

12주간의 복합운동이 대사증후군 동반 40대 비만여성의 경동맥 내중막 두께, 혈관기능관련 염증 유발요인 및 체력에 미치는 영향

계명대학교 체육대학 체육학전공

김 기 진

Effects of 12 Weeks of Combined Exercise on Vascular Function-Related Inflammation Factors, Carotid Intima-Media Thickness and Physical Fitness in Obese 40s-Aged Women with Metabolic Syndrome

Kijin Kim

Department of Physical Education, College of Physical Education, Keimyung University, Daegu, Korea

Purpose: The purpose of this study was to investigate the effects of 12 weeks of combined exercise on vascular function-related inflammation, carotid intima-media thickness and fitness factors in obese middle-aged women with metabolic syndrome.

Methods: The subjects of this study were 40 middle-aged women in their 40s with metabolic syndrome but no specific disease. The exercise group performed aerobic exercise and resistance exercise five times a week for 12 weeks, and then measured body composition, blood pressure, vascular function-related inflammation factors, metabolic syndrome factors, carotid intima-media thickness, and physical factors.

Results: The exercise group showed a significant ($p < 0.05$) reduction after exercise in all items related to body composition, systolic and diastolic blood pressure, and intima-media thickness of the right carotid and left carotid arteries. Exercise group showed a significant decrease ($p < 0.05$) after exercise in interleukin-6, tumor necrosis factor- α , leptin, and all items of glucose metabolism-related variables. The exercise group showed a significant ($p < 0.05$) increase after exercise physical efficiency index, grip strength, sit-ups, and sit & reach. After 12 weeks of exercise training, the reduction of intima-media thickness of the carotid artery was significantly ($p < 0.05$) correlated with the improvement of body weight, systolic and diastolic blood pressure, grip and sit & reach, blood HbA1c, and triglyceride concentration.

Conclusion: In conclusion, metabolic syndrome improved the body composition, blood glucose metabolism and lipid variables after 12 weeks of combined exercise program for obese middle-aged women. Significant improvement in blood pressure and carotid endometrial thickness, which is a function-related indicator, was confirmed.

Keywords: Exercise, Intima-media thickness, Metabolic syndrome, Woman

Received: November 5, 2019 Revised: November 28, 2019 Accepted: November 29, 2019

Correspondence: Kijin Kim

Department of Physical Education, College 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

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

대사증후군(metabolic syndrome)은 과잉 영양공급과 좌업 생활에 의한 과도한 체지방 증가가 대표적인 위험요인으로서 복부 지방, 인슐린 저항성, 이상지질혈증, 혈압증가 등이 서로 군집을 이루어 나타나며, 혈전 형성성향 상태, 염증유발상태, 비알코올성 지방간질환 및 생식기관 이상 등을 포함하는 동반질환과 관련성을 가진다¹. 대사증후군은 대부분 과체중이나 비만을 동반하고 있으며, 인슐린저항성과 동맥경화증이 핵심적인 요인으로서 당뇨병과 혈관기능 저하와 관련된 합병증이 발생하면서 질환의 위험성이 더욱 가중되는 것으로 알려져 있다². 따라서 동맥경화증을 비롯한 혈관기능 저하현상은 인슐린저항성과 더불어 대사증후군의 합병증 방지 및 처치를 위해서 매우 중요한 요인으로 강조되어야 한다.

고혈압, 이상지질혈증, 당뇨병 등의 대사증후군은 심혈관계 합병증 이환과 불가분의 관련성을 가지고 있는데 반해서 초기 대사증후군 환자들은 합병증이 발생하기 전까지 혈관 내 변화에 대한 정확한 정보를 확인하지 못하고 있는 경향이 높다. 특히 대사증후군은 대부분 혈관합병증으로 사망에 이르는 확률이 높기 때문에 합병증에 따른 위험성을 감소시키기 위해서는 생활습관 개선 및 약물치방과 함께 내중막 두께 진단 등을 이용한 혈관 내 변화를 제시해 줌으로서 환자 스스로 더욱 효과적이고 적극적인 질환관리를 할 수 있도록 유도할 수 있을 것이다. 혈관기능 저하에 의한 합병증 이행과정의 진단방법으로는 관상동맥이상 진단을 위한 심전도, 심장효소 분석 및 혈관 조영술, 뇌혈관 이상을 위한 컴퓨터 단층촬영의 영상진단, 당뇨병성 망막병증의 안저검사, 당뇨병성 신경병증의 근전도검사 등을 이용한다. 그러나 절차의 번거로움과 경제적 부담을 고려하여 죽상동맥경화증 진행정도를 파악하기 위한 기본적인 진단방법으로서 경동맥 내중막 두께(carotid intima-media thickness)를 분석하는 경동맥 초음파진단법은 심혈관계질환의 임상적 징후를 평가하는 중요한 초기검사 도구로 사용되고 있다³. Akasaka 등⁴은 353명의 피험자를 대상으로 경동맥 초음파를 이용하여 죽상경화증의 초기단계 또는 혈관 질환의 진단에 유용성을 분석한 결과 동맥경화의 형태학적 및 기능적 변화는 경동맥 초음파를 사용하여 평가할 수 있는 것으로 보고하였다. 또한 Hodis 등⁵은 기존의 관상동맥질환을 가진 환자의 경동맥 내중막 두께 진행이 관상동맥질환의 발생을 예측하며, 이들 환자의 경동맥 내중막 두께 변화는 혈관의 죽상경화성 변성을 나타내는 것으로 보고하였다.

대사증후군의 가장 대표적인 질환인 심혈관계 질환은 대표적인 사망 원인으로 간주되고 있으며⁶, 혈관기능 저하와 관련된

동맥경직(arterial stiffness) 혹은 경화증(atherosclerosis)은 심혈관계 질환의 가장 핵심적인 요인으로 간주되고 있다⁷는 관점에서 대사증후군 진행에 의한 혈관기능 저하와 관련된 지표의 진단 및 방지는 건강관리를 위해서 매우 중요한 고려사항에 해당한다. 따라서 혈관기능 저하의 방지 혹은 개선을 위해서 매우 효과적인 방법으로 간주되고 있는 운동프로그램 수행효과를 분석하는 과정에서 경동맥 내중막 두께를 비롯한 혈관기능 이상의 기본적인 지표와 더불어 대사증후군의 위험지표 및 체력요인 등의 변화양상과 관련성을 함께 분석하는 것은 혈관기능 이상에 의한 대사증후군 및 합병증 방지와 처치를 위한 중요한 정보를 제공해 줄 수 있을 것이다. 규칙적인 운동은 대사증후군의 위험지표 개선은 물론 혈압감소에 효과적인 방법이지만 혈관 경직을 비롯한 혈관기능 저하를 방지 혹은 처치하기 위한 운동프로그램의 직접적인 효과에 관해서는 여전히 계속적인 연구가 요구된다고⁸ 지적되고 있다. 대사증후군과 경동맥 내중막 두께의 상관성에 대한 연구는 활발히 이루어지고 있으나^{9,10} 운동이나 식이조절과 같은 생활습관 교정을 통한 대사증후군의 개선과 경동맥 내중막 두께의 상관성에 대한 연구결과는 거의 없다. 또한 합병증발생 집단¹¹이 아닌 대사증후군을 가지고 있으나 합병증이 발생하지 않은 폐경 전 중년 비만 여성들을 대상으로 실시된 연구는 여전히 미흡한 수준이다.

이에 본 연구자는 대사증후군을 동반한 폐경 전 비만 중년여성들을 대상으로 12주간의 운동트레이닝이 혈압, 경동맥 내중막 두께, 혈관기능관련 염증 유발요인, 대사증후군 요인 및 체력요인 등에 미치는 영향과 그 관련성을 분석함으로써 혈관기능 관련 합병증 예방을 위한 적절한 지침을 제공하고자 하였다.

연구 방법

1. 연구 대상

본 연구의 대상자는 40대 중년여성으로서 특이 질환은 없으나 National Cholesterol Education Panel-Adult Treatment Panel III의 대사증후군 진단기준인 허리둘레 >85 cm (한국인 여성), 혈중 중성지방농도(triglyceride [TG]) ≥150 mg/dL, 고밀도 지단백 콜레스테롤농도(high-density lipoprotein cholesterol [HDL-C]) <50 mg/dL (여성), 안정 시 혈압 ≥130/85 mm Hg, 공복혈당 ≥110 mg/dL의 5가지 항목 중 3가지 이상 해당하여 대사증후군으로 진단되는 40명을 구성하였다. 이들 대상자는 무작위로 운동그룹 20명과 통제그룹 20명으로 구분하였으며, 운동그룹은 12주간 복합운동프로그램을 수행하도록 하였으며, 통제그룹은 특별한

운동프로그램을 참가하도록 하였다. 대상자들이 식이조절은 통제하지 못하고 평상시 식사를 자유롭게 수행하도록 하였다. 대상자들의 신체적 특징은 Table 1과 같다.

2. 실험 방법

1) 복합운동프로그램

복합운동프로그램은 유산소운동과 저항성운동을 병행하는 방식으로 12주간 실시하도록 하였다. 운동 빈도는 주당 3일, 운동 강도는 유산소운동은 최대심박수의 60%~70%, 저항성운동은 1 RM의 60%~70%에 해당하는 강도로 12~15 RM의 2세트 기준으로 설정하여 실시하였다. 운동량은 개인별 프로그램을 제시하였으며 4주 간격으로 운동 강도 설정을 재구성하였는데, 운동 중 심박수 측정과 1 RM 측정을 통해서 각각 최대심박수 기준 60%~70% 및 1 RM 기준 60%~70%의 적정 강도가 유지되도록 하였다. 운동프로그램은 트레드밀(treadmill)을 이용한 걷기 및 조깅의 유산소운동과 저항성운동(벤치프레스, 팔굽혀펴기, 윗몸일으키기, 하배부과신전, 슬관절 신전, 슬관절 굴곡: 설치된 기구를 이용하여 6종목 실시)의 복합운동프로그램을 적용하였으며, 준비운동과 정리운동을 포함하여 전체운동시간을 60분으로 구성하였다.

2) 측정도구 및 방법

모든 피험자들은 본 실험 전과 실험 종료 48시간 후 오전 8~10시 사이에 신체구성 및 채혈, 경동맥 두께 등을 측정한 다음 체력을 측정하였다.

(1) **신체구성:** 신체구성의 특성은 InBody 3.0 (Biospace, Seoul, Korea)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 허리/엉덩이 둘레비(waist to hip ratio [WHR])를 산출하였다.

(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 차이가 나면 추가로 측정하여 3회치의 평균을 산출했다. 혈압 측정 후 경동맥 내중막 두께(intima-media thickness)를 측정하였다. 초음파 영상진단장치(G60s, Siemens, Germany)를 이용하여 좌, 우 경동맥을 각각 3부위 측정하여 가장 두꺼운 부위의 값을 대표치로 하였다.

(3) **안정 시 혈액 채취:** 안정 시 혈액은 혈압측정시기와 동일한 시기에 채취하였다. 채취 전 12시간의 금식 후 상완정맥을 통하여 10 mL를 채취하였다. 채취한 혈액은 응고를 방지하기 위해 헤파린 처리한 후 3,000 rpm으로 10분간 원심분리 하여 혈장만을 분리한 다음 분석 전 까지 -70℃에서 냉동 보관하였다.

(4) **체력 측정:** 체력은 악력, 배근력, 윗몸일으키기, 앉아 윗몸 앞으로 굽히기, 하버드스텝테스트 등을 측정하였다. 악력 및 배근력은 악력계(TKK, Tokyo, Japan)와 배근력계(TKK)를 각각 이용하였으며, 앉아 윗몸 앞으로 굽히기는 양 발바닥이 측정기구의 수직면에 완전히 닿도록 무릎을 바르게 펴고 앉은 후 상체를 완전히 굽혀 팔을 최대한 뻗고 2초간 정지한 상태에서 기록하였다. 윗몸일으키기는 매트 위에 누운 자세에서 무릎각도는 약 140° 정도로 구부러서 발바닥을 바닥에 붙인 후 윗몸을 일으켜 팔꿈치가 무릎에 닿게 하는 동작을 1회로 하여 30초간 반복횟수를 측정하였다. 하버드 스텝테스트는 높이 35 cm의 승강대에서 분당 30회 속도로 3분간 오르내리기를 실시하였으며, 운동이 끝난 뒤 1분에서 1분 30초, 2분에서 2분 30초, 3분에서 3분 30초의 맥박수를 기록하여 다음의 공식을 적용하여 신체효율지수(physical efficiency index [PEI])를 산출한다.

$$PEI = \frac{\text{운동 시간}(180\text{초})}{3\text{회 맥박수의 총합} \times 2} \times 100$$

(5) **혈액분석:** 혈중 변인 분석을 위해서 12시간 이상 공복 상태를 유지한 후 주정중정맥(antecubital vein)에서 10 mL의 정맥혈을 채혈하였다. 원심 분리 후 총 콜레스테롤, TG, HDL-C, 저밀도지단백 콜레스테롤(low-density lipoprotein cholesterol) 등을 각각의 분석 kit (Shinyang Co., Seoul, Korea)를 이용하여

Table 1. Physical characteristics of subjects

Group	Age (yr)	Height (cm)	Body weight (kg)	BMI (kg/m ²)	%Fat
Exercise	46.10±2.93	161.00±8.25	71.78±14.91	27.60±4.00	31.13±6.34
Control	45.60±1.46	162.90±5.54	69.38±12.19	26.01±3.47	31.30±6.08

Values are presented as mean±standard deviation.

BMI: body mass index.

농도를 산출하였다. 혈청 인슐린농도는 인슐린 측정시약(Insulin IRMA, Biosource; Belgium)을 사용하여 radioimmunoassay법으로 측정하였다. 혈청 유리지방산농도는 spectrophotometer (Spectronic 601; Milton-Roy Ltd., Houston, TX, USA)를 이용하여 효소비색법으로 측정하였다. 당화혈색소농도(HbA1c)는 이온교환 고성능 액체크로마토그래피법 원리(high pressure liquid chromatography)를 이용하여 측정하였다. High sensitivity C-reactive protein는 Food and Drug Administration로부터 승인된 N High Sensitivity CRP (Dade Behring, Germany) kit와 Behring Nephelometer 100 analyzer (Messer Griesheim, Germany)를 이용하여 면역비탁법으로 측정하였다. 혈중 염증관련지표에 해당하는 혈장 tumor necrosis factor- α (TNF- α), interleukin-6 (IL-6), 렙틴(leptin) 및 아디포넥틴(adiponectin) 농도는 각각의 측정용 kit (Biosource)를 사용하여 방사선면역측정법으로 측정하였다.

3. 자료 처리 방법

측정결과에 대한 통계처리는 SPSS ver. 17.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA)을 이용하여 각 항목의 평균 및 표준 편차를 산출하였으며, 그룹 및 시기 간 유의차 검정을 위하여 2원 변량반

복 분석법을 적용하였다. 그룹 및 시기의 유의한 상호작용이 나타날 경우 그룹별 시기간 paired t-test와 시기별 그룹간 t-test에 의한 사후검정을 실시하였고, 항목간 상관관계는 Pearson 상관계수를 산출하였다. 통계적 유의수준은 $\alpha=0.05$ 로 하였다.

결 과

1. 신체 구성

12주간의 복합운동프로그램 수행 후 신체구성의 변화는 Table 2에서 나타난 바와 같은데, 운동그룹은 체중, 체지방률, 허리둘레 및 WHR 등의 모든 항목에서 운동 후에 유의한($p<0.05$) 감소를 나타냈으나 통제그룹은 운동 전후 간에 유의한 차이가 없었다.

2. 혈압

12주간의 복합운동프로그램 수행 후 혈압의 변화는 Table 3에서 나타난 바와 같은데, 운동그룹은 수축기 및 이완기 혈압 모두 운동 후에 유의한($p<0.05$) 감소를 나타냈으나 통제그룹은 운동 전후 간에 유의한 차이가 없었다.

Table 2. Changes of body composition

Item	Exercise		Control		Two-way repeated ANOVA (F-value)		
	Pre	Post	Pre	Post	Group	Time	Group \times Time
Body weight (kg)	71.78 \pm 14.91	69.71 \pm 14.26	69.38 \pm 12.19	69.61 \pm 12.12	0.087	31.433*	49.792*
BMI (kg/m ²)	27.60 \pm 4.00	26.78 \pm 3.98	26.01 \pm 3.47	26.09 \pm 3.40	0.938	35.014*	52.949*
WHR	0.92 \pm 0.08	0.87 \pm 0.65	0.88 \pm 0.13	0.86 \pm 0.12	0.844	8.387*	1.541
%Fat	31.13 \pm 6.34	29.14 \pm 6.40	31.30 \pm 6.08	31.48 \pm 5.73	0.420	18.762*	26.942

Values are presented as mean \pm standard deviation.

ANOVA: analysis of variance, BMI: body mass index, WHR: waist to hip ratio.

* $p<0.05$.

Table 3. Changes of blood pressure

Item	Exercise		Control		Two-way repeated ANOVA (F-value)		
	Pre	Post	Pre	Post	Group	Time	Group \times Time
SBP (mm Hg)	125.00 \pm 23.68	111.75* \pm 19.55	126.38 \pm 11.42	126.61 \pm 10.76	0.361	7.128*	16.037*
DBP (mm Hg)	82.50 \pm 18.03	73.50* \pm 13.09	83.98 \pm 12.77	84.25 \pm 8.81	0.245	2.791	7.752*

Values are presented as mean \pm standard deviation.

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

* $p<0.05$.

3. 혈중 사이토카인 농도

12주간의 복합운동프로그램 수행 후 혈중 사이토카인농도를 비롯한 혈관염증 지표들의 변화는 Table 4에서 나타난 바와 같은데, 운동그룹은 모든 항목에서 감소하는 경향을 나타냈는데, IL-6, TNF- α , 렙틴 등의 항목에서는 운동 후 유의한($p<0.05$) 감소를 나타냈으며, 아디포넥틴은 운동 후 유의하게($p<0.05$) 증가하였다. 그러나 통제그룹은 모든 항목에서 운동 전후 간에 유의한 차이가 없었다.

4. 혈중 글루코스 및 지질대사관련 변인

12주간의 복합운동프로그램 수행 후 혈중 글루코스 대사관련 변인의 변화는 Table 5에서 나타난 바와 같은데, 운동그룹은

글루코스, HbA1c, 인슐린 농도 및 homeostatic model assessment 등의 모든 항목에서 운동 후에 유의한($p<0.05$) 감소를 나타냈으나 통제그룹은 운동 전후 간에 유의한 차이가 없었다. 12주간의 복합운동 후 혈중 지질대사관련 변인의 변화는 Table 6에서 나타난 바와 같은데, 운동그룹은 총콜레스테롤, HDL-C 및 중성지방 농도 등의 항목에서 운동 후에 유의한($p<0.05$) 감소를 나타냈으나 통제그룹은 운동 전후 간에 유의한 차이가 없었다.

5. 경동맥 내중막 두께

12주간의 복합운동프로그램 수행 후 경동맥 내중막 두께의 변화는 Table 7에서 나타난 바와 같은데, 운동그룹은 우경동맥 및 좌경동맥 모든 항목에서 운동 후에 유의한($p<0.05$) 감소를 나타냈으나 통제그룹은 운동 전후 간에 유의한 차이가 없었다.

Table 4. Changes of blood concentration of cytokines

Item	Exercise		Control		Two-way repeated ANOVA (F-value)		
	Pre	Post	Pre	Post	Group	Time	Group×Time
Fibrinogen (mg/dL)	319.25±77.37	303.95±47.03	319.30±34.88	322.55±36.15	0.405	0.678	1.607
CRP (mg/L)	0.09±0.16	0.13±0.15	0.18±0.21	0.11±0.87	0.584	0.412	4.573*
IL-6 (pg/dL)	15.78±2.59	13.73*±2.65	13.47±1.41	13.24±1.32	5.263*	19.630*	12.399*
Adiponectin (mg/dL)	84.49±21.87	90.59*±19.52	79.47±16.38	77.99±16.88	2.242	7.550*	20.235*
PAI-1 (mg/dL)	36.04±8.52	39.321±18.74	41.73±8.48	45.05±12.61	3.200	1.756	0.001
TNF- α (pg/dL)	59.89±24.53	36.66* [†] ±8.36	71.11±22.49	65.21±22.15	12.614*	20.451*	7.237*
Leptin (ug/L)	20.55±10.97	13.10*±7.03	15.08±8.63	14.67±7.55	0.543	28.824*	23.065*

Values are presented as mean±standard deviation.

ANOVA: analysis of variance, CRP: C-reactive protein, IL-6: interleukin-6, PAI-1: plasminogen activator inhibitor-1, TNF- α : tumor necrosis factor- α .

* $p<0.05$ 2-way ANOVA or compared to pre-value in t-test of post hoc; [†]Compared to control value in t-test of post hoc.

Table 5. Changes of blood concentrations of glucose metabolism-related parameters

Item	Exercise		Control		Two-way repeated ANOVA (F-value)		
	Pre	Post	Pre	Post	Group	Time	Group×Time
Glucose (mg/L)	115.30±44.29	103.35*±42.99	117.60±10.10	117.65 [†] ±9.35	1.810	16.775*	17.058*
HbA1c (%)	8.14±1.01	6.32*±1.42	7.09±0.64	6.82±0.90	0.885	53.552*	29.405*
Insulin (uIU/mL)	14.38±5.73	10.84* [†] ±3.33	15.84±3.51	15.92±3.28	1.133	11.998*	13.060*
HOMA	3.93±1.68	2.71*±1.22	3.99±0.85	3.91±0.91	0.783	21.092*	22.521*

Values are presented as mean±standard deviation.

ANOVA: analysis of variance, HOMA: homeostatic model assessment.

* $p<0.05$ 2-way ANOVA or compared to pre-value in t-test of post hoc; [†]Compared to control value in t-test of post hoc.

Table 6. Changes of blood concentration of lipid profiles

Item	Exercise		Control		Two-way repeated ANOVA (F-value)		
	Pre	Post	Pre	Post	Group	Time	Group×Time
TC (mg/dL)	196.50±26.53	189.85*±26.84	192.25±16.95	197.45±10.32	1.714	0.096	6.418*
FFA (mg/dL)	592.05±245.82	576.85±190.39	578.90±163.15	536.90±136.12	0.235	1.494	0.328
HDL-C (mg/dL)	49.83±8.96	54.02*±10.61	49.88±13.31	47.90±12.74	1.947	1.182	9.213*
LDL-C (mg/dL)	130.60±22.69	138.30±22.13	130.80±10.80	133.80±16.25	2.367	3.888	0.389
TG (mg/dL)	154.50±82.30	114.90*±58.67	151.10±17.44	149.50±12.28	1.874	7.211*	10.174*

Values are presented as mean±standard deviation.

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

*p<0.05.

Table 7. Changes of intima-media thickness of carotid artery

Item	Exercise		Control		Two-way repeated ANOVA (F-value)		
	Pre	Post	Pre	Post	Group	Time	Group×Time
Rt carotid artery (mm)	0.70±0.18	0.56*±0.13	0.64±0.08	0.58±0.13	0.341	11.912*	1.906
Lt carotid artery (mm)	0.68±0.17	0.57*±0.12	0.63±0.12	0.63±0.13	0.005	4.096*	4.096*

Values are presented as mean±standard deviation.

ANOVA: analysis of variance, Rt: right, Lt: left.

*p<0.05.

Table 8. Changes of physical fitness

Item	Exercise		Control		Two-way repeated ANOVA (F-value)		
	Pre	Post	Pre	Post	Group	Time	Group×Time
PEI (%)	57.58±7.73	62.12*±7.76	64.10±16.20	62.86±14.48	0.926	4.595*	14.181*
Back muscular strength (kg)	56.37±23.46	56.92±25.70	57.57±32.77	59.25±32.37	0.040	0.250	0.064
Grip strength (kg)	29.29±9.50	33.00*±9.33	31.02±10.20	31.44±9.39	0.001	29.098*	18.465*
Sit-up (frequency)	12.75±7.25	15.60*±6.96	15.50±2.96	15.45±2.78	0.609	12.037*	12.912*
Sit & reach (cm)	10.83±10.97	13.96*±7.97	12.38±3.41	12.20±3.57	0.002	3.967	5.027*

Values are presented as mean±standard deviation.

ANOVA: analysis of variance, PEI: physical efficiency index.

*p<0.05.

6. 체력

12주간의 복합운동프로그램 수행 후 체력의 변화는 Table 8에서 나타난 바와 같은데, 운동그룹은 PEI, 악력, 윗몸일으키기 및 체전굴 등의 항목에서 운동 후에 유의한(p<0.05) 증가를 나타냈으나 통제그룹은 운동 전후 간에 유의한 차이가 없었다.

7. 운동트레이닝 후 항목별 변화 정도의 관련성

12주간 복합운동프로그램 수행 후 항목별 변화 정도의 관련성은 Table 9에서 나타난 바와 같은데, 수축기 혈압의 변화에 대해서는 체중, BMI, HbA1c, TG, IL-6, 아디포넥틴 및 악력 등의 변화 정도와 유의한(p<0.05) 상관관계를 나타냈으며, 이완기 혈압의 변화 정도는 체중, TG, IL-6, 아디포넥틴 및 악력 등의 변화

Table 9. Correlation coefficients among differences between pre- and post-exercise training in parameters

Variable	SBP Δ	DBP Δ	RCCA Δ	LCCA Δ
Body weight Δ	0.435**	0.332*	0.516**	0.370*
BMI Δ	0.424**	0.206	0.389*	0.289
HbA1c Δ	0.423**	0.228	0.404**	0.483**
TG Δ	0.474**	0.517**	0.514**	0.448*
IL-6 Δ	0.391*	0.422**	0.164	0.029
Adiponectin Δ	-0.480**	-0.412**	0.099	-0.181
Grip strength Δ	-0.465**	-0.565**	-0.581**	-0.534**
Sit & reach Δ	-0.281	-0.210	-0.530**	-0.458**

Δ : difference between pre and post-value, SBP: systolic blood pressure, DBP: diastolic blood pressure, RCCA: intima-media thickness of right carotid artery, LCCA: intima-media thickness of left carotid artery, BMI: body mass index, TG: triglyceride, IL-6: interleukin-6.

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$.

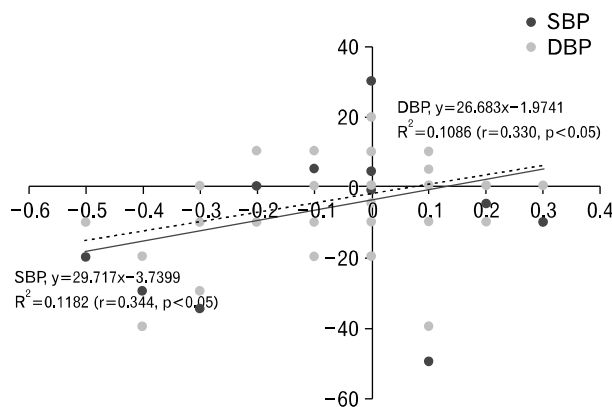


Fig. 1. Correlation between blood pressure differences and difference of intima-media thickness of left carotid artery after exercise training. SBP: systolic blood pressure, DBP: diastolic blood pressure.

정도와 유의한($p < 0.05$) 상관관계를 나타냈다. 또한 우경동맥 내중막 두께의 변화 정도는 체중, BMI, HbA1c, TG, 악력 및 체전굴 등의 변화 정도와 유의한($p < 0.05$) 상관관계를 나타냈으며, 좌경동맥 두께의 변화 정도는 체중, HbA1c, TG, 악력 및 체전굴 등의 변화 정도와 유의한($p < 0.05$) 상관관계를 나타냈다. 체력요인 중 심폐기능에 해당하는 PEI 변화는 수축기혈압 변화 및 우경동맥 내중막 두께 변화와 각각 -0.230 및 -0.146의 상관계수를 나타냈으나 통계적 유의성은 없었다. 또한 Fig. 1에서 나타난 바와 같이 좌경동맥 두께의 변화 정도는 수축기 및 이완기 혈압의 변화 정도와 유의한($p < 0.05$) 상관관계를 나타냈다.

고 찰

본 연구는 대사증후군에 해당하지만 동반질환이 없는 좌업 중년여성을 대상으로 12주간의 복합운동프로그램 수행 후 신체

구성, 체력, 혈압, 혈중 변인, 경동맥 내중막 두께 등에 미치는 영향을 분석함으로써 운동트레이닝이 중년 비만 여성의 혈관합병증 발생요인에 미치는 영향을 살펴보고자 하였다. 분석결과 12주간의 복합운동프로그램 수행은 대사증후군을 가진 중년여성들의 신체구성과 체력수준을 향상시켰으며, 또한 안정 시 혈압과 경동맥 내중막 두께는 12주 운동 후 유의한($p < 0.05$) 감소효과를 나타냈다.

운동트레이닝은 신체구성 및 심혈관 질환 위험을 개선시킬 수 있는 가장 경제적이며, 실행 가능한 비약리학적 요법이다. 특히 지구성운동은 복강 내 내장지방을 감소시킬 수 있는 효과적인 방법으로 널리 알려져 있다¹². 본 연구결과에서도 운동그룹이 신체구성의 모든 항목에서 유의하게($p < 0.05$) 감소하는 효과를 나타낸 것은 복합운동프로그램이 부적 열량소모를 나타내는데 현저한 도움을 준 것으로 간주된다. 특히 체력관련 대부분 항목이 개선됨으로써 복합운동프로그램의 긍정적인 효과로 간주된다. 운동프로그램의 긍정적인 효과는 중년 비만여성의 건강개선을 위해서 체력수준의 향상이 신체구성에 비해서 상대적으로 더욱 중요한 지표가 될 수 있다는 관점에서 매우 중요한 의미로 받아들여져야 한다. 특히 이러한 체력향상은 신체구성 변화와 더불어 비만인의 대사증후군 유병률은 물론 사망률을 완화시키는데 매우 중요한 지표로 함께 고려되어야 하며, 본 연구의 중요한 지표인 혈관기능의 개선을 통해서 심혈관 질환의 유병률을 나타내는데 중요한 지표로 고려되어야 한다는 관점에서 긍정적인 효과로 간주될 수 있다. 체력 향상의 세부적인 지표들을 살펴보면 가장 중요한 체력 요인에 해당하는 심폐기능의 지표가 되는 하버드 스텝테스트의 PEI가 현저하게 향상되었으며, 아울러 최근 체력향상과 관련하여 심폐기능의 단일지표만 고려되는 것은 바람직하지 않다는 지적을 고려하여 악력을 중심으로 한 근력 향상의 병행효과¹³도 중요하게 간주되어야 하는데, 본 연구에서 운동그룹

이 약력의 유의한($p < 0.05$) 향상을 나타냄으로써 비만 중년여성에게 적용된 복합운동프로그램의 긍정적인 효과를 확인할 수 있었다. 약력은 노화과정에서 중요한 건강위험지표에 해당하는 근육감소증의 중요한 지표로 간주되고 있는데¹³, 본 연구에서 현저한 운동효과를 확인시켜 줌으로써 건강관련 중요한 지표에 해당함을 알 수 있었다. 운동 트레이닝을 통한 체지방 감소에 대한 많은 관심과 연구에도 불구하고 지방손실을 증가시킬 수 있는 가장 효과적인 운동방법은 여전히 명확하게 제시되지 않고 있다¹⁴는 관점에서 다양한 강도의 적용을 통한 지속적인 분석이 요구된다. 본 연구에서 운동그룹은 체중을 비롯한 신체구성의 모든 지표에서 현저한 감소효과를 나타냄으로써 적용된 복합운동 프로그램이 중년여성의 신체구성 개선에 매우 효과적인 프로그램이 될 수 있다는 것을 알 수 있었다.

12주간의 운동트레이닝에 따른 혈중 글루코스 대사관련 변인을 분석해본 결과 운동그룹의 경우 공복 시 혈중 글루코스를 비롯한 모든 항목에서 통계적으로 유의하게($p < 0.05$) 감소됨으로써 인슐린저항성이 현저하게 개선되는 것으로 나타났다. 또한 혈중 지질 변인에서도 운동그룹은 총콜레스테롤과 중성지방 농도에서 유의하게($p < 0.05$) 감소하였으며, HDL-C 농도가 유의하게($p < 0.05$) 증가하는 운동효과를 나타냄으로써 혈중 지질 변인의 변화는 운동프로그램의 긍정적인 효과를 통해서 대사성질환의 위험지표들이 전체적으로 개선되는 것으로 나타났다. 규칙적인 운동이 인슐린저항성과 함께 혈중 지질 변인의 개선을 위한 효과적인 처치방법이 된다는 것은 많은 선행연구¹⁵를 통해서 널리 보고된 바 있는데, 이 과정에서 체중감소가 동반되지 않을 경우 그 개선효과가 일시적으로 나타나는 경향¹⁶이 있는 반면에 체중감소가 동반될 경우 비교적 지속적인 것으로 보고¹⁷됨으로써 본 연구에서와 같이 체중을 비롯한 신체구성의 긍정적인 효과가 동반될 수 있도록 하는 것을 중요하게 고려할 필요성이 있을 것으로 생각된다.

인슐린저항성과 혈중 지질 변인의 개선은 대사성질환 유발의 중요한 기전적 요인에 해당하는 체내 염증지표 개선에도 관여할 수 있을 것으로 기대되는데, 체내 염증과 관련된 사이토카인의 유발상태는 체내 염증발생과정에서 중요한 영향을 미치면서 대사성질환 유병률 등에 심각한 영향을 미치기 때문에 건강상태 유지는 물론 노화과정의 치매 발생 및 인지기능 저하에도 심각한 영향을 미치는 것으로 보고된 바 있다¹⁸. 따라서 체내 사이토카인 농도는 건강 및 질환상태의 진단 및 증상을 확인하기 위한 유용한 생체지표로서 처치과정의 중요한 효과와 관련된 지표가 되기도 한다.

Drexel 등¹⁹은 45명의 건강한 좌업 중년성인을 대상으로 8주간

지구성운동 시 움직임의 유형(eccentric vs. concentric)이 심혈관 질환 위험인자에 미치는 영향을 분석한 결과 신전성(eccentric) 운동은 신진대사 및 항염증 효과가 있으며 당 내성을 유의하게 개선시켰으며, 단축성(concentric) 운동은 중성지방 수준을 개선시킨 것으로 보고하였다. 이를 통해 본 연구에서 적용된 복합운동은 신체구성의 변화와 더불어 혈중 지질과 혈당 조절력을 증가시키는데 효과적인 것으로 생각된다.

규칙적인 유산소운동은 심혈관 질환의 위험을 감소시키고 동맥기능을 보존하는데, 이는 항염증 효과에 의한 혈관보호효과 때문으로 간주되고 있다²⁰. 아테롬성 동맥경화증의 병인으로는 만성적 수준의 염증과 내피의 기능장애를 포함하고 있는데²¹, 활성화된 단핵구와 대식세포는 염증반응의 시작과 진행의 중재자인 염증유발성 사이토카인을 분비하기 때문에 죽상경화증 발생에 중요한 역할을 하며, 혈관세포에 직접 영향을 미쳐 혈관기능의 장애를 일으키게 된다²². 특히 IL-6는 내피세포 부착분자의 발현을 유도하고 내피 nitric oxide synthase (eNOS)의 활성화를 억제함으로써 내피세포에 직접적으로 영향을 미친다. 본 연구결과 12주간의 복합운동프로그램은 비만 중년여성들의 혈중 IL-6, TNF- α 농도를 유의하게($p < 0.05$) 감소시켰다. Elosua 등²³은 고령자를 대상으로 신체활동과 염증성 생체 표지자의 상관성을 분석한 결과, 간헐적인 가벼운 운동 강도에서도 염증성 생체인자들이 유의하게 감소한 것으로 보고하였다. 또한 Lesniewski 등²⁴은 유산소운동이 노화 흰쥐의 동맥염증에 미치는 영향을 분석한 결과, 14주간의 자발적인 바퀴 달리기는 대동맥 내 IkB kinase-Nuclear factor kappa B 활성화, 사이토카인(IL-1, IL-6, Interferon- γ , TNF- α) 발현, 외상 및 대식세포 침윤 및 혈관기능을 개선시키는 것으로 나타났으나 젊은 흰쥐에서는 이러한 현상이 나타나지 않았다. 이들은 이러한 결과를 통해 규칙적인 신체활동은 혈관 내 항염증 효과를 발생시켜 노화에 따른 혈관 장애를 개선시킬 수 있는 것으로 결론 내렸다. 특히 IL-6는 생체기능의 항상성 유지에 결정적인 영향을 미치는 지표로서 염증유발과 항 염증기능을 함께 가지면서 염증발생과 관련된 체내 생리적 기능 및 면역기능조절의 핵심적 지표로 간주되고 있다. 본 연구에서 이러한 혈중 IL-6 농도는 운동그룹에서 복합운동프로그램 수행 후 현저한 감소를 나타냈으며, 이러한 감소 정도는 수축기 및 이완기 혈압의 감소 정도와 유의한($p < 0.05$) 상관계수를 나타냄으로써 혈관기능 조절에 중요한 영향을 미친다는 것을 알 수 있었다.

또한 본 연구에서 운동그룹은 운동 후 염증유발 사이토카인의 대표적인 항목 중의 하나인 TNF- α 의 혈중 농도가 유의하게($p < 0.05$) 감소하였으며, 항 염증요인으로서 인슐린저항성과 동맥경

화증을 감소시키는 중요한 작용을 함으로써 대사성 질환방지에 긍정적으로 작용하는 아디포넥틴의 혈중 농도는 유의하게($p < 0.05$) 증가함으로써 운동의 긍정적인 효과를 명확하게 제시해 주고 있다²⁵. 대사성질환의 가장 핵심적인 원인에 해당하는 만성적 염증유발과 관련된 사이토카인의 증가는 인슐린저항성, 췌장 세포 괴사, 죽상동맥경화증, 신경조직 퇴화 및 암세포 증식 등의 원인으로 작용하게 되며, 가장 대표적으로 2형 당뇨병과 심혈관 질환 유병률 증가에 핵심적인 요인으로 작용하게 된다. 따라서 본 연구에서 운동그룹의 염증관련 사이토카인인 혈중 TNF- α 및 아디포넥틴 농도 등의 긍정적인 변화는 운동효과의 중요한 초점을 맞춘 혈관기능의 핵심적 요인인 혈압과 경동맥 내중막 두께에 대한 변화에 긍정적인 영향을 미쳤을 것으로 기대된다. 본 연구에 적용된 운동트레이닝은 비만 중년 여성의 신체구성 및 혈중 사이토카인농도 등의 긍정적인 변화를 통해서 혈관기능의 긍정적인 변화를 가져올 수 있다는 것²⁶을 분명하게 확인할 수 있었다. 운동트레이닝의 항 염증효과와 관련된 사이토카인 분비과정에서 중요하게 고려되어야 하는 부분은 혈중 사이토카인 농도에 영향을 미칠 수 있는 그 분비기관이 근육일 경우 IL-6를 비롯한 IL-4, IL-7, IL-15, leukemia inhibitory factor 등은 항 염증 작용을 통해서 비만에 의한 혈관기능 저해요인을 억제하며, 대사성질환의 유병률을 낮출 수 있다²⁶는 관점에서 근육에서의 단백질 발현을 포함한 세부적인 변화양상이 병행되어야 할 것이다.

본 연구의 가장 중요한 초점에 해당하는 혈관기능과 관련된 결과에서 운동그룹이 운동 전에 비해 12주간의 복합운동프로그램 수행 후 수축기 및 이완기 혈압과 좌, 우경동맥 내중막 두께의 모두에서 유의하게($p < 0.05$) 감소하는 효과를 나타냈다. 경동맥의 내막과 중막은 내피세포, 결체조직, 평활근으로 구성되어 있으며 죽상동맥경화성 반 형성에 있어 지방이 축적되는 부위이다. Veller 등²⁷은 경동맥의 내중막 두께는 정상인에서 0.25-1.5 mm로 나타나며, 임상적으로 1.0 mm 이상이면 질환발생 위험도가 높은 것으로 보고하였다. 그러나 아직 국내에서는 정상치에 대한 기준이 확립되지 못한 상태이다. 경동맥의 내중막 두께는 비만인이 높게 나타나며, 심근경색, 뇌졸중 등의 잠재적 위험요인에 해당하는데, 비만인에 대한 메타분석결과에서 체중 감소의 정도와 경동맥 내중막 두께의 감소 정도는 높은 상관을 가진 것으로 보고²⁸된 바 있는데, 본 연구에서도 복합운동프로그램 수행 후 좌우 경동맥의 내중막 두께의 감소 정도는 체중, HbA1c 및 TG의 감소 정도는 유의한($p < 0.05$) 상관관계를 나타냄으로써 혈관기능 개선을 위해서는 체중감소와 더불어 인슐린감수성 및 혈중 지질 개선의 중요성을 명확하게 확인할 수 있었다. 최근 Byrkjeland 등²⁹은 당뇨병 환자와 관상동맥질환자를 대상으로 본 연구에서와 동일하

게 적합한 유산소운동 및 저항성운동의 복합운동프로그램의 수행 후 경동맥 내중막 두께의 현저한 감소를 보고함으로써 본 연구의 결과를 뒷받침해주고 있다. 특히 본 연구의 대상자들은 경동맥 내중막 두께가 대부분 정상범위에 포함되었으나 12주간의 운동 후 더욱 개선되는 결과를 나타냈다. 이는 다양한 요인에 의해 발생하였을 것으로 생각되지만, 본 연구의 결과에서 신체구성의 긍정적인 변화에 의한 혈중 염증인자의 개선과 혈당 조절력 등의 간접적인 영향과 더불어 특히 HbA1c 수준과 혈중 TG의 유의한 개선은 혈관 내 긍정적 변화에 크게 영향을 미쳤을 것으로 생각된다.

복합운동트레이닝에 의한 경동맥 내중막 두께의 변화는 수축기 및 이완기 혈압의 개선효과와 높은 상관성을 나타냄으로써 실제적인 혈관기능 개선에 크게 도움을 준 것으로 간주되며, 이러한 효과는 악력 및 체전굴을 포함한 체력향상과 높은 관련성을 나타냈다. 특히 Fig. 1에서 나타난 바와 같이 좌경동맥 내중막 두께의 변화는 수축기 및 이완기 혈압의 개선효과와 유의한($p < 0.05$) 상관성을 나타냄으로써 운동효과에 따른 혈관기능 및 구조의 개선효과가 동반적으로 나타나고 있음을 확인할 수 있었다. 비만 중년여성에게서 나타난 신체구성과 체력향상효과는 심방세동을 비롯한 심혈관 질환의 유병률을 낮추는 데 크게 도움을 줄 수 있다³⁰는 관점에서 본 연구에서도 이러한 효과가 혈압 및 경동맥 내중막 두께를 완화시키는데 중요한 영향을 미치는 것을 파악할 수 있었으며, 아울러 혈관기능이 신체적 건강상태에 중요한 요인으로 포함된다는 것을 확인할 수 있었다. 단, 본 연구는 40대 폐경 이전의 여성을 대상으로 함으로서 성별과 연령대에 따른 제한적 효과로 간주되며, 아울러 신체구성을 포함한 혈중 변인의 변화 등이 식이섭취에 따른 영향이 작용할 가능성이 높는데 반해서 식이통제를 실시하지 못한 부분이 제한점으로 간주된다.

결론적으로 대사성 증후군을 나타낸 비만 중년여성을 대상으로 12주간의 복합운동프로그램을 수행한 결과 신체구성, 혈중 글루코스 대사 변인 및 지질 변인이 개선되었으며, 체내 염증과 관련된 혈중 사이토카인농도의 긍정적인 변화를 통해서 혈관기능 관련지표인 혈압 및 경동맥 내중막 두께의 현저한 개선이 이루어지는 것을 확인할 수 있었다.

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

- Cornier MA, Dabelea D, Hernandez TL, et al. The metabolic syndrome. *Endocr Rev* 2008;29:777-822.
- Mykkanen L, Kuusisto J, Pyorala K, Laakso M. Cardiovascular disease risk factors as predictors of type 2 (non-insulin-dependent) diabetes mellitus in elderly subjects. *Diabetologia* 1993;36:553-9.
- Aydin M, Bulur S, Alemdar R, et al. The impact of metabolic syndrome on carotid intima media thickness. *Eur Rev Med Pharmacol Sci* 2013;17:2295-301.
- Akasaka K, Takai R, Saito E, et al. Investigation of atherosclerosis using carotid ultrasonography. *Rinsho Byori* 2010;58:809-15.
- Hodis HN, Mack WJ, LaBree L, et al. The role of carotid arterial intima-media thickness in predicting clinical coronary events. *Ann Intern Med* 1998;128:262-9.
- World Health Organization. World health statistics 2018: monitoring health for the SDGs, sustainable development goals. Geneva: World Health Organization; 2018.
- Vlachopoulos C, Aznaouridis K, Stefanadis C. Prediction of cardiovascular events and all-cause mortality with arterial stiffness: a systematic review and meta-analysis. *J Am Coll Cardiol* 2010;55:1318-27.
- Ahmadi-Abhari S, Sabia S, Shipley MJ, et al. Physical activity, sedentary behavior, and long-term changes in aortic stiffness: the Whitehall II study. *J Am Heart Assoc* 2017;6:e005974.
- Pollex RL, Hanley AJ, Zinman B, Harris SB, Khan HM, Hegele RA. Metabolic syndrome in aboriginal Canadians: prevalence and genetic associations. *Atherosclerosis* 2006;184:121-9.
- Rundek T, White H, Boden-Albala B, Jin Z, Elkind MS, Sacco RL. The metabolic syndrome and subclinical carotid atherosclerosis: the Northern Manhattan Study. *J Cardiometab Syndr* 2007;2:24-9.
- Mukai N, Ninomiya T, Hata J, et al. Association of hemoglobin A1c and glycated albumin with carotid atherosclerosis in community-dwelling Japanese subjects: the Hisayama Study. *Cardiovasc Diabetol* 2015;14:84.
- Lee S, Kuk JL, Davidson LE, et al. Exercise without weight loss is an effective strategy for obesity reduction in obese individuals with and without Type 2 diabetes. *J Appl Physiol* (1985) 2005;99:1220-5.
- Garcia-Hermoso A, Tordecilla-Sanders A, Correa-Bautista JE, et al. Handgrip strength attenuates the adverse effects of overweight on cardiometabolic risk factors among collegiate students but not in individuals with higher fat levels. *Sci Rep* 2019;9:6986.
- Slentz CA, Aiken LB, Houmard JA, et al. Inactivity, exercise, and visceral fat. STRRIDE: a randomized, controlled study of exercise intensity and amount. *J Appl Physiol* (1985) 2005;99:1613-8.
- Keshel TE, Coker RH. Exercise training and insulin resistance: a current review. *J Obes Weight Loss Ther* 2015; 5(Suppl 5):S5-003.
- Sklerlyk JR, Karagounis LG, Hawley JA, Sharman MJ, Laursen PB, Watson G. Two weeks of reduced-volume sprint interval or traditional exercise training does not improve metabolic functioning in sedentary obese men. *Diabetes Obes Metab* 2013;15:1146-53.
- Yoshida H, Ishikawa T, Suto M, et al. Effects of supervised aerobic exercise training on serum adiponectin and parameters of lipid and glucose metabolism in subjects with moderate dyslipidemia. *J Atheroscler Thromb* 2010;17:1160-6.
- Sochocka M, Sobczynski M, Sender-Janeczek A, et al. Association between periodontal health status and cognitive abilities. the role of cytokine profile and systemic inflammation. *Curr Alzheimer Res* 2017;14:978-90.
- Drexel H, Saely CH, Langer P, et al. Metabolic and anti-inflammatory benefits of eccentric endurance exercise: a pilot study. *Eur J Clin Invest* 2008;38:218-26.
- Jankord R, Jemiole B. Influence of physical activity on serum IL-6 and IL-10 levels in healthy older men. *Med Sci Sports Exerc* 2004;36:960-4.
- Hansson GK. Inflammation, atherosclerosis, and coronary artery disease. *N Engl J Med* 2005;352:1685-95.
- Muller DN, Kvakan H, Luft FC. Immune-related effects in hypertension and target-organ damage. *Curr Opin Nephrol Hypertens* 2011;20:113-7.
- Elosua R, Bartali B, Ordovas JM, et al. Association between physical activity, physical performance, and inflammatory biomarkers in an elderly population: the InCHIANTI study. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 2005;60:760-7.
- Lesniewski LA, Durrant JR, Connell ML, et al. Aerobic exercise reverses arterial inflammation with aging in mice. *Am J Physiol Heart Circ Physiol* 2011;301:H1025-32.
- Yu N, Ruan Y, Gao X, Sun J. Systematic review and meta-analysis of randomized, controlled trials on the effect of

- exercise on serum leptin and adiponectin in overweight and obese individuals. *Horm Metab Res* 2017;49:164-73.
26. Pedersen BK. Anti-inflammatory effects of exercise: role in diabetes and cardiovascular disease. *Eur J Clin Invest* 2017;47:600-11.
27. Veller MG, Fisher CM, Nicolaides AN, et al. Measurement of the ultrasonic intima-media complex thickness in normal subjects. *J Vasc Surg* 1993;17:719-25.
28. Skilton MR, Yeo SQ, Ne JY, Celermajer DS, Caterson ID, Lee CM. Weight loss and carotid intima-media thickness-a meta-analysis. *Obesity (Silver Spring)* 2017;25:357-62.
29. Byrkjeland R, Stenseth 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.
30. Lavie CJ, Pandey A, Lau DH, Alpert MA, Sanders P. Obesity and atrial fibrillation prevalence, pathogenesis, and prognosis: effects of weight loss and exercise. *J Am Coll Cardiol* 2017;70:2022-35.