

일시적 유산소 운동이 교감신경 활성화에 대한 중심동맥 혈압 반응에 미치는 영향: 무작위 교차설계 연구

서울시립대학교 스포츠과학과¹, 서울시립대학교 도시보건대학원²

조민정¹ · 김영우¹ · 권정인¹ · 김현정¹ · 제세영^{1,2}

The Effect of Acute Aerobic Exercise on Central Blood Pressure Reactivity to Sympathetic Activation in Healthy Adults: A Randomized Crossover Trial

Min Jeong Cho¹, Young Woo Kim¹, Jeong In Kwon¹, Hyun Jeong Kim¹, Sae Young Jae^{1,2}

¹Department of Sport Science, University of Seoul, ²Graduate School of Urban Public Health, University of Seoul, Seoul, Korea

Purpose: Acute aerobic exercise has been shown to attenuate brachial blood pressure (BP) reactivity to sympathetic activation, though whether it also attenuates central BP reactivity remains unclear. We tested the hypothesis that an acute bout of aerobic exercise would attenuate central BP reactivity to sympathetic activation.

Methods: In a randomized crossover design, 15 healthy adults (23±0 years and 23±1 kg/m²) completed two trials; (1) acute aerobic exercise (30 minutes at 60% of heart rate reserve) and (2) sitting as a time control prior to the cold pressor test (CPT) in a randomized order. During the CPT, a hand was submerged up to the wrist in an iced water bath (4°C) for 3 minutes. Heart rate and brachial and central BP were measured at baseline, during and after the CPT.

Results: Heart rate, and brachial and central BPs increased similarly during the CPT in both trials and returned to baseline after CPT (time effect, $p < 0.05$). However, brachial systolic BP reactivity to the CPT was attenuated in the acute aerobic exercise trial compared to control trial (interaction effect, $p < 0.05$). In addition, the magnitude of central systolic BP reactivity during the CPT was less increased in the acute aerobic exercise trial ($\Delta 19.8$ mmHg) versus in the control trial ($\Delta 24.6$ mmHg) ($p = 0.017$).

Conclusion: These findings demonstrated that acute aerobic exercise attenuated both brachial and central BP reactivity to the sympathetic activation, suggesting that aerobic exercise may have a favorable effect on central BP reactivity to the sympathetic activation in young adults.

Keywords: Exercise, Blood pressure, Autonomic nervous system, Vasomotor system, Sympathetic nervous system

Received: December 24, 2020 Revised: January 28, 2021 Accepted: February 8, 2021

Correspondence: Sae Young Jae

Department of Sport Science, College of Arts and Physical Education, University of Seoul, 163 Seoulsiripdae-ro, Dongdaemun-gu, Seoul 02504, Korea

Tel: +82-2-6490-2953, Fax: +82-2-6490-2949, E-mail: syjae@uos.ac.kr

*This work was supported by the Basic Study and Interdisciplinary R&D Foundation Fund of the University of Seoul (No. 202006031004).

Copyright ©2021 The Korean Society of Sports Medicine

© This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://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

인체는 자율신경계(autonomic nervous system)의 적절한 균형을 통해 심혈관계 항상성을 조절한다¹. 특정 상황에서 자율신경계 중 교감신경계(sympathetic nervous system)의 활성화를 통해 심박출량, 혈관 저항, 심박수 및 혈압을 증가시켜 심혈관계 항상성을 유지한다¹. 그러나 만성적으로 교감신경계가 과활성화(hyperactivation)되면 심혈관계에 과도한 스트레스를 주게 되고 이로 인해 고혈압, 부정맥, 심장비대, 심부전, 그리고 심장돌연사와 같은 심혈관계 질환의 위험성이 증가한다¹. 특히, 일시적 스트레스에 따른 교감신경계 활성화에 대한 과도한 혈압 반응은 고혈압 및 뇌졸중 발생 위험과 심혈관계 사망률을 높이는 것으로 알려져 있다^{2,3}. 더욱이, 정상 혈압을 가진 경우에도 심리적 또는 신체적 스트레스 노출에 따른 과도한 혈압 반응은 향후 고혈압 및 심혈관 질환 발생 위험성을 증가시키는 것으로 보고되고 있다^{4,5}.

일반적으로 교감신경계를 자극하는 방법으로 냉압박검사(cold pressor test)를 많이 사용한다⁶. 냉압박검사는 교감신경계를 활성화하여 심박수 및 혈압 상승과 같은 심혈관계 변화를 유발한다^{5,7}. 일부 연구에서 냉압박검사 시의 과도한 혈압 반응(blood pressure hyperreactivity)은 고혈압, 관상동맥질환 및 경동맥 동맥경화 발생과 관련이 있다고 제시하였다^{4,8}. 따라서 심혈관계 질환을 예방하기 위해서는 교감신경계 활성화에 대한 과도한 혈압 반응을 완화하는 것이 중요할 것으로 생각된다.

건강한 생활습관은 심리적·생리적 스트레스에 대한 과도한 혈압 반응을 완화하는 것으로 잘 알려져 있다^{9,10}. 그 중 유산소 운동은 심혈관질환의 위험인자를 개선하는 효과가 있을 뿐만 아니라¹¹, 스트레스 자극으로 인한 과도한 혈압 반응을 완화한다는 여러 보고들이 있다^{12,13}. 이러한 유산소 운동의 효과와 관련된 선행연구들은 대부분 상완동맥(brachial artery)과 같은 말초동맥에서 혈압을 측정하였다.

혈압은 말초동맥 혈압(peripheral blood pressure)과 중심동맥 혈압(central aortic blood pressure)으로 나눌 수 있다. 전자는 일반적으로 상완동맥에서 측정하는 혈압을 말하며, 후자는 중심 대동맥 또는 경동맥(carotid artery) 부위에서 측정하는 혈압을 의미한다. 그동안 중심동맥 혈압은 관혈적(침습적) 방법으로 측정되어 일반적으로 사용하기에는 어려움이 있었으나, 비관혈적(비침습적) 측정방법이 개발되면서 현재 임상에서 다양하게 활용되고 있다¹⁴. 최근 연구에서 중심동맥 혈압이 말초동맥 혈압보다 심혈관질환의 발생과 더 밀접한 관계가 있다고 보고하며, 중심동맥 혈압의 중요성을 시사하고 있다^{14,15}. 그럼에도 불구하고, 유산소 운동이 스트레스 자극에 의한 중심동맥의 혈압 반응에 미치는

영향을 살펴본 연구는 매우 부족한 실정이다. 서구에서 진행된 단지 두 편의 연구에서 일회성 유산소 운동의 교감신경 활성화에 대한 중심동맥 혈압 상승 완화 효과를 확인하였다^{16,17}. 그러나 이러한 효과는 운동의 형태, 강도 및 시간에 따른 효과가 다를 수 있으므로 추가적인 연구가 필요하며, 특히 동양인을 대상으로 한 연구는 거의 없는 실정이다. 중심동맥 혈압 변화는 말초동맥혈압 반응과 밀접한 관련성이 있으므로, 본 연구에서는 일시적 유산소 운동이 교감신경 활성화로 인한 중심동맥 혈압 반응을 완화할 것이라는 가설을 검증하고자 하였다.

연구 방법

1. 연구대상

20대의 건강한 성인 15명(나이, 23±2세; 체질량지수, 22.6±2.6 kg/m²; 남자 8명/여자 7명)을 서울시립대학교 광고를 통해 무작위로 모집하였다. 실험 참여자들은 모두 심혈관계 질환, 대사성 질환 및 근골격계 질환을 진단받거나 관련 약물을 복용하지 않았으며 신체활동에 제한이 없었다. 참여자들의 임상적 특징은 Table 1과 같다. 본 연구는 서울시립대학교 생명윤리위원회의 승인을 받았으며(No. UOS IRB 2020-10), 피험자들에게 연구의 목적과 내용을 충분히 설명하고 실험 참가 동의서를 받은 후에 실험을 진행하였다.

2. 처치 방법 및 교감신경 활성화

본 연구는 피험자들이 유산소 운동 처치와 통제 처치에 모두 참여하는 무작위 교차설계(randomized crossover design)로 실시하였다. 처치 순서는 제비뽑기를 통해 무작위로 선정하였으며 이전 처치의 영향을 최소화하기 위해 두 처치 사이 간격(wash-out

Table 1. Characteristics of subject (n=15)

Variable	Value
Age (yr)	23.0±0.5
Height (cm)	173.0±2.0
Weight (kg)	68.9±3.3
BMI (kg/m ²)	22.6±0.7
Body fat (%)	21.7±1.8
SBP (mmHg)	112.9±2.3
DBP (mmHg)	72.3±1.6
Resting HR (beats/min)	61.3±1.9

Values are presented as mean±standard error of mean. BMI: body mass index, SBP: systolic blood pressure, DBP: diastolic blood pressure, HR: heart rate.

time)을 최소 3일로 설정하였다. 교감신경 활성화 방법은 선행연구에서 주로 이용되는 냉압박검사를 사용하였다⁶. 유산소 운동 처치는 트레드밀에서 30분 동안 중강도의 운동강도(여유 심박수의 40%~60%)로 실시하였다. 운동 시 목표 심박수는 나이와 안정 시 심박수를 이용한 카보넨 공식($[(220 - \text{나이} - \text{안정 시 심박수}) \times \text{운동강도} + \text{안정 시 심박수}]$)으로 계산하였다. 운동 중 무선 심박동 장비(RS800CX; Polar Electro, Kempele, Finland)를 통해 측정된 운동강도를 준수할 수 있도록 조정하였다. 통제 처치는 운동 처치와 동일한 시간 동안(30분) 앉은 상태로 휴식을 취했다. 운동 처치 및 통제 처치 종료 30분 후에 기저(baseline)를 측정하였고 이후 냉압박검사를 진행하였다. 냉압박검사에서는 누운 자세로 3분간 얼음물(4°C)에 좌측 손목까지 넣은 상태에서 측정 변인들을 측정하였다. 3분 후 즉시 얼음물에서 손을 빼고 회복기 동안의 변화를 측정하였다. 냉압박검사 동안 발살바 호흡을 피하기 위해서 피험자들에게 정상호흡 패턴을 유지할 것을 요청하였다. 전반적인 실험 설계는 Fig. 1에 제시하였다.

실험 참여 전 8시간 이상 금연과 공복 상태를 유지하고, 24시간 동안 카페인, 알코올, 비타민 섭취 및 격렬한 신체활동 참여를 삼가하도록 요청하였다.

3. 측정 변인

종속 변인인 상완동맥 혈압, 중심동맥 혈압 및 심박수를 냉압박 검사 전(baseline), 냉압박검사 중, 그리고 냉압박 회복기 30초와 120초에 측정하였다. 상완동맥 혈압은 누운 자세에서 자동 혈압계(JPN601; Omron, Kyoto, Japan)를 이용하여 좌측 상완에서 측정하였다. 중심동맥 혈압은 다음과 같이 측정하였다. 우측 요골동맥의 맥파에서 연속 10~12개의 파형을 탐촉자(Millar Instruments, Houston, TX, USA)를 이용해 검출하였다. 말초동맥의 파형을 중심동맥 파형으로 만드는 수학적인 generalized transfer function(SphygmoCor System; AtCor Medical, Sydney, NSW, Australia)을 사용하여, 검출된 요골동맥 파형을 중심동맥 파형으로 전환시켰다¹⁸. 얻어진 중심동맥 파형을 분석하여 산출된 중심동맥 혈압

값을 데이터로 사용하였다. 평균 혈압은 수축기 혈압과 확장기 혈압을 이용하여 산출 공식($[\text{수축기 혈압} + 2 \times \text{확장기 혈압}] / 3$)으로 계산하였다. 심박수는 혈압 측정과 동일한 방법으로 냉압박검사 중 혈압 측정기를 이용하여 측정하였다.

4. 자료 처리

모든 자료는 평균과 평균의 표준오차로 표기하였다. 데이터의 정규성을 확인하기 위하여 Shapiro-Wilk 검사를 시행하였다. 유산소 운동의 교감신경 자극에 대한 혈압 완화 효과를 규명하기 위해 처치(유산소 운동, 통제)와 측정 시기(냉압박검사 전, 검사 중, 회복기 30초, 120초)를 독립 변인으로 하는 2×4 반복측정 이원배치분산분석(two-way analysis of variance [ANOVA] with repeated measures)을 실시하였다. 처치 간의 혈압 반응 차이를 확인하기 위하여 각 시점의 혈압에서 기저상태의 혈압을 뺀 변화값(Δ , delta)의 반복측정 일원배치분산분석(one-way ANOVA)을 시행하였다. 모든 통계분석은 IBM SPSS ver. 26.0 (IBM Corp., Armonk, NY, USA)을 이용하였으며, 유의수준은 $\alpha < 0.05$ 로 설정하였다.

결 과

냉압박검사 동안 유산소 운동 처치와 통제 처치 모두 상완 및 중심동맥 혈압과 심박수가 유의하게 증가하였으며, 회복기에는 기저상태 값으로 돌아오는 것을 관찰하였다(time effect $p < 0.001$) (Table 2). 그러나 유산소 운동 처치에서 냉압박검사 중 상완동맥의 수축기 혈압과 평균 혈압이 통제 처치에 비해 덜 증가하는 양상을 보였으며, 회복기에는 더 빠르게 회복되며 통계적으로 유의한 상호작용 효과가 나타났다(interaction effect $p = 0.043$, $p = 0.041$). 중심동맥 수축기 혈압과 평균 혈압도 상완동맥에서 보인 반응과 유사한 경향을 나타냈으나 통계적으로 유의하지 않았다($p = 0.054$). 그러나 두 처치 간 교감신경 활성화에 대한 혈압 반응 정도를 비교해 본 결과, 유산소 운동 처치는

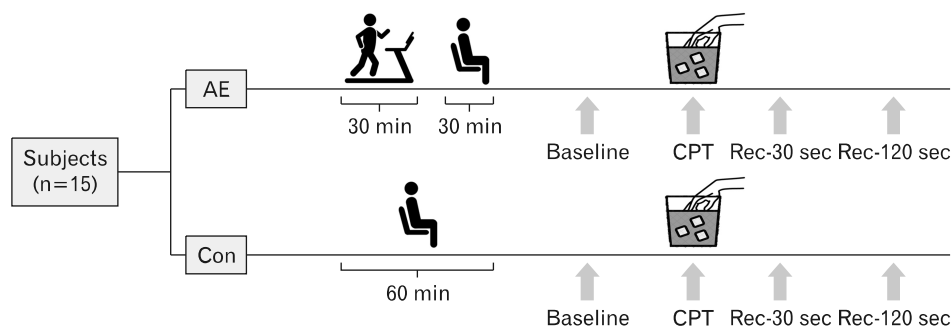


Fig. 1. Experimental design. AE: aerobic exercise, Con: control, CPT: cold pressor test, Rec: recovery.

Table 2. Effects of acute aerobic exercise on cardiovascular reactivity during CPT and recovery

Variable	Trial	Baseline	CPT	Recovery		p-value		
				30 sec	120 sec	Time	Trial	Interaction
HR (beats/min)	AE	73±3	75±3	70±2	69±2	<0.001	0.001	<0.001
	CON	57±2	68±3	58±2	59±2			
bSBP (mmHg)	AE	113±2	130±4	118±3	114±2	<0.001	0.704	0.043
	CON	110±2	132±3	116±3	115±2			
bDBP (mmHg)	AE	73±2	90±3	78±2	72±2	<0.001	0.817	0.071
	CON	72±1	92±2	76±2	74±2			
cSBP (mmHg)	AE	98±2	117±4	103±3	98±2	<0.001	0.377	0.054
	CON	97±2	120±3	103±3	100±2			
cDBP (mmHg)	AE	74±2	92±3	79±2	74±2	<0.001	0.931	0.207
	CON	73±1	93±2	77±2	75±2			

Values are presented as mean±standard error of mean.

CPT: cold pressor test, HR: heart rate, AE: aerobic exercise, Con: control, SBP: systolic blood pressure, DBP: diastolic blood pressure, bSBP: brachial SBP, bDBP: brachial DBP, cSBP: central SBP, cDBP: central DBP.

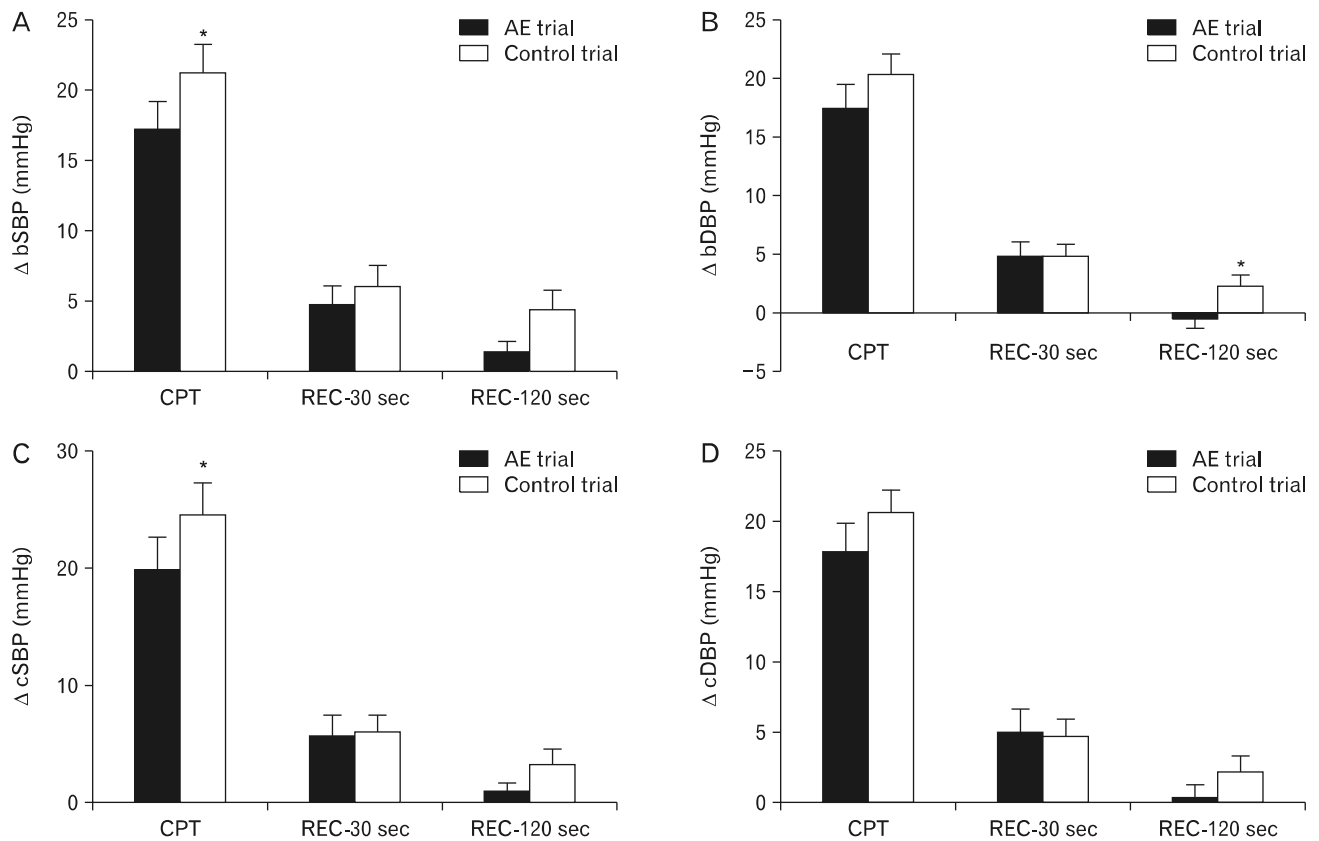


Fig. 2. Blood pressure reactivity and recovery in response to cold pressor test (CPT). CPT is calculated as the change of (A) brachial systolic blood pressure (bSBP), (B) brachial diastolic blood pressure (bDBP), (C) central SBP (cSBP), and (D) central DBP (cDBP) from during CPT to baseline. Rec-30 and Rec-120 are calculated as the change of bSBP, bDBP, cSBP, and cDBP from during recovery (30 sec and 120 sec) to baseline. * $p < 0.05$ compared to aerobic exercise (AE).

통제 처치에 비해 상완동맥뿐만 아니라 중심동맥의 수축기 혈압을 덜 증가시키는 것으로 나타났다(Fig. 2).

고 찰

본 연구는 일시적 유산소 운동이 교감신경 자극에 대한 중심동맥 혈압 반응 완화에 미치는 효과를 알아보려고 하였다. 말초동맥 혈압과 중심동맥 혈압 모두 교감신경 활성화로 인해 증가하였으며, 회복기에 기저상태 값으로 돌아왔다. 그러나, 유산소 운동 처치는 통제 처치에 비해 교감신경 활성화로 인해 증가되는 상완동맥 및 중심동맥의 혈압 반응을 모두 완화시켰다. 이러한 연구결과는 유산소 운동에 따른 교감신경 자극에 대한 혈압 반응 완화 효과가 말초동맥뿐만 아니라 중심동맥 혈압에서도 나타난다는 사실을 제시할 수 있다. 이는 일회성 유산소 운동 후 교감신경 활성화와 관련된 상완동맥 수축기 혈압 반응이 완화된다는 선행 연구 결과들과 일치하는 것이며, 더욱이 중심동맥 혈압 반응 완화 효과를 제시한 두 편의 선행연구 결과와도 일치한다^{16,17}. 그러나 본 연구는 동양인을 대상으로 일시적 유산소 운동이 교감신경 활성화에 대한 중심동맥 혈압 반응을 완화시킨다는 사실을 검증한 첫 번째 연구라는 점에서 그 연구적 가치가 있을 것으로 생각한다.

그동안 여러 선행연구에서 유산소 운동이 교감신경 활성화로 인한 과도한 혈압 반응을 완화시킨다고 제시하였으며^{12,13}, 이러한 효과는 대부분 말초동맥 혈압을 통해 증명되었다. Ebbesen 등¹⁰은 60-120분간의 일시적 중강도 유산소 운동의 교감신경 자극에 대한 말초동맥 혈압 반응 완화 효과를 확인하였다. 또한 Yoon 등¹⁹은 일시적 저항성 운동이 냉압박검사에 대한 심혈관 재반응(상완동맥 수축기 혈압)을 완화시킨다고 보고하였다. Crews와 Landers²⁰는 메타 분석에서 체력(fitness) 수준이 높을수록 심리적 스트레스에 대한 상완동맥 수축기 혈압 반응 완화 효과가 더 크다고 제시하였다. Hamer 등¹³의 메타 분석 연구에 따르면 일회성 유산소 운동이 교감신경 활성화로 인한 상완동맥 수축기 혈압 반응을 약 4 mmHg 정도 완화할 수 있다고 보고하였으며, 운동시간이 길수록 완화 효과는 더 크게 나타난다는 사실을 확인하였다. 그러나 본 연구에서는 30분간의 일시적 유산소 운동을 통해서도 선행연구와 유사한 정도의 상완동맥 수축기 혈압 반응 완화효과(-4.13 mmHg)를 확인하였다. 더욱이 유산소 운동이 냉압박검사 직후 증가한 상완동맥 혈압을 빠르게 회복시킨다는 추가적인 사실도 알 수 있었다. 이러한 연구결과를 토대로 볼 때, 일시적 유산소 및 저항성 운동으로 교감신경 자극에 대한 말초동맥 혈압 반응 완화 효과를 기대할 수 있을 것이며, 비록 운동량이 증가할수

록 더 큰 효과를 보이지만, 30분간의 유산소 운동으로도 말초동맥 혈압 완화 효과를 기대할 수 있을 것으로 생각된다.

중심동맥 혈압은 심장 주변 혈압으로 심장과 뇌, 그리고 콩팥 같은 주요 장기(target organ)에 직접적인 부하를 주어 손상을 입힐 수 있기 때문에 상완동맥 혈압보다 심혈관질환 발생을 더 잘 예측하는 것으로 알려져 있다¹⁵. 이러한 점에서 최근 중심동맥 혈압의 임상적 의미와 관리의 중요성이 강조되고 있다¹⁴. 유산소 운동이 중심동맥 혈압을 낮춰준다는 선행연구는 다수 있으나^{21,22}, 교감신경계 활성화에 대한 중심동맥 혈압 반응 완화에 미치는 효과를 규명한 연구는 매우 부족하다. Milatz 등¹⁶은 32명의 건강한 남성을 대상으로 60분간 자전거 에르고메터를 이용하여 최대 산소섭취량 45% 수준에서 유산소 운동을 진행하고 60분 후에 냉압박검사를 실시하여 중심동맥 수축기 및 확장기 혈압 완화 효과를 확인하였다(-4.8/-2.8 mmHg). 다른 운동강도를 적용한 동일한 연구 그룹의 추가적인 연구에서도 이와 비슷한 연구결과를 관찰하였다¹⁷. 이들은 고강도 인터벌 운동의 중심동맥 혈압 완화 효과를 관찰하기 위해 건강한 남성 39명을 대상으로 최대 와트 98%로 고강도 인터벌 자전거 운동(high-intensity interval exercise; 1분×6회, 4분 간격 총 30분)을 실시하였다. 이후 60분간 휴식을 취하고 진행한 냉압박검사에서 중심동맥 혈압 반응 완화 효과를 관찰하였다¹⁷. 본 연구에서는 30분간의 중강도 유산소 운동으로 교감신경 자극에 대한 중심동맥 혈압 반응 완화 효과를 확인하였다. 이러한 연구결과를 통해 운동이 교감신경 활성화에 따른 중심동맥 혈압 반응 완화 효과를 보인다는 사실을 더욱 확장할 수 있을 것이다. 특히, 선행연구에서 실시한 60분간의 운동시간보다 상대적으로 짧은 30분의 운동시간으로도 교감신경 자극에 대한 중심동맥 혈압 반응 완화 효과를 보인다는 사실은 흥미롭다. 이러한 결과로 볼 때 일일 신체활동 최소 권장량인 30분의 일회성 운동만으로도 스트레스에 대한 혈압 반응을 완화한다고 제시할 수 있을 것이다. 그러나 상대적으로 짧은 시간의 유산소 운동의 중심동맥 혈압 반응 완화 효과를 확인한 연구는 매우 부족하며, 운동시간에 따른 혈압 반응 완화 효과 정도를 직접적으로 비교한 연구는 없다. 따라서, 이러한 연구결과를 확장하고 일반화하기 위해서는 다양한 운동 형태별(예, 저항성 등), 강도 및 시간에 따른 완화 효과에 대한 검증 연구가 추가적으로 필요할 것이다. 또한 운동 후 스트레스에 노출되는 시간에 따른 혈압 완화 효과가 다르기 때문에²³ 이와 관련된 추가 연구도 필요하다.

교감신경 활성화로 인해 증가하는 상완동맥 및 중심동맥 혈압 반응을 일시적 유산소 운동이 완화시키는 기전에 대해 명확하게 알 수는 없으나, 유산소 운동의 혈압 반응 완화 효과를 설명하는

기전 중 하나로 운동 후 혈압 감소(post-exercise hypotension) 효과를 제시할 수 있을 것이다. 냉압박검사는 교감신경계를 활성화하여 노르에피네프린(norepinephrine)의 분비 증가를 유발한다. 이는 혈관의 α -아드레너지 수용체(α -adrenergic receptors)에 결합하여 말초혈관의 저항을 높이며 혈압을 상승시키는 것으로 알려져 있다²⁴. 반면에, 운동은 교감신경 활성화에 대한 노르에피네프린 분비 반응을 완화하는 것으로 보고되며²⁵, West 등²⁶의 연구에서 유산소 운동은 교감신경이 활성화되었을 때의 혈관 저항을 유의하게 감소시켰다고 보고하였다. 뿐만 아니라 운동은 혈관 이완과 관련이 있는 β_2 수용체의 반응도를 높여 혈관 저항을 낮추고 교감신경으로 인한 혈압 증가를 완화할 수 있다²⁷. 또 다른 기전으로 운동의 기능적 교감신경 파괴(functional sympatholysis) 효과를 고려해 볼 수 있다. 즉, 유산소 운동이 교감신경 활성화로 인한 혈관 수축 작용을 방해하여 혈압 상승을 억제했을 가능성을 배제할 수 없을 것이다. 일시적 유산소 운동은 산화질소 합성효소(nitric oxide synthase)를 활성화한다²⁸. 이로 생성된 산화질소는 혈관의 평활근과 내피세포에서 작용하여 교감신경 활성화로 인한 노르에피네프린의 α -아드레너지 활성화를 역전시켜 기능적 교감신경 파괴를 유발한다²⁹. 그러나 유산소 운동이 교감신경 활성화로 증가되는 혈압 반응을 완화시키는 기전에 대해서 추가적인 연구가 필요하다.

본 연구에는 몇 가지 제한점이 있다. 첫 번째로 교감신경 활성화에 대한 혈압 반응을 연속적으로 확인하지 않고 특정 시점의 혈압만을 측정(static measurement)하였다. 매 심박수에 따른 혈압 측정(beat-to-beat measurement)은 유산소 운동 후 교감신경 활성화에 따른 혈압 반응의 변화를 보다 자세하게 분석할 수 있게 할 것이다. 두 번째로 건강한 성인을 대상으로 일시적 유산소 운동의 교감신경 활성화에 따른 혈압 반응 완화 효과를 확인하였기 때문에 다른 대상자들에게 이러한 결과를 일반화하기 어렵다. 따라서 추후 연구에서 노인 및 기타 질환이 있는 피험자 등을 대상으로 한 연구가 필요하며, 특히 장기적인 유산소 트레이닝의 교감신경 활성화에 따른 중심동맥 혈압 완화 효과를 검증할 필요가 있다. 세 번째로 본 연구에서는 교감신경 활성화로 인한 혈압 반응을 확인하기 위해 생리적인 스트레스 자극이 주어지는 냉압박검사를 진행하였다³⁰. 심리적인 스트레스(인터뷰, 대중 연설) 및 인지적인 스트레스(산술 테스트, 스트루프 검사[Stroop task])는 교감신경 활성화 방법에 따라 다른 혈압 반응을 유발할 수도 있을 것이다. 그러므로 추후 연구에서는 다양한 교감신경 활성화 환경 하에서도 유산소 운동의 중심동맥 혈압 반응 완화 효과가 나타나는지 확인할 필요가 있을 것이다.

이러한 몇 가지 제한점에도 불구하고, 본 연구는 유산소 운동의

교감신경 활성화에 대한 말초 및 중심동맥 혈압 반응을 완화 효과를 뒷받침할 수 있는 연구라는 점에서 연구적 가치가 있을 것으로 생각한다. 중심동맥 혈압이 주요 장기 손상 및 심혈관 질환과 더 밀접한 연관이 있다는 점에서, 유산소 운동은 다양한 스트레스 상황으로 인한 중심동맥 혈압 반응을 완화시켜 심혈관 사건 발생 위험을 감소시킬 수 있을 것으로 생각된다.

Conflict of Interest

No potential conflict of interest relevant to this article was reported.

ORCID

Min Jeong Cho <https://orcid.org/0000-0002-5562-4609>

Young Woo Kim <https://orcid.org/0000-0002-2068-6594>

Jeong In Kwon <https://orcid.org/0000-0002-1892-0695>

Hyun Jeong Kim <https://orcid.org/0000-0001-5159-9525>

Sae Young Jae <https://orcid.org/0000-0003-0358-7866>

Author Contributions

Conceptualization: MJC, SYJ. Data curation: MJC, YWK, JIK, HJK. Formal analysis: MJC, YWK. Funding acquisition: SYJ. Methodology: MJC, YWK, JIK, HJK. Project administration: SYJ. Visualization: YWK. Writing-original draft: MJC, SYJ. Writing-review & editing: MJC, SYJ.

References

- Grassi G, Seravalle G, Mancia G. Sympathetic activation in cardiovascular disease: evidence, clinical impact and therapeutic implications. *Eur J Clin Invest* 2015;45:1367-75.
- Everson SA, Lynch JW, Kaplan GA, Lakka TA, Sivenius J, Salonen JT. Stress-induced blood pressure reactivity and incident stroke in middle-aged men. *Stroke* 2001;32:1263-70.
- Carroll D, Ginty AT, Der G, Hunt K, Benzeval M, Phillips AC. Increased blood pressure reactions to acute mental stress are associated with 16-year cardiovascular disease mortality. *Psychophysiology* 2012;49:1444-8.
- Zhao Q, Gu D, Lu F, et al. Blood pressure reactivity to the cold pressor test predicts hypertension among Chinese adults:

- the GenSalt Study. *Am J Hypertens* 2015;28:1347-54.
5. Menkes MS, Matthews KA, Krantz DS, et al. Cardiovascular reactivity to the cold pressor test as a predictor of hypertension. *Hypertension* 1989;14:524-30.
6. Pouwels S, Van Genderen ME, Kreeftenberg HG, et al. Utility of the cold pressor test to predict future cardiovascular events. *Expert Rev Cardiovasc Ther* 2019;17:305-18.
7. Panaite V, Salomon K, Jin A, Rottenberg J. Cardiovascular recovery from psychological and physiological challenge and risk for adverse cardiovascular outcomes and all-cause mortality. *Psychosom Med* 2015;77:215-26.
8. Barnett PH, Hines EA Jr, Schirger A, Gage RP. Blood pressure and vascular reactivity to the cold pressor test. Restudy of 207 subjects 27 years later. *JAMA* 1963;183:845-8.
9. McMillan RK, Babcock MC, Migdal KU, et al. The impact of dietary sodium on sympathetic and blood pressure reactivity assessed using the cold pressor test. *FASEB J* 2020;34 (Suppl 1):1.
10. Ebbesen BL, Prkachin KM, Mills DE, Green HJ. Effects of acute exercise on cardiovascular reactivity. *J Behav Med* 1992;15:489-507.
11. Zachariah G, Alex AG. Exercise for prevention of cardiovascular disease: evidence-based recommendations. *J Clin Prev Cardiol* 2017;6:109-14.
12. Spalding TW, Lyon LA, Steel DH, Hatfield BD. Aerobic exercise training and cardiovascular reactivity to psychological stress in sedentary young normotensive men and women. *Psychophysiology* 2004;41:552-62.
13. Hamer M, Taylor A, Steptoe A. The effect of acute aerobic exercise on stress related blood pressure responses: a systematic review and meta-analysis. *Biol Psychol* 2006;71:183-90.
14. Sharman JE, Laurent S. Central blood pressure in the management of hypertension: soon reaching the goal? *J Hum Hypertens* 2013;27:405-11.
15. Laurent S, Briet M, Boutouyrie P. Arterial stiffness as surrogate end point: needed clinical trials. *Hypertension* 2012;60: 518-22.
16. Milatz F, Ketelhut S, Ketelhut S, Ketelhut RG. Favorable effect of aerobic exercise on arterial pressure and aortic pulse wave velocity during stress testing. *Vasa* 2015;44:271-6.
17. Ketelhut S, Milatz F, Heise W, Ketelhut RG. Influence of a high-intensity interval training session on peripheral and central blood pressure at rest and during stress testing in healthy individuals. *Vasa* 2016;45:373-7.
18. Pauca AL, O'Rourke MF, Kon ND. Prospective evaluation of a method for estimating ascending aortic pressure from the radial artery pressure waveform. *Hypertension* 2001;38:932-7.
19. Yoon ES, Park SH, Lee YH, Jae SY. Acute resistance exercise attenuates the cardiovascular reactivity to cold pressor test in healthy adults. *Korean J Sports Med* 2016;34:65-71.
20. Crews DJ, Landers DM. A meta-analytic review of aerobic fitness and reactivity to psychosocial stressors. *Med Sci Sports Exerc* 1987;19(5 Suppl):S114-20.
21. Pierce DR, Doma K, Raiff H, Golledge J, Leicht AS. Influence of exercise mode on post-exercise arterial stiffness and pressure wave measures in healthy adult males. *Front Physiol* 2018; 9:1468.
22. Ashor AW, Lara J, Siervo M, Celis-Morales C, Mathers JC. Effects of exercise modalities on arterial stiffness and wave reflection: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *PLoS One* 2014;9:e110034.
23. Alderman BL, Arent SM, Landers DM, Rogers TJ. Aerobic exercise intensity and time of stressor administration influence cardiovascular responses to psychological stress. *Psychophysiology* 2007;44:759-66.
24. Pickering TG, Gerin W. Cardiovascular reactivity in the laboratory and the role of behavioral factors in hypertension: a critical review. *Ann Behav Med* 1990;12:3-16.
25. Rosenmeier JB, Dinunno FA, Fritzlar SJ, Joyner MJ. Alpha1- and alpha2-adrenergic vasoconstriction is blunted in contracting human muscle. *J Physiol* 2003;547(Pt 3):971-6.
26. West SG, Brownley KA, Light KC. Postexercise vasodilation reduces diastolic blood pressure responses to stress. *Ann Behav Med* 1998;20:77-83.
27. Brownley KA, Hinderliter AL, West SG, Girdler SS, Sherwood A, Light KC. Sympathoadrenergic mechanisms in reduced hemodynamic stress responses after exercise. *Med Sci Sports Exerc* 2003;35:978-86.
28. Jungersten L, Ambring A, Wall B, Wennmalm A. Both physical fitness and acute exercise regulate nitric oxide formation in healthy humans. *J Appl Physiol* (1985) 1997;82:760-4.
29. Mitchell JH. Abnormal cardiovascular response to exercise in hypertension: contribution of neural factors. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol* 2017;312:R851-63.
30. Ifuku H, Moriyama K, Arai K, Shiraishi-Hichiwa Y. Regulation of cardiac function during a cold pressor test in athletes and untrained subjects. *Eur J Appl Physiol* 2007;101:75-9.