

# 노인 고혈압 환자에서 등척성 악력운동과 유산소 운동의 동맥경직도 및 혈관이완능 개선에 미치는 효과 비교

서울시립대학교 예술체육대학 스포츠과학과<sup>1</sup>, 고려대학교 간호대학 간호학과<sup>2</sup>, 연세대학교 원주의과대학 심장내과<sup>3</sup>

윤은선<sup>1</sup> · 추진아<sup>2</sup> · 김장영<sup>3</sup> · 제세영<sup>1</sup>

## Effects of Isometric Handgrip Exercise versus Aerobic Exercise on Arterial Stiffness and Brachial Artery Flow-Mediated Dilatation in Older Hypertensive Patients

Eun Sun Yoon<sup>1</sup>, Jina Choo<sup>2</sup>, Jang-Young Kim<sup>3</sup>, Sae Young Jae<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Sport Science, College of Arts and Physical Education, University of Seoul, Seoul,

<sup>2</sup>Department of Community Health Nursing, College of Nursing, Korea University, Seoul,

<sup>3</sup>Department of Internal Medicine, Yonsei University Wonju College of Medicine, Wonju, Korea

**Purpose:** Isometric handgrip exercise (IHE) is an easy and accessible form of exercise that has beneficial effects on blood pressure (BP). However, it remains unclear whether IHE is similar benefits on arterial stiffness and endothelial function compared with aerobic exercise (AE) in elderly hypertensive patients. The aim of this study was to compare the effects of IHE versus AE on arterial stiffness and endothelial function in elderly hypertensive patients.

**Methods:** We conducted a randomized controlled trial with a three-arm design. Fifty-four elderly hypertensive patients (15 men; mean age, 69±6 years; systolic blood pressure, 131.2±14.7; diastolic blood pressure, 80.2±7.9 mm Hg) were randomized to IHE training (n=18), AE training (n=21), or non-exercise control group (n=21) for 12 weeks. Bilateral IHE training was performed four times of 2 minutes at 30% of maximal voluntary contraction with three times per week. AE training was performed brisk walking for 30 minutes at moderate intensity with three times per week. Carotid-femoral pulse wave velocity (PWV), augmentation index heart rate corrected (Alx@75 bpm) and brachial artery flow-mediated vasodilation (FMD) as indices of arterial stiffness and endothelial function were measured at baseline and after the intervention.

**Results:** Following 12-week intervention, resting BP was significantly decreased in both IHE (p=0.001) and AE groups (p=0.002). Alx@75 bpm and FMD were unchanged in the all groups. However, PWV was significantly decreased in both IHE and AE groups (IHE, 10.9±2.3 to 9.9±2.1 m/s [p<0.001]; AE, 10.5±2.0 to 9.4±1.6 m/s [p=0.001]), without any change in the control group.

**Conclusion:** These findings suggest that both IHE and AE trainings were comparable effect in improving arterial stiffness in elderly hypertensive patients.

**Keywords:** Aged, Hypertension, Isometric contraction, Vascular stiffness, Vasodilation

Received: August 13, 2019 Revised: September 16, 2019 Accepted: September 19, 2019

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

\*This work was supported by the Ministry of Education of the Republic of Korea and the National Research Foundation of Korea (NRF-2016 S1A 5A2A 03928101).

Copyright ©2019 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

우리나라 노인의 만성질환 유병률은 약 90% 정도에 달하며, 그중 고혈압 유병률이 가장 높은 것으로 조사되고 있다<sup>1</sup>. 고혈압의 일·이차적 치료 및 예방을 위한 전략으로 비약물적 요법인 생활습관 교정(금연, 체중감소, 운동, 건강한 식습관, 나트륨 섭취 감소)이 우선적으로 권장되며 그중 운동은 혈압 관리에 있어 중요한 생활습관 요인으로 잘 알려져 있다<sup>2</sup>. 고혈압 관리를 위한 운동요법으로 중등도 강도의 유산소 운동을 하루에 최소 30분 이상 수행할 것을 권장하고 있으나<sup>3</sup>, 걷기 형태의 유산소 운동은 하지 관절에 문제가 있는 노인들에게는 적합하지 않으며, 특히 최근 미세먼지와 같은 환경 대기오염으로 인해 노인들의 야외 신체활동 참여가 제한되고 있다. 이에 노인 고혈압 환자들이 신체기능과 환경의 제약 없이 실시할 수 있는 효과적인 혈압강하 운동 프로그램이 요구되고 있는 실정이다. 한편 최근 서구에서는 등척성 운동의 혈압강하에 대한 증거가 제시되고 있다. 등척성 운동은 운동 시간이 비교적 짧으며 특별한 운동기술이 요구되지 않고, 시간과 장소 제약 없이 실시할 수 있으며, 관절의 변화 없이 근수축이 발생하기 때문에 부상의 위험도 적다는 장점을 가지고 있다<sup>4</sup>. 그동안 등척성 운동은 운동 중 과도한 혈압 상승에 대한 위험성으로 고혈압 환자에게 권장되지 않았으나, 등척성 운동과 혈압감소에 관한 메타분석 결과에 따르면 수축기 혈압약 -6.77 mm Hg, 이완기 혈압약 -3.96 mm Hg 정도의 감소 효과를 보였으며 이는 유산소 및 동적 저항성 운동보다 더 효과적인 것으로 나타났다<sup>5,6</sup>. 이러한 연구 결과에 따라 최근 미국심장학회에서 비약물적 고혈압 관리 지침으로 유산소 운동 및 저항성 운동과 더불어 등척성 악력 운동을 추가 제시하였다<sup>7</sup>. 그러나 등척성 악력 운동의 혈압 감소에 대한 기전은 아직 명확하지 않다. 일부 연구에서 관련 기전으로 자율신경계 개선, 혈관 내피세포 이완능 향상 및 자율신경계 기능 개선, 말초혈관 저항 감소 등을 제시하고 있지만 이에 대한 연구는 부족한 실정이다<sup>4</sup>. 특히 동맥경직도와 혈관내피세포 이완능은 혈관 기능의 지표로서 심혈관계 질환과 밀접한 관련을 가지며<sup>8,9</sup>, 노화 및 고혈압은 동맥경직도를 증가시키고 혈관 내피세포 이완능을 감소시키는 것으로 알려져 있다<sup>10</sup>. 이에 등척성 악력 운동의 혈관 기능 효과를 규명하는 것은 혈압 강하 기전과 더불어 고혈압 환자들의 심혈관계 건강 개선 효과를 제시하는 데 중요하다고 생각된다. 따라서 본 연구에서는 노인 고혈압자를 대상으로 고혈압 관리에 권장되는 유산소 운동과 비교하여 등척성 악력 운동의 혈압감소, 동맥경직도 감소 및 혈관내피세포 이완능 개선 효과를 알아보고자 하였다. 또한 본 연구는 임상 연구에서 가장 신뢰할 수 있으며 과학적

근거를 밝힐 수 있는 무작위 대조 시험 연구(randomized controlled trial)를 통해 등척성 악력 운동의 심혈관계 건강 효과를 밝히고자 하였다.

## 연구 방법

### 1. 실험 설계

본 연구는 노인 고혈압 환자를 대상으로 12주간의 등척성 악력 운동과 유산소 운동의 혈압 감소 효과 및 혈관 기능 개선에 미치는 효과를 비교하기 위해 무작위 대조 시험 연구설계로 진행되었으며, 질병관리본부 임상연구정보서비스에 등록되었다(KCT0003957). 모든 절차는 서울시립대학교 생명윤리위원회의 심의를 받았으며(IRB No. 2017-002), 관할 보건소, 복지센터 및 교내 게시판에 피험자 모집 안내 홍보를 통해 총 109명을 모집하였다. 연구 참여 전 모든 피험자에게 연구내용에 대해 충분히 설명한 후 자발적으로 참여를 희망하는 참여 동의서를 작성한 후 연구에 참여하도록 하였다. 그중 피험자 선정기준 부적격, 의학적 문제, 흥미 부족 및 연락 두절 등의 사유로 총 49명이 탈락하였고, 최종적으로 60명의 피험자를 대상으로 블록 무작위 방법(block randomization)을 이용하여 등척성 악력 운동군(18명), 유산소 운동군(20명), 통제군(21명)에 각각 무선 배정하였다. 운동군은 12주간 주 3회 센터에 방문하여 운동 프로그램에 참여하였으며, 통제군은 동일 기간 동안 평소 생활습관을 유지하도록 하였다. 본 연구의 전체적인 실험 절차는 Fig. 1에 제시하였다.

### 2. 연구 대상

본 연구 대상자는 60세 이상 고혈압 환자 남녀로 하였으며, 고혈압 기준은 실험실에서 10분 이상 앉은 자세로 휴식을 취한 뒤 3분 간격으로 자동혈압계로 2회 측정된 평균 혈압이 수축기 140 mm Hg 이상 또는 이완기 90 mm Hg 이상이거나, 고혈압 진단을 받고 현재 약물치료를 받고 있는 자로 하였다. 기초의학실 문지 및 심전도를 통해 고혈압 합병증, 심장질환, 염증성 질환, 폐질환, 근골격계 질환이 있는 자, 현재 약물치료를 받고 있음에도 혈압 조절이 불가능한 자, 운동 프로그램에 참여하는데 의학적, 신체적 장애가 있는 자는 제외하였다. 최종적으로 모집된 60명 중 12주간의 프로그램 기간 동안 등척성 악력 운동 그룹에서 1명, 유산소 운동 그룹에서 2명, 통제군에서 3명의 피험자가 탈락하여 최종적으로 총 54명(남자 15명, 69±6세, 평균 혈압 131.2±14.7/80.2±7.9 mm Hg)의 자료를 분석하였다. 본 연구 대상자의 특성은 Table 1에 제시하였다.

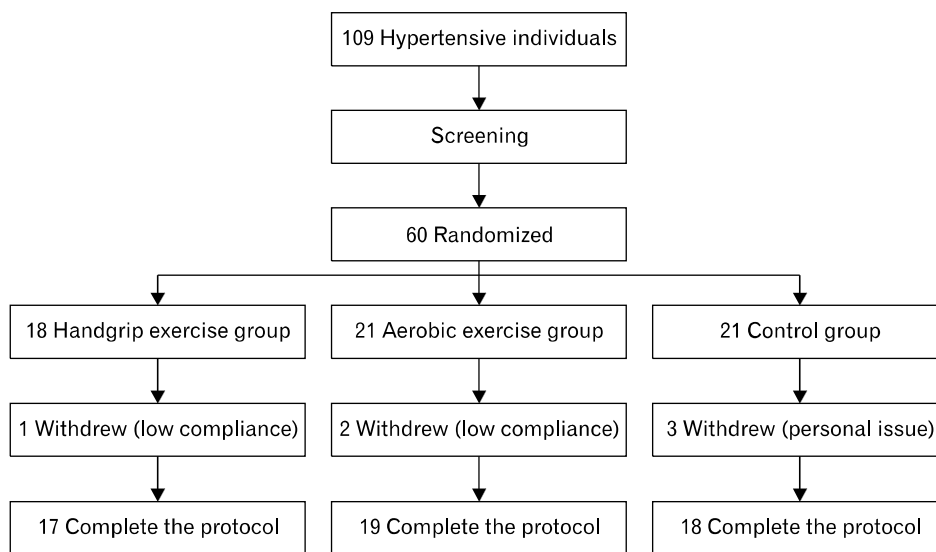


Fig. 1. Experimental design.

Table 1. Physical characteristics of the subjects (N=54)

Variable	IHE (n=17)	AE (n=19)	CON (n=18)	p-value
Age (yr)	67±5	70±6	70±6	0.280
Sex (male:female)	5:12	6:13	4:14	0.633
Weight (kg)	67.3±9.1	64.1±9.5	65.2±9.4	0.592
BMI (kg/m <sup>2</sup> )	26.3±3.1	26.0±3.7	26.7±4.6	0.920
SBP (mm Hg)	133.3±14.5	131.7±14.3	128.7±15.9	0.652
DBP (mm Hg)	84.9±7.6	78.6±6.1*	77.4±8.2*	0.009
HR (bpm)	69.0±10.4	67.8±11.3	67.6±8.5	0.902
Alx (%)	33.7±7.6	35.4±9.1	38.0±7.6	0.293
Alx@75 bpm	27.4±5.9	27.6±7.9	29.8±7.0	0.509
PWV (m/s)	10.9±2.3	10.5±2.0	10.2±1.5	0.622
FMD (%)	7.6±4.0	7.2±4.8	5.8±2.6	0.382
Antihypertensive medication classification				0.688
ARB	5	1	2	
CCB	2	6	5	
ARB+CCB	5	7	8	
β-blocker+CCB	2	0	0	
ARB+diuretic	1	0	0	
β-blocker+CCB+diuretic	0	1	0	
β-blocker+ARB+diuretic	0	1	0	
α1-blocker+CCB+ARB	0	1	0	
ARB+CCB+diuretic	0	1	0	
CCB+β-blocker+ARB	0	0	1	
Unmedicated	2	1	2	

Values are presented as mean±standard deviation. Continuous variables were compared with one-way analysis of variance. Categorical variable was compared with chi-square test.

IHE: isometric handgrip exercise group, AE: aerobic exercise group, CON: control group, BMI: body mass index, SBP: systolic blood pressure, DBP: diastolic blood pressure, HR: heart rate, Alx: augmentation index, Alx@75 bpm: Alx standardized to 75 beats per minute, PWV: pulse wave velocity, FMD: flow-mediated vasodilation, ARB: angiotensin II receptor blocker, CCB: calcium channel blocker.

\*Least significant difference post-hoc analysis  $p < 0.05$  vs. IHE group.

### 3. 운동 프로그램 및 통제 처치

본 연구의 운동 프로그램은 12주간 주 3회 진행되었으며, 등척성 악력 운동은 악력 운동 도구(Zona Plus, Boise, ID, USA)를 이용하였다. 운동 프로토콜은 유의한 혈압 감소 효과를 보고한 선행연구를 참고로 하여 설정하였다<sup>11-13</sup>. 매 운동 시 악력 운동 도구를 이용하여 좌우 최대 수의적 근력 검사를 하고, 최대 근력의 30% 운동 강도로 2분간 등척성 수축 후, 1분간 휴식을 취하였다(Fig. 2). 이를 좌우 번갈아 2회씩, 총 4회 실시하였다. 최대 악력 검사 및 운동 절차는 운동 도구 내 프로그래밍 되어있으며, 시각적으로 운동강도를 확인하면서 수행하였다. 운동 중 과도한 혈압 상승을 예방하기 위해 발살바 매뉴바(Valsalva maneuver) 호흡을 사용하지 않도록 하였다. 유산소 운동은 미국심장학회 및 미국스포츠의학회에서 혈압 관리를 위해 하고 있는 운동 가이드라인을 참고하여<sup>14</sup>, 실내 자전거 및 트레드밀 걷기 운동을 여유 심박수의 40%~60% 강도로 30분간 실시하였다. 운동 강도는 심박수 측정의 정확도가 검증된 무선심박수 측정기(Fitbit charge HR2; Fitbit Inc., San Francisco, CA, USA)를 이용하여 확인하였다<sup>15</sup>. 통제군은 평소 생활습관을 유지하도록 하도록 하였으며, 모든 연구참여자는 연구 기간 동안 각자 복용하는 약물을 변경하지 않도록 하였다.

### 4. 측정 항목

본 연구의 모든 종속 변인은 프로그램 전과 후에 동일한 검사자에 의해 동일한 방법으로 측정되었으며, 사후 검사는 일시적 운동에 대한 영향을 배제하기 위해 마지막 운동 48시간 후에서 120시간 사이에 실시하였다. 음식물의 영향을 배제하기 위해 검사 12시간 전 알코올 및 카페인 섭취를 금하였고, 6시간 전에는 음식물 섭취를 금하였다. 신장과 체중은 가벼운 복장을 한 상태에서 신장계와 체성분 분석기(Inbody, Biospace, Seoul, Korea)를 이용하여 측정하였으며, 체질량지수는 체중(kg)을 신장(m)의 제곱으로 나누어 산출하였다. 혈압은 10분간 앉은 자세로 충분히 휴식을 취한 뒤 좌측 상완에서 자동혈압계(WatchBP Home 3MX1-1; Microlife, Taipei, Taiwan)로 측정하였으며, 3분 간격으로 총 2회 측정하여 평균값을 구하였다. 1차와 2차 측정 간 오차가 10 mm Hg 이상일 경우 1회 추가 측정하여 낮은 두 값의 평균

값을 자료로 하였다. 동맥경직도는 누운 자세로 10분 이상 휴식을 취한 뒤 대동맥 파형증가지수(augmentation index [Aix])와 경동맥-대퇴동맥 맥파전파속도(carotid-femoral pulse wave velocity [cf-PWV]) (SphygmoCor System, AtCor Medical, Sydney, Australia)를 이용하여 측정하였으며, 측정 방법 Clinical application of arterial stiffness, Task Force III의 지침을 따랐다<sup>16</sup>. 대동맥 파형증가지수는 탐촉자(Millar Instruments, Houston, TX, USA)를 이용하여 우측 요골동맥의 맥파 모형을 약 12초간 측정된 뒤, 측정 장비 내 자동 분석 소프트웨어에 의해 유효성이 입증된 변환 함수를 이용하여 구하였다. 대동맥 파형 증가지수는 심박수에 영향을 받기 때문에 심박수 75박에서 보정된 값(AIx@75 bpm)을 구하였으며, 측정의 정확도를 위해 quality index가 80% 이상인 값 중에, 측정 오차가 5% 이내 두 값의 평균값을 자료로 하였다. cf-PWV는 경동맥과 대퇴동맥 사이의 거리를 두 동맥 사이에 맥파가 전이되는 시간 간격으로 나누어 속도를 구하는 것으로 두 동맥 간의 거리는 줄자를 이용하여 측정하였다. 우측 경동맥과 우측 대퇴동맥까지의 거리에서 우측 경동맥으로부터 흉골상절흔까지의 거리를 제외한 값을 거리로 하였고, 두 맥파가 전이되는 시간 간격은 “foot-to-foot” 방법으로 측정 장비에 저장된 소프트웨어에 의해 맥파전파속도를 자동 측정하였다. 측정 오차가 0.5 m/s 이내 두 값의 평균값을 자료로 하였다. 혈관내피세포기능은 상완동맥의 혈류 의존성 내피세포 이완능(flow-mediated vasodilation [FMD])으로 측정하였다. 우측 팔요금(antecubital fossa)의 3 cm 상방에서 고해상도 초음파(Acuson X300; Siemens, Washington, D.C., USA)의 11.4 MHz 종축 탐촉자(linear probe)를 이용하여 상완동맥 기저내경(baseline brachial artery diameter)을 측정하고, 전완에 혈압 커프의 압력을 250 mm Hg까지 올려 5분간 혈류를 차단하였다. 이후 압력을 풀고 2분간 상완동맥의 직경 변화를 관찰하여, 기저 상태의 혈관 내경과 과혈류 때 최고 이완된 혈관 내경(maximal brachial artery diameter)을 이용하여 혈관 내경 증가 비율(%)을 구하였으며, 혈관이완능은 자동분석 프로그램(FMD Studio; Quipu, Pisa, Italy)을 이용하여 분석하였다.

### 5. 자료 처리

측정된 모든 자료는 평균과 표준편차 및 인원수와 퍼센트



Fig. 2. Isometric handgrip exercise device and exercise protocol. MVC: maximum voluntary contraction.



비율로 표기하였다. 사전 세 집단 간 동질성을 확인하기 위해 연속변수는 one-way analysis of variance (ANOVA), 명목변수에 대해서는 교차분석을 실시하였다. 12주 프로그램에 대한 각 운동 효과를 분석하기 위해 집단별로 대응 t-검정을 실시하였으며, 12주 프로그램 후 종속 변인 변화에 대한 각 집단 간 비교는 사전과 사후의 차이값을 이용한 one-way ANOVA와 least significant difference (LSD) 사후 분석을 하였다. 사전값에서 각 집단 간 차이를 보인 지표에 대해서는 각 사전값을 공변량으로 하는 analysis of covariance (ANCOVA) 분석을 하였다. 운동 후 혈압 변화와 동맥경직도 및 혈관내피세포 기능과의 관련성을 알아보기 위해 나이와 사전 혈압을 보정한 다중회귀분석을 실시하였다. 모든 통계 처리는 IBM SPSS ver. 23.0 (IBM Corp., Armonk, NY, USA)을 이용하였으며, 유의수준( $\alpha$ )은  $\leq 0.05$ 에서 검정하였다.

## 결 과

총 60명의 피험자 중 연구 과정 동안 등척성 악력 운동군에서 1명, 유산소 운동군에서 2명, 통제군에서 3명의 피험자가 탈락하여 최종적으로 총 54명의 자료를 분석하였다. 운동 참여 전 세 집단 간 연령, 성별 비율, 체중 및 약물 종류는 유사하였다. 이완기 혈압을 제외한 모든 자료는 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았으며( $p > 0.05$ ), 사전 이완기 혈압은 등척성 운동군이 유산소 운동과 통제군에 비해 높았다. 12주간의 트레이닝 후, 세 집단 모두 체중은 유의한 변화를 보이지 않았다. 안정 시 수축기 혈압은 등척성 악력 운동과 유산소 운동 모두 통계적으로 유의하게 감소하였으며( $p < 0.05$ ), 운동 후 수축기 혈압은 등척성 악력 운동과 유산소 운동은 각각  $8.9 \pm 8.9$  mm Hg,  $9.1 \pm 11.1$  mm Hg 정도 감소하였으며, 두 운동 집단 간 유사한 감소 효과를 보였다. 이완기 혈압은 등척성 악력 운동과 유산소 운동 모두 통계적으로 유의하게 감소하였으며, 운동 후 이완기 혈압 감소 정도는 등척성 악력 운동과 유산소 운동은 각각  $5.6 \pm 5.2$  mm Hg,  $2.8 \pm 4.2$  mm Hg였다. 운동 참여 전 이완기 혈압이 유산소 운동과 통제군에 비해 등척성 악력 운동군에서 유의하게 높았으므로, 운동 후 변화에 대한 집단별 비교에 있어 사전값을 보정한 ANCOVA 분석하였다. 분석 결과, 이완기 혈압 감소 정도는 등척성 악력 운동과 유산소 운동군 간 유의한 차이가 없었으며, 등척성 악력 운동군은 통제군에 비해 더 많은 이완기 혈압 감소폭을 나타냈다( $p < 0.05$ ). 동맥경직도 지표 중 대동맥 증폭지수는 두 운동군과 통제군에서 모두 감소하였으나 통계적으로 유의한 변화를 보이지 않았다( $p > 0.05$ ). cf-PWV는 등척성 악력 운동 그룹( $-1.0 \pm 0.9$  m/s,  $p < 0.05$ )과

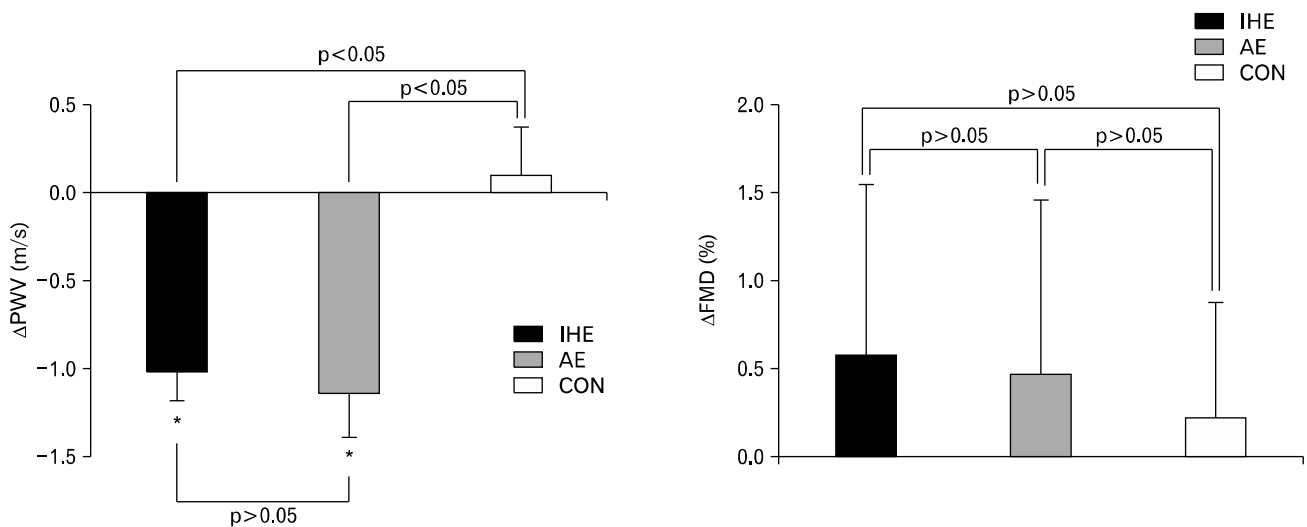
**Table 2.** Changes in anthropometrics, blood pressure, arterial stiffness and endothelial function from pre- to post-intervention

Variable	IHE (n=17)			AE (n=19)			CON (n=18)			p-value
	Pre	Post	$\Delta$	Pre	Post	$\Delta$	Pre	Post	$\Delta$	
Weight (kg)	67.3 $\pm$ 9.1	67.0 $\pm$ 9.2	-0.3 $\pm$ 1.4	64.1 $\pm$ 9.5	63.5 $\pm$ 9.5	-0.6 $\pm$ 1.3	65.2 $\pm$ 9.4	64.9 $\pm$ 9.1	-0.3 $\pm$ 1.1	0.798
BMI (kg/m <sup>2</sup> )	26.5 $\pm$ 3.1	26.0 $\pm$ 2.9	-0.5 $\pm$ 1.1	26.4 $\pm$ 3.7	26.0 $\pm$ 3.9	-0.2 $\pm$ 0.7	26.7 $\pm$ 4.6	26.6 $\pm$ 4.4	-0.0 $\pm$ 0.7	0.301
SBP (mm Hg)	133.3 $\pm$ 14.5	124.3 $\pm$ 9.8**	-8.9 $\pm$ 8.9 <sup>†</sup>	131.7 $\pm$ 14.3	122.7 $\pm$ 7.8*	-9.1 $\pm$ 11.1 <sup>†</sup>	128.7 $\pm$ 15.9	126.4 $\pm$ 16.1	-2.3 $\pm$ 7.6	0.054
DBP (mm Hg)	84.9 $\pm$ 7.6	79.3 $\pm$ 6.2**	-5.6 $\pm$ 5.2 <sup>†</sup>	78.6 $\pm$ 6.1	75.8 $\pm$ 4.4*	-2.8 $\pm$ 4.2	77.4 $\pm$ 8.2	77.4 $\pm$ 11.4	-0.1 $\pm$ 9.1	0.087
HR (bpm)	69.0 $\pm$ 10.4	67.6 $\pm$ 11.2	-1.5 $\pm$ 5.1	67.8 $\pm$ 11.6	65.4 $\pm$ 8.3	-2.4 $\pm$ 7.6	67.6 $\pm$ 8.5	67.1 $\pm$ 9.6	-0.5 $\pm$ 10.2	0.789
Alx (%)	33.7 $\pm$ 7.6	33.2 $\pm$ 8.6	-0.5 $\pm$ 5.3	35.4 $\pm$ 9.1	34.1 $\pm$ 9.8	-1.3 $\pm$ 5.1	38.0 $\pm$ 7.6	36.1 $\pm$ 5.5	-1.9 $\pm$ 6.2	0.745
Alx@75 bpm (%)	27.4 $\pm$ 5.9	26.5 $\pm$ 5.4	-0.9 $\pm$ 4.7	27.6 $\pm$ 7.9	25.3 $\pm$ 9.0	-2.2 $\pm$ 5.0	29.8 $\pm$ 7.0	28.9 $\pm$ 4.8	-0.9 $\pm$ 5.1	0.640
PWV (m/s)	10.9 $\pm$ 2.3	9.9 $\pm$ 2.1**	-1.0 $\pm$ 0.9 <sup>†</sup>	10.5 $\pm$ 2.0	9.4 $\pm$ 1.6**	-1.1 $\pm$ 1.2 <sup>†</sup>	10.2 $\pm$ 1.5	10.3 $\pm$ 1.4	0.1 $\pm$ 1.2	0.003
FMD (%)	7.6 $\pm$ 4.0	8.2 $\pm$ 3.8	0.6 $\pm$ 4.1	7.2 $\pm$ 4.8	7.7 $\pm$ 5.1	0.5 $\pm$ 4.4	5.8 $\pm$ 2.6	6.1 $\pm$ 2.2	0.2 $\pm$ 2.8	0.962

Values are presented as mean $\pm$ standard deviation.

IHE: isometric handgrip exercise group, AE: aerobic exercise group, CON: control,  $\Delta$ : the difference between post and pre each data, BMI: body mass index, SBP: systolic blood pressure, DBP: diastolic blood pressure, HR: heart rate, Alx: augmentation index, Alx@75 bpm: Alx standardized to 75 beats per minute, PWV: pulse wave velocity, FMD: flow-mediated vasodilation.

p-values for between-group changes were compared with one-way analysis of variance, \* $p \leq 0.01$  vs. pre, \*\* $p \leq 0.001$  vs. pre, <sup>†</sup> $p < 0.05$  vs.  $\Delta$  control group.



**Fig. 3.** Changes in pulse wave velocity (PWV) and flow-mediated dilation (FMD) from pre- to post-intervention. Values are presented as mean±standard error. Δ: the difference between post and pre each data, IHE: isometric handgrip exercise group, AE: aerobic exercise group, CON: control. \*Significantly different from pre-intervention ( $p < 0.05$ ).

**Table 3.** Correlation between change systolic and diastolic blood pressure and vascular function in after intervention

Variable	IHE				AE			
	ΔSBP		ΔDBP		ΔSBP		ΔDBP	
	β	p-value	β	p-value	β	p-value	β	p-value
ΔAlx@75 bpm	0.399	0.044	0.507	0.019	-0.174	0.278	-0.041	0.847
ΔPWV	-0.128	0.539	0.162	0.469	0.070	0.651	0.197	0.329
ΔFMD	0.181	0.384	0.502	0.805	0.066	0.653	-0.512	0.296

Adjusted for age and baseline blood pressure.

IHE: isometric handgrip exercise group, AE: aerobic exercise group, Δ: the difference between post and pre each data, SBP: systolic blood pressure, DBP: diastolic blood pressure, Alx: augmentation index, Alx@75 bpm: Alx standardized to 75 beats per minute, PWV: pulse wave velocity, FMD: flow-mediated vasodilation.

유산소 운동 그룹(-1.1±1.2 m/s,  $p < 0.05$ ) 모두 운동 후 유의하게 감소하였으며, 운동 후 감소 정도는 두 운동 집단 간 유의한 차이를 보이지 않았다(Table 2, Fig. 3). 혈관 내피세포 기능은 등척성 악력 운동 및 유산소 운동 그룹에서 증가하는 경향을 보였으나 통계적으로 유의하지는 않았다(Table 2, Fig. 3). 운동 후 혈압과 동맥경직도 및 혈관내피세포 기능 변화와의 관련성 분석을 위해 나이와 각 사전 혈압값을 보정한 회귀분석 결과, 유산소 운동군은 운동 후 혈압감소와 동맥경직도 및 혈관내피세포 기능과의 관련성이 나타나지 않았다. 반면 등척성 악력 운동군에서는 운동 후 수축기 혈압과 이완기 혈압 감소 모두 대동맥 증폭지수와 유의한 관련성이 나타났다(수축기혈압  $\beta = 0.399$ ,  $p = 0.044$ ; 이완기 혈압  $\beta = 0.507$ ,  $p = 0.019$ ) (Table 3).

## 고 찰

본 연구는 노인 고혈압자를 대상으로 유산소 운동과 비교하여 등척성 악력 운동의 혈압 감소 및 동맥경직도와 내피세포 이완능에 미치는 효과를 알아보고자 하였다. 연구 결과, 등척성 악력 운동과 유산소 운동 모두 수축기와 이완기 혈압, cfPWV를 유의하게 감소시켰으며 두 운동 그룹 간 혈압 및 동맥경직도 감소 효과는 유사하였다. 혈관 내피세포 이완능은 등척성 악력 운동과 유산소 운동 후 모두 증가하는 경향을 보였으나 통계적으로 유의한 변화는 없었다. 본 연구에서 등척성 운동 후 혈압 감소효과는 Carlson 등의 메타분석에서 제시한 수축기 혈압 6.77 mm Hg보다 약 2.3 mm Hg 정도 더 컸으며, 이완기 혈압은 유사한 수준이었다. 수축기 혈압 감소 효과가 메타분석 결과보다 더 크게 나타난 이유는 아마도 모든 운동프로그램을 지도자의 감독하에 실시하였

기 때문에 운동의 정확도 및 운동 순응도가 높은 결과가 예상된다. 본 연구와 유사한 운동 프로토콜에서 운동강도를 peak electromyographic activity (% EMG peak) 또는 peak heart rate (% HR peak)로 설정하였을 때보다 %MVC운동강도에서 2배 정도 높은 혈압감소 효과가 나타났으며<sup>17</sup>, 등척성 악력 운동의 가정 운동과 지도자 중심의 운동 방법을 비교한 연구에서 가정 운동 집단에서는 혈압 감소효과가 나타나지 않은 반면, 지도자 감독 하에 실시한 연구에는 유의한 혈압감소 효과를 보였다<sup>18</sup>. 따라서 정확한 운동강도를 모니터링하는 것이 높은 운동효과를 위해 중요하다 할 수 있으나 등척성 악력 운동의 장점으로 장소 편이성을 고려할 때 향후 가정 운동의 효과성을 향상시킬 수 있는 전략에 대한 연구가 필요할 것으로 생각한다.

등척성 악력 운동의 혈압 강하 효과는 최근 여러 연구에서 보고된 반면, 이러한 효과 기전에 관한 연구는 부족하다. 내피세포 의존성 혈관이완기능의 개선과 말초혈관저항 감소가 등척성 악력 운동의 잠재적 혈압 감소 기전으로 제시되고 있으나<sup>12</sup>, 등척성 운동의 혈관 기능 개선 효과에 관한 연구는 아직 부족하며, 상반된 연구결과들이 보고되고 있는 실정이다. Badrov 등<sup>11</sup>의 연구에서는 20대 젊은 남녀를 대상으로 30% 운동강도로 8주간 주 3회 등척성 악력 운동을 실시한 결과 혈압이 감소하고 혈관이완능이 개선된 반면, 동일 연구자의 다른 연구에서는 등척성 악력 운동 후 혈관 기능에 개선 효과가 나타나지 않았다<sup>19</sup>. McGowan 등<sup>20</sup>의 연구에서도 젊은 성인을 대상으로 8주간 등척성 운동 실시 후 수축기 혈압은 감소한 반면 상완동맥 내피세포 의존성 혈관이완능에는 유의한 변화가 없었으며, 반면 동일 연구자의 약물치료를 받고 있는 고혈압 환자를 대상으로 한 연구<sup>21</sup>에서는 혈관이완능이 증가한다고 보고함에 따라 아직 등척성 운동이 혈관 기능의 개선에 미치는 효과는 명확하게 밝혀져 있지 않은 상태이다.

운동 중 shear stress의 증가는 혈관내피세포의 혈관이완물질인 산화질소 분비 및 생체이용능력을 증가시킴으로 혈관내피세포 기능을 향상시키며, 이는 말초혈관저항 감소와 더불어 혈압감소 기전으로 잘 알려져 있다<sup>22</sup>. 등척성 운동의 혈압 감소 기전에 관한 연구에서 등척성 운동 시 shear stress는 운동 전에 비해 약 3-4배 이상 증가하고 운동 후에도 1분간 4-5배 증가한다고 제시하였으며<sup>23</sup>, 본 연구에서도 등척성 악력 운동 중 측정된 자료에 따르면 심박수와 수축기 혈압이 유의하게 증가하였음에도 불구하고, 가설과 달리 12주간의 운동 후 혈관내피세포 기능에는 유의한 변화가 없었다. 선행연구와 본 연구의 결과에 따르면 고혈압환자의 등척성 운동 및 유산소 운동의 혈압 감소 기전으로 내피세포 기능 외 다른 요인들이 복합적으로 작용할 것으로 여겨지며, 등척성 운동 후 혈관 기능에 관한 추가적인 연구가 필요할

것으로 생각된다. 또한 고혈압 환자는 동맥경직도의 증가와 baroreflex 민감도의 감소로 인해 운동 시 동맥벽에 가해지는 스트레스가 정상혈압자가 비해 높을 수 있으며<sup>24</sup>, 내피세포의 평활근 함량이 많아짐에 따라 혈관 탄성도가 감소하여 혈관의 운동 적응 현상을 가져오는데 역치가 더 높을 수 있으므로<sup>25</sup>, 혈관 기능 효과 관찰을 위해 더 장기적 연구가 필요할 것으로 생각한다.

본 연구의 주요 결과는 등척성 운동 후 동맥경직도 지표 중 중심동맥경직도 지표인 경동맥 대퇴동맥 맥파전파속도가 약 1 m/s 정도 유의하게 감소하였으며, 등척성 운동과 유산소 운동의 감소효과가 유사하였다는 것이다. 이러한 결과는 Cahu Rodrigues 등<sup>26</sup>의 연구에서 유사하게 나타났다. 그의 연구에서도 평균연령 61±2세 노인 고혈압자를 대상으로 12주간 등척성 악력 운동을 시행한 결과 중심동맥경직도가 약 1.1 m/s 감소하였으나, 혈관 기능지표는 유의한 변화를 보이지 않았다. 아직 등척성 악력운동의 동맥경직도 감소에 대한 연구는 부족하지만, 고혈압 환자와 운동에 대한 메타 분석에 따르면 전체적으로 유산소 운동은 동맥경직도 감소 효과가 없는 것으로 나타난 반면, sub 분석에서 운동 후 혈압 감소가 많거나 운동 기간이 12주 이상 장기간 일 경우, 초기 동맥경직도가 8 m/s 이상일 경우 동맥경직도 감소 효과가 있음을 제시하였다<sup>27</sup>. 본 연구와 Cahu Rodrigues 등<sup>26</sup>의 연구 모두 피험자의 초기 동맥경직도는 각각 10.5 m/s, 9.1 m/s로 높은 수준이었으며, 12주 이상의 운동기간과 운동 후 유의한 혈압 감소가 있었다. 또한 본 연구의 회귀분석에서 등척성 악력운동 후 혈압감소는 동맥경직도 감소와 유의한 관련성을 보임에 따라 운동 후 동맥경직도와 혈압 감소는 서로 중요한 영향을 미치는 것으로 생각된다.

본 연구는 다음과 같은 몇 가지 제한점이 있다. 첫째, 본 연구 피험자들은 대부분 혈압강하제를 복용하고 있었으며, 이들 약물 중 일부는 내피세포 기능(ACE 억제제, 칼슘 채널 차단제)에 영향을 미치는 것으로 알려져 있다<sup>28,29</sup>. 따라서 약제로 인해 운동의 혈관 기능 효과가 상쇄되었을 수 있으나, 모든 피험자들은 연구 기간 동안 복용하고 있던 약물을 변경하지 않도록 하였다. 둘째, 본 연구는 운동 후 혈압 감소 및 동맥경직도와 내피세포 기능 개선에 대한 생물학적 기전을 설명할 수 없다. 셋째, 본 연구는 12주간의 등척성 운동 및 유산소 운동의 단독 효과만을 증명하였다. 장기적 운동 효과 및 등척성 악력운동과 유산소 운동의 복합 훈련에 대한 결과와 다를 수 있다. 이러한 몇 가지 연구적 제한점이 있지만 본 연구는 무작위 대조 시험 연구를 통해 등척성 악력 운동의 심혈관계 건강 효과를 밝히고자 한 국내 첫 연구라는 점에서 연구적 의의가 있을 것으로 생각한다.

결론적으로 본 연구에서 노인 고혈압자를 대상으로 12주간 등척성 악력운동을 실시한 결과 유의한 혈압 및 동맥경직도 감소 효과가 나타났으며 이는 유산소 운동과 유사한 수준이었다. 따라서 노인 고혈압 환자들의 혈압 관리 및 혈관 건강을 위한 대안적 운동 요법으로 등척성 악력 운동을 제시할 수 있을 것이다. 그러나 이에 관한 추가적인 기전적 연구가 뒷받침되어야 할 것으로 생각한다.

## Conflict of Interest

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

## ORCID

Eun Sun Yoon <https://orcid.org/0000-0001-9059-8808>  
Jina Choo <https://orcid.org/0000-0001-9271-3689>  
Jang-Young Kim <https://orcid.org/0000-0002-0813-7082>  
Sae Young Jae <https://orcid.org/0000-0003-0358-7866>

## References

1. Chung K. 2017 National survey of older Koreans: findings and implications. Sejong: Korea Institute for Health and Social Affairs; 2018.
2. Mancia G, Fagard R, Narkiewicz K, et al. 2013 ESH/ESC Guidelines for the management of arterial hypertension: the Task Force for the management of arterial hypertension of the European Society of Hypertension (ESH) and of the European Society of Cardiology (ESC). *J Hypertens* 2013;31:1281-357.
3. Pescatello LS, Franklin BA, Fagard R, et al. American College of Sports Medicine position stand: exercise and hypertension. *Med Sci Sports Exerc* 2004;36:533-53.
4. Millar PJ, McGowan CL, Cornelissen VA, Araujo CG, Swaine IL. Evidence for the role of isometric exercise training in reducing blood pressure: potential mechanisms and future directions. *Sports Med* 2014;44:345-56.
5. Carlson DJ, Dieberg G, Hess NC, Millar PJ, Smart NA. Isometric exercise training for blood pressure management: a systematic review and meta-analysis. *Mayo Clin Proc* 2014;89:327-34.
6. Cornelissen VA, Smart NA. Exercise training for blood pressure: a systematic review and meta-analysis. *J Am Heart Assoc* 2013;2:e004473.
7. Whelton PK, Carey RM, Aronow WS, et al. 2017 ACC/AHA/AAPA/ABC/ACPM/AGS/APhA/ASH/ASPC/NMA/PCNA Guideline for the prevention, detection, evaluation, and management of high blood pressure in adults: executive summary. A report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on clinical practice guidelines. *Circulation* 2018;138:e426-83.
8. Inaba Y, Chen JA, Bergmann SR. Prediction of future cardiovascular outcomes by flow-mediated vasodilatation of brachial artery: a meta-analysis. *Int J Cardiovasc Imaging* 2010;26:631-40.
9. Anderson TJ. Arterial stiffness or endothelial dysfunction as a surrogate marker of vascular risk. *Can J Cardiol* 2006;22 Suppl B:72-80.
10. Sun Z. Aging, arterial stiffness, and hypertension. *Hypertension* 2015;65:252-6.
11. Badrov MB, Freeman SR, Zokvic MA, Millar PJ, McGowan CL. Isometric exercise training lowers resting blood pressure and improves local brachial artery flow-mediated dilation equally in men and women. *Eur J Appl Physiol* 2016;116:1289-96.
12. Millar PJ, Bray SR, McGowan CL, MacDonald MJ, McCartney N. Effects of isometric handgrip training among people medicated for hypertension: a multilevel analysis. *Blood Press Monit* 2007;12:307-14.
13. Ash GI, Taylor BA, Thompson PD, et al. The antihypertensive effects of aerobic versus isometric handgrip resistance exercise. *J Hypertens* 2017;35:291-9.
14. Pescatello LS, MacDonald HV, Lamberti L, Johnson BT. Exercise for hypertension: a prescription update integrating existing recommendations with emerging research. *Curr Hypertens Rep* 2015;17:87.
15. Wallen MP, Gomersall SR, Keating SE, Wisloff U, Coombes JS. Accuracy of heart rate watches: implications for weight management. *PLoS One* 2016;11:e0154420.
16. Van Bortel LM, Duprez D, Starmans-Kool MJ, et al. Clinical applications of arterial stiffness, Task Force III: recommendations for user procedures. *Am J Hypertens* 2002;15:445-52.
17. Wiley RL, Dunn CL, Cox RH, Hueppchen NA, Scott MS. Isometric exercise training lowers resting blood pressure. *Med Sci Sports Exerc* 1992;24:749-54.
18. Farah BQ, Rodrigues SL, Silva GO, et al. Supervised, but not home-based, isometric training improves brachial and central blood pressure in medicated hypertensive patients: a randomized controlled trial. *Front Physiol* 2018;9:961.



19. Badrov MB, Horton S, Millar PJ, McGowan CL. Cardiovascular stress reactivity tasks successfully predict the hypotensive response of isometric handgrip training in hypertensives. *Psychophysiology* 2013;50:407-14.
20. McGowan CL, Levy AS, McCartney N, MacDonald MJ. Isometric handgrip training does not improve flow-mediated dilation in subjects with normal blood pressure. *Clin Sci (Lond)* 2007;112:403-9.
21. McGowan CL, Visocchi A, Faulkner M, et al. Isometric handgrip training improves local flow-mediated dilation in medicated hypertensives. *Eur J Appl Physiol* 2007;99:227-34.
22. Green DJ, Cable NT, Fox C, Rankin JM, Taylor RR. Modification of forearm resistance vessels by exercise training in young men. *J Appl Physiol (1985)* 1994;77:1829-33.
23. McGowan CL, Levy AS, Millar PJ, et al. Acute vascular responses to isometric handgrip exercise and effects of training in persons medicated for hypertension. *Am J Physiol Heart Circ Physiol* 2006;291:H1797-802.
24. Dauphinot V, Kossovsky MP, Gueyffier F, et al. Impaired baroreflex sensitivity and the risks of new-onset ambulatory hypertension, in an elderly population-based study. *Int J Cardiol* 2013;168:4010-4.
25. Montero D, Roche E, Martinez-Rodriguez A. The impact of aerobic exercise training on arterial stiffness in pre- and hypertensive subjects: a systematic review and meta-analysis. *Int J Cardiol* 2014;173:361-8.
26. Cahu Rodrigues SL, Farah BQ, Silva G, et al. Vascular effects of isometric handgrip training in hypertensives. *Clin Exp Hypertens* 2019;1-7.
27. 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.
28. Lind L, Granstam SO, Millgard J. Endothelium-dependent vasodilation in hypertension: a review. *Blood Press* 2000;9: 4-15.
29. Spieker LE, Noll G, Ruschitzka FT, Maier W, Luscher TF. Working under pressure: the vascular endothelium in arterial hypertension. *J Hum Hypertens* 2000;14:617-30.