



# 일회성 유산소 운동이 흡연자의 동맥경직도, 대뇌혈류량 및 인지기능에 미치는 영향: 중강도 지속성 vs. 고강도 인터벌

황지선<sup>1</sup> PhD, 이루다<sup>2</sup> MS, 김진수<sup>2</sup> BS, 황문현<sup>3,4</sup> PhD

<sup>1</sup>경인여자대학교 아동건강보육과, <sup>2</sup>인천대학교 대학원 체육학과, <sup>3</sup>인천대학교 운동건강학부, <sup>4</sup>인천대학교 스포츠과학연구소

## Altered Arterial Stiffness, Cerebral Blood Flow and Cognitive Function in Young Smokers in Response to One-Bout of Aerobic Exercise: MICE vs. HIIE

Jisun Hwang<sup>1</sup> PhD, Ruda Lee<sup>2</sup> MS, Jin-Su Kim<sup>2</sup> BS, Moon-Hyon Hwang<sup>3,4</sup> PhD

<sup>1</sup>Department of Early Childhood Care & Health, Kyung-in Women's University, Incheon; <sup>2</sup>Department of Human Movement Science, Graduate School, Incheon National University, Incheon; <sup>3</sup>Division of Health & Kinesiology, Incheon National University, Incheon; <sup>4</sup>Sport Science Institute, Incheon National University, Incheon, Korea

**PURPOSE:** This study aimed to compare the acute effects of high-intensity interval exercise (HIIE) with moderate-intensity continuous exercise (MICE) on arterial stiffness, cerebral blood flow and cognitive function in young smokers.

**METHODS:** Young smokers (23.1 years & 7.2 pack years) were randomly assigned to either MICE (n=5) or HIIE (n=4) group. MICE was implemented at 70% of HRmax for 30 minutes. HIIE was performed at 70% and 90% of HRmax for 24 minutes. Central artery stiffness was assessed by aortic pulse wave velocity (cfPWV), augmentation index (AIx) at pre and post-exercise, and 30 minutes, 1 hour, 2 hours, 24 hours following the exercises. Cerebral blood flow was continuously monitored using near-infrared spectroscopy technique before and during exercise, and at 30 minutes, 1 hour, 2 hours, and 24 hours following the exercises. Cognitive function was assessed by Stroop Color-Word test at pre-exercise, and 30 minutes and 24 hours following the exercises.

**RESULTS:** There was no significant group by time interaction in cfPWV, AIx, cerebral blood flow (HbO<sub>2</sub>) level, and cognitive function. Compared with MICE, cfPWV was increased ( $p=.01$ ) at 30 minutes but AIx was decreased ( $p=.02$ ) at 1 hour following HIIE. When MICE and HIIE combined, arterial stiffness and cerebral blood flow measures, and cognitive function parameters were improved following even one-bout of exercise ( $p\leq.049$ ). Change in AIx was associated with change in cognitive function at 30 minutes following the exercises ( $r=.69$ ,  $p=.06$ ).

**CONCLUSIONS:** Even one-bout of either MICE or HIIE acutely improves aortic wave reflection, cerebral blood flow and cognitive function in young smokers. The intensity of aerobic exercise does not seem to make meaningful differences in the positive effects on arterial stiffness, cerebral blood flow, and cognitive function in young smokers if both exercises have the same volume.

**Key words:** Smokers, Aerobic exercise, Arterial stiffness, Pulse wave velocity, Augmentation index, Cerebral blood flow, Cognitive function, High-intensity interval exercise

**Corresponding author:** Moon-Hyon Hwang Tel +82-32-835-8698 Fax +82-32-835-0789 E-mail mhwang@inu.ac.kr

\*이 논문은 2017년 대한민국 교육부와 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2017S1A5B5A07064403).

**Keywords** 흡연자, 유산소 운동, 동맥 경직도, 맥파 속도, 맥파증대지수, 소뇌 혈류, 인지기능, 고강도 인터벌 운동

**Received** 31 Jul 2020 **Revised** 18 Aug 2020 **Accepted** 20 Aug 2020

© This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

## 서론

흡연은 심혈관계 질병 유병률 및 관련 사망률을 증가시키는 독립적 위험인자이다. 흡연은 혈관 내 염증을 유발하고 혈관내피세포를 손상시켜 혈관 내 죽상 생성을 촉진시킨다. 생성된 죽상은 혈관의 직경과 탄성을 감소시켜 혈관벽이 경화되게 만듦으로써 여러 가지 심뇌혈관성 질환을 유발하는 것으로 알려져 있다[1-3]. 2018년 질병관리본부에서 실시한 국민 건강·영양 조사에 따르면, 우리나라 성인 남성의 흡연율은 약 39.4%로 점차 감소하는 경향을 보이고 있지만, 여전히 OECD 국가 중 2위를 차지할 만큼 높은 흡연율을 보이고 있다. 흡연은 일시적 그리고 만성적으로 동맥경직도를 증가시키며[3], 이러한 동맥경직도의 증가는 뇌의 소혈관 질환(cerebral small vessel disease) 발생 및 인지 기능 감소와 연관성이 있다[4]. 이와 같이 흡연은 전신으로 혈액과 산소를 공급하는 경로인 혈관의 탄성을 저하시켜 심장 자체의 기능뿐만 아니라, 뇌의 기능에도 부정적인 영향을 미칠 수 있다.

반대로, 운동 수행은 혈관의 기능 개선과 함께 대뇌 산소화 및 혈류량을 증가시키고, 뇌신경세포의 생성 및 뉴런 내 신호전달체계를 활성화시킴으로써 학습 및 기억력 증진과 인지기능을 향상시킨다[5-10]. 심뇌혈관 기능 개선에 미치는 운동의 효과는 운동의 형태 및 운동 기간에 따라 다른 결과를 나타낸다. 상당수의 선행연구에서 규칙적인 중강도 유산소성 운동은 동맥경직도를 감소시키며, 대뇌 산소화 및 혈류량을 증가시키고, 인지기능을 향상시키는 것으로 나타났다[5,11-13]. 스트레칭이나 미용체조 및 이완 운동과 같은 저강도의 신체 활동은 중심혈압을 낮추고, 말초 혈관을 확장시키는데 효과를 보였으나[14], 뇌기능 활성화 및 인지기능에는 효과를 보이지 않았다[15,16]. 탈진 시점까지의 고강도 운동과 혈액의 pH가 급격하게 감소하는 장시간의 격렬한 운동은 대뇌 산소화 감소 및 뇌기능의 일시적 저하와 같이 인체에 부정적인 영향을 미치는 것으로 나타났으며[9,17-19], 고강도의 저항성 운동은 동맥경직도를 개선시키지 못하는 것으로 알려져 있다[20]. 하지만, 중강도 지속성 운동과 비교했을 때, 고강도와 중강도가 혼합된 유산소 인터벌 운동의 경우 유산소성 체력 향상과 더불어 혈관내피세포 기능 및 동맥경직도의 개선뿐 아니라, 뇌혈류량과 뇌신경성장인자의 증가 및 인지기능 개선 측면에서도 더욱 효과적인 것으로 나타났다[9,13,21-23].

흡연자를 대상으로 심뇌혈관 건강 개선을 위해 다양한 운동방법을 적용한 연구는 매우 부족하며, 운동을 통한 심뇌혈관기능 개선의 효과 및 그 효과의 지속성을 보고한 연구 또한 미흡한 실정이다. 따라서 동일한 운동량을 가진 중강도 지속성 유산소 운동과의 비교를 통해 고강도와 중강도가 혼합된 고강도 인터벌 운동 수행이 흡연자의 심혈관 및 뇌기능 개선에 긍정적인 영향을 미치는지 여부와 일회성 운동 유형 중 어떤 운동이 흡연자의 심뇌혈관 기능과 인지기능 개선에 더욱

효과적인지를 규명하고 일회성 운동의 효과가 지속되는 정도를 살펴보고자 한다.

## 연구 방법

### 1. 연구 참여자

본 연구는 임상적으로 특정 질환이 없으며 중강도 이상의 운동을 안전하게 수행할 수 있는 신체 건강한 20대 성인 남성 흡연자(하루 7개 피 이상, 3년 이상의 흡연 경력) 10명을 모집하였다. 연구 개시 이전, 모든 참여자들은 연구의 목적과 연구내용 및 절차에 대한 설명을 충분히 듣고 자발적으로 연구참여동의서를 작성, 제출하였다. 본 연구는 보건복지부 지정 공용기관생명윤리위원회의 심의 절차를 거친 후 수행되었다(P01-201808-13-001). 유산소 운동 집단 간 운동량을 맞추기 위하여 연구 참여자는 절대적 최대산소섭취량(L/min)에 따라 고강도 인터벌 운동 집단(n=5)과 중강도 지속성 운동 집단(n=5)에 계층적 무선 배정되었다. 일회성 운동 중재 전 실시한 기본 측정은 10명의 연구 참여자를 대상으로 이루어졌다. 하지만 고강도 인터벌 운동 집단에 배정된 1명의 연구 참여자가 일회성 운동 실시 중 연구 참여를 중단하여 총 9명의 연구 참여자만 본 연구에서 계획한 모든 측정과 검사를 완료하였다. 연구 참여자의 기본적인 신체적 특성은 Table 1과 같다.

### 2. 연구 절차 및 측정 방법

본 연구는 일회성 유산소성 운동의 강도에 따른 흡연자의 동맥경직도, 뇌 혈류량 및 인지기능의 급성적 변화 추이를 비교, 분석하였다. 모든 연구 참여자를 대상으로 실험에 참여하기 1-2주 전, Modified Bruce 트레드밀 프로토콜을 사용하여 최대산소섭취량을 측정하였으며, 이를 토대로 개개인의 운동량 설정 및 두 운동 집단 간 평균 운동량을 최

Table 1. Participants' characteristics

Variables	MICE (n=5)	HIIE (n=5)	p value
Age (yr)	22.8±0.6	23.4±0.4	.42
Height (cm)	183.1±1.2	177.8±1.7	.03
Weight (kg)	87.4±4.1	80.4±7.7	.45
BMI (kg/m <sup>2</sup> )	26.4±1.5	25.4±2.1	.70
SBP (mmHg)	134.2±6.3	123.8±3.3	.18
DBP (mmHg)	68.8±3.1	67.2±2.5	.70
HR (bpm)	58.0±3.8	66.2±5.2	.24
VO <sub>2</sub> max (mL/kg/min)	46.9±1.7	41.4±1.9	.06
HRmax (bpm)	191.8±4.8	195.2±6.0	.67
Cigarettes (day)	9.8±2.6	13.4±2.8	.37
Pack (yr)	7.2±0.9	7.2±1.2	1.0

Values are mean ± SE.

BMI, body mass index; SBP, systolic blood pressure; DBP, diastolic blood pressure; HR, heart rate; MICE, moderate-intensity continuous exercise; HIIE, high-intensity interval exercise.

대한 동일하게 맞추려고 노력하였다. 연구 참여자는 본 실험 전날 과격한 운동, 음주, 흡연, 카페인 섭취를 제한할 것을 안내받았으며, 방문 전 최소 12시간의 공복을 유지한 후 오전 시간에 실험실을 방문하였다. 실험 시작 전, 모든 연구 참여자를 대상으로 신장, 체중 및 신체구성을 포함한 기본 측정을 실시하였다. 기본 측정을 마친 연구 참여자가 온도, 습도, 조도가 일정하게 유지된 실험실에서 약 20분간 누워서 안정을 취한 후, 동맥경직도가 측정되었다. 이후, 연구 참여자는 좌측 전두엽 부위에 NIRS 센서를 부착한 후, 앉은 상태에서 안정 시 대뇌의 뇌혈류량 측정 및 스트랩 선택제-단어 검사에 참여하였다. 모든 사전 측정이 종료되면 연구 참여자는 본인에게 할당된 일회성 유산소 운동 수행 방법에 대한 간략한 설명을 들은 후, 정해진 운동 프로토콜에 따라 일회성 운동을 실시하였다. 일회성 운동 실시 전과 직후, 운동 종료 후 30분, 1시간, 2시간, 24시간 시점에서 사전 측정과 동일한 방식으로 동맥경직도, 대뇌 혈류량, 인지기능 검사의 사후 측정이 이루어졌다.

1) 일회성 유산소 운동 프로토콜

일회성 유산소 운동은 고정식 자전거(Fluid Ergometer, First degree Fitness, USA)를 사용하여 실시하였다. Wisloff et al. (2007)의 연구에서 사용된 프로토콜을 본 연구의 목적에 맞게 수정, 적용하여 두 가지 운동 강도 즉, 고강도 인터벌 운동(high intensity interval exercise, HIIE)과 중강도 지속성 운동(moderate intensity continuous exercise, MICE) 집단 간 총 운동량(kcal)이 동일하도록 운동시간을 설정하였으며, 운동 강도는 연구 참여자의 최대산소섭취량 검사 시 획득한 최대심박수를 기준으로 설정하였다. 일회성 유산소 운동 프로토콜은 Table 2와 같다.

(1) 고강도 인터벌 운동

일회성 고강도 인터벌 운동(high intensity interval exercise, HIIE)은 '4분 운동 3분 활동적 휴식'을 3회 반복하는 형태로 이루어졌으며 고정식 fluid 에르고미터의 페달 저항과 페달링 속도에 의해 운동강도가 조절되었다. 4분 동안의 고강도 운동은 연구 참여자가 90±5% HRmax 수준에서 페달을 강하고 빠르게 돌리고, 3분 동안의 활동적 휴식은 70

Table 2. Exercise protocol and volume of MICE & HIIE

Exercise group	Stage	Intensity	Set	Time (min)	Total Time (min)	Volume (kcal)
MICE	Warm up	70% HRmax	1	3	30	267
	Main exercise	70% HRmax	1	24		
	Cool down	70% HRmax	1	3		
HIIE	Warm up	70% HRmax	1	3	24	256.8
	Main exercise	90% HRmax	3	4		
		70% HRmax	2	3		
	Cool down	70% HRmax	1	3		

MICE, moderate-intensity continuous exercise; HIIE, high-intensity interval exercise; HRmax, maximal heart rate.

±5% HRmax의 수준에서 강도로 페달을 약하게 천천히 돌리면서 운동을 실시하게끔 유도하였다. 운동 중 즉각적으로 변화하는 심박수는 'Polar Beat' 어플리케이션을 이용하여 실시간 시각적 피드백을 주었으며, 이를 바탕으로 연구 참여자가 스스로 본인의 심박수를 확인하고 페달링 속도와 페달 저항을 조절할 수 있게 하였다. 운동시간은 준비운동과 정리운동을 포함하여 약 24분으로 설정하였다.

(2) 중강도 지속성 운동

일회성 중강도 지속성 운동(moderate intensity continuous exercise, MICE)은 동일한 고정식 fluid 에르고미터를 사용하여 70±5% HRmax의 수준을 유지하면서 페달링을 실시하였다. 운동 중 즉각적으로 변화하는 심박수는 'Polar Beat' 어플리케이션을 이용하여 실시간 시각적 피드백을 통해 연구 참여자가 스스로 심박수를 확인하고 페달링 속도를 조절할 수 있게 하였다. 운동시간은 준비운동과 정리운동을 포함하여 약 30분 정도로 설정하였다.

2) 동맥경직도 측정: 맥파전달속도(cfPWV) 및 맥파증대지수(AIx)

동맥경직도는 자율신경계의 활동을 반영하는 심박수와 혈압에 영향을 받기 때문에 온도, 습도, 조도가 일정하게 유지된 약간 어두운 실험실 환경에서 연구 참여자가 약 20분간 편안하게 누워서 안정을 취하도록 한 후, SphygmoCor Xcel system (AtCor Medical, Australia)을 사용하여 경동맥-대퇴동맥 간 맥파전달속도(carotid-femoral artery pulse wave velocity, cfPWV)와 맥파증대지수(augmentation index, AIx)를 측정하였다. cfPWV는 대퇴부에 맥파 수집이 가능한 혈압 커프를 채운 후, 맥파의 이동거리 측정을 위해 경동맥-흉골 절흔(A), 흉골절흔-대퇴 커프(B), 대퇴동맥-대퇴커프(C) 3곳의 길이를 측정용 줄자로 측정한 후 시스템에 입력하여 맥파 이동거리를 산출하였다. 이후 경동맥에 tonometry probe를 위치시켜 양질의 맥파를 획득하면 자동적으로 대퇴부 커프가 대퇴동맥의 맥파를 수집하여 두 동맥 간 맥파 이동시간이 산출되었다. 시스템 내에서 경동맥-대퇴동맥 간 맥파 이동거리를 두 동맥 간 맥파 이동시간으로 나누어 대동맥 맥파전달속도를 평가하였다. AIx는 상완동맥 주위에 맥파 수집이 가능한 혈압 커프를 착용하여 상완 동맥의 혈압과 상완동맥 맥파의 압력 파형을 수집하여 수학적 함수식에 의해 산출되었다. AIx는 대동맥을 통해 이동한 반사파에 의해 증대된 대동맥 압력을 대동맥 맥압으로 나누어 백분위화 시켜 표현하였다.

3) 대뇌 혈류량 측정: 산소화헤모글로빈(HbO<sub>2</sub>)

대뇌의 혈류량과 대뇌 산소포화도는 근적외선분광법(Near-infrared spectroscopy, NIRs) 기반의 측정 장비인 PortaLite (Artinis Medical Systems BV, Zetten, Netherlands)를 사용하여 측정하였다. NIRs 센서를 좌

측 눈썹 위 1-2 cm 지점에 위치시키고, 접착 테이프를 붙인 후, 두건을 씌워 센서가 운동 중 움직임이나 땀으로부터 분리되지 않도록 고정시켰다. 750-850 nm의 다양한 깊이의 파장으로부터 획득된 정보에 의해 산소화헤모글로빈 농도(Oxyhemoglobin, HbO<sub>2</sub>)가 측정되었다. 측정된 값은 자동화된 소프트웨어(Oxysoft, Artinis Medical Systems, Zetten, Netherlands)를 통해 10 Hz의 출력 주파수로 1초당 변화되는 평균값으로 기록되었으며, 시점별 1분 동안 측정된 평균치를 데이터 분석에 사용하였다.

#### 4) 인지기능 평가(Stroop Color-Word tests)

인지기능 평가는 기존의 신경인지기능 평가도구의 문제점을 보완하여 개발된 한국형 종합 신경인지기능 평가(Comprehensive Neurocognitive Function Test, CNFT, Medise, Korea) 소프트웨어를 사용하여 대뇌 전두엽 및 고위인지영역의 기능을 평가할 수 있는 스트룹 색채 단어 검사를 실시하였다. 검사는 단어 읽기, 색채 읽기, 색채가 일치하는 단어 읽기, 색채의 간섭이 부여된 상태에서 단어 읽기, 단어의 간섭이 부여된 상태에서 색채 읽기의 순서로 총 5가지 형태로 구성되어 있으며, 각 검사마다 20개의 단어가 화면에 제시된다. 각각의 검사에 대해 연구참여자가 최대한 빠르고 정확하게 읽도록 하여 인지기능을 측정하였으며, 기록된 정답반응시간(reaction time, RT)과 오답 개수(error answer, EA)를 인지기능 평가에 사용하였다. 연구 참여자에게 스트룹 색채-단어 검사에 익숙해지도록 본 측정 전 2회의 연습 기회를 제공하였다.

#### 3. 자료처리방법

본 연구는 SPSS version 18.0 통계분석 프로그램을 사용하여 흡연자의 일회성 유산소성 운동 강도에 따른 동맥 경직도와 대뇌의 산소화 헤모글로빈 농도 그리고 인지기능의 시간 추이에 따른 변화를 비교, 분석하였다. 유산소성 운동 강도에 따른 시간대별 종속변인의 변화 차이를 분석하기 위하여 반복측정 분산분석(two-way ANOVA with repeated measures)을 실시하였다. 흡연자의 운동 집단별 측정 시점 간 차이는 반복측정 분산분석(one-way ANOVA with repeated measures) 또

는 종속 *t*-검정(paired *t*-test)을 이용하여 분석하였으며, 측정 시기별 집단 간 차이는 독립 *t*-검정(independent *t*-test)을 사용하여 분석하였다. 또한 운동 전-후 대뇌의 산소화헤모글로빈 수준의 변화, 동맥 경직도의 변화, 인지기능의 변화 간 상호관련성을 살펴보기 위해 Pearson's correlation을 실시하였다. 측정 변인들의 정규성 부합 여부를 확인한 후, 위배된 변인에 한해 필요한 경우 로그 치환(log transformation)을 실시한 상태에서 상관분석을 실시하였다. 본 연구의 가설 검증을 위한 통계적 유의수준은  $p < .05$ 로 설정하였으며, 모든 자료는 평균과 표준 오차로 제시하였다.

## 연구 결과

### 1. 운동 강도에 따른 동맥경직도의 변화

일회성 중강도 지속성 운동 집단과 고강도 인터벌 운동 집단 간 측정 시점에 따른 동맥경직도 지표의 변화량 차이를 분석한 반복측정 분산분석 결과는 Table 3과 같다. 동맥경직도를 표현하는 지표인 cfPWV와 AIx 모두 집단과 시점 간 통계적으로 유의한 상호작용이 나타나지 않았다. 운동 전과 비교하여 운동 후 특정 시점에서의 집단 간 동맥경직도 변화의 차이를 비교하기 위해 독립 *t*-검증을 실시한 결과, 운동 후 30분 시점(cfPWV), 1시간 시점(AIx)에서 두 운동 집단 간 변화의 유의한 차이가 나타났다(Fig. 1).

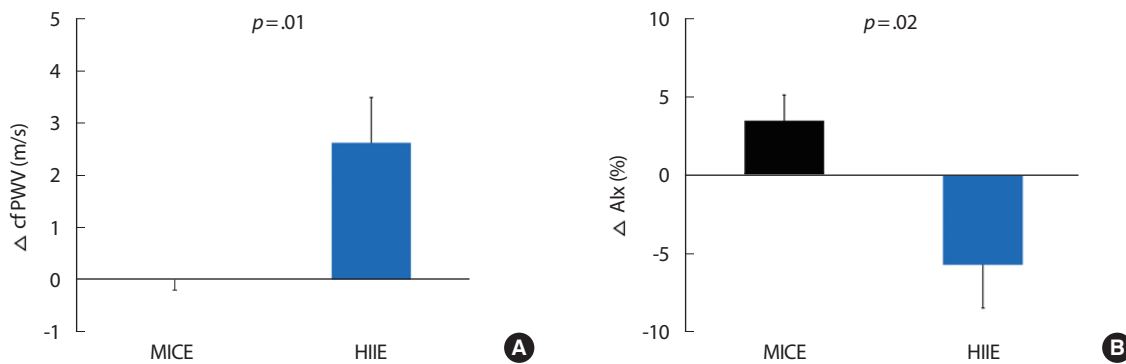
운동 전과 운동 후 30분 시점에서의 MICE 집단의 cfPWV는 거의 변화가 나타나지 않았다( $p = .91$ ). HIIE 집단의 cfPWV는 운동 후 30분 시점에서 증가하는 경향을 보였으나 통계적으로 유의하지 않았다( $p = .06$ ). 하지만 두 집단 간 운동 전과 운동 후 30분 시점에서 cfPWV의 변화량의 차이를 비교한 결과 통계적으로 유의한 차이가 나타났다( $p = .01$ ). 반면, MICE 집단의 AIx는 운동 후 1시간 시점에서 증가하는 경향을 보였으나 통계적으로 유의하지 않았으며( $p = .05$ ), HIIE 집단의 AIx는 운동 후 1시간 시점에서 감소하는 경향을 보였으나 통계적으로 유의하지 않았다( $p = .21$ ). 하지만 두 집단 간 운동 전과 운동 후 1시간 시점에서 AIx의 변화량의 차이를 비교한 결과 통계적으로 유의한 차이가 나타났다( $p = .02$ ).

**Table 3.** Arterial stiffness responses to one-bout of MICE and HIIE

		Pre	Post	30 min post	1 hr post	2 hr post	24 hr post	Repeated Measures ANOVA <i>p</i> value
cfPWV	MICE	5.7 ± 0.3	6.3 ± 0.2	5.7 ± 0.2	5.8 ± 0.2	6.0 ± 0.2	5.8 ± 0.1	.09
	HIIE	5.5 ± 0.1	6.7 ± 0.6	8.2 ± 1.0	6.6 ± 0.7	5.9 ± 0.3	5.9 ± 0.3	
AIx	MICE	6.6 ± 3.1	3.2 ± 5.6	10.0 ± 3.3	0.0 ± 3.2	-1.4 ± 3.9	2.8 ± 3.2	.13
	HIIE	0.0 ± 1.7	1.0 ± 2.2	-5.8 ± 1.3	-8.8 ± 4.3	-3.0 ± 3.9	2.5 ± 2.6	

Values are mean ± SE.

cfPWV, carotid-femoral artery pulse wave velocity; AIx, augmentation index; MICE, moderate-intensity continuous exercise; HIIE, high-intensity interval exercise.



**Fig. 1.** Changes in arterial stiffness measures following one-bout of MICE and HIIE. Values are mean  $\pm$  SE. cfPWV, carotid-femoral artery pulse wave velocity; AIx, augmentation index; MICE, moderate intensity continuous exercise; HIIE, high intensity interval exercise. (A) Changes in cfPWV at 30 minutes following one-bout of MICE and HIIE; (B) Changes in AIx at 1 hour following one-bout of MICE and HIIE.

**Table 4.** Cognitive function changes in response to one-bout of MICE and HIIE

		Pre	30 min post	24 hr post	Repeated Measures ANOVA <i>p</i> value
RT	MICE	10.2 $\pm$ 0.9	9.7 $\pm$ 0.5	9.2 $\pm$ 0.5	.06
	HIIE	11.8 $\pm$ 1.2	10.0 $\pm$ 0.4	9.8 $\pm$ 0.5	
EA	MICE	0.8 $\pm$ 0.2	1.8 $\pm$ 0.7	0.2 $\pm$ 0.2	.10
	HIIE	2.0 $\pm$ 0.6	0.7 $\pm$ 0.7	0.3 $\pm$ 0.3	

Values are mean  $\pm$  SE.

RT, reaction time; EA, error answer; MICE, moderate-intensity continuous exercise; HIIE, high-intensity interval exercise.

## 2. 운동 강도에 따른 대뇌 혈류량의 변화

유산소성 운동 강도에 따른 운동 전후 HbO<sub>2</sub>의 변화에 대한 반복측정 분산분석 결과, 집단과 시점 간 통계적으로 유의한 상호작용이 나타나지 않았다(*p*=.28). 각 집단 별로 시기에 따른 대응 *t*-검증 결과, 일회성 중강도 지속성 운동 집단과 고강도 인터벌 운동 집단 모두 운동 직후, HbO<sub>2</sub>가 운동 전에 비해 통계적으로 유의하게 증가하였다(Fig. 2).

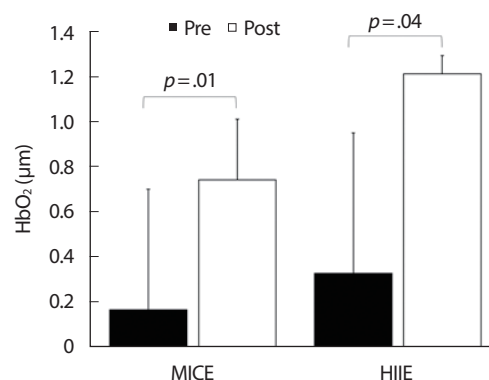
## 3. 운동 강도에 따른 인지기능의 변화

유산소성 운동 강도에 따른 스트룹 색채-단어 검사 결과는 Table 4에 제시된 바와 같다. 이원반복측정 분산분석 결과 그룹과 시점 간 유의한 상호작용은 나타나지 않았다. 각 집단별로 시기에 따른 일원 반복측정 분산분석 결과, 통계적으로 유의한 차이는 나타나지 않았다.

## 4. 일회성 유산소 운동이 동맥경직도, 대뇌혈류량, 인지기능에 미치는 영향

운동 강도의 구분 없이 흡연자가 일회성 유산소 운동을 실시했을 때 나타나는 일시적인 동맥경직도, 대뇌혈류량 및 인지기능의 변화는 다음과 같다(Fig. 3).

유산소성 운동 수행은 운동 전보다 운동 직후 HbO<sub>2</sub>의 증가(*p*<.001)와 cfPWV를 증가(*p*=.03)시킨 반면, AIx의 경우, 운동 후 1시간 시점에



**Fig. 2.** Changes in cerebral blood flow following one-bout of MICE and HIIE.

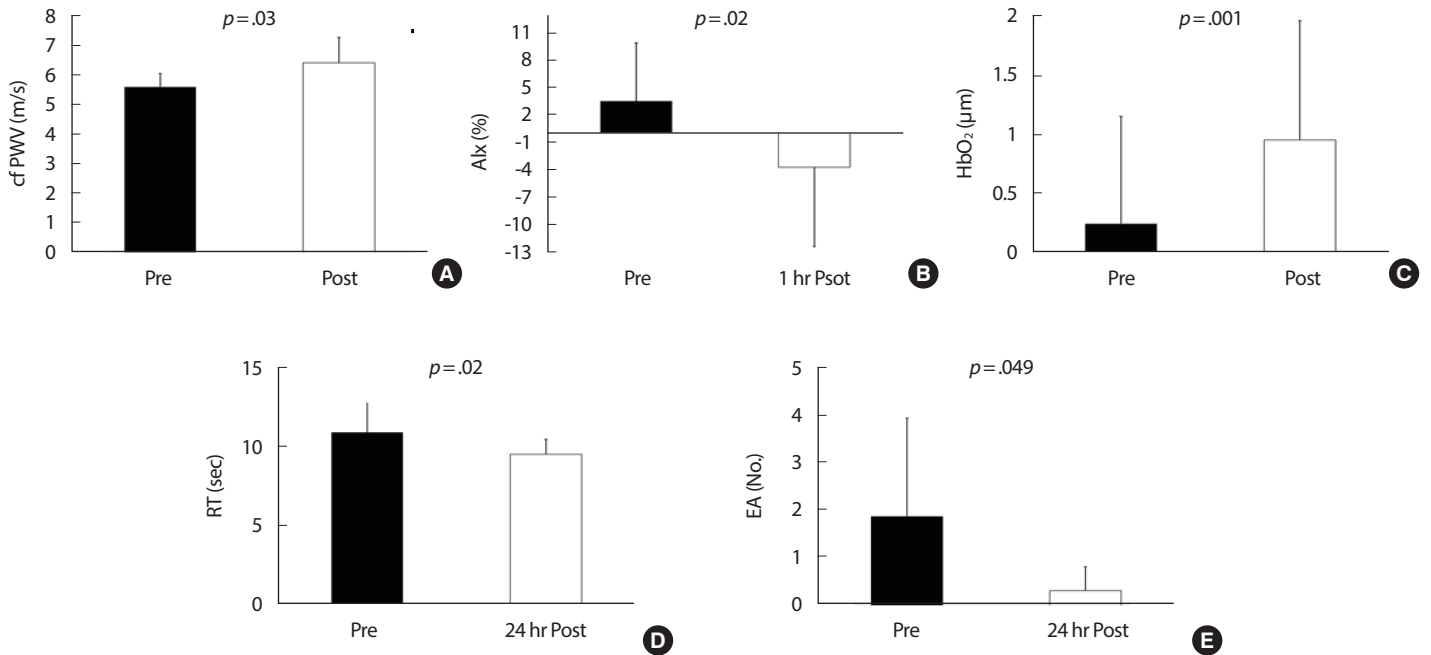
서 운동 전보다 유의하게 감소했다(*p*=.02). 인지기능을 평가하는 지표인 반응시간(RT, *p*=.049)과 오류개수(EA, *p*=.02)는 운동 후 24시간 시점에서 운동 전보다 유의하게 감소했다.

## 5. 일회성 유산소 운동 후 동맥경직도의 변화와 인지기능 변화 간의 관련성

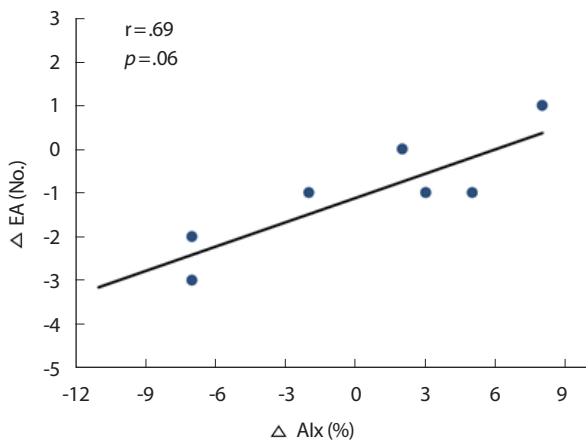
운동 강도의 구분 없이 흡연자가 일회성 유산소성 운동을 실시했을 때 나타나는 일시적인 동맥경직도의 변화와 인지기능 변화 간 관련성은 Fig. 4에 제시된 바와 같다. 운동 전에 비해 운동 후 30분 시점에서 변화된 AIx와 인지기능(오류개수) 사이에 상당한 상관관계가 나타났으나 통계적인 유의수준에는 다소 미치지 못했다(*r*=.69, *p*=.06).

## 논 의

본 연구는 일회성 유산소 운동 강도에 따른 흡연자의 동맥경직도, 대뇌 혈류량 및 인지기능에 미치는 영향을 알아보기 위하여 맥파전달 속도(cfPWV)와 맥파증대지수(AIx), 대뇌 산소화헤모글로빈(HbO<sub>2</sub>) 수준 측정 및 스트룹 색채-단어 검사를 실시하였으며, 일회성 운동에



**Fig. 3.** Changes in arterial stiffness, cerebral blood flow and cognitive function following one-bout of aerobic exercises (MICE & HIIE combined). Values are mean±SE. (A) Changes in cfPWV immediately after the exercises. (B) Changes in Alx at 1 hour following the exercises. (C) Changes in cerebral HbO<sub>2</sub> level immediately after the exercises. (D) Changes in reaction time (RT) at 24 hours following the exercises. (E) Changes in error answer (EA) at 24 hours following the exercises. cfPWV, carotid-femoral artery pulse wave velocity; Alx, augmentation index; HbO<sub>2</sub>, oxyhemoglobin; RT, reaction time; EA, error answer; MICE, moderate intensity continuous exercise; HIIE, high intensity interval exercise.



**Fig. 4.** Correlation between arterial stiffness EA, error answer; Alx, augmentation index. All values were expressed as the change in 30 minutes of following one-bout of aerobic exercises (MICE & HIIE combined) in comparison to pre-exercise value.

대한 반응으로 나타난 변화에 대한 종속변인 간 상호관련성을 부가적으로 분석하였다. 연구가설과 달리 동일한 운동량을 가진 일회성 고강도 인터벌 운동이 중강도 지속성 운동보다 동맥경직도, 대뇌 혈류량 및 인지기능 개선에 더 우수한 효과를 보이지 않았다. 하지만, 흥미롭게도 중강도 지속성 운동 집단과 비교했을 때 고강도 인터벌 운동 집단에서 운동 후 30분 시점에서 cfPWV가 유의하게 증가하였으며, 운

동 후 1시간 시점에서 Alx는 유의하게 감소하였다.

일반적으로 cfPWV는 운동 전과 비교해 일회성 유산소성 운동 후 단시간 내에 유의미한 변화가 나타나지 않는 것으로 알려져 있다 [24,25]. 따라서 본 연구는 운동 직후부터 운동 후 24시간까지 일회성 운동에 대한 시간추이적 반응을 보다 심층적으로 분석하고자 하였다. 흥미롭게도 일회성 고강도 인터벌 운동 집단에서만 운동 후 30분 시점에서 흡연자의 cfPWV가 일시적으로 증가하는 양상을 확인할 수 있었다. Pierce 등(2018)의 메타분석 연구에 따르면, cfPWV의 경우, 일회성 중강도 유산소 운동 후 60분 시점까지는 운동 전과 비교하여 유의한 변화가 없는 것으로 나타났으나, 저항성 운동 또는 탈진 시점까지 수행하는 고강도 운동 후 10분, 15분 시점에서 건강한 젊은 성인의 cfPWV가 일시적으로 증가하는 것으로 나타났다. 흡연자와 비흡연자를 비교한 Doonan et al. (2011)의 연구에서도 흡연자의 경우, 탈진 시점까지의 일회성 유산소 운동 후 10-15분 시점에서 cfPWV가 일시적으로 증가하였으며, 증가된 cfPWV가 안정 시 수준으로 빠르게 회복되지 않는 것으로 나타났다. 선행연구 결과를 바탕으로 일회성 운동 후 cfPWV가 일시적으로 증가하는 현상에 대한 잠재적인 생리적 기전을 추론하면 다음의 3가지로 예측 가능하다. 첫째, 고강도 운동 시 교감신경 말단과 부신수질에서 카테콜라민 분비를 증가시켜 증가된 전신 및 국소적 카테콜라민 수준이 직접 전신의 동맥 저항을 증가시키고 미주신경

의 심근 조절기능 역시 불활성화시켜 상대적으로 교감신경계가 심장에 미치는 영향을 더욱 강화하면서 동맥경직도가 증가한다는 것이다 [27]. 둘째, 고강도의 사이클링 및 저항성 운동으로 유발된 근육 손상으로 체내 염증성 단백질(IL-6, c-reactive protein)이 증가하면 혈관내피세포와 혈관평활근 조직 내 산화질소 생이용성(nitric oxide bioavailability)을 감소시켜 결과적으로 혈관내피세포 의존성 혈관확장(endothelium-dependent vasodilation) 반응이 약화되면 동맥경직도와 혈관 저항이 증가한다는 개념이다[26,28]. 마지막으로, 본 연구와 직접 관련은 없지만 저항성 운동 중 빈번하게 경험하는 발살바 메뉴바(Valsalva maneuver)가 흉부와 복부 내부의 압력을 증가시켜, 증가된 압력이 직접 대동맥과 동맥으로 전달되기 때문에 이에 적응하기 위해 혈관벽이 두꺼워지고 동맥 장력(tonic)이 증가하여 동맥경직도가 증가한다는 것이다[29]. 본 연구에서 일회성 고강도 인터벌 운동 후 30분 시점에서 흡연자의 cfPWV가 운동 전과 비교해 유의하게 증가한 것은 앞에서 언급한 3가지 잠재적 기전 중 자율신경계의 불균형 즉, 교감신경계의 상대적인 활성화 때문에 일시적으로 나타난 현상이라고 사료된다.

본 연구에서 일회성 고강도 인터벌 운동 후 30분 시점에서 동맥경직도 지표 중 하나인 cfPWV는 증가했으나 또다른 동맥경직도 지표인 AIx는 운동 후 1시간 시점에서 감소하는 것으로 나타났다. 본 연구의 결과와 유사한 결과를 보고한 Hanssen et al. (2015)의 선행연구에서도 일회성 고강도 인터벌 운동과 중강도 지속성 운동을 적용하여 동맥경직도 평가 지표 중 하나인 맥파반사(pulse wave reflection)에 미치는 효과를 시간추이에 따라 분석하였고, 일회성 유산소 운동 후 35분 시점에서 고강도 인터벌 운동 집단의 AIx 수준이 중강도 지속성 운동 집단보다 통계적으로 유의하게 감소하는 것으로 나타났다. 이와 관련한 생리적 기전으로 Vlachopoulos et al. (2010)은 운동 후 AIx의 감소는 운동 중 활동근 주변 동맥벽의 전단응력(shear stress)이 증가하면 주변 혈관조직 내 산화질소(nitric oxide) 생성 및 생이용성 증가가 나타나 활동근 내부에 위치한 세동맥의 대사적 이완 현상을 일으킨다고 하였다. 운동 중 또는 직후 활동근 주변 세동맥의 이완은 말초 혈관저항 감소와 말초 혈류량을 증가시켜 대동맥에서 나타나는 맥파 반사의 크기와 속도에 긍정적인 영향을 미친다. 또한 고강도의 운동 수행은 중강도 운동보다 국소적으로 더 많은 대사물질을 생성하기 때문에 활동근 주변 세동맥의 이완과 말초 혈류량을 증가시켜 AIx 감소를 유도하며, 이는 심장의 후부하를 감소시켜 좌심실의 산소요구량과 심근수축 시 물리적 부담을 경감시키는 것으로 알려져 있다[31]. 따라서 본 연구에서 일회성 고강도 인터벌 운동 수행 후 1시간 시점에서 중강도 지속성 운동에 비해 흡연자의 AIx가 유의하게 감소한 것은 중강도 보다 고강도 유산소 운동이 말초의 대사성 혈관 확장에 더 큰 영향을 미쳐 나타난 결과라 생각된다.

NIRS 기법을 이용하여 분석한 대뇌의 산소화헤모글로빈 수준은 일

회성 고강도 인터벌 운동과 중강도 지속성 운동 모두 운동 전에 비해 운동 직후 증가하는 경향을 보였으며, 이러한 현상은 비흡연자를 대상으로 한 선행연구의 결과와 유사하게 나타났다[32,33]. 스트랩 색채-단어 검사를 통한 인지기능 평가에서는 두 운동 강도 간 인지기능 결과에 유의한 차이가 나타나지 않았다.

유산소 운동 강도(HIIE vs. MICE)의 구분 없이, 일회성 유산소 운동에 따른 젊은 흡연자의 동맥 경직도, 대뇌 혈류량 및 인지기능의 운동 전후의 변화를 살펴본 결과, 운동 전과 비교했을 때, 운동 후 대뇌의 HbO<sub>2</sub>와 cfPWV는 증가했지만 AIx는 감소하는 것으로 나타났다. 또한 인지기능 평가 지표 중 반응 시간과 오류 개수가 운동 후 감소하는 경향을 보였다. 또한 일회성 유산소 운동에 대한 반응으로 나타난 동맥 경직도, 대뇌 혈류량 및 인지기능 변화 간의 상관관계를 분석한 결과, 통계적 유의성에 도달하진 못했지만 운동 전과 비교하여 일회성 유산소 운동 후 30분 시점에서 AIx 감소와 동일한 시점에서 측정된 인지기능 검사 지표 중 하나인 오류 개수 감소 간 상당한 수준의 상관관계가 나타났다. 노인을 대상으로 동맥경직도의 증가가 인지기능의 감소를 예견하는 지표가 될 수 있다고 한 Singer et al. (2014)의 선행연구 결과를 참고하면 본 연구에서 도출한 상관관계 결과는 연령과 상관없이 젊은 성인과 노인 모두 동맥경직도의 관리가 인지기능 개선에 영향을 미칠 수 있다는 가능성을 시사하고 있다.

종합하면, 동일한 운동량을 가진 일회성 고강도 인터벌 운동과 중강도 지속성 운동 간 운동강도에 따른 동맥경직도, 대뇌 혈류량, 인지기능 변화에 유의미한 차이는 없었으며, 오직 고강도 인터벌 운동 직후 일시적으로 cfPWV가 증가, AIx가 감소하는 것으로 나타났으나, 운동 후 2시간 이내에 모두 운동 전 수준으로 돌아가는 경향을 보였다. 본 연구의 제한점은 연구 참여자의 수가 적은 점, 연구 참여자의 흡연량과 흡연 시간을 통제하지 못한 점, 비흡연자 통제 집단이 없다는 점, 장기간 트레이닝에 의한 생리적 적응현상을 평가하지 못하고 일회성 운동의 일시적 반응을 시간추이적으로 분석했다는 점이다. 따라서 본 연구결과를 일반화하여 적용하기에는 한계가 있다. 본 연구의 참여자 수는 일회성 운동 후 시간추이에 따른 동맥경직도의 유의한 변화를 관찰한 Cambell et al. (2011)과 Collier et al. (2010)의 선행연구를 참고하여 설정하였으나, G-Power에 본 연구결과를 산입하여 본 연구가설 입증에 필요한 최소 연구 참여자 수를 역산출한 결과 집단별 최소 58명이 필요하다는 결론을 얻었다. 따라서 추후 유사한 연구설계를 가진 후속연구에서도 최소 60명 정도의 연구 참여자를 확보한 중간규모 이상의 임상연구가 필요할 것이다. 또한 동일한 성별과 유사한 연령대의 비흡연자와 흡연자를 비교하는 연구, 다양한 집단을 대상으로 장기간의 고강도 인터벌 운동이 동맥경직도, 대뇌혈류량 및 인지기능에 미치는 효과를 증명하기 위한 후속 연구가 필요하다.

## 결론 및 제언

본 연구에서는 젊은 흡연자를 대상으로 운동량이 동일한 일회성 고강도 인터벌 운동과 중강도 지속성 운동 후 동맥경직도, 대뇌 혈류량 및 인지기능의 변화를 살펴보고, 두 운동의 효과 차이를 비교했다. 연구결과, 운동량이 동일한 일회성 고강도 인터벌 운동과 중강도 지속성 운동이 동맥경직도, 대뇌 혈류량 및 인지기능에 미치는 효과 차이는 없는 것으로 나타났다. 일반인과 마찬가지로 젊은 흡연자 역시 운동 전보다 일회성 유산소 운동 후 대뇌의 산소화헤모글로빈 수준이 증가하며, 운동 후 감소된 대동맥경직도와 인지기능 개선 간 관련성이 있었다. 운동량이 동일할 경우 운동 강도에 상관없이 일회성 유산소성 운동만으로도 일시적으로 흡연자의 동맥경직도, 대뇌 혈류량 및 인지기능을 개선시키는 것이 가능하다.

## CONFLICT OF INTEREST

There is no conflict of interest.

## AUTHOR CONTRIBUTIONS

Conceptualization: J Hwang; Data curation: J Hwang, R Lee, J Kim; Formal analysis: J Hwang, R Lee, J Kim; Funding acquisition: J Hwang; Methodology: J Hwang, R Lee, J Kim; Project administration: J Hwang; Visualization: J Hwang; Writing-original draft: J Hwang, M Hwang; Writing-review & editing: J Hwang, R Lee, J Kim, M Hwang.

## REFERENCES

- Papathanasiou G, Mamali A, Papafloratos S, Zarva E. Effects of smoking on cardiovascular function: the role of nicotine and carbon monoxide. *Health Science Journal*. 2014;8(2):274-90.
- Park W, Miyachi M, Tanaka H. Does Aerobic Exercise Mitigate the Effects of Cigarette Smoking on Arterial Stiffness? *The Journal of Clinical Hypertension*. 2014;16(9):640-4.
- Doonan RJ, Scheffler P, Yu A, Egiziano G, Mutter A et al. Altered Arterial Stiffness and Subendocardial Viability Ratio in young Healthy. *PLoS One*. 2011;6(10):e26151.
- Singer J, Trollor JN, Baune BT, Sachdev PS, Smith E. Arterial stiffness, the brain and cognition: a systematic review. *Ageing Res Rev*. 2014; 15:16-27.
- Ide K, Horn A, Secher NH. Cerebral metabolic response to submaximal exercise. *J Appl Physiol*. 1999;87(5):1604-8.
- van Praag H, Kempermann G, Gage FH. Running increases cell proliferation and neurogenesis in the adult mouse dentate gyrus. *Nat Neurosci*. 1999;2(3):266-70.
- Colcombe S, Kramer AF. Fitness effects on the cognitive function of older adults: a meta-analytic study. *Psychol Sci*. 2003;14(2):125-30.
- Cotman CW, Berchtold NC, Christie LA. Exercise builds brain health: key roles of growth factor cascades and inflammation. *Trends Neurosci*. 2007;30(9):464-72.
- Rooks CR, Thom NJ, McCully KK, Dishman RK. Effects of incremental exercise on cerebral oxygenation measured by near-infrared spectroscopy: a review. *Prog Neurobiol*. 2010;92(2):134-50.
- Green DJ, Hopman M, Padilla J, Laughlin M, Thijssen D. Vascular adaptation to exercise in humans: role of hemodynamic stimuli. *Physiol Rev*. 2017;97(2):495-528.
- Suzuki M, Miyai I, Ono T, Oda I, Konishi I, et al. Prefrontal and premotor cortices are involved in adapting walking and running speed on the treadmill: an optical imaging study. *Neuroimage*. 2004;23(3):1020-6.
- Yanagisawa H, Dan I, Tsuzuki D, Kato M, Okamoto M, et al. Acute moderate exercise elicits increased dorsolateral prefrontal activation and improves cognitive performance with stroop test. *Neuroimage*. 2010;50(4):1702-10.
- Hanssen H, Nussbaumer M, Moor C, Cordes M, Schindler C, et al. Acute effects of interval versus continuous endurance training on pulse wave reflection in healthy young men. *Atherosclerosis* 2015; 238(2):399-406.
- Wong A, Figueroa. Eight weeks of stretching training reduces aortic wave reflection magnitude and blood pressure in obese postmenopausal women. *J Hum Hypertens*. 2014;28(4):246-50.
- Erickson KI, Voss MW, Prakash RS, Basak C, Szabo A, et al. White SM, Wojcicki TR, Mailey E, Vieira VJ, Martin SA, Pence BD, Woods JA, McAuley E, Kramer AF. Exercise training increases size of hippocampus and improves memory. *Proc Natl Acad Sci USA*. 2011;108(7):3017-22.
- Voelker-Rehage C, Niemann C. Structural and functional brain changes related to different types of physical activity across the life span. *Neurosci Biobehav Rev*. 2013;37(9):2268-95.
- Shibuya K, Tachi M. Oxygenation in the motor cortex during exhaustive pinching exercise. *Respir Physiol Neurobiol*. 2006;153(3):261-6.
- Bhambhani Y, Malik R, Mookerjee S. Cerebral oxygenation declines at



- exercise intensities above the respiratory compensation threshold. *Respir Physiol Neurobiol.* 2007;156(2):196-202.
19. Subudhi AW, Dimmen AC, Roach RC. Effects of acute hypoxia on cerebral and muscle oxygenation during incremental exercise. *J Appl Physiol.* 2007;103(1):177-83.
20. Cortez-Cooper MY, DeVan AE, Anton MM, Farrar RP, Beckwith KA, et al. Effect of high intensity resistance training on arterial stiffness and wave reflection in women. *Am J Hypertens.* 2005;18(7):930-4.
21. Skriver K, Roig M, Lundbye-Jensen J, Pingel J, Helge JW, et al. Acute exercise improves motor memory: Exploring potential biomarkers. *Neurobiol Learn Mem.* 2014;116:46-58.
22. Ciolac EG, Bocchi EA, Bortolotto LA, Carvalho VO, Greve JM, et al. Effects of high-intensity aerobic interval training vs. moderate exercise on hemodynamic, metabolic and neuro-humoral abnormalities of young normotensive women at high familial risk for hypertension. *Hypertens Res.* 2010;33(8):836-43.
23. Wisloff U, Stoylen A, Loennechen J, Bruvold M, Rognmo O, et al. Superior cardiovascular effect of aerobic interval training versus moderate continuous training in heart failure patients. *Circulation.* 2007;115(24):3086-94.
24. Gkaliagkousi E, Gavriilaki E, Nikolaidou B, Triantafyllou G, Douma S. Exercise-induced pulse wave velocity changes in untreated patients with essential hypertension: the effect of an angiotensin receptor antagonist. *The J Clin Hypertens.* 2014;16(7):482-7.
25. Melo X, Fernhall B, Santos DA, Pinto R, Pimenta NM, et al. The acute effect of maximal exercise on central and peripheral arterial stiffness indices and hemodynamics in children and adults. *Appl Physiol Nutr Metab.* 2016;41(3):266-76.
26. Pierce DR, Doma K, Leicht AS. Acute effects of Exercise mode on arterial stiffness and wave reflection in healthy young adults: a systematic review and meta-analysis. *Front Physiol.* 2018;9(73):1-20.
27. Eller NH. Total power and high frequency components of heart rate variability and risk factors for atherosclerosis. *Auton Neurosci.* 2007;131(1-2):123-30.
28. Jae SY, Yoon ES, Jung SJ, Jung SG, Park SH, et al. Effect of cardiorespiratory fitness on acute inflammation induced increases in arterial stiffness in older adults. *Eur J Appl Physiol.* 2013;113(8):2159-66.
29. Heffernan KS, Jae SY, Edwards DG, Kelly EE, Fernhall B. Arterial stiffness following repeated Valsalva maneuvers and resistance exercise in young men. *Appl Physiol Nutr Metab.* 2007;32(2):257-64.
30. Vlachopoulos C, Dima I, Aznaouridis K, Vasiliadou C, Ioakeimikis N et al. Acute systemic inflammation increases arterial stiffness and decreases wave reflection in healthy individuals. *Circulation.* 2005;112(14):2193-200.
31. Van de Laar RJ, Ferreira I, van Mechelen W, Prins MH, Twisk JW, et al. Lifetime vigorous but not light-to-moderate habitual physical activity impacts favorably on carotid stiffness in young adults. The Amsterdam growth and health longitudinal study. *Hypertension.* 2010;55(1):33-9.
32. Hwang JS. Effect of Exercise Type on Prefrontal Cortex Blood Flow, Cognitive Function and Neurotrophic Factors [dissertation]. Seoul: Ehwa Womans University 2017.
33. Kang, YJ, Lee RD, Hwang MH, Lim MJ. Acute effect of moderate-intensity aerobic exercise on cerebral blood flow and cognitive function in young adults: treadmill vs. cycle ergometer. *Exercise Science.* 2020;29(2):162-9.
34. Campbell R, Fisher JP, Sharman JE, McDonnell BJ, Frenneaux MP. Contribution of nitric oxide to the blood pressure and arterial responses to exercise in humans. *J Hum Hypertens.* 2011;25(4):262-70.
35. Collier SR, Diggle MD, Heffernan KS, Kelly EE, Tobin MM, et al. Changes in arterial distensibility and flow-mediated dilation after acute resistance vs. aerobic exercise. *J Strength Cond Res.* 2010;24(10):2846-52.