

Effects of 10 weeks of aerobic exercise training on cardiovascular function, atherosclerosis, and vascular endothelial function in elderly women

Lee, Byung-Sun, Kim, Kyung-Ae, & Man-Gyoon Lee*

Kyung Hee University

[Purpose] The purpose of this study was to investigate the effect of a 10-week aerobic exercise training on cardiovascular function, atherosclerosis, and vascular endothelial function in elderly women. **[Methods]** Twenty impaired fasting glucose (IFG) and normoglycemic elderly women volunteered to participate in the study. The participants in aerobic exercise training group (TR: n=9) completed 20-40 minutes of aerobic exercise program at 30-50% HRR for 3 times per week during 10 weeks. The participants in control group (CON: n=11) were asked to maintain their normal life pattern during the same intervention period. **[Results]** Main results of the study were as follows: 1) There were no significant main effect or interaction in body weight, fat-free mass, fat mass, percent body fat, and body mass index. 2) There were no significant main effect or interaction in heart rate, stroke volume, cardiac output, total peripheral resistance (TPR), systolic blood pressure, diastolic blood pressure, mean arterial blood pressure, pulse pressure, and rate pressure product. However, interaction between group and test in TPR was close to statistically significant level ($P = .054$), and it tended to be decreased in TR group. 3) There was a significant main effect of test in high sensitivity C-reactive protein (hs-CRP), it tended to be decreased in TR group. There were no significant changes in total cholesterol (TC)/high density lipoprotein-cholesterol (HDL-C) ratio, triglyceride/HDL-C ratio, and low density lipoprotein-cholesterol/HDL-C ratio. 4) There were significant main effect of group, main effect of test, as well as interaction between group and test in % flow mediated dilation (FMD), and it increased significantly ($P < .01$) in TR group. Nitric oxide tended to be increased in TR group, even though it did not change significantly in both groups. **[Conclusions]** It was concluded that the 10-week aerobic exercise training would be beneficial for improvement of vascular endothelial function, resulting from the decrement of total peripheral resistance.

Key words: impaired fasting glucose, aerobic exercise, cardiovascular function, vascular endothelial function, flow-mediated dilation.

서론

전 세계적으로 전체 성인의 약 9%가 당뇨병을 앓고 있다고 보고되었다(World Health Organization,

2014). 당뇨병은 전형적인 대사질환으로서 그 자체로 조심해야 하지만, 심한 경우 혈관질환으로 이어져 각종 합병증을 일으켜 사망률을 증가시키기 때문에 각별한 관리가 필요하다(Yamagishi et al., 2007). 당뇨병을 앓고 있는 노인의 경우 정상 노인에 비하여 심혈관질환으로 인한 사망률이 3배 이상 높다고 보고된 바 있다(Sowers & Lester, 1999).

논문 투고일 : 2017. 02. 13.

논문 수정일 : 2017. 04. 17.

게재 확정일 : 2017. 05. 08.

* 교신저자 : 이만균(mlee@khu.ac.kr).

일반적으로 공복혈당이 $126 \text{ mg}\cdot\text{dL}^{-1}$ 이상일 경우 당뇨병으로 분류되며, 공복혈당이 정상기준인 $100 \text{ mg}\cdot\text{dL}^{-1}$ 이상이면서 $125 \text{ mg}\cdot\text{dL}^{-1}$ 이하일 때 당뇨 전단계인 공복혈당장애(impaired fasting glucose: IFG)로 진단된다(American Diabetes Association: ADA, 2013). 공복혈당장애는 다양한 기전으로 당대사에 영향을 주며, 방치할 경우 당뇨병으로 이어질 가능성이 크다(Bartnik et al., 2004).

최근의 연구에서 Lee et al.(2016)은 공복혈당장애 노인이 정상혈당 노인에 비해 혈중 지질, 동맥경화지표, 염증지표, 그리고 대부분의 심혈관기능에서는 차이가 나타나지 않았으나, 체력 수준이 유의하게 감소되었고, 혈관내피세포기능이 정상혈당 노인에 비해 유의하게 낮다고 보고하였다. 이 결과를 토대로, 공복혈당장애를 장기간 방치하여 당뇨병으로 이어질 경우 신체 기능의 약화와 혈관질환으로 이어질 가능성이 크다(Lee et al., 2016). 이와 같은 혈관내피세포기능의 저하는 고혈당으로 인한 활성산소(reactive oxygen species: ROS)를 증가시키고 endothelial nitric oxide synthase(eNOS)의 활성화를 저해하며, 혈당 증가에 의한 산화 스트레스는 혈관내피세포의 기능 장애를 일으키는 주요 원인이 되 상호 간에 부정적인 영향을 미친다(Brownlee, 2005). 혈관의 기능이 약화되면 조직으로 가는 혈류량이 감소되어 하지 말단 혈관에 허혈이 나타나고 족부궤양화로 진행된다. 또한, 당뇨병은 죽상경화성 심혈관질환, 말초동맥질환, 뇌혈관질환, 그리고 고혈압과 이상지질혈증 등의 합병증을 유발하는 것으로 보고되었다(ADA, 2013).

Morita et al.(2006)은 공복혈당장애의 혈중 지질 상태가 동맥경화도의 위험요인과 밀접한 관계가 있다고 보고하였다. 혈중 지질 농도의 비율을 이용하여 혈관내피세포기능, 고혈압, 심혈관질환, 그리고 고지혈증의 진단이 가능하며(Harris et al., 2010), 이는 동맥경화도 지표로 사용될 뿐만 아니라 인슐린 저항성 지표로도 사용된다(Tan et al., 2004). 혈중 지질의 부정적인 변화는 당뇨병뿐만 아니라 당뇨병 전단계인 공복혈당장애에서도 나타나며, 공복혈당 및 심혈관질환과 밀접한 관계가 있다고 보고되었다(Meigs et al., 2002). 또한, 동맥경화의 중요한 예측 인자로 사용되는 C 반응성 단백질(C-reactive protein: CRP)은 심혈관질환을

예측하는 혈중 염증지표로서 광범위하게 활용되고 있다(Ridker, 2003). 혈중 CRP 수준은 인슐린 민감성과 혈관내피세포기능 장애와 같은 혈관 위험수준을 예측하는데도 유용하게 활용된다(Ridker et al., 2003). 최근에는 혈관의 기능과 동맥경화도를 동시에 측정하기 위하여 혈관내피세포기능 검사인 flow-mediated dilation(FMD) 검사가 널리 사용되고 있다. 비침습적 측정방법인 FMD 검사는 5분간의 혈관 폐색 후 개방하면 혈류량이 급격하게 증가되면서 혈관 shear stress가 높아져 nitric oxide (NO)의 분비를 유발함으로써 혈관이완기능을 조절하는 NO의 생체 이용률과 혈관내피세포기능을 측정하는 생리학적 자극을 이용한 검사이다(Deanfield et al., 2007).

오래 전부터 당뇨병을 앓고 있는 노인을 대상으로 신체활동을 증가하는 것이 심혈관질환의 위험요인을 감소시키는데 매우 효과적이라고 보고된 바 있다(Blair et al., 1989). 미국대학스포츠의학회(American College of Sports Medicine: ACSM)는 고혈당 개선 및 심혈관 건강의 유지·증진을 위하여 중강도 이상의 운동을 주 3회, 30분 이상 실시하도록 권장하였다(ACSM, 2013). 이와 같은 당뇨병 환자가 운동 트레이닝을 실시했을 경우 약물 처치에 의한 혈당 조절 및 심혈관계 위험요인의 감소와 같은 긍정적인 효과가 배가된다고 보고되었으며(Conn et al., 2007), 유산소운동의 지속적인 실시는 당뇨병 이환율과 사망률을 감소시키는 것으로 보고되었다(Haskell et al., 2007). 한편, 중강도 이상의 운동 트레이닝이 체력 수준과 건강을 개선하는데 효과적이지만 지속적인 실시가 어려움이 있다고 보고되었다(Perri et al., 2002).

이상에서 살펴본 바와 같이, 공복혈당장애는 심혈관 기능의 저하와 밀접한 관계가 있다. 혈액 내 당분의 농도가 지속적으로 높아 혈액의 점성이 높아지고, 그 결과 혈관내피세포기능을 저하시킬 가능성이 크다. 따라서 공복혈당장애 기준 이하의 여성 노인을 대상으로 심혈관기능과 혈관내피세포기능의 개선을 위한 운동 트레이닝의 효과를 검증하는 것은 매우 큰 의미가 있을 것으로 판단되지만, 그 관련 연구가 국내·외적으로 매우 부족한 실정이다. 노인 여성을 대상으로 하여 타당도 높은 방법인 FMD 검사를 적용하여 운동 트레이닝의 효과를 규명하는 연구는 매우 큰 독창성이 있다고 판단된다.

Table 1. Physical characteristics of participants

Variables	TR (n=9)	CON (n=11)	P
Age(yrs)	75.70±3.86	74.36±2.94	.381
Height(cm)	150.65±6.31	150.62±5.20	.990
Body weight(kg)	56.39±4.93	56.94±8.00	.854
%BF(%)	34.68±2.29	34.03±3.42	.617
BMI(kg·m ⁻²)	24.91±2.33	25.10±3.29	.881
FPG(mg·dl ⁻¹)	113.44±33.92	115.64±22.26	.864
FPI(uU·ml ⁻¹)	6.88±3.08	9.00±5.40	.310
HOMA-IR	1.93±1.07	2.60±1.73	.325

TR: training group, CON: control group, %BF: percent body fat, BMI: body mass index, FPG: fasting plasma glucose, FPI: fasting plasma insulin.

이 연구에서는 공복혈당장애 기준 이하의 노인 여성을 대상으로 하여 10주간의 유산소운동 트레이닝이 심혈관기능, 동맥경직도 간접지표, 그리고 혈관내피세포 기능에 미치는 영향을 규명하고자 하였다.

연구 방법

연구 대상자

이 연구의 대상자는 S시와 Y시에 거주하는 65세 이상의 노인 여성으로서, 미국당뇨병협회(ADA, 2013)에서 제시한 공복혈당장애 기준인 125 mg·dl⁻¹ 이하인 자들이었다. 선행연구를 참고하여 effect size 0.6, power 0.8로 설정하여 통계적인 파워 테스트를 실시하였고, 중도 탈락률 40%를 고려하여 28명을 선정하였다. 이들은 운동집단과 통제집단에 각각 14명씩 무선할당(random assignment) 하였다. 이들은 모두 혈당강하제를 복용하지 않고, 근골격계질환이 없으며, 각종 체력검사에 참여하는데 문제가 없는 자들이었다. 연구 진행과정 중에 운동집단에서 5명과 통제집단에서 3명이 탈락하여 운동집단 9명과 통제집단 11명, 총 20명의 결과만을 최종분석에 포함하였다. 연구 시작 전 모든 대상자에게 연구의 목적, 실험 절차, 그리고 실험 중 잠재적 위험요소에 대

하여 충분히 설명하였으며, 이를 이해하고 자발적으로 참여하고자 하는 자로부터 건강력 설문지와 검사동의서를 받은 후 실험에 참여하도록 하였다. 연구 대상자의 신체적 특성은 <Table 1>에 제시된 바와 같다.

측정 항목과 방법

모든 대상자는 검사를 위하여 2일에 걸쳐 실험실을 방문하였다. 1차 검사에서는 기본적인 병력 조사, 신체구성 검사, 그리고 혈액 채취를 실시하였고, 2차에서는 심혈관기능 검사와 혈관내피세포기능 검사를 실시하였다. 병력 조사를 제외한 모든 검사는 10주간의 본 처치 후 사후검사에서 동일한 방법으로 실시하였다.

체격과 신체구성

신장은 수동식 일반 신장계(Samhwa, 한국)를 이용하여 cm 단위로 측정하였고, 체중은 전자식 지시저울(CAS-150, DW-150, 한국)을 이용하여 kg 단위로 측정하였다. 체질량지수(body mass index: BMI)는 kg 단위의 체중을 m 단위 신장의 제곱 값으로 나누어 산출하였다. 신체구성과 관련하여, 생체전기저항법(X-Scan Plus II, 한국)을 이용하여 체지방량(fat-free mass), 체지방량(fat mass), 그리고 체지방률(percent body fat)을 측정하였다.

혈액의 채취와 성분 분석

모든 대상자는 실험 당일 12시간 이상 공복 상태로 오전 8시에 실험실에 도착하여 30분간 안정을 취하도록 한 후 상완 주정맥(antecubital vein)에서 주사기를 이용하여 전문 간호사가 10 ml의 정맥혈을 채취하였다. 분석항목에 따라 항응고 처리 또는 처리되지 않은 튜브에 넣고 원심분리기를 이용하여 3,000 rpm으로 10분간 원심분리한 후 혈장(plasma)과 혈청(serum)을 추출하였다. 추출된 샘플을 보관 튜브에 넣어 분석 시점까지 -70°C의 deep freezer에서 보관하였고, (주)의학연구소에 의뢰하여 분석하였다.

공복혈당(fasting plasma glucose: FPG)은 GLU Kit(Roche, 독일)와 Modular Analytics(E 170, Roche, 독일)를 이용하여 enzymatic assay로 분석하였다. 공복인슐린(fasting plasma insulin: FPI)은

Insulin kit (Roche, 독일)을 이용하여 electrochemiluminescence immunoassay로 분석하였다. HOMA-IR (homeostasis model assessment of insulin resistance)은 Matthews et al. (1985)의 공식을 이용하여 산출하였다.

혈중 지질 성분 중 총콜레스테롤 (total cholesterol: TC)은 cholesterol oxidase를 이용한 화학 반응원리로 분석하였고, 중성지방 (triglycerides: TG)은 자동분석기 (ADVIA 1650, Bayer, 일본)를 이용하여 enzymatic colorimetric method로 분석하였다. 고밀도 지단백 콜레스테롤 (HDL-C)은 cholesterol oxidase를 이용하여 수용성 염료의 침전제인 인텟스텐산과 마그네슘 양이온의 작용으로 저밀도 지단백 콜레스테롤 (LDL-C)을 침전시켜 분석하였고, LDL-C는 enzyme immunoassay로 분석하였다. 동맥경직도 간접지표를 얻기 위하여 TC/HDL-C 비율, TG/HDL-C 비율, 그리고 LDL-C/HDL-C 비율을 산출하였다.

염증지표인 high sensitivity C-reactive protein (hs-CRP)은 immunonephelometric assay를 이용하여 분석하였다. 혈관이완기능 지표인 NO를 측정하기 위하여 colorimetric Griess assay를 이용하여 ENO-20 (EiCOM, 미국)으로 분석하였다. NO colorimetric Assay의 분석은 다음과 같이 진행되었다. 먼저, NO₃를 NO₃환원효소를 이용하여 NO₂로 전환시키고, griess reagent를 사용하여 NO₂를 deep purple azo compound로 전환하였다. azochromophore를 이용하여 NO를 측정하였으며, 이 분석의 intra-assay CV는 10% 미만 이었고, interassay CV는 15% 미만이었다.

심혈관기능

모든 대상자에게 측정 24시간 전부터 카페인 섭취, 음주, 흡연, 그리고 고강도의 운동을 삼가도록 하였고, 오전 8시까지 실험실에 도착하여 30분간 안정을 취하도록 한 후 검사를 실시하였다.

심혈관반응

안정 시 심혈관반응은 Physioflow (PF-05, Manatec Biomedical, 프랑스)를 이용하여 측정하였다. 이 장비는 transthoracic impedance의 변화를 측정하는 비침습적 방법을 활용하며, 경동맥 부위에 2개의 전극과 심장

부위에 4개의 전극을 부착하여 심박수 (heart rate: HR)와 1회박출량 (stroke volume: SV)을 측정하였다. 심박출량 (cardiac output: CO)은 측정된 HR과 SV의 곱으로 산출하였으며, 측정된 혈압 (blood pressure: BP)과 산출된 CO를 이용하여 총말초혈관저항 (total peripheral resistance: TPR)을 산출하였다.

혈압과 심근산소소비량

수는 혈압계 (sphygmomanometer, 독일)를 이용하여 수축기 혈압 (systolic blood pressure: SBP)과 이완기 혈압 (diastolic blood pressure: DBP)을 측정하였고, 이 수치를 이용하여 평균동맥압 (mean arterial pressure: MAP)과 맥압 (pulse pressure: PP)을 산출하였다. HR과 SBP를 곱하여 rate-pressure product (RPP)를 산출하였다. RPP는 심근 산소소비량의 간접 지표로서 심근에 가해지는 부담을 의미한다 (Kittamura et al., 1972).

혈관내피세포기능

대상자가 측정용 침대에 5분간 누운 자세로 안정을 취하도록 한 뒤 Pulse wave doppler (Clear Vue 550, 미국)를 이용하여 3년 이상 숙련된 검사자가 실시하였으며, 동일한 검사자가 사전·사후 측정과 분석을 실시하였다. 검사자는 Triplex-mode 영상에서 4.6 MHz 탐촉자 (linear transducer)를 이용하여 측정하였으며, 상완동맥의 혈관 직경을 측정하기 위하여 혈관내막층 (intima-media layer)의 가장 선명한 부분을 기준으로 설정하였다. 동일한 부위의 B-mode 기준점에서 60° 각도로 High-Q 프로그램을 사용하여 동맥의 안정 시 혈류 속도를 측정하였고, 안정 시 혈관 직경과 혈류 속도를 이용하여 혈류량을 산출하였다. 혈관내피세포기능 검사는 우측 주관절의 2~3 cm 상위 지점에서 측정하였다. 우측 상완에 커프 (cuff)를 이용하여 200 mmHg의 압력을 주어 5분간 혈류를 폐색한 다음, 커프를 제거한 직후 2분간 우측 주관절 2~3 cm 상위 지점의 상완 동맥에서 혈관 직경과 혈류 속도, 그리고 상완 동맥의 직경을 측정하여 % FMD를 산출하였다.

$$[\% \text{ FMD} = ((\text{peak vessel diameter} - \text{rest vessel diameter}) / \text{rest vessel diameter}) \times 100].$$

처리 방법

이 연구의 운동집단의 대상자는 10주간 운동처치를 받았다. 이들은 오전 8~10시에 1시간 간격으로 5명씩 K대학교 체육관을 방문하여, 예비 심박수(heart rate reserve: HRR)의 30~50%로 주 3회, 일일 20~40분간 트레드밀을 이용하여(Table 2 참조) 유산소운동을 실시하였다(Aksoy et al., 2015). 본운동 전·후에 각각 10분씩의 준비운동과 정리운동을 실시하였으며, 각 대상자의 운동 중 강도를 확인하기 위하여 무선 심박수 측정기(Polar, 핀란드)로 5분 간격으로 HR을 확인하였다. 모든 대상자의 운동 출석률은 95.18%였다.

한편, 통제집단의 대상자는 같은 처치 기간 동안 처치 없이 평소의 생활습관을 동일하게 유지하도록 하였다.

Table 2. Training program

Week	Time (min/day)	Intensity (%HRR)	Frequency (day/week)
1~2	20	30	3
3~6	30	40	3
7~10	40	50	3

자료처리 방법

이 연구에서 얻은 결과는 SPSS PC⁺ for Windows (version 22.0)를 이용하여 분석하였다. 모든 변인의 기술통계량을 평균(mean M)과 표준편차(standard deviation: SD)로 제시하였다. 두 집단 간, 그리고 두 검사 간 종속변인의 평균 차이를 동시에 분석하기 위해 반복 이원변량분석(repeated two-way ANOVA)을 실시하였다. 집단의 주효과, 검사의 주효과, 또는 집단과 검사의 상호작용이 유의할 경우, 검사 내 두 집단 간 종속변인의 평균 차이를 분석하기 위하여 Mann-Whitney 검증을, 그리고 집단 내 두 검사 간 종속변인의 평균 차이를 분석하기 위하여 Wilcoxon signed rank 검증을 실시하였다. 모든 통계 분석의 유의수준(α)은 .05로 설정하였다.

연구 결과

신체구성과 관련된 모든 변인에서 주효과와 상호작용이 유의하게 나타나지 않았다(Table 3).

Table 3. Changes of body composition in two groups

(Mean±SD)

Variables	Groups	Tests		$\Delta\%$		P
		Pre	Post			
Body weight (kg)	TR	56.20±5.19	56.23±5.62	0.05	G	.691
	CON	56.94±8.00	57.26±7.76	0.56	T GxT	.937 .949
Fat free mass (kg)	TR	36.53±2.89	36.57±3.00	0.11	G	.407
	CON	37.36±3.81	37.54±3.56	0.48	T GxT	.924 .949
Fat mass (kg)	TR	19.63±2.78	19.67±3.28	0.20	G	.997
	CON	19.57±4.48	19.72±4.55	0.77	T GxT	.943 .964
Percent body fat (%)	TR	34.68±2.29	34.66±3.01	-0.06	G	.531
	CON	34.03±3.42	34.06±3.78	0.09	T GxT	.993 .997
Body mass index (kg·m ⁻²)	TR	25.01±2.45	25.32±2.72	1.24	G	.943
	CON	25.10±3.29	25.37±3.37	1.08	T GxT	.763 .984

TR: aerobic exercise training group, CON: control group; G: main effect of group, T: main effect of test, G×T: interaction between group and test:

심혈관기능과 관련된 모든 변인에서 주효과와 상호작용이 유의하게 나타나지 않았다. 그러나 TPR의 경우 집단과 검사의 상호작용이 유의한 수준에 가깝게 나타났으며($P=.054$), TPR이 운동집단에서 감소되는 경향(20.22% 감소)을 보였다(Table 4).

혈중 지질과 관련된 모든 변인에서 주효과와 상호작용이 유의하게 나타나지 않았다(Table 5).

동맥경직도와 관련된 염증 지표인 hs-CRP에서 검사의 주효과가 유의하게 나타났으며, 운동집단에서 개선되는 경향을 보였다. 동맥경직도의 지표인 TC/HDL-C 비율, TG/HDL-C 비율, 그리고 LDL-C/HDL-C 비율에서 유의한 변화가 나타나지 않았다(Table 6).

혈관내피세포기능관련 변인에서 안정 시 혈관직경, 안정 시 혈류량, 혈관 이완 시 혈관직경, 그리고 혈관 이완 시 혈류량에서는 주효과와 상호작용이 유의하게 나타나지 않았다. 그러나 % FMD에서는 집단의 주효과, 검

사의 주효과, 그리고 집단과 검사의 상호작용이 유의하게 나타났으며, 운동집단에서 유의하게($P<.01$) 증가되었다. 혈중 NO는 두 집단 모두에서 통계적으로 유의하게 변화되지 않았으나, 운동집단에서 증가되는 경향이 나타났다(Table 7).

논 의

신체구성의 변화

노화에 따라 나타나는 신체구성의 부정적인 변화는 비만, 심혈관질환, 그리고 당뇨병 등의 질병을 초래하는 주원인이 되며, 이와 같은 부정적인 변화에 따라 노인의 신체기능이 약화되어 신체 활동량이 감소되는 건강의 악

Table 4. Changes of cardiovascular function in two groups

(Mean±SD)

Variables	Groups	Tests		Δ%		P
		Pre	Post			
HR (beats·min ⁻¹)	TR	64.40±7.35	64.60±7.72	0.31	G	.287
	CON	65.85±4.76	67.76±6.98	2.90	T G×T	.622 .692
SV (ml)	TR	60.75±12.35	55.75±5.75	-8.23	G	.623
	CON	58.95±9.23	60.36±7.29	2.39	T G×T	.530 .266
CO (l·min ⁻¹)	TR	3.90±0.84	3.61±0.65	-7.44	G	.290
	CON	3.85±0.42	4.07±0.45	5.71	T G×T	.838 .194
TPR (ml·min ⁻¹ ·mmHg ⁻¹)	TR	46.59±16.19	37.17±3.71	-20.22	G	.378
	CON	43.31±6.13	45.79±7.80	5.73	T G×T	.254 .054
SBP (mmHg)	TR	126.44±16.67	122.00±14.87	-3.51	G	.754
	CON	128.36±14.69	122.91±9.85	-4.25	T G×T	.275 .911
DBP (mmHg)	TR	67.56±14.28	74.22±10.56	9.86	G	.752
	CON	70.73±10.52	73.27±8.40	3.59	T G×T	.195 .558
MAP (mmHg)	TR	87.19±14.33	91.70±12.50	5.17	G	.906
	CON	89.94±10.79	89.82±8.10	-0.13	T G×T	.549 .528
RPP	TR	8,166.26±1,629.69	8,157.14±1,434.26	-0.11	G	.587
	CON	8,452.42±1,151.68	8,452.42±1,002.48	0.00	T G×T	.869 .886

TR: aerobic exercise training group, CON: control group; G: main effect of group, T: main effect of test, G×T: interaction between group and test;

HR: heart rate, SV: stroke volume, CO: cardiac output, TPR: total peripheral resistance, SBP: systolic blood pressure, DBP: diastolic blood pressure,

MAP: mean arterial pressure, PP: pulse pressure, RPP: rate pressure product

Table 5. Changes of blood lipid profiles in two groups (Mean±SD)

Variables	Groups	Tests		$\Delta\%$		P
		Pre	Post			
Total cholesterol (mg·dl ⁻¹)	TR	178.11±42.48	168.00±41.51	-5.56	G	.954
	CON	170.64±41.58	177.00±38.37	5.60	T GxT	.886 .530
Triglyceride (mg·dl ⁻¹)	TR	113.11±37.88	120.00±37.90	7.31	G	.442
	CON	109.45±39.12	104.81±37.52	-1.23	T GxT	.926 .637
HDL-C (mg·dl ⁻¹)	TR	58.22±11.45	54.44±9.02	-5.57	G	.786
	CON	55.18±12.94	55.36±14.06	0.24	T GxT	.645 .612
LDL-C (mg·dl ⁻¹)	TR	111.89±41.59	105.89±41.31	-5.43	G	.884
	CON	108.00±43.58	113.64±39.06	10.84	T GxT	.989 .661

TR: aerobic exercise training group, CON: control group; G: main effect of group, T: main effect of test, G×T: interaction between group and test;

+<.05: Significant main effect or interaction

Table 6. Changes of surrogate indices of atherosclerosis in two groups (Mean±SD)

Variables	Groups	Tests		$\Delta\%$		P
		Pre	Post			
TC/HDL-C ratio	TR	3.16±0.89	3.16±0.88	0.00	G	.633
	CON	3.26±1.22	3.39±1.17	3.99	T GxT	.850 .860
TG/HDL-C ratio	TR	2.07±1.02	2.31±0.92	11.59	G	.987
	CON	2.22±1.26	2.14±1.20	-3.60	T GxT	.823 .666
LDL-C/HDL-C ratio	TR	2.01±0.81	2.01±0.81	0.00	G	.622
	CON	2.10±1.15	2.23±1.13	6.19	T GxT	.842 .848
hs-CRP (mg·l ⁻¹)	TR	0.85±0.38	0.60±0.21	-29.41	G	.157
	CON	0.54±0.24	0.55±0.17	1.85	T GxT	.036+ .116

TR: aerobic exercise training group, CON: control group; G: main effect of group, T: main effect of test, G×T: interaction between group and test;

+<.05: Significant main effect or interaction

순환이 진행된다(Woods et al., 2014). 노인에게 있어서 운동 프로그램의 참여는 신체구성의 개선뿐만 아니라 심혈관질환과 대사질환의 치료에도 효과적이라고 보고되었으며, 특히 이 목적을 위하여 유산소운동이 가장 효과적이라고 보고되었다(Swift et al., 2013).

그러나 유산소운동 트레이닝이 신체구성의 개선에 항상 효과적이었던 것은 아니었다. Hayes et al.(2013)은 6주간 주 130~150분, HRmax의 70~80%로 유산소운동을 실시한 결과 체중과 체지방률이 유의하게 감소되었으나, 체지방량에는 유의한 변화가 없었다고 보고

Table 7. Changes of vascular endothelial function in two groups

(Mean±SD)

Variables	Groups	Tests		Δ%		P
		Pre	Post			
Rest vessel diameter (cm)	TR	0.427±0.024	0.410±0.031	-3.98	G	.846
	CON	0.413±0.591	0.429±0.055	3.87	T G×T	.951 .274
Rest blood flow (l·min ⁻¹)	TR	0.037±0.028	0.040±0.028	8.11	G	.304
	CON	0.042±0.020	0.054±0.032	28.57	T G×T	.386 .583
Peak vessel diameter (cm)	TR	0.471±0.029	0.482±0.042	2.34	G	.441
	CON	0.457±0.061	0.471±0.059	3.06	T G×T	.438 .918
Peak vessel blood flow (l·min ⁻¹)	TR	0.139±0.045	0.156±0.069	12.23	G	.807
	CON	0.168±0.128	0.113±0.078	-32.74	T G×T	.507 .203
% FMD	TR	10.35±3.60	17.68±5.59**	##	G	.013+
	CON	10.71±4.85	9.92±3.48	-7.38	T G×T	.026+ .007+
NO (nM·ml ⁻¹)	TR	7.02±4.37	9.52±3.06	35.61	G	.227
	CON	6.72±2.13	6.87±4.91	2.23	T G×T	.276 .334

TR: aerobic exercise training group, CON: control group; G: main effect of group, T: main effect of test, G×T: interaction between group and test;

+<.05: Significant main effect or interaction; **<.01: Significant difference between pre-test and post-test within a group;

##<.01: Significant difference between TR and CON within a test.

하였다. Banz et al.(2003)은 10주간 유산소운동과 저항성운동을 실시한 결과 유산소운동집단에서 체중, BMI, 체지방량, 그리고 체지방량의 유의한 변화가 나타나지 않은 반면, 저항성운동집단에서만 체지방량의 유의한 감소와 체지방량의 유의한 증가가 나타났다고 보고하였다. Meijer et al.(2000)은 노인을 대상으로 12주간 주 2회, 일일 30분, HRR의 50%로 걷기운동을 실시한 결과 체중, 체지방량, 그리고 체지방률에서 유의한 변화가 나타나지 않았다고 보고하였다.

이상에서 살펴본 바와 같이, 유산소운동 트레이닝이 신체구성에 미치는 영향에 대해서는 상반된 결과들이 도출되어 왔다. Meijer et al.(2000)은 유산소운동만을 적용하여 신체구성의 개선을 유도하기 위해서는 HRR의 50% 이상의 고강도운동을 실시해야 한다고 주장하였다. 아울러 Donnelly et al.(2009)은 유산소운동 프로그램을 이용하여 체중관리를 할 때는 대상자의 특성에

따라 효과가 적게 나타날 경우 주당 420분까지 운동을 실시할 필요가 있다고 주장하였다.

이상의 내용을 정리하면, 노인을 대상으로 유산소운동 트레이닝을 적용하여 신체구성의 유의한 개선을 유도하기 위해서는 장기간의 처치, 고강도의 운동, 또는 저항성운동과의 복합처치 등이 필요하다고 사료된다. 이 연구에서는 기존 운동 처치에 비해 10주라는 다소 짧은 기간, HRR의 30~50%라는 다소 낮은 강도, 그리고 유산소운동의 단일 처치만을 적용하였기 때문에 신체구성의 유의한 개선을 유도하기에 부족했다고 해석된다.

심혈관기능의 변화

당뇨병은 심혈관기능에 부정적인 변화를 초래하며, 심혈관질환 유병율과 이로 인한 사망률을 증가시킨다 (Vinik et al., 2003). 아울러 노화 또한 심혈관계의 구조

와 기능에 부정적 영향을 미칠 뿐만 아니라 심혈관질환의 발병률을 증가시킨다(Strait & Lakatta, 2012). 노화가 진행되면 좌심실의 벽이 두꺼워지고 섬유화되며 동시에 혈관벽이 딱딱해 지기 때문에, 결과적으로 심근의 수축력이 저하되고 심장에 대한 부담이 증가되며(Chantler et al., 2008), 동맥경화와 TPR의 증가는 BP를 증가시켜 고혈압을 초래한다(Tanaka et al., 2000). 이에 더하여 좌식생활을 지속하는 경우 심혈관기능의 저하가 악화되지만, 노인의 경우라도 유산소운동 트레이닝을 실시하면 심혈관계의 적응을 유도하여 심혈관기능이 개선될 수 있다고 보고되었다(Cadore et al., 2011).

그러나 모든 연구에서 노인을 대상으로 유산소운동을 실시한 결과 심혈관기능이 개선되지는 않은 것으로 나타났다. Wisloff et al.(2007)은 노인을 대상으로 12주간 주 3회, 두 가지 유형의 유산소운동, 즉 중강도 지구성 트레이닝(일일 47분, HR_{max}의 70~75%)과 고강도 인터벌 트레이닝(일일 38분, HR_{max}의 90~95%)을 실시한 결과 중강도 지구성 트레이닝 집단에서는 안정 시 HR, SV, 그리고 CO가 모두 유의하게 변하지 않은 반면, 고강도 인터벌 트레이닝 집단에서는 안정 시 SV와 CO의 유의한 증가가 나타났다고 보고하였다. Haykowsky et al.(2012)은 60세 이상 노인 여성을 대상으로 4개월간 주 3회, 일일 40분, HRR의 40~70%로 걷기와 자전거 운동을 실시한 결과 안정 시 HR, SV, CO, SBP, DBP, 그리고 혈관 저항력의 유의한 변화가 나타나지 않았다고 보고하였다. Hambrecht et al.(2000)은 노인을 대상으로 6개월간 일일 20분, 고정식 자전거를 이용하여 HR_{max}의 70%로 유산소운동을 실시한 결과 운동집단과 통제집단에서 안정 시 CO의 유의한 변화가 나타나지 않았으나, TPR은 운동집단에서 감소되었고 통제집단에서는 증가되는 경향이 나타났다고 보고하면서, 운동 트레이닝을 통한 혈관내피세포기능의 개선이 TPR의 감소와 관련이 있다고 주장하였다.

이상에서 살펴본 바와 같이, 많은 선행 연구에서 대부분의 안정 시 심혈관기능이 유산소운동 트레이닝에 의하여 유의하게 변화되지 않았지만, 안정 시 TPR의 개선이 나타났다. 이 연구에서도 노인 여성에게 있어서 유산소운동 트레이닝에 따른 심혈관기능의 유의한 개선이 나타나지 않았으며, 그 이유는 운동 트레이닝의 효과가 성별

로 다르게 나타날 수 있다는 선행 연구로 해석할 수 있다. 노인 남성의 경우 유산소운동 트레이닝 후 유산소운동능력의 증가가 동정맥산소차(a-vO₂diff)의 개선보다 운동 시 SV와 CO의 증가에 기인하여 나타난 반면, 노인 여성의 경우에는 유산소운동능력의 증가가 운동 시 HR, SV, 그리고 CO의 증가보다 a-vO₂diff의 개선에 기인한다고 보고된 바 있다(Spina et al., 1993). 이에 더하여, 관련 초기 연구에서 Rodeheffer et al.(1984)은 운동 트레이닝이 노인의 HR, SV, CO, 그리고 분출률(ejection fraction)과 같은 안정 시 심혈관기능을 개선시키기 어렵다고 보고한 바도 있다.

이상의 내용을 정리하면, 다양한 선행 연구에서 HRR 또는 HR_{max}의 40~75% 강도로 유산소운동을 실시하였음에도 불구하고 안정 시 심혈관기능의 유의한 개선이 나타나지 않은 점, 그리고 Wisloff et al.(2007)의 연구에서 HR_{max}의 90~95%로 고강도 인터벌 트레이닝을 실시한 경우 심혈관기능의 개선이 나타난 점을 고려할 때, 유산소운동을 통하여 노인의 안정 시 심혈관기능의 개선을 유도하기 위해서는 보다 높은 강도의 처치가 필요하다고 판단된다. 한편, 운동집단의 TPR이 감소된 경향을 보인 것을 감안할 때, 노화로 인하여 혈관의 구조가 퇴화되고 기능이 약화되어 심혈관질환의 위험이 증가될 수 있지만 유산소운동 트레이닝을 통하여 혈관질환의 위험성을 감소시킬 수 있을 것이라 사료된다.

동맥경직도 간접지표의 변화

노화가 진행되면 여러 가지 혈중 단백질의 다양한 변화가 나타나 혈관의 구조와 기능이 부정적으로 변화하며, 다양한 요인에 의해 동맥경화로 진행된 혈관은 그 기능이 감소되는 것으로 보고되었다(Li et al., 1999). 혈중 지질 수준과 염증 수준은 동맥경화와 매우 밀접한 관련이 있다. 노화가 진행됨에 따라 염증성 사이토카인과 혈중 CRP 농도가 증가되고(Bruunsgaard, 2001), 혈중 CRP 농도의 증가는 심혈관질환의 발병률과 이로 인한 사망률을 증가시킨다고 보고되었다(Ridker et al., 2003). 혈중 지질은 심혈관질환과 밀접한 관계가 있어 혈중 지질 특성을 개선하는 것이 매우 중요하다(Mattace-Raso et al., 2006). 최근에는 혈중 지질관

런 변인을 이용하여 TC/HDL-C 비율, TG/HDL-C 비율, 그리고 LDL-C/HDL-C 비율을 산출하여 동맥경직도 간접지표로 활용하고 있다. 이 연구에서 10주간의 유산소운동이 노인 여성의 동맥경직도 간접지표에 미치는 영향을 살펴본 결과 두 집단 모두에서 TC/HDL-C 비율, TG/HDL-C 비율, 그리고 LDL-C/HDL-C 비율, 그리고 hs-CRP의 유의한 변화가 나타나지 않았으나, hs-CRP가 운동집단에서 감소되는 경향을 보였다.

동맥경직도와 관련된 선행 연구를 살펴보면, Nybo et al.(2010)은 건강한 성인 남성을 대상으로 12주간 실시한 인터벌 트레이닝(HR_{max}의 95%, 주 40분)과 지구성 트레이닝(VO_{2max}의 65%, 주 150분)이 혈중 지질(TC, HDL-C, LDL-C, TC/HDL-C 비율)에 미치는 영향을 분석한 결과 지구성 트레이닝 집단의 TC/HDL-C 비율이 유의하게 감소되었다고 보고하였다. Sheikholeslami et al.(2011)은 건강한 성인 남성을 대상으로 6주간 주 3회, 저강도(1RM의 45~55%)와 고강도(1RM의 80~90%)의 저항성운동을 실시한 결과 저강도 집단에서 TG, LDL-C, 그리고 TC/HDL-C 비율이 유의하게 감소되었고, 고강도 집단에서는 HDL-C의 유의한 증가와 TC, LDL-C, 그리고 TC/HDL-C 비율의 유의한 감소가 나타났다고 보고하였다. Okita et al.(2004)은 중년 여성을 대상으로 8주간 주 2회, 일일 80분의 에어로빅댄스 또는 30~60분의 유산소운동(자전거 또는 트레드밀)을 HR_{peak}의 60~80% 강도로 실시한 결과 TC/HDL-C 비율과 CRP 농도가 유의하게 감소되었다고 보고하였다.

반면, Hammett et al.(2004)은 노인을 대상으로 6개월간 주 4회, VO_{2max}의 80%로 유산소운동을 실시하였으나 혈중 CRP 농도의 감소가 나타나지 않았다고 보고하였고, Marcell et al.(2005)은 중년 남녀를 대상으로 16주간 주 5회, 일일 30분, 중강도 운동과 고강도 운동을 실시하였으나 두 강도의 운동 트레이닝 모두에서 CRP 농도의 변화가 유의하게 나타나지 않았다고 보고하였다. 이상에서 기술한 선행 연구의 결과를 살펴보면, 운동 트레이닝이 동맥경직도 지표에 미치는 영향에 대해서 상반된 결과들이 도출되어 왔다. 운동 트레이닝을 통하여 동맥경직도 지표의 개선이 나타난 연구는 대부분 건강한 성인 남자가 높은 강도로 운동을 실시하였거나,

저항성운동과의 복합처치를 실시하였거나, 중년의 대상자가 장기간에 걸쳐 운동을 실시한 경우였다. 반면, 노인이 상대적으로 낮은 강도로 운동 트레이닝을 실시하였거나 처치 기간이 짧은 경우는 동맥경직도 지표의 개선이 나타나는데 제한적이었다.

이와 관련하여, Ferguson et al.(1998)은 고강도 유산소운동의 실시가 지단백분해 효소와 혈중 HDL-C 수준 변화에 효과적이며, 저항성운동은 운동 강도의 증가보다 운동 양을 증가시키는 것이 혈중 지질 변화에 더욱 긍정적인 영향을 미친다고 보고하였다(Lira et al., 2010). 또한, Kelley & Kelley(2006)는 노인의 경우 유산소운동만으로 CRP 농도의 감소를 유도하기는 매우 제한적이라고 주장한 바도 있다. 이상의 내용을 정리해보면, 노인을 대상으로 유산소운동 트레이닝을 적용하여 동맥경직도의 유의한 개선을 유도하기 위해서는 고강도로 실시하거나, 저항성 운동과의 복합 처치를 실시하거나, 보다 장기간에 걸쳐 처치할 필요가 있다고 정리할 수 있다. 이 연구에서는 HRR 30~50%라는 다소 낮은 강도를 적용하였고, 유산소운동을 단일 처치하였기 때문에 동맥경직도 지표의 유의한 개선을 유도하기에 다소 부족하였다고 해석된다.

혈관내피세포기능의 변화

혈관내피세포는 혈당 농도에 매우 민감하여 지속적인 고혈당 상태는 산화 스트레스와 활성산소의 증가로 혈관내피세포의 기능 장애를 일으키고(Brownlee, 2005), 혈관내피에 손상을 주어 혈관기능을 저하시켜 각종 심혈관질환으로 이어질 가능성이 크다(Bartnik et al., 2004). 또한, 노화에 따른 혈관 구조와 기능의 부정적인 변화는 혈관내피세포기능의 장애와 혈관이완기능의 약화로 이어진다(Taddei et al., 1995). 혈관내피세포기능의 저하에 따라 대동맥과 주요 탄성 동맥이 두껍고 단단해지며, 대동맥의 혈관이완능력이 저하되어 동맥경직도가 증가된다(Ferrari et al., 2003).

혈관내피세포기능의 저하는 노화와 밀접한 관계가 있으며, NO의 합성 또는 생체 이용률의 감소로 인하여 혈관의 이완기능이 약화되는 것은 혈관내피세포기능 저하의 주요 기전으로 보고되었다(Taddei et al., 2001).

최근 혈관내피세포기능을 검사하는 타당도가 높은 방법으로 FMD 검사가 이용되고 있고, 이 검사를 통하여 NO의 생체 이용률과 동맥의 이완기능을 측정할 수 있으며, 동시에 초음파를 통하여 % FMD 등의 혈관내피세포기능 지표를 측정할 수 있다(Mullen et al., 2001). 아직도 국내에서는 노인을 대상으로 FMD 검사를 실시하여 얻은 혈관내피세포기능에 대한 운동 트레이닝의 효과를 규명한 연구가 거의 전무하다는 점을 고려할 때, 이 검사를 실시한 이 연구가 큰 의미와 독창성을 내포하고 있다고 판단된다.

운동 트레이닝은 혈관내피세포기능의 저하를 개선하는 비약리학적 방법으로서, 운동능력의 향상, 심근과 말초 확장 능력의 향상, 그리고 다양한 위험인자의 개선도 도모하는 효과적인 치료 방법이다(Taylor et al., 2004). 이 연구에서 10주간 실시한 유산소운동이 노인 여성의 혈관내피세포기능에 미치는 영향을 살펴본 결과 운동집단의 % FMD가 유의하게($P=.007$) 증가되었으며, 혈중 NO가 운동집단에서 개선되는 경향을 보였다.

이와 관련하여, 최근 Landers-Ramos et al. (2016)은 좌식생활을 하는 노인에게 10일간 일일 60분, VO_{2max} 의 70%로 유산소운동을 실시한 결과 % FMD가 유의하게 증가되었다고 보고하면서, 짧은 기간 유산소운동을 실시하더라도 혈관내피세포기능을 개선할 수 있다고 주장하였다. 반면, Tjonna et al.(2008)은 대사증후군 노인을 대상으로 16주간 주 3회, 고강도 인터벌 운동(HR_{max} 의 90%)과 중강도 지구성 유산소운동(HR_{max} 의 70%)을 실시한 결과 고강도 유산소운동이 중강도 유산소운동에 비해 혈관내피세포기능과 NO 이용률 증가에 더 효과적이라고 보고하였다.

이상에서 살펴본 바와 같이, 유산소운동 트레이닝은 비교적 일관성 있게 혈관내피세포기능을 개선시키는 것으로 보고되었다. Maiorana et al.(2003)은 운동 트레이닝을 하지 않은 사람의 혈관은 항상성을 유지하기 위하여 운동 시 분비되는 NO에 의한 혈관 이완이 운동 트레이닝을 실시한 사람에 비해 적게 나타나지만, 운동 트레이닝을 실시하게 되면 운동 시 혈류량과 shear stress의 급격한 증가에 반복적으로 노출되고 eNOS의 분비와 혈관내피세포의 NO 분비가 증가되어 혈관이완

기능을 향상시킨다고 주장하였다. 규칙적인 운동은 혈류와 shear stress의 급격한 증가를 촉진시키고, NO의 생체 이용률을 개선하여 내피 의존성 혈관확장능력을 증가시킨다(Hambrecht et al., 2003).

이상의 내용을 정리해 보면, 이 연구에서 노인 여성을 대상으로 유산소운동 트레이닝을 실시한 결과 통계적으로 유의한 변화는 아니었지만 혈중 NO의 증가 경향이 나타난 것을 감안할 때 NO의 생체 이용률이 증가되어 % FMD의 유의한 증가가 나타난 것으로 해석된다. 노화가 혈관이완기능에 부정적인 영향을 미치는 것을 알 수 있었으며, 노인의 유산소운동 프로그램 참여가 혈관이완기능 개선과 혈관질환의 예방에 효과적인 방법인 것으로 나타났다. 아울러 이 연구를 통하여 당뇨 전단계부터 저하되는 혈관내피세포기능이 규칙적인 운동을 통하여 회복될 수 있다는 것이 밝혀졌으며, 따라서 당뇨 전단계부터 꾸준한 운동을 실천하는 것이 잠재적인 당뇨병 환자의 혈관질환의 예방을 위하여 중요하다고 판단된다.

결론

이 연구의 목적은 10주간의 유산소운동이 공복혈당 장애의 기준 이하 노인 여성의 신체구성, 유산소운동능력, 심혈관기능, 동맥경직도 간접지표, 그리고 혈관내피세포기능에 미치는 영향을 규명하는 것이었다.

이 연구에서 얻은 결과를 종합하면, 10주간 실시한 유산소운동이 노인 여성의 혈관내피세포기능 개선에 효과적이었다고 결론지을 수 있으며, 이는 TPR의 개선에 일부 기인하여 나타난 것으로 해석된다. 이 연구를 통하여, 최근에 당뇨 전단계 시점부터 저하되는 것으로 보고된 혈관내피세포기능이 규칙적인 운동을 통하여 회복될 수 있다는 것이 밝혀졌다. 향후 혈관기능의 저하가 더 심각할 것으로 유추되는 당뇨병 환자를 대상으로 유산소운동 트레이닝이 심혈관기능과 혈관내피세포기능에 미치는 영향을 규명하는 연구가 요청되며, 특히 운동 트레이닝의 보다 명확한 효과를 규명하기 위하여 더 고강도의 운동, 더 장기간의 처치, 그리고 저항성운동과의 복합처치를 적용한 후속 연구가 요청된다.

참고문헌

- Aksoy, S., Findikoglu, G., Ardic, F., Rota, S., & Dursunoglu, D.(2015). Effect of 10-week supervised moderate-intensity intermittent vs. continuous aerobic exercise programs on vascular adhesion molecules in patients with heart failure. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*, 94(10), 898-911.
- American College of Sports Medicine(2013). ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription. Lippincott Williams & Wilkins: Philadelphia, PA.
- American Diabetes Association(2013). Diagnosis and classification of diabetes mellitus. *Diabetes Care*, 36 Suppl 1, S67-S74.
- Banz, W. J., Maher, M. A., Thompson, W. G., Bassett, D. R., Moore, W., Ashraf, M., & Zemel, M. B.(2003). Effects of resistance versus aerobic training on coronary artery disease risk factors. *Experimental Biology and Medicine*, 228(4), 434-440.
- Bartnik, M., Rydén, L., Ferrari, R., Malmberg, K., Pyörälä, K., Simoons, M., & Öhrvik, J.(2004). The prevalence of abnormal glucose regulation in patients with coronary artery disease across Europe. *European Heart Journal*, 25(21), 1880-1890.
- Blair, S. N., Kohl, H. W., Paffenbarger, R. S., Clark, D. G., Cooper, K. H., & Gibbons, L. W.(1989). Physical fitness and all-cause mortality: a prospective study of healthy men and women. *The Journal of the American Medical Association*, 262(17), 2395-2401.
- Brownlee, M.(2005). The pathobiology of diabetic complications: A unifying mechanism. *Diabetes*, 54(6), 1615-1625.
- Brunsgaard, H.(2001). Effects of tumor necrosis factor-alpha and interleukin-6 in elderly populations. *European Cytokine Network*, 13(4), 389-391.
- Cadore, E. L., Pinto, R. S., Pinto, S. S., Alberton, C. L., Correa, C. S., Tartaruga, M. P., & Krueger, L. F.(2011). Effects of strength, endurance, and concurrent training on aerobic power and dynamic neuromuscular economy in elderly men. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(3), 758-766.
- Chantler, P. D., Lakatta, E. G., & Najjar, S. S.(2008). Arterial-ventricular coupling: mechanistic insights into cardiovascular performance at rest and during exercise. *Journal of Applied Physiology*, 105(4), 1342-1351.
- Conn, V. S., Hafdahl, A. R., Mehr, D. R., LeMaster, J. W., Brown, S. A., & Nielsen, P. J.(2007). Metabolic effects of interventions to increase exercise in adults with type 2 diabetes. *Diabetologia*, 50(5), 913-921.
- Deanfield, J. E., Halcox, J. P., & Rabelink, T. J.(2007). Endothelial function and dysfunction: Testing and clinical relevance. *Circulation*, 115(10), 1285-1295.
- Donnelly, J. E., Blair, S. N., Jakicic, J. M., Manore, M. M., Rankin, J. W., & Smith, B. K.(2009). Appropriate physical activity intervention strategies for weight loss and prevention of weight regain for adults. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 41(7), 1532-1532.
- Ferguson, M. A., Alderson, N. L., Trost, S. G., Essig, D. A., Burke, J. R., & Durstine, J. L.(1998). Effects of four different single exercise sessions on lipids, lipoproteins, and lipoprotein lipase. *Journal of Applied Physiology*, 85(3), 1169-1174.
- Ferrari, A. U., Radaelli, A., & Centola, M.(2003). Invited review: aging and the cardiovascular system. *Journal of Applied Physiology*, 95(6), 2591-2597.
- Hambrecht, R., Adams, V., Erbs, S., Linke, A., Kränkel, N., Shu, Y., & Mohr, F. W.(2003). Regular physical activity improves endothelial function in patients with coronary artery disease by increasing phosphorylation of endothelial nitric oxide synthase. *Circulation*, 107(25), 3152-3158.
- Hambrecht, R., Gielen, S., Linke, A., Fiehn, E., Yu, J., Walther, C., & Schuler, G.(2000). Effects of exercise training on left ventricular function and peripheral resistance in patients with chronic heart failure: a randomized trial. *The Journal of the American Medical Association*, 283(23), 3095-3101.
- Hammett, C. J., Oxenham, H. C., Baldi, J. C., Doughty, R. N., Ameratunga, R., French, J. K., & Stewart, R. A.(2004). Effect of six months' exercise training on C-reactive protein levels in healthy elderly subjects. *Journal of the American College of Cardiology*, 44(12), 2411-2413.
- Harris, R. A., Nishiyama, S. K., Wray, D. W., & Richardson, R. S.(2010). Ultrasound assessment of flow-mediated dilation. *Hypertension*, 55(5), 1075-1085.
- Haskell, W. L., Lee, I., Pate, R. R., Powell, K. E., Blair, S. N., Franklin, B. A., & Bauman, A.(2007). Physical activity and public health: Updated recommendation for adults from the American college of sports medicine and the

- american heart association. *Circulation*, 116(9), 1081-1093.
- Hayes, L. D., Grace, F. M., Sculthorpe, N., Herbert, P., Ratcliffe, J. W., Kilduff, L. P., & Baker, J. S.(2013). The effects of a formal exercise training programme on salivary hormone concentrations and body composition in previously sedentary aging men. *SpringerPlus*, 2(1), 1-5.
- Haykowsky, M. J., Brubaker, P. H., Stewart, K. P., Morgan, T. M., Eggebeen, J., & Kitzman, D. W.(2012). Effect of endurance training on the determinants of peak exercise oxygen consumption in elderly patients with stable compensated heart failure and preserved ejection fraction. *Journal of the American College of Cardiology*, 60(2), 120-128.
- Kelley, G. A. & Kelley, K. S.(2006). Effects of aerobic exercise on C-reactive protein, body composition, and maximum oxygen consumption in adults: a meta-analysis of randomized controlled trials. *Metabolism*, 55(11), 1500-1507.
- Kitamura, K., Jorgensen, C. R., Gobel, F. L., Taylor, H. L., & Wang, Y.(1972). Hemodynamic correlates of myocardial oxygen consumption during upright exercise. *Journal of Applied Physiology*, 32(4), 516-22.
- Landers-Ramos, R. Q., Corrigan, K. J., Guth, L. M., Altom, C., Spangenburg, E. E., Prior, S. J., & Hagberg, J. M.(2016). Short-term exercise training improves flow-mediated dilation and circulating angiogenic cell number in older sedentary adults. *Applied Physiology, Nutrition and Metabolism*, 41(8) 832-841.
- Lee, B. S., Kim, K. A., & Lee, M. G.(2016). Comparison of physical fitness, blood lipid, inflammation marker and cardiovascular function between normal and impaired fasting glucose in elderly women. *The Korean Journal of Physical Education*, 55(6), 715-725.
- Li, Z., Froehlich, J., Galis, Z. S., & Lakatta, E. G.(1999). Increased expression of matrix metalloproteinase-2 in the thickened intima of aged rats. *Hypertension*, 33(1), 116-123.
- Lira, F. S., Yamashita, A. S., Uchida, M. C., Zanchi, N. E., Gualano, B., Martins, E., & Seelaender, M.(2010). Low and moderate, rather than high intensity strength exercise induces benefit regarding plasma lipid profile. *Diabetology & Metabolic Syndrome*, 2(1), 1-6.
- Maiorana, A., O'Driscoll, G., Taylor, R., & Green, D.(2003). Exercise and the nitric oxide vasodilator system. *Sports Medicine*, 33(14), 1013-1035.
- Marcell, T. J., McAuley, K. A., Traustadóttir, T., & Reaven, P. D.(2005). Exercise training is not associated with improved levels of C-reactive protein or adiponectin. *Metabolism*, 54(4), 533-541.
- Mattace-Raso, F. U., van der Cammen, T. J., Hofman, A., van Popele, N. M., Bos, M. L., Schalekamp, M. A., & Witteman, J. C.(2006). Arterial stiffness and risk of coronary heart disease and stroke the rotterdam study. *Circulation*, 113(5), 657-663.
- Matthews, D. R., Hosker, J. P., Rudenski, A. S., Naylor, B. A., Treacher, D. F., & Turner, R. C.(1985). Homeostasis model assessment: insulin resistance and β -cell function from fasting plasma glucose and insulin concentrations in man. *Diabetologia*, 28(7), 412-419.
- Meigs, J. B., Nathan, D. M., D'Agostino, R. B., & Wilson, P. W.(2002). Fasting and postchallenge glycemia and cardiovascular disease risk the framingham offspring study. *Diabetes Care*, 25(10), 1845-1850.
- Meijer, E. P., Westerterp, K. R., & Verstappen, F. T. J.(2000). Effect of exercise training on physical activity and substrate utilization in the elderly. *International Journal of Sports Medicine*, 21(07), 499-504.
- Morita, S., Kasayama, S., Otsuki, M., Asanuma, N., Saito, H., Mukai, M., & Koga, M.(2006). Atherosclerotic risk factors in Japanese subjects with isolated impaired fasting glucose and those with isolated impaired glucose tolerance according to 1997 and 2003 American Diabetes Association criteria. *Diabetes Care*, 29(9), 2123-2126.
- Mullen, M. J., Kharbanda, R. K., Cross, J., Donald, A. E., Taylor, M., Vallance, P., & MacAllister, R. J.(2001). Heterogenous nature of flow-mediated dilatation in human conduit arteries in vivo relevance to endothelial dysfunction in hypercholesterolemia. *Circulation Research*, 88(2), 145-151.
- Nybo, L., Sundstrup, E., Jakobsen, M. D., Mohr, M., Hornstrup, T., Simonsen, L., & Krstrup, P.(2010). High-intensity training versus traditional exercise interventions for promoting health. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 42(10), 1951-1958.
- Okita, K., Nishijima, H., Murakami, T., Nagai, T., Morita, N., Yonezawa, K., & Kitabatake, A.(2004). Can exercise training with weight loss lower serum C-reactive protein levels?. *Arteriosclerosis, Thrombosis, and Vascular Biology*,

- 24(10), 1868-1873.
- Perri, M. g., Anton, S. D., Durning, P. E., Ketterson, T. U., Sydeman, S. J., Berlant, N. E., & Martin, A. D.(2002) Adherence to exercise prescriptions: effects of prescribing moderate versus higher levels of intensity and frequency. *Health Psychology, 21*(5), 452-458.
- Ridker, P. M.(2003). Clinical application of C-reactive protein for cardiovascular disease detection and prevention. *Circulation, 107*(3), 363-369.
- Ridker, P. M., Buring, J. E., Cook, N. R., & Rifai, N.(2003). C-reactive protein, the metabolic syndrome, and risk of incident cardiovascular events an 8-year follow-up of 14 719 initially healthy American women. *Circulation, 107*(3), 391-397.
- Rodeheffer, R. J., Gerstenblith, G., Becker, L. C., Fleg, J. L., Weisfeldt, M. L., & Lakatta, E. G.(1984). Exercise cardiac output is maintained with advancing age in healthy human subjects: cardiac dilatation and increased stroke volume compensate for a diminished heart rate. *Circulation, 69*(2), 203-213.
- Sheikholeslami, V. D., Ahmadi, S., Ahmadi, D. K., & Gharibi, F.(2011). Changes in cardiovascular risk factors and inflammatory markers of young, healthy, men after six weeks of moderate or high intensity resistance training. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness, 51*(4), 695-700.
- Sowers, J. R. & Lester, M. A.(1999). Diabetes and cardiovascular disease. *Diabetes Care, 22*, C14.
- Spina, R. J., Ogawa, T. A., Kohrt, W. M., Martin, W., Holloszy, J. O., & Ehsani, A. A.(1993). Differences in cardiovascular adaptations to endurance exercise training between older men and women. *Journal of Applied Physiology, 75*(2), 849-855.
- Strait, J. B. & Lakatta, E. G.(2012). Aging-associated cardiovascular changes and their relationship to heart failure. *Heart Failure Clinics, 8*(1), 143-164.
- Swift, D. L., Lavie, C. J., Johannsen, N. M., Arena, R., Earnest, C. P., O'Keefe, J. H., & Church, T. S.(2013). Physical activity, cardiorespiratory fitness, and exercise training in primary and secondary coronary prevention. *Circulation Journal, 77*(2), 281-292.
- Taddei, S., Virdis, A., Mattei, P., Ghiadoni, L., Gennari, A., Fasolo, C. B., & Salvetti, A.(1995). Aging and endothelial function in normotensive subjects and patients with essential hypertension. *Circulation, 91*(7), 1981-1987.
- Taddei, S., Virdis, A., Ghiadoni, L., Salvetti, G., Bernini, G., Magagna, A., & Salvetti, A.(2001). Age-related reduction of NO availability and oxidative stress in humans. *Hypertension, 38*(2), 274-279.
- Tan, M. H., Johns, D., & Glazer, N. B.(2004). Pioglitazone reduces atherogenic index of plasma in patients with type 2 diabetes. *Clinical Chemistry, 50*(7), 1184-1188.
- Tanaka, H., Dineno, F. A., Monahan, K. D., Clevenger, C. M., DeSouza, C. A., & Seals, D. R.(2000). Aging, habitual exercise, and dynamic arterial compliance. *Circulation, 102*(11), 1270-1275.
- Taylor, R. S., Brown, A., Ebrahim, S., Jolliffe, J., Noorani, H., Rees, K., & Oldridge, N.(2004). Exercise-based rehabilitation for patients with coronary heart disease: systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *The American Journal of Medicine, 116*(10), 682-692.
- Tjonna, A. E., Lee, S. J., Rognmo, O., Stolen, T. O., Bye, A., Haram, P. M., & Kemi, O. J. (2008). Aerobic interval training versus continuous moderate exercise as a treatment for the metabolic syndrome: a pilot study. *Circulation, 118*(4), 346-354.
- Vinik, A. I., Maser, R. E., Mitchell, B. D., & Freeman, R.(2003). Diabetic autonomic neuropathy. *Diabetes Care, 26*(5), 1553-1579.
- Wisloff, U., Stoylen, A., Loennechen, J. P., Bruvold, M., Rognmo, Ø., Haram, P. M., & Videm, V.(2007). Superior cardiovascular effect of aerobic interval training versus moderate continuous training in heart failure patients a randomized study. *Circulation, 115*(24), 3086-3094.
- Woods, J. A., Wilund, K. R., Martin, S. A., & Kistler, B. M.(2014). Exercise, inflammation and aging. *Aging and Disease, 3*(1), 130-140.
- World Health Organization.(2014). *Global Status Report on Noncommunicable Diseases 2010*.
- Yamagishi, S. I., Nakamura, K., Matsui, T., Ueda, S. I., & Imaizumi, T.(2007). Role of postprandial hyperglycaemia in cardiovascular disease in diabetes. *International Journal of Clinical Practice, 61*(1), 83-87.

10주간의 유산소운동이 노인 여성의 심혈관기능, 동맥경직도 간접지표 및 혈관내피세포기능에 미치는 영향

이병선 · 김경애 · 이만균(경희대학교)

【목적】 이 연구에서는 공복혈당장애 기준($125 \text{ mg} \cdot \text{dl}^{-1}$) 이하의 노인 여성을 대상으로 10주간의 유산소운동이 신체구성, 심혈관기능, 동맥경직도 간접지표, 그리고 혈관내피세포기능에 미치는 영향을 규명하고자 하였다. **【방법】** 운동집단의 대상자 9명은 10주간 주 3회, 20~40분간, HRR의 30~50%로 유산소운동 프로그램에 참여하였고, 통제집단의 대상자 11명은 동일한 처치 기간 동안 평소 생활습관을 그대로 유지하도록 하였다. **【결과】** 이 연구에서 얻은 주요 연구 결과는 다음과 같다. 1) 신체구성과 관련하여 체중, 체지방량, 체지방률, 그리고 BMI에서 집단의 주효과, 검사의 주효과, 그리고 집단과 검사의 상호작용이 유의하게 나타나지 않았다. 2) 심혈관기능과 관련하여 HR, SV, CO, TPR, SBP, DBP, MAP, PP, 그리고 RPP에서 집단의 주효과, 검사의 주효과, 그리고 집단과 검사의 상호작용이 유의하게 나타나지 않았다. 그러나 TPR의 경우 집단과 검사의 상호작용이 유의한 수준에 가깝게 나타났으며($P = .054$), TPR이 운동집단에서 감소되는 경향(20.22% 감소)을 보였다. 3) 동맥경직도와 관련된 염증 지표인 hs-CRP에서 검사의 주효과가 유의하게 나타났으며, 운동집단에서 개선되는 경향을 보였다. 동맥경직도의 간접지표인 TC/HDL-C 비율, TG/HDL-C 비율, 그리고 LDL-C/HDL-C 비율에서 유의한 변화가 나타나지 않았다. 4) 혈관내피세포기능과 관련하여 안정 시 혈관직경, 안정 시 혈류량, 혈관 이완 시 혈관직경, 그리고 혈관 이완 시 혈류량에서 집단의 주효과, 검사의 주효과, 그리고 집단과 검사의 상호작용이 유의하게 나타나지 않았다. 그러나 % FMD에서는 집단의 주효과, 검사의 주효과, 그리고 집단과 검사의 상호작용이 유의하게 나타났으며, % FMD가 운동집단에서 유의하게($P < .01$) 증가되었다. 혈중 NO는 두 집단 모두에서 통계적으로 유의하게 변화되지 않았으나, 운동집단에서 증가되는 경향이 나타났다. **【결론】** 이상의 결과를 종합하면, 10주간 실시한 유산소운동이 노인 여성의 혈관내피세포기능 개선에 효과적이었다고 결론지을 수 있으며, 이는 TPR과 혈중 NO의 개선에 일부 기인하여 나타난 것이라고 해석된다. 이 연구를 통하여 당뇨 전단계부터 저하되는 혈관내피세포기능이 규칙적인 운동을 통하여 회복될 수 있다는 것이 밝혀졌으며, 따라서 당뇨 전단계부터 꾸준한 운동을 실천하는 것이 중요하다.

주요어: 공복혈당장애, 유산소운동, 심혈관기능, 혈관내피세포기능, FMD