운동이 저근육형 비만 여성 고령자의 혈관내피기능 관련요인에 미치는 영향

계명대학교 체육대학 체육학전공

김 기 진

Effects of Exercise Training on Vascular Endothelial Function Related Factors of Obese Elderly Women with Sarcopenia

Kijin Kim

Department of Physical Education, Keimyung University, Daegu, Korea

Purpose: This study examined how 12-week regular exercise training affects changes in body composition and factors related to vascular endothelial function including blood nitric oxide (NO) in elderly women with sarcopenic obesity.

Methods: Subjects were divided into exercise group (n=15) and control group (n=15) for sarcopenic obese elderly women with 30% or more of body fat and less than 7.67 kg/m² of appendicular skeletal muscle mass (ASM)/height². Before and after 12 week exercise training, body composition, blood pressure, intima-media thickness of carotid artery, blood lipid profiles, NO, endothelial nitric oxide synthase (eNOS), inducible NOS (iNOS), malondialdehyde, cortisol concentrations were measured and compared.

Results: In the exercise group, after exercise training, body weight and body fat percentage decreased significantly ($p < 0.05$) and ASM/height² increased significantly ($p < 0.05$). Systolic blood pressure, intima-media thickness of left carotid artery and blood lipid levels decreased significantly ($p < 0.05$), and blood NO and eNOS increased significantly ($p < 0.05$). However, the control group was not significantly different between before and after exercise training. The amount of change in ASM/height² after exercise training showed a significant ($p < 0.05$) correlation with the change in blood NO concentration and intima-media thickness of left carotid artery.

Conclusion: Regular exercise training for 12 weeks helps to relieve sarcopenic obesity in the elderly, and positive changes in body composition with increased muscle mass can be drive to positive changes in factors related to vascular endothelial function with blood NO, eNOS and lipids. These effects of exercise training thought to help the improvement of blood pressure and intima-media thickness of carotid artery.

Keywords: Aging, Blood pressure, Exercise, Obesity, Sarcopenia

Received: April 28, 2020 Revised: May 31, 2020 Accepted: June 5, 2020

Correspondence: Kijin Kim

Department of Physical Education, Keimyung University, 1095 Dalgubeol-daero, Dalseo-gu, Daegu, 42601, Korea

Tel: +82-53-580-5256, Fax: +82-53-580-5314, E-mail: kjk744@kmu.ac.kr

*This work was supported by the Ministry of Education of the Republic of Korea and the National Research Foundation of Korea (NRF-2018S1A5A2A01039065).

Copyright ©2020 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

저근육형 비만(sarcopenic obesity)에 의한 혈관내피기능저하 현상은 혈압증가, 체지방증가 및 제지방감소 등을 함께 나타내며 좌업생활자와 고령자에서 보다 빈번하게 발생하는데, 기본적으로 산화질소(nitric oxide [NO])의 생물학적 활용능력저하와 증가된 반응산소종(reactive oxygen species [ROS])에 기인한다. 특히 혈액 및 혈관계의 지방산 산화의 부정적 변화, 산화스트레스 증가, Ca²⁺ 조절 이상 및 염증성 사이토카인 증가 등에 의해서 혈관내피기능이 저하될 가능성이 높다¹.

근육량과 혈관내피기능 향상성의 관련성을 살펴보면, 혈관이 완장애와 증가된 활성산소는 근육량 감소와 함께 나타나며, 비만 환자 혹은 비만 동물은 근육량 위축과 함께 혈관 합병증을 나타낼 가능성이 높은 것으로 지적되어 왔다². 특히 노화과정에서 저근육형 비만을 동반한 경우 체지방량과 혈압증가현상은 높은 관련성을 나타내며³, 비만과 당뇨병을 동반한 고령자의 산화스트레스 및 동맥경화현상은 근육량 감소와 높은 관련성을 나타냄으로서 저근육형 비만은 대사성질환 유발의 가장 대표적인 위험요인으로 간주되고 있다. 그러나 근육량이 적은 폐경 이후 비만여성은 오히려 높은 고밀도지단백 콜레스테롤(high-density lipoprotein-cholesterol [HDL-C]) 농도, 낮은 심혈관질환의 위험률을 나타내며, 동맥경화증과 저근육형 비만의 병리적 특성은 여전히 불분명하기 때문에 계속적인 분석이 요구된다고 하였다⁴. 또한 저근육형 비만을 동반한 고령자의 종단적 추적연구에서 근육량은 심혈관질환의 위험요인으로 영향을 미치지 않지만 근력감소는 중요한 위험요인으로 간주되는 등 그 관련 기전을 보다 분명하게 확인하기 위한 계속적인 분석이 요구된다.

비만개선을 위한 가장 효과적인 방법으로 활용되고 있는 운동트레이닝의 효과는 근육량 증가, 지방량 감소, 혈장 변인의 긍정적인 변화 등을 나타내며, 당뇨병 및 비만 환자의 glycated hemoglobin (HbA1C), 혈중 지질변인 및 심혈관기능 등의 개선에 도움을 준다⁶. 또한 운동트레이닝은 심부전환자를 비롯한 심혈관질환자의 심장기능회복에 가장 긍정적인 방법으로 간주되어 왔다⁷. 그러나 저근육형 비만의 고령자를 대상으로 혈관내피기능 향상성 유지의 중요한 요인으로 알려진 NO의 생물학적 활용성(bio-availability) 관련 세부적 요인에 대한 운동트레이닝의 효과는 여전히 분명하게 밝혀져 있지 않다. 노화과정의 대표적인 위험요인으로 간주되고 있는 심근증(cardiomyopathy)과 혈관내피기능저하⁸에 대한 운동트레이닝의 효과를 보다 분명하게 제시하는 것은 심혈관질환 위험요인의 완화를 위한 운동트레이닝의 활용가능성을 제시하기 위한 중요한 근거가 될 수 있다. 특히 Couto

등⁸은 혈관내피기능저하는 산화스트레스에 의한 NO의 생물학적 활용성 감소와 불가분의 관련성을 가진다는 관점에서 운동트레이닝을 통한 NO의 생물학적 활용성 향상은 노화와 비만과정에서 저하되는 혈관내피기능 회복을 위한 중요한 방법으로 제시하였다. 운동트레이닝의 혈관내피기능 회복효과는 동물실험에 의한 심장근과 골격근에 분포하는 동맥의 분석을 통해서 eNOS 활성화에 의한 NO의 생물학적 활용성 증가, eNOS 인산화 증가 등⁹이 제시되어 왔으나 실제 고령자를 대상으로 한 운동트레이닝의 효과를 분석하기 위한 시도는 계속적으로 요구되고 있다. 이에 본 연구는 저근육형 비만 여성 고령자를 대상으로 12주간의 규칙적인 운동트레이닝이 신체구성과 혈중 NO를 비롯한 혈관내피기능 관련요인의 변화에 어떤 영향을 미치는지 살펴보고자 하였다.

연구 방법

1. 연구 대상

연구대상자는 노인건강센터 여성회원 중 공고문을 통해서 자발적으로 참가를 동의한 65세 이상 고령자 중에서 저근육형 비만에 해당하는 30명을 선발하여, 무작위로 운동그룹과 비운동그룹으로 15명씩 구분하였다. 실험 전 참가자들에게 실험의 내용과 목적을 충분히 설명하고 참가동의서를 받은 후 연구를 수행하였으며, 본 연구계획은 계명대학교 생명윤리위원회의 승인을 받았다(40525-201909-BR-056-03). 저근육형 비만의 선발기준은 생체전기저항법(InBody 3.0; Biospace, Seoul, Korea)으로 측정하여 비만(허리/엉덩이 둘레비, waist hip ratio [WHR]; 여성기준 85 cm 이상, 체지방률 30% 이상)에 해당하며, 저근육 진단기준은 dual-energy X-ray absorptiometry (DEXA; Lunar Co., Madison, WI, USA)로 측정한 사지근육량(appendicular skeletal muscle mass [ASM])을 신장의 제곱으로 나누어서 산출된 ASM/height²에 의한 국내여성기준지표로 제시된 7.67 kg/m² 미만을 적용하였다¹⁰. 연구대상자의 신체적 특성은 Table 1과 같다.

2. 연구 방법

1) 운동프로그램

저근육형 비만을 개선하는데 초점을 맞추어 준비운동과 정리운동을 포함한 유연성스트레칭 10분, 탄성밴드를 이용한 저항운동 20분, 걷기를 중심으로 한 유산소운동 30분 등의 총 60분으로 구성하였다. 저항운동은 탄성밴드를 이용하였는데, 운동트레이닝 초기에는 모두 신장이 용이하고 수행 가능한 노란 색상의

Table 1. Physical characteristics of subjects

Group	Age (yr)	Height (cm)	Body weight (kg)	BMI (kg/m ²)	%Fat
Control	72.15±2.95	155.23±3.12	60.59±8.65	23.85±1.65	33.65±1.95
Exercise	72.35±1.86	155.35±2.95	61.02±9.54	23.92±1.95	33.72±1.86

Values are presented as mean±standard deviation.
BMI: body mass index.

밴드를 사용하고, 4주 후 개인의 운동능력에 따라 붉은 색상을 사용하였다. 또한 매주 개인의 운동 능력에 따라 밴드의 색상을 바꾸어 저항을 높임과 동시에 횟수를 증가시켜 운동 강도를 증가시켰다. 운동 강도의 조절 시 60% (15 RM)에 해당하는 색상의 밴드를 선택하도록 하여, 반복횟수 10회 및 3세트로 실시하였다. 하지운동(고관절의 내전/외전, 굴곡 및 신전, 슬관절의 굴곡 및 신전, 족관절의 굴곡 및 신전)과 상지운동(상완의 굴곡 및 신전, 견관절의 내전, 외전, 신전, 굴곡 및 회전)을 반복적으로 실시하는 근력운동을 실시하였다. 유산소운동은 걷기 및 조깅운동을 중심으로 카르보넨(Karvonen)의 공식[(최대심박수-안정시 심박수)×운동강도(60%)+안정시 심박수]를 적용하여 산출된 목표심박수에 따라 60% HRmax의 강도로 개인의 목표심박수에서 ±5회의 범위 내에 일정하게 유지하여 30분 동안 운동을 실시하였으며, 운동 중에는 주관적 인지강도(rating of perceived exertion)를 점검하여 12-13 수준을 유지하도록 하여 적절한 강도의 운동을 유지하였다.

2) 측정 항목 및 분석 방법

12주간의 처치 전, 후에 신체구성 검사를 실시하고, 2일간의 휴식기를 가진 후 안정 시 혈압측정과 혈액채취를 실시하였으며, 경동맥의 내중막 두께를 측정하였다.

(1) **신체 구성:** 기본적인 신체구성은 InBody 3.0 (Biospace)을 이용하여 체중을 측정하였으며, 신체질량지수(body mass index [BMI])는 체중(kg)/신장²(m)의 공식으로 산출하였다. 허리둘레는 늑골 12번 하단부와 장골능 상부의 중간부위에서 측정하였으며, 이에 의한 WHR을 산출하였다. 또한 DEXA를 이용하여 근육량을 비롯한 세부적인 신체구성을 측정하였다.

(2) **안정 시 혈압 및 경동맥 내중막 두께:** 혈압은 수은혈압계(HICO, Tokyo, Japan)를 이용하여 측정하였으며 대상자를 의자에 앉게 하고 최소한 5분간의 안정 후 상박을 심장과 같은 높이로 하여 2분 간격으로 2회 측정하여 측정치의 평균을 내고 2회의 평균치가 5 mm Hg 이상 차이를 나타내면 추가로 측정하여 3회치의 평균을 산출했다. 경동맥 내중막 두께(intima-media thickness)는 7.5 MHz linear probe (SONOS 2000; Hewlett-Packard, Palo

Alto, CA, USA)를 이용하여 실시간 B-mode 초음파로 초음파 방향이 혈관과 수직이 되게 한 후 경동맥 B-mode 초음파 영상상 후방벽인 원벽(far wall)에서 구경-내막사이의 반향적선(echogenic line)과 중막-외막사이의 간격으로 정의하였다. 측정 부위는 좌우 총경동맥, 경동맥 분지위치 및 내경동맥 각각의 원벽 6 부위로서, 외경동맥과 내경동맥의 분지점을 기준으로 근위부 8 mm를 경동맥 분지 분절, 분지점에서 원위부 8 mm까지를 내경동맥 분절, 분지분절에서 근위부 8 mm를 총경동맥 분절 등의 내막-중막 두께를 측정하여 평균치를 제시하였다. 경동맥 내중막 두께 측정은 재현도를 높이기 위하여 동일한 내과 전문의가 전, 후 간 측정 및 해석을 실시하였다.

(3) **혈액채취 및 혈중 변인 분석:** 안정시 혈액은 12시간의 금식 후 상완정맥을 통하여 10 mL 채취하였다. 채취한 혈액은 응고를 방지하기 위해 헤파린 처리한 후 3,000 rpm으로 10분간 원심분리 하여 혈장만을 분리한 후 분석 전까지 -70℃에서 냉동 보관하였다. 혈중 변인 분석은 총 콜레스테롤(total cholesterol [TC]), 중성지방(triglyceride [TG]), HDL-C, 저밀도지단백 콜레스테롤(low-density lipoprotein-cholesterol [LDL-C]) 등을 각각의 분석 kit (Shinyang, Seoul, Korea)를 이용하여 농도를 측정하였다. 혈관내피기능 관련 혈중 지표에 해당하는 eNOS, inducible NOS (iNOS), cortisol, malondialdehyde (MDA), c-peptide 등의 농도를 각각의 측정용 kit (Biosource, Nivelles, Belgium)를 사용하여 방사선면역측정법으로 측정하였다.

3) 자료 처리 방법

측정결과에 대한 통계처리는 SPSS 17.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA)을 이용하여 각 항목의 평균 및 표준편차를 산출하였으며, 그룹 및 시기 간 유의차 검정을 위하여 2원 변량반복분석법을 적용하였다. 그룹 및 시기의 유의한 상호작용이 나타날 경우 그룹별 시기 간 paired t-test와 시기별 그룹 간 t-test에 의한 사후검정을 실시하였고, 항목간 상관관계는 Pearson 상관계수를 산출하였다. 통계적 유의수준은 $\alpha=0.05$ 로 하였다.

결 과

1. 신체구성

신체구성의 변화는 Table 2에서 나타난 바와 같이, 체중을 비롯한 모든 항목에서 2원 반복변량분석 결과 운동트레이닝 전, 후간의 시기에서 유의한($p<0.05$) 차이를 나타냈으며, 아울러 그룹과 시기의 유의한($p<0.05$) 상호작용효과를 나타냈다. 사후 검정결과 운동그룹은 체중을 비롯한 모든 항목에서 운동트레이닝 전, 후 간에 유의한($p<0.05$) 차이를 나타냈으나, 통제 그룹은 유의한 차이가 없었다. 특히 운동그룹은 근감소증 관련 대표적인 항목인 $ASM/height^2$ 은 운동트레이닝 후 $7.82\pm0.41\text{ kg/m}^2$ 로서 운동트레이닝 전보다 유의하게($p<0.05$) 증가하였다.

2. 혈압

혈압의 변화는 Table 3에서 나타난 바와 같은데, 수축기혈압은

2원 반복변량분석 결과 운동트레이닝 전, 후 간의 시기에서 유의한($p<0.05$) 차이를 나타냈으며, 아울러 그룹과 시기의 유의한($p<0.05$) 상호작용효과를 나타냈다. 사후검정결과 운동그룹은 운동트레이닝 전, 후 간에 유의한($p<0.05$) 차이를 나타냈으나 통제 그룹은 유의한 차이가 없었다. 이완기혈압은 두 그룹 모두 운동트레이닝 전, 후 간에 유의한 차이가 없었다.

3. 경동맥 내중막 두께

경동맥 내중막 두께의 변화는 Table 4에서 나타난 바와 같은데, 좌경동맥 내중막 두께의 변화는 2원 반복변량분석 결과 운동트레이닝 전, 후 간의 시기에서 유의한($p<0.05$) 차이를 나타냈으며, 아울러 그룹과 시기의 유의한($p<0.05$) 상호작용효과를 나타냈다. 사후 검정 결과 운동그룹은 운동트레이닝 전, 후 간에 유의한($p<0.05$) 차이를 나타냈으나 통제 그룹은 유의한 차이가 없었다. 좌경동맥 내중막 두께의 변화는 두 그룹 모두 트레이닝 전, 후 간에 유의한 차이가 없었다.

Table 2. Change of body composition

Item	Control		Exercise		Two-way repeated ANOVA (F-value)		
	Pre	Post	Pre	Post	Group	Time	Group×time
Body weight (kg)	60.59±8.65	60.61±9.54	61.02±9.54	58.24* [†] ±8.56	1.134	9.954 [†]	6.105 [†]
Fat mass (kg)	20.21±2.35	20.35±3.14	20.84±2.56	16.21* [†] ±2.54	1.146	8.165 [†]	5.246 [†]
Lean body mass (kg)	37.24±2.45	37.31±2.59	37.61±2.54	40.12* [†] ±2.95	0.951	8.095 [†]	5.651 [†]
Fat percentage (%)	33.65±1.95	33.49±2.14	33.72±1.86	28.65* [†] ±2.13	0.956	5.956	4.189 [†]
ASM (kg)	16.66±1.65	16.59±2.15	16.41±1.87	19.05* [†] ±1.95	0.956	4.854 [†]	4.265 [†]
ASM/height ²	6.74±0.41	6.77±0.34	6.72±0.36	7.82* [†] ±0.41	1.245	6.679 [†]	4.157 [†]
SMI (%)	33.15±2.05	33.41±3.15	32.65±2.15	36.74* [†] ±2.14	1.312	7.781 [†]	4.245 [†]

Values are presented as mean±standard deviation.

ANOVA: analysis of variance, ASM: appendicular skeletal muscle mass, SMI: skeletal muscle mass index.

* $p<0.05$, Significant difference as compared to pre-value; [†] $p<0.05$, Significant difference as compared to control group;

[‡] $p<0.05$, Significant difference of two-way repeated ANOVA.

Table 3. Change of blood pressure

Item	Control		Exercise		Two-way repeated ANOVA (F-value)		
	Pre	Post	Pre	Post	Group	Time	Group×time
SBP (mm Hg)	126.85±12.45	126.91±13.41	126.75±11.85	121.41* [†] ±11.96	1.412	6.542 [†]	4.195
DBP (mm Hg)	79.65±8.51	78.56±8.41	78.13±9.45	77.95±8.14	1.186	2.145	2.119

Values are presented as mean±standard deviation.

ANOVA: analysis of variance, SBP: systolic blood pressure, DBP: diastolic blood pressure.

* $p<0.05$, Significant difference as compared to pre-value; [†] $p<0.05$, Significant difference as compared to control group;

[‡] $p<0.05$, Significant difference of two-way repeated ANOVA.

4. 혈중 변인

혈중 지질변인 농도의 변화는 Table 5에서 나타난 바와 같은데, TC, LDL-C 및 TG 등의 변화는 2원 반복변량분석 결과 운동트레

이닝 전, 후 간의 시기에서 유의한($p<0.05$) 차이를 나타냈으며, 아울러 그룹과 시기의 유의한($p<0.05$) 상호작용효과를 나타냈다. 사후검정 결과 운동그룹은 TC, LDL-C 및 TG 등의 변화에서 운동트레이닝 전, 후 간에 유의한($p<0.05$) 차이를 나타냈으나

Table 4. Change of intima-media thickness of carotid artery

Item	Control		Exercise		Two-way repeated ANOVA (F-value)		
	Pre	Post	Pre	Post	Group	Time	Group×time
Right (mm)	0.89±0.14	0.87±0.16	0.88±0.16	0.85±0.17	1.414	2.645	1.892
Left (mm)	0.88±0.13	0.89±0.15	0.89±0.14	0.74* [†] ±0.18	1.517	4.189 [†]	3.865 [†]

Values are presented as mean±standard deviation.

ANOVA: analysis of variance.

* $p<0.05$, Significant difference as compared to pre-value; [†] $p<0.05$, Significant difference as compared to control group;

[‡] $p<0.05$, Significant difference of two-way repeated ANOVA.

Table 5. Change of blood concentration of lipid profiles

Item	Control		Exercise		Two-way repeated ANOVA (F-value)		
	Pre	Post	Pre	Post	Group	Time	Group×time
TC (mg/dL)	196.25±22.14	191.45±24.65	193.43±25.13	182.15* [†] ±18.64	1.714	5.143*	3.657 [†]
HDL-C (mg/dL)	48.63±8.13	49.13±9.57	47.15±9.86	50.14±12.15	1.943	2.514	1.015
LDL-C (mg/dL)	130.45±21.45	131.15±22.13	131.23±21.41	125.45*±19.65	1.867	3.679*	2.954 [†]
TG (mg/dL)	151.45±18.53	150.65±31.43	152.46±21.33	125.67*±21.41	1.953	4.697*	3.893 [†]

Values are presented as mean±standard deviation.

ANOVA: analysis of variance, TC: total cholesterol, HDL-C: high-density lipoprotein cholesterol, LDL-C: low-density lipoprotein cholesterol, TG: triglyceride.

* $p<0.05$, Significant difference as compared to pre-value; [†] $p<0.05$, Significant difference as compared to control group;

[‡] $p<0.05$, Significant difference of two-way repeated ANOVA.

Table 6. Change of blood concentration of factors related to vascular endothelial function

Item	Control		Exercise		Two-way repeated ANOVA (F-value)		
	Pre	Post	Pre	Post	Group	Time	Group×time
Cortisol (ng/mL)	100.85±31.69	101.94±28.55	101.10±40.79	90.94* [†] ±34.69	0.200	10.511 [†]	16.177 [†]
eNOS (IU/mL)	51.59±18.12	48.60±17.96	50.87±17.29	62.12* [†] ±15.60	1.120	21.798 [†]	64.298 [†]
iNOS (IU/mL)	17.45±6.20	17.44±6.36	18.06±4.99	12.40* [†] ±4.64	1.322	40.610 [†]	40.409 [†]
NO (μmol/L)	6.37±1.10	5.79±1.20	6.47±1.11	7.20* [†] ±1.28	3.799 [†]	0.218	18.224 [†]
MDA (ng/mL)	11.91±2.10	12.66±2.24	15.41*±4.98	12.69 [†] ±4.48	2.044	5.604 [†]	17.398 [†]

Values are presented as mean±standard deviation.

ANOVA: analysis of variance, eNOS: endothelial nitric oxide synthase, iNOS: inducible nitric oxide synthase, NO: nitric oxide, MDA: malondialdehyde.

* $p<0.05$, Significant difference as compared to pre-value; [†] $p<0.05$, Significant difference as compared to control group;

[‡] $p<0.05$, Significant difference of two-way repeated ANOVA.

Fig. 1. Correlation coefficient among differences of appendicular skeletal muscle mass (ASM)/height², nitric oxide (NO) and Intima-media thickness of left carotid artery between before (A) and after (B) exercise training. IMT of LCA: intima-media thickness of left common carotid artery.

통계 그룹은 유의한 차이가 없었다. HDL-C 농도의 변화는 두 그룹 모두 운동트레이닝 전, 후 간에 유의한 차이가 없었다.

혈관내피기능 관련 혈중 변인의 농도 변화는 Table 6에서 나타난 바와 같은데, 모든 항목의 변화에서 2원 반복변량분석결과 운동트레이닝 전, 후 간의 시기에서 유의한($p < 0.05$) 차이를 나타냈으며, 아울러 그룹과 시기의 유의한($p < 0.05$) 상호작용효과를 나타냈다. 사후검정결과 운동그룹은 모든 항목의 변화에서 운동트레이닝 전, 후 간에 유의한($p < 0.05$) 차이를 나타냈으나 통제 그룹은 유의한 차이가 없었다. 특히 NO 농도는 운동그룹은 운동트레이닝 후 $7.20 \pm 1.28 \mu\text{mol/L}$ 로서 운동트레이닝 전의 $6.47 \pm 1.1 \mu\text{mol/L}$ 보다 유의하게($p < 0.05$) 증가하였으나 통제 그룹은 감소 경향을 나타냈다.

12주간 운동트레이닝 후 근감소증 관련 대표적인 항목인 $\text{ASM}/\text{height}^2$ 의 증가량은 Fig. 1에서 나타난 바와 같이 혈중 NO 농도 증가량 및 좌경동맥 내중막 두께 감소량과 각각 유의한($p < 0.05$) 상관관계를 나타냈다.

고 찰

운동트레이닝 후 신체구성의 긍정적인 변화는 BMI와 허리둘레의 감소현상을 주로 나타내는 것으로 알려져 있으나 운동트레이닝의 적용시 운동강도, 시간 및 전체적인 운동기간의 차이에 따라서 세부적인 요인이 차이를 나타낸다. 주당 운동시간을 포함한 운동빈도는 체지방량 변화에 영향을 미칠 수 있는데, American College of Sports Medicine (ACSM)¹¹은 1회기준 30-60분으로 주당 150-300분의 운동수행이 체중감소의 가장 중요한 기준이 될 수 있다는 지침을 제시한 바 있다. 본 연구에서도 운동시간이 60분으로 주당 3회 이상을 적용하여 현저한 체중변화를 나타낼

수 있었던 것으로 간주된다. 또한 이러한 변화는 전체적인 운동기간이 12주 이상으로 길어질수록 그 효과는 현저하게 나타난다¹²는 관점에서 본 연구의 운동그룹이 12주의 운동트레이닝을 적용하여 신체구성 변화가 현저한 결과를 나타낼 수 있었던 것으로 생각되며, 아울러 운동프로그램에 포함된 저항운동도 체지방체중의 증가에 현저한 도움을 준 것¹³으로 간주된다.

고령자의 근 감소증은 연령증가 과정에서 흔히 나타나는 증상으로 적절한 운동트레이닝을 통해서 방지 및 지연시킬 수 있을 것이다. 본 연구에서도 운동그룹은 체지방체중, ASM, $\text{ASM}/\text{height}^2$ 및 skeletal muscle mass index 등과 같은 모든 근 감소증 관련지표에서 현저하게 개선된 것으로 나타났다. Soendenbroe 등¹⁴은 저항운동을 중심으로 한 운동트레이닝은 고령자의 신경근 육접합부 안정성 향상에 적절한 자극을 주면서 근육량 증가에 효과적인 방법이 될 수 있다고 보고하여 본 연구의 결과를 더욱 분명하게 뒷받침해주고 있다. 저항운동은 속근섬유 동원빈도 증가를 위한 일정수준 이상의 운동강도가 근육량 증가에 중요한 영향을 미칠 수 있다는 관점에서 속근섬유(type II)를 중심으로 한 근 위축과 근섬유 수 감소현상이 동반될 가능성이 높은 고령자를 위한 운동트레이닝 시에는 운동강도의 적절성에 대한 세부적인 고려가 더욱 강조된다. 본 연구에서 적용된 저항운동의 운동강도는 60% 이상으로서 적절한 수준에 해당하는 것으로 간주된다. 저항운동은 근육내의 근원섬유에 대한 혈류 활성화 및 영양공급 활성화에 의한 단백질합성 증가와 속근섬유의 수와 크기 증가에 도움을 줄 수 있는 것으로 널리 보고된 바 있다¹⁵. 유산소운동은 고령자에서 증가되는 것으로 알려진 tumor necrosis factor alpha, interleukin 1 beta와 같은 염증유발 사이토카인 분비량 감소에 의한 항염증 활성화를 통해서 근 위축 방지에 도움을 줄 수 있다. 또한 저항운동과 유산소운동의 복합운동은 그렐린(ghrelin) 및

아디포넥틴(adiponectin)의 증가를 중심으로 한 항염증요인의 활성화와 혈중 단핵구 수를 비롯한 염증유발요인의 감소를 통해서 고령자의 저근육형 비만 완화에 도움을 줄 수 있는 것으로 보고된 바 있다¹⁶. 본 연구에서 운동그룹에게 적용된 저항운동과 유산소운동의 복합적인 방법은 고령자의 저근육형 비만 완화에 도움을 줄 수 있다는 것이 분명하게 확인되었다.

혈압의 긍정적인 감소변화에 관한 운동트레이닝의 효과는 선행연구를 통해서 널리 보고되어 왔다. ACSM¹¹은 하루 30분 이상의 유산소운동과 더불어 동적인 저항운동을 널리 권장한 바 있으며, Mosca 등¹⁷은 주당 150분 이상의 적극적인 신체활동이 혈압감소에 크게 도움을 줄 수 있다고 보고함으로써 본 연구에서 나타난 12주간의 운동트레이닝 후 수축기혈압의 현저한 감소결과를 뒷받침해준다. 그러나 Cornelissen과 Smart¹⁸는 혈압감소에 관한 운동트레이닝의 효과는 운동형태, 강도 및 빈도 등에 따라서 다양한 차이를 나타낼 수 있기 때문에 이에 대한 세부적인 분석이 요구된다고 주장하였다. 혈압개선을 위한 운동트레이닝의 주된 방법은 유산소운동을 중심으로 한 지구성운동이 주된 프로그램으로 간주되어 왔으나 최근 들어 동적인 저항운동도 효과적인 영향을 미치는 것으로 보고되면서 유산소운동과 저항운동의 복합적인 운동의 활용 가능성이 널리 제시되고 있다¹⁸. 이러한 관점에서 본 연구에서 적용된 복합적인 운동프로그램은 고령자의 수축기혈압의 감소에 도움을 준다는 것을 확인할 수 있었다.

고령자의 운동트레이닝 후 경동맥 내중막 두께의 긍정적인 감소현상은 노화에 따른 동맥경화증 유발정도를 낮추어줄 수 있다는 관점에서 건강유지를 위한 운동의 중요성을 강조할 수 있는 근거가 될 수 있다. 본 연구에서 적용된 복합적인 운동프로그램의 효과에 관해서는 선행연구들¹⁹에서 널리 보고된 바 있다. Byrkjeland 등²⁰은 2형 당뇨병과 관상동맥질환을 가진 환자에서 운동트레이닝의 적용 시 경동맥 플라크를 가진 대상자의 경우에는 경동맥 내중막 두께의 현저한 감소효과를 나타낸다고 보고하면서 운동트레이닝의 긍정적인 효과를 제시하였다. 경동맥 내중막 두께의 감소현상은 운동트레이닝을 통한 혈중 지질 변인의 개선과 혈관내피의 항염증 효과에 기인하며, 혈압감소에 중요한 영향을 미칠 수 있다. 본 연구에서도 혈중 지질변인의 긍정적인 변화를 동반하면서 수축기혈압의 감소와 함께 나타남으로서 경동맥 내중막 두께의 감소현상이 이러한 변인들과 관련성을 가진다는 것을 확인할 수 있었다. 그러나 경동맥 내중막 두께 변화에 관련된 운동효과는 유산소운동이 보다 현저한 영향을 미치는데 반해서 저항운동 혹은 유산소운동과 저항운동의 복합적인 운동은 거의 효과가 없는 것으로 보고한 바 있다²¹. 본 연구에서는 고령자를 위한 복합적인 운동 적용 시 좌측 경동맥에서만 유의한 변화를

나타냄으로서 운동프로그램의 세부적인 내용에 따라서 다소 차이를 나타낼 가능성이 있는 것으로 간주된다.

지질과산화현상은 노화과정에서 나타나는 현상으로서 산화성 스트레스에 의한 염증유발을 통한 동맥경화증과 혈관내피기능 저하의 중요한 원인으로 간주되고 있다²². 유산소운동과 저항운동을 포함한 규칙적인 운동에 의한 지질과산화 방지효과에 관해서는 다소의 논란이 있으나, 대부분의 많은 연구에서는 운동효과에 의해서 지질등원과 산화현상이 활성화되므로서 염증질환의 방지와 노화지연에 긍정적인 도움을 줄 수 있는 것²³으로 알려져 있다. 본 연구에서도 운동그룹은 지질변인의 개선을 포함하여 지질과산화의 대표적인 지표로 간주되고 있는 MDA의 현저한 개선효과를 나타냄으로서 유산소운동과 저항운동의 복합적인 운동효과를 보다 분명하게 확인할 수 있었다. 그러나 고령자의 경우 과도한 운동트레이닝이 산화스트레스를 증가시키면서 지질과산화의 부정적인 영향을 미치거나 개선효과가 나타나지 않을 수 있기 때문에 운동강도 및 운동량의 설정에 주의를 기울일 필요성이 있다²⁴. 운동트레이닝 후 혈중 코티솔농도의 긍정적인 감소변화는 내분비기능의 항상성 유지와 글루코코르티코이드 수용체의 활성화를 통해서 심리적 저하현상을 완화시켜주며, 심리적 우울증질환자의 경우에도 운동효과의 긍정적인 변화를 나타낸다²⁵는 관점에서 노화과정의 지연효과는 물론 혈관내피기능 개선에도 도움을 줄 수 있을 것으로 기대된다. 본 연구에서도 운동그룹이 혈중 코티솔농도의 현저한 감소현상을 나타냄으로서 운동트레이닝이 내분비기능의 중요한 축이 되는 hypothalamic-pituitary-adrenal axis의 정상적인 항상성 유지에 도움을 줄 수 있다는 것을 확인하였다.

노화과정의 혈관내피기능 저하현상에 중요한 영향을 미치는 NO의 적절한 분비는 혈관 장력 유지와 혈관수축 및 이완의 균형에 영향을 미치며, 심혈관기능유지에 핵심적인 역할을 하는 심근의 산소소비량 조절, 심근재생 등에도 중요한 영향을 미친다. 특히 eNOS의 적절한 작용은 혈관내피기능 유지와 관련되면서 인슐린 저항성과 암 유발을 포함한 심혈관질환의 방지를 위해서 중요한 영향을 미치는 것²⁶으로 간주되어 왔다. 이와 관련된 운동트레이닝의 긍정적인 영향은 유산소운동을 중심으로 NO 분비량의 증가와 eNOS 활성도의 증가를 통해서 노화과정에서 저하되는 혈관내피기능을 적절하게 유지하는데 도움을 줄 수 있다²⁶. Hambrecht 등²⁷은 운동트레이닝에 의한 혈관내피기능의 긍정적인 효과는 ROS 생성의 감소와 NO의 생물학적 활용성 개선을 들 수 있는데, 그 과정에서 NO 및 eNOS의 적절한 활성화는 핵심적인 요인으로 강조한 바 있다. 따라서 고령자들의 운동트레이닝을 통한 NO 및 eNOS의 적절한 활성화는 노화과정의 심혈관질환 유발률 감소

를 위해서 중요한 영향을 미친다고 볼 수 있다²⁸. 본 연구에서도 운동그룹은 12주간의 운동 후 NO 및 eNOS의 혈중 분비량이 현저하게 증가하므로써 혈관내피기능 유지에 긍정적인 영향을 미친 것으로 간주된다. 운동그룹은 혈관내피기능의 표현적 지표인 수축기혈압 및 경동맥 내중막 두께 등의 감소를 함께 나타냄으로써 혈관내피기능 유지능력 향상과 관련된 요인들의 일관성있는 효과를 확인할 수 있었다. 노화과정의 근육량감소가 혈관내피기능 저하에 현저한 영향을 미친다²⁹는 관점에서 본 연구에서 운동트레이닝 후 근육량의 증가현상과 혈중 NO 증가현상 및 경동맥 내중막 두께 감소현상의 관련성을 분석한 결과, Fig 1에서 나타난 바와 같이 유의한($p < 0.05$) 상관을 나타냄으로써 노화과정의 근육량 감소를 방지 혹은 지연시키기 위한 운동트레이닝의 중요성을 확인할 수 있었다. 노화과정에서 근육단백질합성과정의 활성화를 유지하는 것은 근육량 감소를 방지하며, 혈관내피기능 유지에 중요한 영향을 미치는 NOS 활성화에도 긍정적인 영향을 미치는 것으로 알려져 있다. Anderson 등³⁰은 노화과정에서 근 감소증 방지를 위한 운동트레이닝 시 NO처치를 통해서 운동효과를 더욱 증가시킬 수 있다고 보고하면서 본 연구에서 나타난 운동그룹의 근육량 증가, NO 및 eNOS 활성화와 함께 수축기혈압 감소 및 경동맥 내중막 두께 감소 등의 혈관내피기능 관련 변인들의 긍정적인 효과와 관련된 결과를 뒷받침해주고 있다. 그러나 본 연구에서 지질변인을 비롯한 혈중 변인의 경우 식이섭취에 의해서 영향을 받을 가능성이 있으나 연구수행과정에서 대상자들의 식이섭취 내용에 대한 정확한 통제가 이루어지지 못한 제한점을 가진다는 것이 고려되어야 할 것이다.

결론적으로 12주간의 규칙적인 운동은 고령자의 저근육형 비만을 완화시키는데 도움을 주며, 근육량증가를 비롯한 신체구성성의 긍정적인 변화는 혈중 NO 및 eNOS와 지질항목을 비롯한 혈관내피기능 관련요인의 긍정적인 변화를 통해서 혈압 및 경동맥 내중막두께를 개선시키는데 도움을 주는 것으로 간주되었다.

Conflict of Interest

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

ORCID

Kijin Kim <https://orcid.org/0000-0002-3724-7758>

References

1. Smeets PJ, Teunissen BE, Planavila A, et al. Inflammatory pathways are activated during cardiomyocyte hypertrophy and attenuated by peroxisome proliferator-activated receptors PPARalpha and PPARdelta. *J Biol Chem* 2008;283:29109-18.
2. Watts R, McAinch AJ, Dixon JB, O'Brien PE, Cameron-Smith D. Increased Smad signaling and reduced MRF expression in skeletal muscle from obese subjects. *Obesity (Silver Spring)* 2013;21:525-8.
3. Dutra MT, Alex S, Silva AF, Brown LE, Bottaro M. Antioxidant supplementation impairs changes in body composition induced by strength training in young women. *Int J Exerc Sci* 2019;12:287-96.
4. Sakuma K, Yamaguchi A. Sarcopenic obesity and endocrinal adaptation with age. *Int J Endocrinol* 2013;2013:204164.
5. Stephen WC, Janssen I. Sarcopenic-obesity and cardiovascular disease risk in the elderly. *J Nutr Health Aging* 2009;13:460-6.
6. Swift DL, Lavie CJ, Johannsen NM, et al. Physical activity, cardiorespiratory fitness, and exercise training in primary and secondary coronary prevention. *Circ J* 2013;77:281-92.
7. Deer RR, Heaps CL. Exercise training enhances multiple mechanisms of relaxation in coronary arteries from ischemic hearts. *Am J Physiol Heart Circ Physiol* 2013;305:H1321-31.
8. Couto GK, Britto LR, Mill JG, Rossoni LV. Enhanced nitric oxide bioavailability in coronary arteries prevents the onset of heart failure in rats with myocardial infarction. *J Mol Cell Cardiol* 2015;86:110-20.
9. Guizoni DM, Dorigheo GG, Oliveira HC, Delbin MA, Krieger MH, Davel AP. Aerobic exercise training protects against endothelial dysfunction by increasing nitric oxide and hydrogen peroxide production in LDL receptor-deficient mice. *J Transl Med* 2016;14:213.
10. Kim TN, Yang SJ, Yoo HJ, et al. Prevalence of sarcopenia and sarcopenic obesity in Korean adults: the Korean sarcopenic obesity study. *Int J Obes (Lond)* 2009;33:885-92.
11. American College of Sports Medicine. ACSM's guidelines for exercise testing and prescription. 9th ed. Philadelphia (PA): Lippincott Williams & Wilkins; 2014.
12. Seo MH, Lee WY, Kim SS, et al. 2018 Korean Society for the Study of Obesity guideline for the management of obesity in Korea. *J Obes Metab Syndr* 2019;28:40-5.
13. Hildreth KL, Barry DW, Moreau KL, et al. Effects of testosterone and progressive resistance exercise in healthy, highly functioning older men with low-normal testosterone levels. *J Clin Endocrinol Metab* 2013;98:1891-900.

14. Soendenbroe C, Bechshoft CJL, Heisterberg MF, et al. Key Components of human myofibre denervation and neuromuscular junction stability are modulated by age and exercise. *Cells* 2020;9:893.
15. Englund DA, Sharp RL, Selsby JT, Ganesan SS, Franke WD. Resistance training performed at distinct angular velocities elicits velocity-specific alterations in muscle strength and mobility status in older adults. *Exp Gerontol* 2017;91:51-6.
16. Markofski MM, Carrillo AE, Timmerman KL, et al. Exercise training modifies ghrelin and adiponectin concentrations and is related to inflammation in older adults. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 2014;69:675-81.
17. Mosca L, Benjamin EJ, Berra K, et al. Effectiveness-based guidelines for the prevention of cardiovascular disease in women: 2011 update. A guideline from the American Heart Association. *J Am Coll Cardiol* 2011;57:1404-23.
18. Cornelissen VA, Smart NA. Exercise training for blood pressure: a systematic review and meta-analysis. *J Am Heart Assoc* 2013;2:e004473.
19. Park J, Park H. Effects of 6 months of aerobic and resistance exercise training on carotid artery intima media thickness in overweight and obese older women. *Geriatr Gerontol Int* 2017;17:2304-10.
20. Byrkjeland R, Stensaeth KH, Anderssen S, et al. Effects of exercise training on carotid intima-media thickness in patients with type 2 diabetes and coronary artery disease. Influence of carotid plaques. *Cardiovasc Diabetol* 2016;15:13.
21. Kadoglou NP, Fotiadis G, Kapelouzou A, Kostakis A, Liapis CD, Vrabas IS. The differential anti-inflammatory effects of exercise modalities and their association with early carotid atherosclerosis progression in patients with type 2 diabetes. *Diabet Med* 2013;30:e41-50.
22. Barranco-Ruiz Y, Martinez-Amat A, Casals C, et al. A lifelong competitive training practice attenuates age-related lipid peroxidation. *J Physiol Biochem* 2017;73:37-48.
23. Gronek P, Wielinski D, Cyganski P, et al. A review of exercise as medicine in cardiovascular disease: pathology and mechanism. *Aging Dis* 2020;11:327-40.
24. Silva D, Arend E, Rocha SM, et al. The impact of exercise training on the lipid peroxidation metabolomic profile and respiratory infection risk in older adults. *Eur J Sport Sci* 2019;19:384-93.
25. Beserra AHN, Kameda P, Deslandes AC, Schuch FB, Laks J, Moraes HS. Can physical exercise modulate cortisol level in subjects with depression? A systematic review and meta-analysis. *Trends Psychiatry Psychother* 2018;40:360-8.
26. Yao YS, Chang WW, Jin YL, He LP. An updated meta-analysis of endothelial nitric oxide synthase gene: three well-characterized polymorphisms with ischemic stroke. *Gene* 2013;528:84-92.
27. Hambrecht R, Adams V, Erbs S, et al. Regular physical activity improves endothelial function in patients with coronary artery disease by increasing phosphorylation of endothelial nitric oxide synthase. *Circulation* 2003;107:3152-8.
28. Adams V, Reich B, Uhlemann M, Niebauer J. Molecular effects of exercise training in patients with cardiovascular disease: focus on skeletal muscle, endothelium, and myocardium. *Am J Physiol Heart Circ Physiol* 2017;313:H72-88.
29. Barnard SA, Pieters M, Nienaber-Rousseau C, Kruger HS. Degree of obesity influences the relationship of PAI-1 with body fat distribution and metabolic variables in African women. *Thromb Res* 2016;146:95-102.
30. Anderson JE, Zhu A, Mizuno TM. Nitric oxide treatment attenuates muscle atrophy during hind limb suspension in mice. *Free Radic Biol Med* 2018;115:458-70.