

## 일시적 저항성 운동이 냉압박 검사에 대한 심혈관 재반응 완화에 미치는 영향

서울시립대학교 스포츠과학과 건강통합생리학실

윤은선 · 박수현 · 이용희 · 제세영

### Acute Resistance Exercise Attenuates the Cardiovascular Reactivity to Cold Pressor Test in Healthy Adults

Eun Sun Yoon, Soo Hyun Park, Yong Hee Lee, Sae Young Jae

Department of Sport Science, The Health and Integrative Physiology Laboratory, University of Seoul, Seoul, Korea

Increased cardiovascular reactivity to sympathetic challenge is associated with increased risk of hypertension and cardiovascular disease. Acute aerobic exercise blunts stress related cardiovascular reactivity, but whether acute resistance exercise attenuates cardiovascular reactivity is unknown. We tested the hypothesis that acute resistance exercise will attenuate hemodynamic reactivity to a cold pressor test in healthy adults. Using a randomized cross-over trial, 20 healthy adults (9 males, 11 females; age, 26±5 years; body mass index, 23.85±3.19 kg/m<sup>2</sup>) completed two testing sessions, separated by 1 week. Sessions consisted of either a control condition or an acute resistance exercise prior to cold pressor testing (two sets, eight exercises, 40%–60% of 1 repetition maximum for upper and lower extremity). Blood pressure and heart rate measured at baseline, 30 seconds, and 120 seconds during a 3-minute cold pressor test (ice water, 4°C), and 30 seconds and 120 seconds post-cold pressor testing, respectively. During the cold pressor test, there were significant increases in blood pressures and heart rate ( $p < 0.05$ ) in both groups. However, acute resistance exercise attenuated increases in systolic blood pressure, but not heart rate, compared with the control (all  $p < 0.05$  for interact effects). These findings show that the cold pressor test significantly increases blood pressures and heart rate in healthy adults, but an acute bout of resistance exercise attenuated the hemodynamic response to the cold pressor test. Therefore, resistance exercise may have a favorable effect on cardiovascular reactivity to sympathetic activation in healthy adults.

**Keywords:** Blood pressure, Cardiovascular system, Cold temperature, Resistance training

Received: March 25, 2016 Revised: May 9, 2016 Accepted: May 24, 2016

Correspondence: Sae Young Jae

Department of Sport Science, The Health and Integrative Physiology Laboratory, University of Seoul, 163 Seoulsiripdae-ro, Dongdaemun-gu, Seoul 02504, Korea

Tel: +82-2-6490-2953, Fax: +82-2-6490-5204, E-mail: syjae@uos.ac.kr

This work was supported by the National Research Foundation of Korea Grant funded by the Korean Government (NRF-2013S1A5B5A07048654).

Copyright ©2016 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

심혈관 반응성(cardiovascular reactivity)이란 인체에 스트레스 자극이 주어졌을 때 심혈관계에 나타나는 혈액 동역학적 반응을 의미한다<sup>1)</sup>. 심혈관 반응성은 심혈관계 질환 발생에 있어 하나의 주요 기전으로 작용하며<sup>2)</sup>, ‘심혈관 반응성과 질병 발생 가설’에 따르면 신체에 스트레스 자극이 가해졌을 때 혈압과 심박수가 과도하게 증가하는 사람은 향후 고혈압 및 심혈관계 질환 발생 위험도가 높은 것으로 제시되고 있다<sup>3,4)</sup>. Hines와 Brown<sup>5)</sup>의 연구에서 교감신경자극 검사인 냉압박 검사(cold pressor test) 동안 나타나는 혈압 반응(blood pressure reactivity)이 고혈압 발생의 병리학적 측면에서 중요한 기전으로 작용한다고 처음으로 보고 하였다. 이후 많은 실험 및 역학 연구에서 생리 및 심리적 스트레스 자극에 대한 심혈관 반응성 정도가 고혈압, 관상동맥질환 및 경동맥 동맥경화 발생과 관련이 있음을 제시하였다<sup>1,6,7)</sup>.

규칙적인 유산소운동과 우수한 심폐체력 수준은 스트레스에 대한 과도한 심혈관 반응성을 억제시켜 주는 것으로 보고되고 있다. Forcier 등<sup>8)</sup>과 Dishman 등<sup>9)</sup>의 연구에 따르면 심폐체력이 우수한 사람은 교감신경 자극에 대한 심박수와 혈압 재반응 증가 정도가 낮게 나타났다. 또한 유산소운동은 생리·심리적 스트레스에 대한 심박수와 수축기 혈압 반응을 감소시키는 것으로 보였다<sup>10,12)</sup>. 유산소운동의 심혈관 반응성 억제에 대한 명확한 기전은 밝혀지지 않았지만, 일부 연구에 의하면 혈관 저항 감소 및 혈관 이완기능의 향상 그리고 부교감 신경계 활성도의 증가 등이 제시되고 있다<sup>11,13)</sup>.

저항성 운동도 심혈관계 건강의 예방 및 보호적 효과에 대한 증거가 점차 증가되고 있는 추세이다. 고강도 저항성 운동의 경우 과도한 혈압 상승을 일으켜 심혈관계에 부정적 영향을 미칠 수 있지만<sup>14)</sup>, 저-중강도의 저항성 운동은 유산소 운동과 마찬가지로 혈압감소, 혈관기능 및 자율신경계 기능 개선 효과가 있음이 제시되고 있다<sup>15,16)</sup>. 이에 따라 미국스포츠

의학회 및 미국심장학회에서는 심혈관 건강을 위해 중강도의 저항성 운동 참여를 권장하고 있다<sup>17)</sup>. 그러나 아직 저항성 운동이 스트레스 자극에 대한 심혈관 반응성을 완화시켜 줄 수 있는지에 대한 실험연구는 매우 미흡한 실정이다. 중강도의 저항성 운동의 경우 유산소운동과 유사한 심혈관계 보호적 효과가 나타나며, 특히 혈압강화 효과를 보이므로 이는 심혈관 반응성 완화 기전으로 작용할 수 있을 것으로 여겨진다. 따라서 본 연구에서는 냉압박 검사를 이용한 심혈관 반응성에 있어 일회성 저항성 운동의 혈압 완화 효과를 알아보고자 하였다.

연구 방법

1. 연구 대상

본 연구는 20대 건강한 성인 20명(남 11명, 여 9명)을 대상으로 하였으며, 기초의학설문지를 통해 심혈관계질환, 대사성질환 및 근골격계 질환을 포함하여 특별한 임상적 소견이 없는 자로 선발하였다. 실험 전 참여자들에게 연구의 목적과 내용을 충분히 설명하고, 자발적 참여에 의한 실험참가 동의서를 작성한 후 실험에 참여하도록 하였으며, 본 연구는 서울의료원 생명윤리위원회의 심의를 받아 시행되었다. 본 연구 대상자의 특성은 Table 1에 제시하였다.

2. 실험 설계

본 연구의 설계는 다음과 같다. 무작위 배치 및 교차 설계 방법에 의해 모든 피험자는 저항성 운동처치와 통제처치 두 번의 실험에 모두 참여하였으며 두 처치 간 간격은 최소 1주일로 하였다. 심혈관 반응성 검사는 냉압박 검사<sup>18)</sup>를 이용하였으며 각각 저항성 운동처치와 통제처치 30분 후에 실시하였다. 가외변수에 대한 영향을 최소화하기 위해 모든 피험자는 실험 참여 전 10시간 이상 공복 상태를 유지하고, 24시간 동안 격렬

Table 1. Physical characteristics of the subjects

| Variable                             | Total        | Male      | Female    |
|--------------------------------------|--------------|-----------|-----------|
| Sex                                  | 20           | 11        | 9         |
| Age (yr)                             | 26±5         | 26±4      | 25±5      |
| Body mass index (kg/m <sup>2</sup> ) | 23.85±3.19   | 25.6±2.8  | 21.8±2.4  |
| Systolic blood pressure (mm Hg)      | 114.35±12.98 | 123.7±8.0 | 102.9±7.1 |
| Diastolic blood pressure (mm Hg)     | 68.10±6.36   | 70.9±5.1  | 64.7±6.3  |
| Heart rate (bpm)                     | 59.60±10.76  | 57.5±12.1 | 62.2±8.8  |

Values are presented as mean±standard deviation.

한 신체활동 참여를 제한하였다. 또한 실험은 오전 9-11시 동일한 시간대에서 실시하였다. 본 연구의 실험설계는 Fig. 1에 제시하였다.

### 3. 냉압박 검사

냉압박 검사는 교감신경 활성도를 유의하게 증가시키는 교감신경 흥분성 실험방법으로 여러 선행연구를 통해 증명되어 왔다<sup>4,18)</sup>. 본 연구에서는 Casey 등<sup>18)</sup>의 연구에서 시행한 방법을 참고로 하였다. 피험자는 안정 시 혈압과 심박수를 측정 후, 누운 자세에서 왼손을 손목까지 수온 4°C 정도의 얼음물에 3분간 담갔다. 3분 후 즉시 얼음물에서 손을 빼고 2분간 회복기 동안의 변화를 측정하였다. 심혈관 반응성 측정 지표로서 심박수와 수축기 및 이완기 혈압을 측정하였으며,

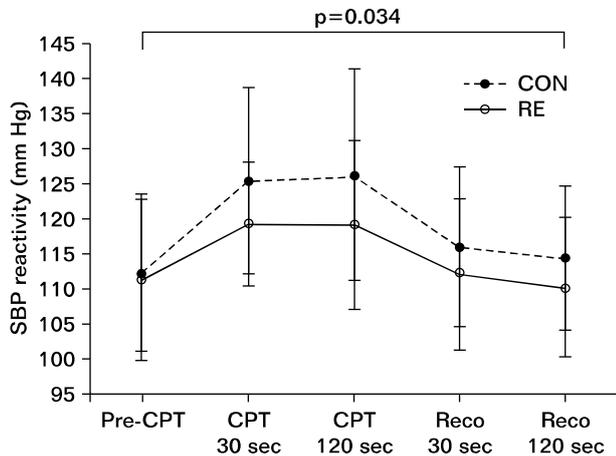


Fig. 1. Change in systolic blood pressure reactivity in response to cold pressor test following resistance exercise or control trial. p-value for time×trial interactive effect. CON: control trial, RE: resistance exercise trial, SBP: systolic blood pressure, CPT: cold pressor test.

냉압박 검사 전, 냉압박 검사 중 30초, 120초 그리고 회복기 30초, 120초에 측정하였다. 수온은 막대온도계를 이용하여 확인하였으며, 냉압박 검사 동안 발살바 호흡을 피하고 정상 호흡 패턴을 유지하도록 하였다.

### 4. 일회성 저항성 운동 및 통제처치

저항성 운동은 기저측정 후 냉압박 검사 30분 전에 실시하였다. 상체 5종목(chest press, lat pull down, arm curl, back extension, torso)과 하체 3종목(leg press, leg extension, leg curl) 총 8종목을 실시하였으며, 운동강도는 상체는 최대근력의 40%, 하체는 60%로 12회 반복, 2 sets 실시하였다. 최대근력은 National Strength and Conditioning Association에서 권장하는 Baechle 등<sup>19)</sup>의 방법을 수정하여 측정하였다. 최대근력과 운동강도는 Table 2에 제시하였다. 통제처치는 기저 측정 후 30분간 누운 자세로 휴식을 취하였으며, 30분간의 통제 처치 후 냉압박 검사를 실시하였다.

### 5. 측정항목 및 방법

#### 1) 신체조성

가벼운 복장을 입은 상태에서 자동측정기(DS-102, Jenix, Seoul, Korea)를 이용하여 신장(cm)과 체중(kg)을 측정하고 체질량 지수를 구하였다(체질량 지수=체중[kg]/신장[m]<sup>2</sup>). 체지방률과 체지방량은 생체전기저항법을 이용하여 측정하였다(Inbody 3.0, Biospace, Seoul, Korea).

#### 2) 심박수 및 혈압

혈압은 자동혈압계(WatchBP Home 3MX1-1, Microlife, Taipei, Taiwan)로 측정하였다. 안정 시 혈압은 15분간 누운

Table 2. Exercise intensity

| Exercise program    | Male         |                    | Female      |                    |
|---------------------|--------------|--------------------|-------------|--------------------|
|                     | 1 RM         | Exercise intensity | 1 RM        | Exercise intensity |
| Chest press (kg)    | 72.98±23.09  | 29.05±9.55         | 16.48±7.07  | 3.39±2.74          |
| Lat pull down (kg)  | 65.70±12.82  | 26.32±5.36         | 23.61±7.57  | 9.61±2.96          |
| Arm curl (kg)       | 40.23±10.66  | 16.27±4.30         | 12.76±3.67  | 5.22±1.15          |
| Back extension (kg) | 89.89±17.73  | 35.95±6.99         | 49.69±19.13 | 19.94±7.56         |
| Torso (kg)          | 34.14±8.24   | 13.55±3.45         | 16.67±4.31  | 6.72±1.86          |
| Leg press (kg)      | 147.95±34.63 | 86.45±22.05        | 65.42±26.28 | 39.50±15.77        |
| Leg extension (kg)  | 64.22±23.33  | 38.41±14.10        | 31.64±20.87 | 18.94±12.67        |
| Leg curl (kg)       | 58.56±14.13  | 34.95±8.41         | 24.75±9.84  | 14.89±6.13         |

Values are presented as mean±standard deviation. RM: maximal repetition.

자세로 충분히 휴식을 취한 뒤 3분 간격으로 총 2회 측정하여 평균값을 자료로 하였다. 1차와 2차 측정 간 오차가 10 mm Hg 이상 일 경우 1회 추가 측정하여 낮은 두 값의 평균값을 이용하였다. 맥압은 수축기와 이완기의 차이값을 구하였으며, 심박수는 sphygmocor (AtCor Medical, Sydney, Australia) 장비로 측정하였다. 또한 혈액학적 스트레스 지표로서 수축기혈압과 심박수를 곱하여 심부담도를 구하였다.

### 6. 자료 처리

측정된 모든 자료는 평균과 표준편차를 산출하였다. 스트레스 자극에 대한 변수 변화에서 저항성 운동의 효과를 규명하기 위해 처치(저항운동, 통제)와 측정시기(냉압박 검사 전, 검사 중 30초, 120초, 회복기 30초, 120초)를 독립변인으로 하는 2×5 repeated analysis of variance를 실시하였다. 상호작용 효과가 나타났을 경우 사후 검사를 위해 안정 시로부터 각 측정시기의 변화 값을 구하여 독립 t-검정을 실시하였다. 모든 통계분석은 SPSS ver. 21.0 (SPSS Inc., Armonk, NY, USA)을 이용하였으며, 유의수준은  $\alpha=0.05$ 로 설정하였다.

### 결 과

냉압박 검사 동안 통제처치와 저항성 운동 처치 모두 수축기 혈압, 이완기 혈압, 맥압, 심박수 그리고 심부담도가 유의하게 증가하였다(Table 3). 그러나 저항성 운동처치에서 냉압박 검사 동안 수축기 혈압이 통제처치에 비해 낮게 증가하는 양상을 보였으며, 통계적으로 유의한 상호작용 효과를 나타냈다( $p=0.034$ ) (Fig. 1). 두 처치 간 교감신경 자극에 대한 수축기 혈압 반응정도를 비교하기 위해, 안정 시로부터 각 측정시기에 대한 차이값을 구하여 독립 t-검정으로 사후분석을 시행하였다. 그 결과 냉압박 검사 중 30초에서 저항운동 처치( $8.25\pm 8.67$  mm Hg)는 통제처치( $13.00\pm 7.43$  mm Hg)에 비해 수축기 혈압이 더 낮게 증가하는 양상을 보였다( $p=0.071$ ). 냉압박 검사120초에서 수축기 혈압이 통제처치는  $13.27\pm 7.87$  mm Hg 증가한 반면, 저항성 운동 처치에서는  $8.20\pm 8.13$  mm Hg 정도 낮게 증가하여 두 처치 간 통계적으로 유의한 차이를 나타내었다( $p=0.028$ ) (Fig. 2). 회복기 동안에 두 처치 모두 사전 값 수준으로 감소하였으며, 처치 간 차이는 없었다. 이러한 수축기 혈압의 변화는 남녀간 성별에 의한 차이를 보였다. 남자는 저항성

**Table 3.** Cardiovascular reactivity in response to cold pressor test at each time period in following resistance exercise or control trials

| Variable    | Pre-CPT           | CPT 30 sec        | CPT 120 sec       | Recovery 30 sec   | Recovery 120 sec  | p-value                                  |
|-------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--|
| SBP (mm Hg) |                   |                   |                   |                   |                   |  |
| RE          | 111.15±11.39      | 119.40±8.85       | 119.35±11.94      | 112.15±10.58      | 110.95±9.84       | 0.001*                                   |
| CON         | 112.00±11.23      | 125.00±13.28      | 126.00±14.91      | 115.75±11.40      | 114.20±10.30      | 0.250 <sup>†</sup><br>0.034 <sup>‡</sup> |
| DBP (mm Hg) |                   |                   |                   |                   |                   |  |
| RE          | 66.10±7.64        | 74.95±7.99        | 73.65±9.39        | 66.80±6.71        | 66.80±6.71        | 0.015*                                   |
| CON         | 67.90±5.14        | 80.55±9.28        | 79.20±8.39        | 70.20±6.69        | 70.65±6.01        | 0.047 <sup>†</sup><br>0.319 <sup>‡</sup> |
| PP (mm Hg)  |                   |                   |                   |                   |                   |  |
| RE          | 45.85±8.42        | 45.30±7.71        | 46.60±11.06       | 46.55±9.84        | 44.95±7.44        | 0.015*                                   |
| CON         | 43.95±8.32        | 44.70±10.35       | 46.50±11.41       | 46.15±11.14       | 41.85±10.12       | 0.664 <sup>†</sup><br>0.544 <sup>‡</sup> |
| HR (bpm)    |                   |                   |                   |                   |                   |  |
| RE          | 68.25±11.24       | 72.50±13.25       | 69.95±11.61       | 67.85±10.09       | 66.35±9.93        | 0.001*                                   |
| CON         | 58.80±9.37        | 64.85±11.05       | 61.35±10.04       | 59.95±9.14        | 58.85±9.91        | 0.013 <sup>†</sup><br>0.819 <sup>‡</sup> |
| RPP         |                   |                   |                   |                   |                   |  |
| RE          | 7,570.00±1,498.91 | 8,644.00±1,678.18 | 8,318.40±1,495.92 | 7,556.90±1,196.10 | 7,330.25±1,148.34 | 0.001*                                   |
| CON         | 6,571.70±1,169.20 | 8,078.50±1,466.74 | 7,717.35±1,493.79 | 6,920.75±1,142.03 | 6,704.10±1,194.89 | 0.085 <sup>†</sup><br>0.208 <sup>‡</sup> |

Values are presented as mean±standard deviation.

CPT: cold pressor test, SBP: systolic blood pressure, RE: resistance exercise trial, CON: control trial, DBP: diastolic blood pressure, PP: pulse pressure, HR: heart rate, RPP: rate pressure product.

\*Time effect; <sup>†</sup>Trial effect; <sup>‡</sup>Time×trial interactive effect.

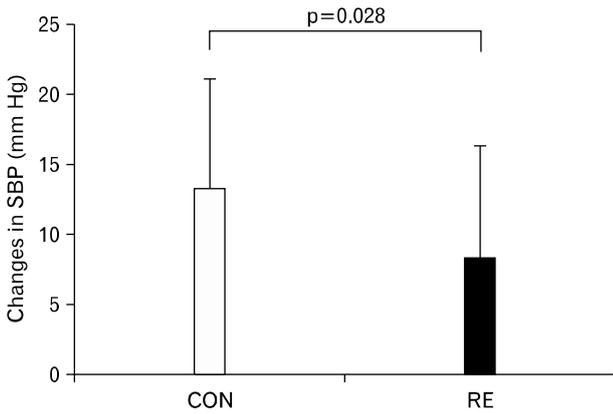


Fig. 2. Comparison of mean changes in systolic blood pressure at 120 seconds during cold pressor test between resistance and control trial. CON: control trial, RE: resistance exercise trial, SBP: systolic blood pressure.

운동처치에서 냉압박 검사 동안 수축기 혈압이 통제처치에 비해 유의하게 낮게 증가한 반면(p=0.003), 여자는 두 처치 간 유의한 차이를 보이지 않았다(p=0.894). 이완기 혈압과 심박수 그리고 심부담도는 저항성 운동 처치가 통제 처치에 비해 냉압박 검사 중 낮게 증가되는 경향을 보였으나 통계적으로 유의한 상호작용 효과는 나타나지 않았다. 또한 냉압박 검사 이후 회복기 동안에도 유사한 변화 양상을 나타냈으며, 두 처치 모두 회복기 30초, 120초에 사전 값 수준으로 회복되었다 (Table 2). 냉압박 검사 중 저항성 운동처치와 통제처치에 따른 이완기 혈압과 심박수 그리고 심부담도 변화에 있어 남녀 성별에 따른 차이는 보이지 않았다.

## 고찰

본 연구에서는 교감신경 자극에 의한 혈액동역학적 반응에 있어 일회적 저항성 운동의 보호적 효과를 알아보고자 하였다. 연구 결과, 냉압박 검사 동안 수축기 혈압은 통제 처치에 비해 저항성 운동 처치에서 유의하게 적게 증가하였으며, 두 처치 간 약 5 mm Hg 정도 차이를 보였다. 이는 메타분석에서 보고한 일회성 유산소운동의 심혈관 반응성 완화 효과(3.7±3.9 mm Hg)와 유사한 수준이다<sup>12)</sup>. 또한 Moreira 등<sup>20)</sup>의 연구에서도 건강한 성인 20명을 대상으로 저항성 운동과 유산소운동의 복합운동 후 시행한 냉압박 검사에서 수축기와 이완기혈압의 증가가 통제처치에 비해 유의하게 완화되었다고 보고하였다. Spalding 등<sup>10)</sup>의 연구에서도 좌업 생활자 성인 45명을 대상으로 6주간 유산소운동군, 저항성 운동이군, 통제군으로 나누어 운동이 스트레스 자극에 대한 심혈관 반응성에 미치는 영향을

살펴본 결과, 본 연구와 동일하게 유산소운동과 저항성 운동군은 통제군에 비해 심리적 스트레스 검사에서 수축기 혈압의 유의한 완화효과를 보고하였다. 그러나 이제까지의 선행연구에서는 심혈관 반응성에 있어 대부분 유산소운동의 효과가 증명되어 왔으며, 심혈관 반응성에 있어 저항성 운동의 단독효과를 살펴본 연구는 매우 미흡한 실정이다. 따라서 본 연구 결과는 교감신경 자극에 대한 심혈관 반응성에 있어 저항성 운동의 보호적 효과의 가능성을 나타내고, 저항성 운동의 심혈관 보호적 효과에 대한 새로운 근거 및 기전에 대한 추가적인 자료가 될 수 있을 것으로 생각한다. 저항성 운동이 심혈관 반응성 완화에 미치는 가능한 기전을 선행연구를 토대로 제시해 보면 다음과 같다.

일반적으로 심리적 또는 생리적 그리고 환경적 등 다양한 스트레스가 인체에 가해졌을 때, 스트레스는 교감신경계와 시상하부-뇌하수체-부신 축(hypothalamic-pituitary-adrenal axis)을 활성화시켜 심박수 및 혈압을 유의하게 증가시킨다. 그러나 심리적 자극과 생리적 자극은 혈압 상승 기전이 다소 다르게 나타나는 것으로 알려져 있다. 교감신경 흥분성 스트레스 검사 중 stroop task, 대중연설, 암산 등과 같은 심리적 자극은 주로 ‘심근’에 영향을 미치는데, 이는 β1 아드레너직 수용기에 반응을 일으켜 심박수와 심박출량을 증가시키므로 혈압을 증가시키게 된다. 반면, 냉압박 검사와 같은 일시적인 생리적 자극은 ‘혈관’에 영향을 미친다. 생리적 자극은 교감신경계를 활성화시킴으로 인해 부신수질로부터 노르에피네프린 분비를 증가시키고, 이는 혈관의 α-아드레너직 수용체와 결합하여 말초저항을 증가시켜 혈압을 상승시킨다<sup>21)</sup>. 따라서 냉압박 검사 중 혈압 상승 완화는 운동 후 말초저항 감소가 주요 기전으로 작용할 것으로 생각한다. West 등<sup>22)</sup>은 일회 유산소운동 후 교감자극 동안 혈관 저항이 유의하게 감소되었다고 보고하였으며, 저항성 운동의 경우 고강도운동은 말초혈관 저항을 26% 정도 증가시키지만<sup>23)</sup>, 저-중강도의 저항성 운동은 말초혈관저항을 60%-40% 정도 감소시키는 것으로 보고되고 있다<sup>24)</sup>. 본 연구에서도 중강도로 수행되었으며, 저항성 운동의 심혈관 재반응 완화 효과는 말초혈관 저항의 감소가 주요 기전으로 작용할 것으로 생각한다.

두 번째로, 운동 후 혈압감소 효과를 고려해 볼 수 있다. 앞에서 살펴본 바와 같이 운동은 국소적인 혈관 저항을 감소시키며, 교감신경 자극에 대한 혈압 증가를 완화시킬 수 있다<sup>13)</sup>. Moreira 등<sup>20)</sup>의 연구에서는 운동 후 혈압감소 정도와 냉압박 검사 중 혈압 증가량이 유의한 상관관계가 나타났으며, 교감신경 자극에 대한 혈압 증가 완화 기전은 운동 후 혈압 감소

기전에 동일하게 작용되는 것으로 보고하였다. 일반적으로 운동 후 혈압은 수 분 이내에 감소되며, 10시간 이상까지도 지속되는 것으로 알려져 있다<sup>13,25</sup>. Moreira 등<sup>20</sup>의 연구에서는 복합운동 후 1시간에 냉압박 검사를 실시하였으며, 본 연구에서도 저항성 운동 후 30분에 냉압박 검사를 실시하였다. 비록 본 연구에서 저항성 운동 후 통계적으로 유의하지는 않았으나, 안정 시 수축기 혈압이 감소되는 양상을 보였으며 이러한 운동 후 혈압 감소의 지속 효과로 인해 냉압박 검사 중 혈압이 낮게 증가한 것으로 생각한다.

세 번째로, 운동에 의한 혈관이완기능 향상을 생각해 볼 수 있다. 일반적으로 운동은  $\beta_1$ 과  $\beta_2$  수용체 반응성을 증가시키는데, Brownley 등<sup>11</sup>의 연구에 따르면 운동 후  $\beta_2$ -매개 혈관이완기능이 향상되면서 교감신경 자극에 의한 혈압 증가가 줄어든 것으로 제시하고 있다. 유산소운동의 경우 대부분의 선행연구에서 혈관이완기능이 향상된다고 보고하고 있지만, 저항성 운동은 아직 명확한 효과가 증명되지 않았다. 특히 저항성 운동의 경우 강도에 따라 혈관이완기능이 다르게 나타나고 있지만, 저-중강도의 저항성 운동은 혈관이완 기능을 개선시키는 것으로 보고되고 있다<sup>15</sup>. 그 외 가능 기전으로  $\beta$ -endorphin 가설<sup>26</sup>, 국소적 대뇌 혈류 변화<sup>27</sup>, 자기효능감 및 정서 상태와 같은 심리-사회적 기전<sup>28</sup>이 제시되고 있지만 이를 증명하기 위해서는 추가적인 연구가 더 많이 필요할 것으로 생각한다.

본 연구는 다음과 같은 몇 가지 제한점을 갖고 있다. 첫 번째로 본 연구에서는 일회성운동이 시행되었다는 점이다. 그러나 일회성 운동의 효과가 반복되어 장기간 트레이닝의 효과가 나타나는 것이므로, 장기간 트레이닝과 유사한 기전으로 심혈관 반응성 보호 작용을 나타낼 것이다. 향후 심혈관 반응성에 있어 장기간 트레이닝 연구가 추가적으로 필요할 것으로 생각한다. 두 번째로 본 연구에서는 교감신경에 대한 혈압재반응을 장시간 관찰하지 않고 운동 후 30분에 냉압박 검사 중과 회복기 2분까지만 측정하였다는 점이다. 세 번째로 본 연구는 건강한 성인을 대상으로 하였으므로 고혈압 환자 또는 심혈관계 질환의 위험도가 높은 대상에게 나타나는 결과와 다를 수 있을 것이다. 추후 이러한 환자를 대상으로 추가적인 연구가 필요하겠다.

비록 본 연구는 위에서 제시한 몇 가지 제한점을 갖고 있지만 일회성 저항성 운동의 스트레스 자극에 대한 심혈관 반응성 완화 효과를 살펴본 첫 실험연구라는 점에서 그 연구적 가치가 있을 것으로 생각한다. 또한 본 연구 결과는 심혈관계 질환의 예방을 위한 저항성 운동의 효과로서 하나의 기전으로 제시될

수 있으며, 다양한 스트레스 상황과 더불어 겨울철 급작스런 추운 환경에 노출되어 발생하는 심혈관계 사건 예방을 위해, 가벼운 저항성 운동으로 심혈관 사건 발생을 예방할 수 있다는 근거자료를 제공해 줄 수 있을 것이다.

### Conflict of Interest

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

### References

1. Matthews KA, Katholi CR, McCreath H, et al. Blood pressure reactivity to psychological stress predicts hypertension in the CARDIA study. *Circulation* 2004;110:74-8.
2. Esler M. The sympathetic system and hypertension. *Am J Hypertens* 2000;13(6 Pt 2):99S-105S.
3. Manuck SB, Olsson G, Hjemdahl P, Rehnqvist N. Does cardiovascular reactivity to mental stress have prognostic value in postinfarction patients? A pilot study. *Psychosom Med* 1992;54:102-8.
4. 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.
5. Hines EA Jr, Brown GE. A standard stimulus for measuring vasomotor reactions: its application in the study of hypertension. *Mayo Clin Proc* 1932;7:332-35.
6. Flaa A, Eide IK, Kjeldsen SE, Rostrup M. Sympathoadrenal stress reactivity is a predictor of future blood pressure: an 18-year follow-up study. *Hypertension* 2008;52:336-41.
7. Kasagi F, Akahoshi M, Shimaoka K. Relation between cold pressor test and development of hypertension based on 28-year follow-up. *Hypertension* 1995;25:71-6.
8. Forcier K, Stroud LR, Papandonatos GD, et al. Links between physical fitness and cardiovascular reactivity and recovery to psychological stressors: a meta-analysis. *Health Psychol* 2006;25:723-39.
9. Dishman RK, Jackson EM, Nakamura Y. Influence of fitness and gender on blood pressure responses during active or passive stress. *Psychophysiology* 2002;39:568-76.
10. 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.
11. 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.
12. 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.
  13. Halliwill JR. Mechanisms and clinical implications of post-exercise hypotension in humans. *Exerc Sport Sci Rev* 2001; 29:65-70.
  14. DeVan AE, Anton MM, Cook JN, Neidre DB, Cortez-Cooper MY, Tanaka H. Acute effects of resistance exercise on arterial compliance. *J Appl Physiol* (1985) 2005;98:2287-91.
  15. Heffernan KS, Fahs CA, Iwamoto GA, et al. Resistance exercise training reduces central blood pressure and improves microvascular function in African American and white men. *Atherosclerosis* 2009;207:220-6.
  16. Jakovljevic DG, Hallsworth K, Zalewski P, et al. Resistance exercise improves autonomic regulation at rest and haemodynamic response to exercise in non-alcoholic fatty liver disease. *Clin Sci (Lond)* 2013;125:143-9.
  17. Haskell WL, Lee IM, Pate RR, et al. Physical activity and public health: updated recommendation for adults from the American College of Sports Medicine and the American Heart Association. *Circulation* 2007;116:1081-93.
  18. Casey DP, Braith RW, Pierce GL. Changes in central artery blood pressure and wave reflection during a cold pressor test in young adults. *Eur J Appl Physiol* 2008;103:539-43.
  19. Baechle TR, Earle RW; National Strength and Conditioning Association. *Essentials of strength training and conditioning*. 2nd ed. Champaign: Human Kinetics; 2000.
  20. Moreira SR, Lima RM, Silva KE, Simoes HG. Combined exercise circuit session acutely attenuates stress-induced blood pressure reactivity in healthy adults. *Braz J Phys Ther* 2014;18:38-46.
  21. 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.
  22. West SG, Brownley KA, Light KC. Postexercise vasodilatation reduces diastolic blood pressure responses to stress. *Ann Behav Med* 1998;20:77-83.
  23. Lentini AC, McKelvie RS, McCartney N, Tomlinson CW, MacDougall JD. Left ventricular response in healthy young men during heavy-intensity weight-lifting exercise. *J Appl Physiol* (1985) 1993;75:2703-10.
  24. Meyer K, Hajric R, Westbrook S, et al. Hemodynamic responses during leg press exercise in patients with chronic congestive heart failure. *Am J Cardiol* 1999;83:1537-43.
  25. Melo CM, Alencar Filho AC, Tinucci T, Mion D Jr, Forjaz CL. Postexercise hypotension induced by low-intensity resistance exercise in hypertensive women receiving captopril. *Blood Press Monit* 2006;11:183-9.
  26. McCubbin JA, Surwit RS, Williams RB Jr. Endogenous opiate peptides, stress reactivity, and risk for hypertension. *Hypertension* 1985;7:808-11.
  27. Williamson JW, McColl R, Mathews D. Changes in regional cerebral blood flow distribution during postexercise hypotension in humans. *J Appl Physiol* (1985) 2004;96:719-24.
  28. Biddle SJ. Emotion, mood and physical activity. In: Biddle SJ, Fox KR, Boutcher SH, editors. *Physical activity and psychological well-being*. 1st ed. London: Routledge; 2000. p. 63-87.