 자세로 마우스피스와 튜브가 연결된 디지털 압력 게이지 (SBH, Sensys, Korea)를 사용하여 VM 교육을 받았다 (Fig. 1). 적응 훈련 세션에서 디지털 압력 게이지 디스플레이 확인을 통해 자체 시각적 피드백을 사용하여 호기 압력을 조정하도록 하였다. 그리고 훈련 후 5분의 회복시간을 부여하고 실험을 진행하였다. 30mmHg VM 수행 동안에 참가자들은 15초 동안 호기 압력을 30~35mmHg 사이로 유지하고 35mmHg를 초과하지 않도록 지시받았으며, 40mmHg VM의 경우 40~45mmHg 사이의 압력을 유지하고 40mmHg 미만으로 낮추지 않도록 지시받았다. VM 절차는 1) 흡입

10초, 2) 성문을 닫고 긴장 시작, 3) 15초 동안 압력 유지, 4) 정지 신호와 함께 즉시 정상적인 호흡 수행으로 진행하였다. 그 후 다른 VM 절차를 수행하기 전에 10분간의 휴식 시간을 가졌다 (Perry et al., 2020). 30mmHg와 40mmHg VM의 순서는 무작위로 결정되었다.

2.3. 측정

실험 지침과 생체 신호 측정은 단일 맹검 절차에 따라 다른 연구자에게 할당되었다. VM 수행에 따른 뇌혈관 영향을 조사하기 위해 총경동맥 (Common carotid artery, CCA)의 혈류 및 기능 변화를 측정하였다. VM 수행 중 CCA 혈류 변화는 2-14MHz 선형 탐촉자를 갖춘 진단 초음파 (RS85, Samsung Medison, Seoul, Republic of Korea)를 사용하여 측정되었다. 최대 수축기 속도 (Peak systolic velocity, PSV), 심박수 (Heart rate, HR), 저항 지수 (Resistance index, RI) 등의 뇌혈류 변수는 도플러 (Doppler) 모드 스캐닝을 사용하여 획득하였다. VM 수행에 따른 CCA의 기능적 변화는 맥파 전달속도 (Pulse wave velocity, PWV)와 혈관경직도 (Stiffness index, STIFF)을 통해 평가되었다. PWV와 STIFF를 도출하기 위해 B-mode 초음파 영상을 이용하

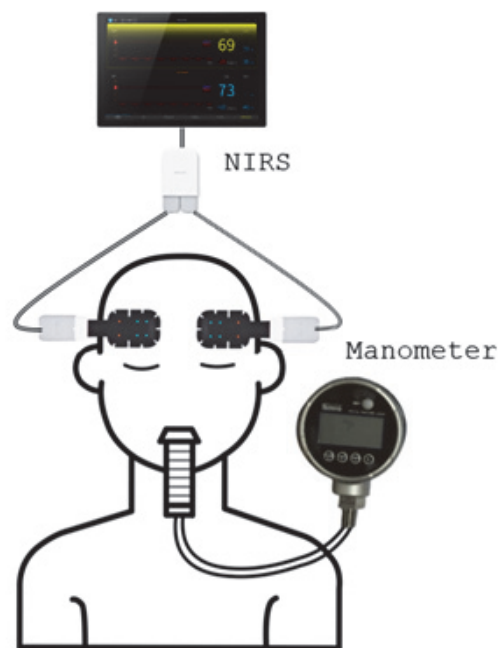


Fig. 1. Near infra-red spectroscopy measurement and a schematic of Valsalva maneuver system

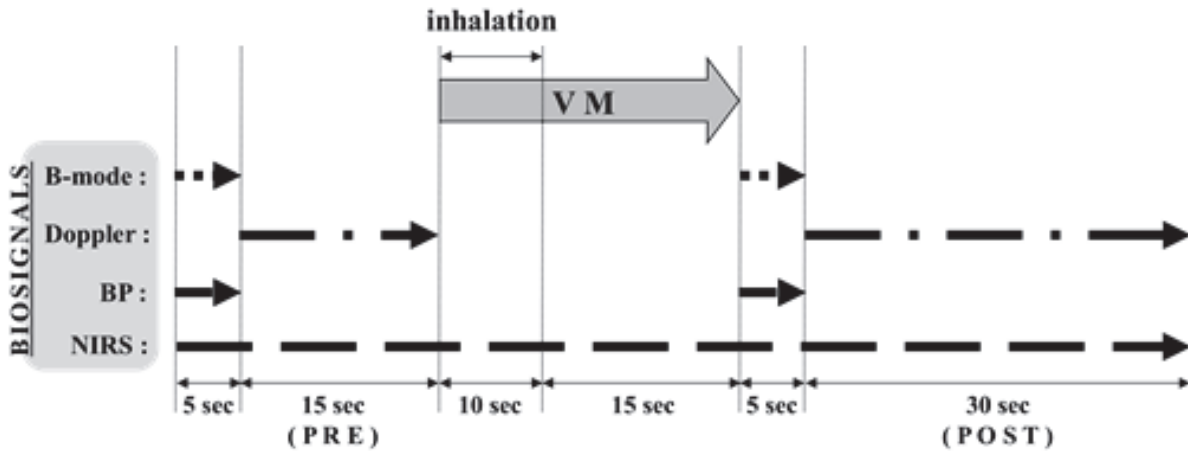


Fig. 2. Protocol for biosignals measurement

여 CCA 직경을 구하였고, 혈압 (Blood pressure, BP)은 스마트워치 (SM-R850, Samsung Electronics, Suwon, Republic of Korea)를 이용하여 측정하였다. 측정을 위한 CCA 위치는 사전 측정된 초음파 영상을 통해 CCA 분기점에서 2cm 아래로 결정되었다. 마지막으로 뇌의 기능적 변화는 NIRS (NIRSIT ON, OBELAB, Seoul, Republic of Korea)를 사용하여 획득하였다. NIRS 센서는 미간과 눈썹이 만나는 지점 1cm 위에 부착하였고, 양쪽 전전두엽 피질의 대뇌산소포화도 (Regional oxygen saturation, rSO₂) 및 산화헤모글로빈 (Oxyhemoglobin, HbO)가 측정되었다.

측정변수에 따른 데이터 수집은 다음과 같이 이루어졌다. NIRS 데이터는 실험이 진행되는 전 구간 1Hz의 샘플링 속도로 실시간으로 수집되었다. 다만 VM 수행 구간에서는 얼굴근육 움직임 때문에 노이즈가 발생해 분석에서 제외하였다. 이에 NIRS 데이터 측정은 VM 수행 전 (PRE)에서 15개, VM 수행 후 (POST)에서 30개가 획득되었고 평균값이 분석에 사용되었다. Doppler 데이터 또한 PRE 15초 그리고 POST 30초 동안 1Hz 샘플링 속도로 수집되었다. 이후 각 구간의 평균값을 분석에 사용하였다. PWV와 STIFF를 계산하기 위한 혈관의 직경과 BP는 VM 수행 전후에 각각 1회 수집되었고 Doppler 측정 직전에 B-mode 영상을 먼저 획득하였다. VM 수행 중의 Doppler와 B-mode 측정은 VM 수행 시 목근육의 수축과 혈관의 움직임 때문에 측정이 이뤄지지 못했다 (Fig. 2).

2.4. STIFF 및 PWV

STIFF 지수 (β)는 CCA의 혈관수축 직경(VCD), 혈관확장 직경 (VDD), 수축기 혈압 (SBP), 이완기 혈압 (DBP)을 이용하여 다음 공식을 이용하여 계산하였다 (Iannuzzi et al., 2006).

$$\beta = \ln (SBP/DBP) \times \{ VCD / (VDD - VCD) \}$$

PWV는 동맥 기능에 대한 대표적인 비침습적 지표로써, 심장 수축기 단계에서 생성된 압력파가 동맥계를 따라 전파되는 속도로 정의된다. PWV는 심혈관 질환 및 혈관 상태의 위험도를 평가하는 중요한 임상 지표로 활용되고 있으며, STIFF 지수와 혈액 밀도 (ρ)를 사용하여 계산할 수 있다 (Harada et al., 2002; Zieff et al., 2019).

$$PWV = \sqrt{\beta \times \frac{DBP}{(2 \times \rho)}}$$

$$\rho = \text{density of blood (1.05 g/cm}^3\text{)}$$

2.5. 통계 분석

통계 분석은 Jamovi (Ver. 2.2.5, The jamovi project (2021))를 사용하여 VM 수행 전후의 유의미한 차이를 Paired samples t-test를 이용하여 분석했다. 실시간으로 측정된 NIRS 데이터 (rSO₂, HbO) 와 Doppler 초음파

데이터 (PSV, RI, HR) 및 B-mode 초음파 데이터 (PWV, STIFF)는 VM 전후의 변화를 비교하기 위하여 2구간 (PRE 및 POST)으로 나뉘어 분석하였다. 그리고 각 변수의 전후 차이를 확인하기 위해 POST값에서 PRE값을 뺀 평균을 구하였다. 모든 변수는 Shapiro-Wilk test를 수행하여 정규성을 만족하는지 검정하였다. 이때 NIRS로 측정된 데이터인 rSO2와 HbO는 정규성을 만족하지 못하여 Wilcoxon signed rank test를 수행하였다.

3. 연구 결과

3.1. VM 수행에 따른 STIFF 및 PWV의 변화

PWV는 30mmHg VM 수행 이후 유의하게 감소하였다. PWV는 증가할수록 혈관의 경직도가 증가하고 탄성도가 감소함을 의미한다. 본 연구에서 PWV는 30mmHg VM의 PRE보다 POST에서 0.89m/s ($p < .001$) 유의하게 감소하였고, 40mmHg 에서는 0.34m/s ($p = .148$) 감소하였으나 유의하지는 않았다. STIFF은 30mmHg VM 에서 PRE보다 POST에서 2.23m/s 유의하게 감소하였다 ($p < .001$). 40mmHg VM에서는 0.71 감소하였으나 유의한 변화는 나타나지 않았다 ($p = .288$) (Table 2).

3.2. VM 수행에 따른 뇌혈류 변화

PSV의 변화는 30와 40mmHg VM 수행 전보다 이후에 증가를 보였지만, 30mmHg VM 수행 이후에서만 유의하게 나타났다 (Table 3). 30mmHg VM의 경우 PRE 보다 POST에서 7.27cm/s ($p = .010$), 40mmHg VM의 경우 5.20cm/s ($p = .079$) 증가하였다.

HR에서는 40mmHg VM에서만 유의한 감소를 나타났다. HR은 PRE보다 POST에서 4.24bpm의 유의하게 감소가 나타났고 ($p = .003$), 30mmHg VM에서도 VM 이후 HR이 감소하는 경향이 나타났다. 30mmHg 에서는 POST에서 0.42bpm 감소하는 경향이 나타났으나 유의한 차이는 나타나지 않았다 ($p = .715$). RI는 VM 수행 전후에 유의한 변화를 보이지 않았다 (Table 3).

3.3. VM 수행에 따른 전전두엽 기능 변화

전전두엽의 기능적인 변화는 30mmHg와 40mmHg VM 수행 전후에 거의 동일한 변화가 나타났다 (Table 4). VM 수행 전후의 비교에서 HbO가 VM 이후 유의하게 감소하였지만 ($p = .011$, 30mmHg 및 $p = .021$, 40mmHg), rSO2는 VM 이후 유의한 변화가 나타나지 않았다 ($p = .340$, 30mmHg 및 $p = .315$, 40mmHg).

Table 2. Changes in cerebral artery function between before and after VM

	Outcomes	Variables	Mean ± SD	△DIFF (Mean ± SD)	T	p
30mmHg	PWV (m/s)	PRE	5.34 ± 0.76	-0.89 ± 0.74	-4.82	<0.001*
		POST	4.45 ± 0.62			
	STIFF	PRE	6.94 ± 2.08	-2.23 ± 1.80	-4.94	<0.001*
		POST	4.71 ± 1.37			
40mmHg	PWV (m/s)	PRE	5.06 ± 1.00	-0.34 ± 0.87	1.53	0.148
		POST	4.72 ± 1.38			
	STIFF	PRE	6.35 ± 2.78	-0.71 ± 2.47	1.10	0.288
		POST	5.64 ± 3.90			

Abbreviations: DIFF, difference value; POST, post-test; PRE, pre-test; PWV, pulse wave velocity; SD, standard deviation; SE, standard error; STIFF, stiffness; VM, Valsalva maneuver.

Table 3. Cerebral blood flow changes before and after VM

Outcomes	Variables	Mean ± SD	△DIFF (Mean ± SD)	T	p	
30mmHg	PSV (cm/s)	PRE	96.88 ± 15.50	7.27 ± 9.88	2.95	0.010*
		POST	104.16 ± 15.88			
	RI	PRE	0.73 ± 0.06	0.01 ± 0.02	1.65	0.120
		POST	0.74 ± 0.06			
	HR (bpm)	PRE	69.16 ± 9.44	-0.42 ± 4.46	-0.37	0.715
		POST	68.74 ± 8.73			
40mmHg	PSV (cm/s)	PRE	93.10 ± 12.66	5.20 ± 11.04	1.89	0.079
		POST	98.30 ± 7.67			
	RI	PRE	0.72 ± 0.06	-0.003 ± 0.03	-0.44	0.669
		POST	0.71 ± 0.06			
	HR (bpm)	PRE	70.80 ± 8.74	-4.24 ± 4.86	-3.49	0.003*
		POST	66.55 ± 8.02			

Abbreviations: DIFF, difference value; HR, heart rate; POST, post-test; PRE, pre-test; PSV, peak systolic velocity; RI, resistance index; SD, standard deviation; VM, Valsalva maneuver.

Table 4. Prefrontal cortex hemodynamic functions during 30mmHg and 40mmHg VM.

Outcomes	Variables	Mean ± SD	Z	p	
rSO ₂	30mmHg	PRE	63.830 ± 10.010	60	0.340
		POST	64.703 ± 8.527		
	40mmHg	PRE	57.448 ± 18.962	69	0.315
		POST	58.047 ± 18.764		
HbO	30mmHg	PRE	-0.014 ± 0.053	20	0.011*
		POST	-0.024 ± 0.050		
	40mmHg	PRE	-0.001 ± 0.025	24	0.021*
		POST	-0.015 ± 0.030		

Abbreviations: HbO, oxidized hemoglobin; PRE, pre-test; POST, post-test; rSO₂, regional oxygen saturation; SD, standard deviation; VM, Valsalva maneuver.

4. 논의

본 연구에서는 30mmHg와 40mmHg의 두 가지 흉강내 압력이 CCA 혈류속도, 혈관 탄성도, 그리고 뇌의 혈류 역학적 기능에 현저한 변화를 보여주는 것을 확인했으며, 특히 40mmHg VM이후에 HR의 유의한 변화를 통해 흉강내 압력 강도에 따른 차이를 보여주었다.

30mmHg VM 중재에 혈관 탄성도 향상과 PSV의 증가가 유의하게 나타났다. 40mmHg VM 중재에서는 이러한 경향이 나타나긴 했으나 유의하지는 않았다. 30mmHg VM 수행 이후 PSV의 유의한 증가는 흉강내 압력 증가 후 나타나는 1단계에서 4단계까지의 생리학적 변화와 밀접한 연관이 있다 (Pstras et al., 2016b; Srivastav et al., 2024). VM 이후 증가된 PSV는 VM 3단

게 이후 자극된 교감신경계의 활성화와 4단계에서 나타나는 혈압의 증가에 의해 나타난다. 이전 연구에서도 VM 3단계에서 대뇌 혈류속도가 정상 보다 50% 이상 증가하며 가장 큰 변화가 나타났다 (Tiecks et al., 1995).

또한 VM에 의한 혈관 탄성도의 변화는 증가된 혈압과 혈류속도가 혈관의 긴장도를 자극하기 때문으로 확인된다. 혈관의 긴장도는 혈관을 보호하기 위해 혈압 상승에 따라 증가하게 되며 VM 1단계에서 증가한 혈압이 혈관의 긴장도를 높이게 된다. 그러나 VM 3단계에서 감소한 혈압과 증가하는 정맥 환류로 인해 다시 혈관이 확장되며 혈관의 긴장도가 감소하는 변화가 나타난다 (Perry et al., 2014). 이와 유사하게 VM이 동반되는 저항성 운동 수행 시 뇌혈관의 수축과 이완이 유도된다고 보고되었다 (Perry et al., 2020; Sakamoto et al., 2023). 본 연구의 30mmHg VM에서도 PWV와 STIFF 모두 유의하게 감소하여 혈관 경직도 완화에 효과가 나타났다. 40mmHg VM에서는 PWV와 STIFF에서 평균적인 감소를 보였지만 통계적 유의성을 나타내지는 못하였다. 게다가 40mmHg VM에서의 PWV와 STIFF의 전후 차이 값이 30mmHg VM보다 상대적으로 작은 점을 고려하면, 혈관경직도에 대한 효과는 40mmHg VM보다 30mmHg VM에서 더 높을 수 있다. 이는 40mmHg VM에서 보다 높은 흉강 내압이 작용한 결과로 보다 높은 압력 반사 활성화에 의해 증가한 교감신경의 증가가 혈관의 이완을 억제하기 때문으로 보인다. 따라서 40mmHg VM에서의 과도한 압력 반사 활성화와 교감활성은 혈관 확장을 저해할 수 있어 30mmHg VM과는 달리 PWV와 STIFF의 유의한 변화가 나타나지 않은 것으로 보인다.

반면 HR은 40mmHg VM에서만 VM전후 유의한 차이가 나타났는데, 이는 일반적인 VM 4단계에서 나타나는 효과로, 증가한 혈압에 대한 반응으로 HR이 감소하는 변화가 나타난다. 즉 30mmHg VM 보다 40mmHg VM에서 흉강 내압 증가에 대한 반응이 명확하게 나타남을 알 수 있다. 그러므로, 40mmHg VM은 교감신경 및 대뇌 자가조절 반응을 검사하는데 유용할 수 있으나 혈관 경직도 완화를 위한 자극으로는 적합하지 않

음을 알 수 있다.

전전두엽에서의 혈역학 기능은 30mmHg과 40mmHg VM에서 유사한 반응 나타났다. 특히 HbO는 30mmHg와 40mmHg VM 모두에서 유의한 감소를 나타났다. 이는 VM 수행 동안 뇌의 산소 소모량이 증가함을 의미할 수 있다 (Jones et al., 2016). 이전 연구에 따르면 VM은 자율신경 조절 기전과 심혈관계 변화를 유발하며 뇌간과 소뇌 영역의 뇌활성을 증가시키는데 기여한다고 알려져 있다 (Henderson et al., 2002). 하지만, rSO2에서는 VM 이후 증가를 보였지만 유의하지는 않았다. 이는 VM시 증가한 혈압이 rSO2 증가에 영향을 준 것으로 보인다. 이전 연구에 따르면 혈압이 증가할수록 대뇌 혈류의 산소포화도 또한 증가한다고 보고되었다 (Hershenson et al., 2012). 즉 VM에 의해 증가한 전전두엽의 뇌활성이 산소 소비를 증가시키고, 증가한 혈압에 의해 산소포화도가 증가하는 경향이 나타났다. 이에 VM이 뇌기능과 산소공급에 영향을 주는 것을 알 수 있다.

5. 제한점

본 연구에서는 30mmHg와 40mmHg의 두 가지 흉강 내 압력이 CCA 혈류속도, 혈관 탄성도에 서로 다른 변화를 야기하는 것으로 나타났다. 특히 30mmHg VM은 혈관 경직도 완화에 유의한 효과가 나타났고 PSV 또한 유의하게 증가한데 비해 40mmHg VM에서는 동일한 경향성만 나타나고 유의한 변화는 없었다. 이는 40mmHg VM에서 보다 높은 흉강내 압력에 따른 생리학적인 변화의 변동성이 크게 작용했기 때문이라고 사료되며, 특히 16명의 피험자수가 40mmHg VM의 효과를 확인하기에 부족했을 수 있다. 따라서 추후 보다 많은 피험자에 대한 분석을 통해 40mmHg VM의 효과를 명확히 할 필요가 있다. 또한 30mmHg VM 미만의 흉강내 압력 자극이 뇌혈관에 미치는 효과를 확인하지 못한 점도 향후 연구에서 고려되어야 할 주요한 제한점이다. 마지막으로 본 연구는 20대의 건강한 성인을 대상으로 했기 때문에 혈관질환 (고혈압, 동맥경화 등)

및 혈관노화가 진행된 노인에게 대한 효과를 대변하기 어렵다. VM이 건강한 정상 혈관에서 효과가 있는 것을 고려한다면 환자군을 대상으로 했을 때 더 큰 효과를 기대해 볼 수 있다. 이에 추후 연구에서는 혈관기능이 감소한 환자군을 대상으로 추가 연구를 진행할 필요가 있다.

6. 결론

본 연구에서는 서로 다른 두 가지 호흡 압력에 대한 CCA 혈류속도, 혈관 탄성도 그리고 전전두엽 혈류 역학의 변화를 확인했다. 두 압력의 VM 중재 모두 동일하게 동맥 탄성 향상과 PSV 증가가 나타났으나, 30mmHg에서만 유의한 변화를 나타냈다. 하지만, HR은 40mmHg VM 이후에서 유의하게 변화하며, 흉강 내압 강도에 따른 차이를 보여주었다. 이는 40mmHg VM에서의 과도한 압력 반사 활성화로 인해 혈관 이완이 억제되어, 이로 인해 혈관 탄성 개선에 대한 효과가 30mmHg VM에 비해 더 낮을 수 있음을 시사한다. 뇌기능 변화에서는 30mmHg과 40mmHg VM 모두에서 뇌활성 증가에 의한 HbO 감소가 나타났다. 따라서 본 연구는 압력 강도의 변화를 통해 VM 수행의 효과를 확인한 결과 뇌기능에는 유사한 영향을 미치지만 뇌혈관 기능에는 서로 다른 영향을 미친다는 것을 확인하였고, 특히 적용하기 용이하고 위험도가 낮은 저압의 흉강내 압력을 이용한 VM 수행이 혈관 기능 향상에 보다 적합함을 보여주고 있다.

REFERENCES

- Belfort, M. A., Tooke-Miller, C., Allen JR., J. C., Saade, G. R., Dildy, G. A., Grunewald, C., Nisell, H., & Herd, J. A. (2001). Changes in flow velocity, resistance indices, and cerebral perfusion pressure in the maternal middle cerebral artery distribution during normal pregnancy. *Acta Obstetrica et Gynecologica Scandinavica*, 80(2), 104-112. DOI: 10.1034/j.1600-0412.2001.080002104.x
- Bloomfield, G. L., Ridings, P. C., Blocher, C. R., Marmarou, A., & Sugerman, H. J. (1997). A proposed relationship between increased intra-abdominal, intrathoracic, and intracranial pressure. *Critical Care Medicine*, 25(3), 496.
- Fisher-Hubbard, A. O., Kesha, K., Diaz, F., Njiwaji, C., Chi, P., & Schmidt, C. J. (2016). Commode cardia—death by valsalva maneuver: a case series. *Journal of Forensic Sciences*, 61(6), 1541-1545. DOI: 10.1111/1556-4029.13196
- Harada, A., Okada, T., Niki, K., Chang, D., & Sugawara, M. (2002). On-line noninvasive one-point measurements of pulse wave velocity. *Heart and Vessels*, 17(2), 61-68. DOI: 10.1007/s003800200045
- Henderson, L. A., Macey, P. M., Macey, K. E., Frysinger, R. C., Woo, M. A., Harper, R. K., Alger, J. R., Yan-Go, F. L., & Harper, R. M. (2002). Brain responses associated with the Valsalva maneuver revealed by functional magnetic resonance imaging. *Journal of Neurophysiology*, 88(6), 3477-3486. DOI: 10.1152/jn.00107.2002
- Hershenson, J. A., Ro, P. S., Miao, Y., Tobias, J. D., Olshove, V., & Naguib, A. N. (2012). Changes in hemodynamic parameters and cerebral saturation during supraventricular tachycardia. *Pediatric Cardiology*, 33(2), 286-289. DOI: 10.1007/s00246-011-0133-3
- Iannuzzi, A., Licenziati, M. R., Acampora, C., Renis, M., Agrusta, M., Romano, L., Valerio, G., Panico, S., & Trevisan, M. (2006). Carotid artery stiffness in obese children with the metabolic syndrome. *The American Journal of Cardiology*, 97(4), 528-531. DOI: 10.1016/j.amjcard.2005.08.072
- Jefferson, A. L., Cambronero, F. E., Liu, D., Moore, E.

- E., Neal, J. E., Terry, J. G., Nair, S., Pechman, K. R., Rane, S., Davis, L. T., Gifford, K. A., Hohman, T. J., Bell, S. P., Wang, T. J., Beckman, J. A., & Carr, J. J. (2018). Higher aortic stiffness is related to lower cerebral blood flow and preserved cerebrovascular reactivity in older adults. *Circulation*, *138*(18), 1951-1962. DOI: 10.1161/CIRCULATIONAHA.118.032410
- Jin, H.-K., Hwang, T.-Y., & Cho, S.-H. (2017). Effect of electrical stimulation on blood flow velocity and vessel size. *Open Medicine*, *12*(1), 5-11. DOI: 10.1515/med-2017-0002
- Jones, S., Chiesa, S. T., Chaturvedi, N., & Hughes, A. D. (2016). Recent developments in near-infrared spectroscopy (NIRS) for the assessment of local skeletal muscle microvascular function and capacity to utilise oxygen. *Artery Research*, *16*, 25-33. DOI: 10.1016/j.artres.2016.09.001
- Klein, L. J., Saltzman, H. A., Heyman, A., & Sieker, H. O. (1964). Syncope induced by the Valsalva maneuver: A study of the effects of arterial blood gas tensions, glucose concentration and blood pressure. *The American Journal of Medicine*, *37*(2), 263-268. DOI: 10.1016/0002-9343(64)90010-5
- Madaminjonovna, K. Z. (2024). Etiological factors causing hypertension disease and measures to control it. *American Journal of Pediatric Medicine and Health Sciences (2993-2149)*, *2*(1), Article 1.
- Perry, B. G., De Hamel, T., Thomas, K. N., Wilson, L. C., Gibbons, T. D., & Cotter, J. D. (2020). Cerebrovascular haemodynamics during isometric resistance exercise with and without the Valsalva manoeuvre. *European Journal of Applied Physiology*, *120*(2), 467-479. DOI: 10.1007/s00421-019-04291-7
- Perry, B. G., Mündel, T., Cochrane, D. J., Cotter, J. D., & Lucas, S. J. E. (2014). The cerebrovascular response to graded Valsalva maneuvers while standing. *Physiological Reports*, *2*(2), e00233. DOI: 10.1002/phy2.233
- Pstras, L., Thomaseth, K., Waniewski, J., Balzani, I., & Bellavere, F. (2016a). Mathematical modelling of cardiovascular response to the Valsalva manoeuvre. *Mathematical Medicine and Biology*, dqw008. DOI: 10.1093/imammb/dqw008
- Pstras, L., Thomaseth, K., Waniewski, J., Balzani, I., & Bellavere, F. (2016b). The Valsalva manoeuvre: Physiology and clinical examples. *Acta Physiologica*, *217*(2), 103-119. DOI: 10.1111/apha.12639
- Pulgar, V. M. (2015). Direct electric stimulation to increase cerebrovascular function. *Frontiers in Systems Neuroscience*, *9*. DOI: 10.3389/fnsys.2015.00054
- Sakamoto, R., Sato, K., Ogoh, S., Kamoda, T., Neki, T., Katayose, M., & Iwamoto, E. (2023). Dynamic resistance exercise-induced pressor response does not alter hypercapnia-induced cerebral vasodilation in young adults. *European Journal of Applied Physiology*, *123*(4), 781-796. DOI: 10.1007/s00421-022-05096-x
- Srivastav, S., Jamil, R. T., & Zeltser, R. (2024). Valsalva Maneuver. In StatPearls. StatPearls Publishing. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK537248/>
- Tiecks, F. P., Douville, C., Byrd, S., Lam, A. M., & Newell, D. W. (1996). Evaluation of impaired cerebral autoregulation by the valsalva maneuver. *Stroke*, *27*(7), 1177-1182. DOI: 10.1161/01.STR.27.7.1177
- Tiecks, F. P., Lam, A. M., Matta, B. F., Strebel, S., Douville, C., & Newell, D. W. (1995). Effects of the valsalva maneuver on cerebral circulation in healthy adults. *Stroke*, *26*(8), 1386-1392. DOI: 10.1161/01.STR.26.8.1386

Yi, K.-K., Park, C., Yang, J., Lee, Y.-B., & Kang, C.-K. (2023). Quantitative thermal stimulation using therapeutic ultrasound to improve cerebral blood flow and reduce vascular stiffness. *Sensors*, 23(20), Article 20. DOI: 10.3390/s23208487

Zieff, G. H., Heffernan, K., Stone, K., Fryer, S., Credeur, D., Hanson, E. D., Faulkner, J., & Stoner, L. (2019).

The pressure-dependency of local measures of arterial stiffness. *Journal of Hypertension*, 37(5), 956. DOI: 10.1097/HJH.0000000000001998

원고접수: 2024.05.23

수정접수: 2024.07.12

게재확정: 2024.07.17.