운동 트레이닝을 통한 심폐체력 반응의 차이가 복부비만 여성의 심혈관계 위험요인과 아디포사이토카인에 미치는 영향

박수현

성균관대학교

Abstract

Park, S. H. Effects of different cardiorespiratory fitness response to exercise training on cardiovascular disease and adipocytokine in abdominal obesity women. *Exercise Science*. 21(1): 111-120, 2012. The purpose of the study was to assess the effects of different cardiorespiratory fitness response to exercise training on cardiovascular disease and adipocytokine release and gene expression in abdominal obesity women. forty eight middle-age women were divided to a exercise-responder (n=34) group (ERG) and a exercise-nonresponder (n=14) group (ENRG) based on cardiorespiratory fitness after exercise training (12weeks, 1200 kcal/week, moderate-vigorous intensity, walking and jogging). Cardiorespiratory fitness was measured using maximal oxygen uptake with metabolic gas analysis and body composition was determined by bioelectrical impedance. We measured lipid and glucose profiles, blood adipocytokines and adipocytokine genes expression in adipose tissue. Waist girth ($p=0.040$), and %body fat ($p=0.031$) were significantly decreased in ERG than ENRG. Triglyceride ($p=0.023$) and systolic blood pressure ($p=0.046$) were significantly decreased in ERG than ENRG. Blood leptin ($p=0.022$) was significantly decrease in ERG than ENRG but leptin gene expression was decreased both groups ($p<0.001$). These results show that exercise-responder group improved cardiovascular disease risk factors and adipocytokine more than exercise-nonresponder group after exercise training. Moreover, exercise-nonresponders group show that obese indices and blood leptin and leptin gene expression in adipose tissue were decreased despite the failure to improve fitness. Therefore, regular exercise training seems to give health benefits although the failure to improve fitness.

Key words : Improved cardiorespiratory fitness, Exercise-responder, Exercise-nonresponder, Cardiovascular disease risk factor, Adipocytokine

초 록

박수현. 운동 트레이닝을 통한 심폐체력 반응의 차이가 복부비만 여성의 심혈관계 위험요인과 아디포사이토카인에 미치는 영향. *운동과학*, 제21권 제1호, 111-120, 2012. 본 연구는 복부비만 여성을 대상으로 운동 트레이닝을 통해 심폐체력의 반응의 차이가 심혈관계 위험요인 및 아디포사이토카인 분비 및 유전자 발현에 미치는 영향을 알아보는 데 그 목적이 있다. 본 연구는 운동 트레이닝 실시 후 심폐체력 향상의 유무를 이용하여 복부비만 여성 총 48명을 운동-반응 집단(n=34)과 운동-비반응 집단(n=14)로 나누었다. 운동 트레이닝은 주당 1200kcal를 소모하도록 설계되었으며, 중등도-활발한 운동강도, 걷거나 간단한 조깅의 형태로 12주간 실시하였다. 측정 변인으로 실험 참가 전, 후에 신체조성, 혈압, 심폐체력, 혈중지질, 글루코스, 인슐린 그리고 유리지방산을 측정하였으며, 혈중 아디포사이토카인과 복부지방 아디포사이토카인 유전자 발현을 분석하였다. 본 연구의 결과 운동 트레이닝 후 두 집단 모두 비만지표에서 통계적으로 유의하게 감소하였지만, 허리둘레($p=0.040$), 체지방률($p=0.031$) 그리고 중성지방($p=0.023$)과 수축기 혈압($p=0.046$)은 운동-반응 집단과 운동-비반응 집단에서 상호작용 효과를 보였다. 혈중 렙틴은 두 집단에서 상호작용 효과($p=0.022$)가 나타났으나 복부지방 렙틴 유전자는 두 집단 모두에서 트레이닝 후($p<0.001$)에 유의하게 감소하였다. 이상의 결과를 종합해보면 12주간 운동 트레이닝 실시 후 심폐체력의 향상을 보인 운동-반응 집단은 운동-비반응 집단에 비해 심혈관계 질환 위험요소와 아디포사이토카인 분비 및 유전자 발현에 더 효과적인 것으로 나타났다. 또한 운동 트레이닝 실시 후 심폐체력의 개선이 없었던 운동-비반응 집단에서도 비만지표와 혈중 렙틴 및 렙틴 유전자 발현이 감소되는 것을 살펴봤을 때 규칙적인 운동 자체가 비록 심폐체력의 개선이 없더라도 인간의 건강상의 이점을 주는 것으로 나타났다. 따라서 심폐체력이 향상되지 않더라도 규칙적인 운동은 비만 관련 위험요인의 감소 및 예방에 좋은 영향을 주는 것으로 사료된다.

주요어 : 심폐체력 향상, 운동-반응, 운동-비반응, 심혈관계 질환 위험요인, 아디포사이토카인

* 이 논문은 2008년 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임.[KRF-2008-357-G00005]

I. 서론

진화론적 관점에서 볼 때 일차적으로 신체활동 부족과 심폐체력의 저하 그리고 과도한 열량의 섭취는 복부비만을 유발 시킨다. 이차적으로 복부비만을 치료하지 않고 장기간 방치할 경우 인슐린 저항성 및 더 나아가 제 2형 당뇨병과 심혈관계 질환의 위험을 증가시키는 것과 관련이 높다고 여러 선행연구에서는 보고하고 있다(Reaven, 1998; Gerson et al., 2006).

이에 선행연구들은 심폐체력(cardiorespiratory fitness)이 중간정도 혹은 높은 수준인 성인들에서 대사증후군 및 심혈관계 질환의 위험이 감소하는 것으로 보고하였다(LaMonte et al., 2005; Lee et al., 2005). 더욱이, 낮은 수준의 최대산소섭취량(maximal aerobic fitness)은 높은 사망률의 위험과 관련이 있으며, 반대로 최대산소섭취량의 개선은 사망률을 낮추는 것으로 보고되고 있다(Blair et al., 1995; Blair et al., 1996).

이론적으로, 원래 낮은 수준의 최대산소섭취량을 가지고 있으면서 운동하지 않는 사람 혹은 좌업생활 습관을 가지고 있는 사람이 규칙적인 심폐지구성 트레이닝을 실시하면 최대산소섭취량(심폐체력)은 향상된다. 이에 많은 연구자들은 규칙적인 운동을 통한 심폐체력의 향상이 복부비만 해소뿐만 아니라 인슐린 저항성 및 심혈관계 질환의 위험요인을 감소시키는 것이라고 제안하고 있다.

그러나 몇몇 선행연구들은 규칙적인 운동 트레이닝을 통한 심폐체력의 향상이 항상 나타나는 결과는 아니라고 제안하고 있다. 이들은 규칙적인 운동에 반응하는 데 있어 개인차에 따른 다양한 변화성 혹은 이종(heterogeneity)이 있으며(Bouchard & Rankinen, 2001), 심지어 운동 트레이닝에 참여하는 모든 참여자들의 운동량을 같이하여도 그 반응의 정도가 다를 수 있다고 주장한다(Church et al., 2007).

초기 연구들은 심폐 지구성 트레이닝을 통한 개인의 반응에 영향을 미치는 요인들을 조사한 결과 나이, 성별, 인종, 그리고 선천적 최대산소섭취량은 운동 트레이닝을 통한 이종(heterogeneity) 반응에 영향이 없었다고 보고하고 있다(Bouchard & Rankine, 2001; Kohrt et al., 1991; Skinner et al., 2001). 그러나 Heritage Family study의 결과를 살펴보면 운동을 통한 개개인의 신체조성의 변화와 건강 상태는 그 차이가 크며, 이는 유전적 요인들에 의해 강하게 영향을 받는다고 보고하였다. 다른 연구에선 노인들은 젊은 성인보다 훈련 가능성이 적기 때문에 나이를 트레이닝에 대한 비-반응 예측자로 결정하여(Hautala

et al., 2003), 서로 모순된 결과를 제시하고 있는 실정이다.

또한, 선행 연구들은 나이, 연령, 심폐체력의 반응 등의 현상만을 조사하였으며, 규칙적인 운동 프로그램을 통한 운동-반응자와 비반응자 간의 종속변인의 변화에 관하여 조사한 연구는 부족하다.

그러므로 운동 트레이닝을 통한 최대산소섭취량의 비-반응과 비만지표, 심혈관계 질환 위험 인자와 같은 심폐체력에 영향을 받는 여러 관련 인자들의 변화를 조사하는 것이 중요하다고 생각되며, 또한 Church(2009)가 제시한 것과 같이 운동 트레이닝을 통하여 심폐체력의 개선이 없을 지라도 규칙적인 운동 그 자체가 건강상의 이점을 얻을 수 있는 지에 관하여도 과학적으로 접근하는 것이 필요하다.

따라서 본 연구에서는 복부비만을 가지고 있는 중년여성을 대상으로 심폐체력 반응의 차이 즉 운동-반응자와 운동-비반응자에 따라 비만지표, 심혈관질환 위험인자 그리고 아디포사이토카인의 분비 및 유전자 발현에 어떠한 차이가 있는지 알아보고자 조사하고자 한다.

II. 연구 방법

1. 연구 대상

본 연구는 중년 여성 총 48명을 대상으로 하였다. 연구의 참여자들은 세계당뇨병연맹(International Diabetes Federation; IDF) 아시아 기준인 허리둘레 80 cm이상인 복부 비만자로 하였으며, 운동 트레이닝은 중강도-활발한 강도(moderate-vigorous intensity)로 실시한 후 Sisson 등(2009)의 연구에서와 같이 심폐체력의 향상 유무를 이용하여 운동-반응 집단(exercise-responder)과 운동-비반응 집단(exercise-nonresponder) 집단으로 나누었다.

대상자 모집은 S시의 지역주민을 대상으로 전단지 광고를 통하여 모집하였으며, 실험 전 모든 피험자들에게 실험의 내용과 목적을 충분히 설명하고 실험 참여 동의서를 사전에 받은 후, 신체적 특성을 세밀히 측정하고 실험에 참여토록 하였다.

2. 연구 절차 및 측정항목

1) 신체구성변인 및 혈압 측정

운동 프로그램 실시 사전과 사후에 신체구성 변인으로

체중, 체질량지수, 체지방율(X-Scan, 자원메디컬, 한국)과 줄자를 이용하여 바닥과 수평을 이루고 배꼽부위를 평행으로 지나도록 허리둘레를 측정하였다.

안정시 혈압은 앉은 상태에서 10분 이상 안정 상태를 취한 후 자동혈압계(Jawon Medical Co., Korea)를 이용하여 2분 간격으로 2회 측정한 후 평균값을 사용하였다.

2) 심폐체력 측정

심폐체력은 운동 트레이닝 사전과 사후에 트레드밀과 가스 분석기를 이용하여 측정하였다. 운동부하검사 프로토콜은 중년 여성임을 고려하여 ramped bruce protocol (Bruce, 1972)을 이용하였다. 운동자각도(RPE) 17이상, 심박수가 더 이상 증가하지 않거나 일정하게 유지하는 상태, 또는 피험자가 피로하여 더 이상 운동을 수행할 수 없는 경우(ACSM guidelines, 2000)를 최대 능력 기준으로 최대산소섭취량을 분석하였다.

3) 혈액 변인 측정

혈액은 운동 트레이닝 사전과 사후에 12시간 공복 상태에서 전완정맥에서 채혈한 후 즉시 4℃ 원심분리기를 이용하여 혈청과 혈장을 분리하여 분석까지 -80℃ 초저온냉동기에 보관하였다. 분석은 Vitro Chemistry DT60 (Johnson & Johnson, NY, USA)과 동일회사의 플레이트를 사용하여 중성지방, 총콜레스테롤, 고밀도콜레스테롤, 혈당 등을 분석하였으며, 고밀도콜레스테롤 수준은 magnesium chloride and dextran sulfate를 이용하여 apo B를 함유하고 있는 콜레스테롤을 침전시킨 후에 분석하였다. 혈청 인슐린 농도는 상업용 insulin 분석 시약(Human insulin ELISA-kit, DSL, Texas, USA)을 이용하여 분석하였다.

혈중 지방산(free fat acid; FFA)는 NEFA HR(Wako, Japan)을 사용하여 전 처리한 후 자동 생화학 분석기 (HITACHI 7180, Japan)로 분석하였다.

12주간의 운동 프로그램이 끝난 후 혈액 검사는 급성 운동의 효과를 배제하기 위하여 운동 프로그램이 끝나고 4일 이후에 실시하였다.

4) 혈중 아디포싸이토카인 및 염증지표 분석

운동 트레이닝 실시 사전과 사후에 혈중 아디포싸이토카인 및 염증지표를 분석하기 위해 -80℃ 초저온냉동기에 보관한 혈청을 가지고 leptin(human leptin ELISA kit,

Biovendor, Czech), adiponectin(AdipoQ: human Adiponectin ELISA kit, Biovendor, Czech), interleukin 6 (IL-6: human IL-6 ELISA kit, Biosource, USA), tumor necrosis factor-α(TNF-α: human TNF-α ELISA kit, Biosource, USA)을 분석하였다.

5) 복부피하지방 적출

지방조직에서 분비되는 유전자 발현을 분석하기 위하여 운동 트레이닝 실시 사전과 사후에 참여자들을 대상으로 사전 교육을 실시하여 정확한 공복시간(12시간)과 복부피하지방 적출 3일 전 식이섭취 조절 및 과도한 신체활동을 하지 않도록 숙지시킨 후 최대한 모든 대상자들이 동일한 조건에서 복부피하지방을 적출할 수 있도록 하였다. 복부피하지방 적출 방법은 국소마취(2% xylocaine; 아스트라제네카, Seoul, Korea) 후 생검용 주사기(needle biopsy; Swemed, Stockholm, Sweden)을 이용하여 복부부위(배꼽 아래 3 cm)에서 약 200 mg의 피하지방조직을 채취하여 결채조직을 제거한 후 cryo tube (Nunc, Denmark)에 넣어 즉시 액화질소로 급속 냉동시킨 후 -80℃의 초저온 냉동고에 보관하였다.

12주간의 운동 프로그램이 끝난 후 복부피하지방 적출은 급성 운동의 효과를 배제하기 위하여 운동 프로그램이 끝나고 안정시 혈액 채취가 모두 끝난 후 약 1주일 후에 실시하였다.

6) 유전자 발현 검사

냉동된 지방조직은 1 ml TRI reagent(Ambion, Texas, USA)을 이용하여 균질화(homogenized) 시켰다. Total RNA는 제조사에서 제공하는 procedure에 따라 phenol extraction과 alcohol precipitation을 사용하는 일반적인 방법으로 추출하였다. 정제된 RNA는 NanoDrop® ND-1000(Wilmington, DE, USA)을 사용하여 정량하였으며, 1% agarose gel electrophoresis로 검증하였다. cDNA는 제조사에서 제공하는 procedure에 따라 ImProm-II™ reverse transcriptase (Promega, Madison, WI)을 사용하여 total RNA 2 µg을 가지고 합성하였다. RT reaction은 15분간 70℃에서 enzyme의 inactivation step을 따라 60분간 42℃에서 수행하였다.

타깃 유전자들의 발현은 iQTM5 real-time PCR detection system(Bio-Rad, Hercules, CA, USA)을 사용하여 분석하였다. 1:5로 희석한 cDNA 2 µl와 각각의 유전자를 위한

특이적 forward와 reverse primers 250 nM, 1X iQTM SYBR Green supermix(Bio-Rad)가 포함된 total real-time PCR reaction은 20 μ l로 하였다. 모든 reactions은 3번 반복 측정하였다. 증폭 조건(amplification conditions)은 다음과 같다: 95°C for 3 min, 40 cycles of 95°C for 10 s, 60°C for 15 s, 72°C for 20 s. 각각의 유전자 primers를 위한 sequences는 <Table 1>에 제시하였다. Ct 값(values)은 iQ5 optical system software ver. 2.0(Bio-Rad)을 이용하여 산출하였으며, 각각의 mRNA 발현은 β -actin 발현을 가지고 표준화시켰다. 각각의 경우의 상대적 발현은 iQ5 optical system software에 의해 자동적으로 값을 산출하였다.

Table 1. Primer used for iQ5[®] real-time PCR

PCR primer	Sequence	Position	PL (bp)
β -Actin ^a	F:5'-agagctacgagctgctgac-3'	786-805	111
	R:5'-ggatgccacgagctcca-3'	879-896	
Leptin ^a	F:5'-ttgtcaccaggatcaatgaca-3'	169 - 189	716
	R:5'-gtccaaaccgggtgactttct-3'	220 - 239	
AdipoQ ^a	F:5'-ggctcactgctaccttaccat-3'	4164 - 4185	78
	R:5'-agtggcatgagcctgtagttc-3'	4221 - 4241	
IL-6 ^a	F:5'-ggtacatctctgcagcgcatct-3'	237-257	81
	R:5'-gtgcctctttgtgctttcac-3'	297-317	
TNF- α ^a	F:5'-cagcctcttctctctgat-3'	268 - 288	123
	R:5'-gccagagggtgattagaga-3'	371 - 390	

^adesigned by using Probe Finder Software in the Universal Probe Library Assay Design Center.

7) 12주간 운동 프로그램

본 연구의 운동강도는 최대산소섭취량의 50~80% 사 이로 설정하였으며, 운동량은 회당 400 kcal를 소모하도록 하여 주당 3회 실시하였다.

운동의 형태는 걷기와 가벼운 조깅으로 하였으며, 모든 운동은 S 대학교 교정 내에서 감독자의 모니터 아래에서 실시하였다.

본 연구에서 개인별 운동량을 모니터 하기위해 자동심 박동측정기(Polar Heart Monitor, Polar S610i, Polar Electro, Finland)를 착용하여 확인하고 매회 심박수 자료를 다운로드 받아 정확하게 목표 칼로리를 소비시켰는지 확인 하였다.

8) 1일 평균 신체활동량과 섭취열량 측정

모든 운동 트레이닝 참여자들을 대상으로 12주 운동

기간 동안 매일 목욕시간을 제외한 24시간 내내 물체가속 도계(Kenz Lifecorder Ex accelerometer, Suzuken Co., Ltd, Nagoya, Japan)를 착용하게 하여 1일 평균 신체활동량을 측정하였다.

1일 평균 섭취열량 조사는 주 3회(평일 2회, 주말 2회)에 걸쳐 회상법 식단 일기를 작성하게 한 후, 매주 수집하여 한국인 영양 분석용 컴퓨터 프로그램인 Can-Pro(version 2.0)을 사용하여 1일 평균 섭취열량을 조사하였다.

3. 자료처리 방법

모든 자료는 평균과 표준편차(Mean $\pm$ SD)로 제시하였다.

12주간의 운동 트레이닝을 통하여 운동에 반응한 사람과 반응하지 않은 사람의 신체적 특성에 유의한 차이가 있는 지 알아보기 위하여 일원변량분석(one-way ANOVA)을 실시하였으며, 운동 트레이닝 사전 및 사후에 측정된 종속변인의 평균값에서 집단 간 통계적으로 유의한 차이가 있는 지 확인하기 위하여 측정시기와 집단을 각각 독립변인으로 하는 반복측정 이원변량분석(two-way ANOVA with repeated measure)를 이용하여 결과를 산출하였다. 모든 통계는 SPSS-PC(version 19.0)를 이용하여 $p < 0.05$ 수준에서 통계적 유의도를 검정하였다.

III. 연구 결과

1. 피험자의 특성

본 연구에서 12주간의 걷기 운동 트레이닝 후 심폐체력이 향상된 사람은 34명, 향상되지 않은 사람은 14명으로 약 70%가 운동-반응이 있는 것으로 나타났다<Fig. 1>.

Fig. 1. Variability in VO_{2max} changes in 48 abdominal obesity women in response to training

두 집단은 연령과 신장이 비슷하였고 체중, 허리둘레의 차이도 유의한 차이가 없었다. 또한 운동 프로그램 실시 기간 중에 신체활동량과 식이섭취량도 두 집단 간에 유의한 차이가 나타나지 않았다<Table 2>.

Table 2. Comparison of physical characteristics of exercise-responders and exercise-nonresponders

Variables	ERs (n=34)	ENRs (n=14)	P value
Age (yr)	43.74±6.5	45.21±5.0	0.449
Height (cm)	158.07±5.1	158.29±4.3	0.296
Weight (kg)	64.88±7.4	64.71±8.1	0.946
WC (cm)	91.56±6.2	90.05±4.2	0.411
DPA (step)	14875.36±2824.8	14465.76±3888.3	0.685
DEI (kcal)	1599.48±201.47	1532.62±351.71	0.421

ERs: exercise-responders; ENRs: exercise-nonresponders;
WC: waist circumference; DPA: daily physical activity;
DEI: daily energy intake.

2. 비만 지표의 변화

비만지표는 운동 트레이닝 사전과 사후에 운동-반응 집단과 운동-비반응 집단 모두 체중($p<0.001$), 허리둘레($p<0.001$), 체질량지수($p<0.001$) 그리고 체지방량($p<0.001$)이 유의하게 감소하였다. 그러나 허리둘레($p=0.040$), 체지방량($p=0.031$)에서 운동-반응 집단이 운동-비반응 집단보다 더 많이 감소하여 유의한 상호작용 효과가 나타났다<Table 3>.

3. 심폐체력과 혈압의 변화

심폐체력의 지표인 최대산소섭취량은 운동 프로그램 실시 후에 운동-반응 집단과 운동-비반응 집단 간에 유의한 상호작용($p<0.001$)을 나타내었으며, 수축기 혈압에서 운동-반응 집단은 운동-비반응 집단에 비해 유의하게 감소하여 상호작용($p=0.046$) 효과가 나타났다<Table 4>.

4. 혈중 지질 및 아디포싸이토카인의 변화

중성지방은 운동 트레이닝 실시 후에 운동-반응 집단은 감소하고 반면에 비 반응 집단은 증가하여 유의한 상

Table 3. Change of obese indices before and after the intervention

Variables	Group	Before	After	p value
Weight (kg)	ERG (n=34)	64.88±7.4	61.97±7.04	<0.001 ^a
	ENRG (n=14)	64.71±8.07	63.22±6.75	0.813 ^b 0.052 ^c
WC (cm)	ERG (n=34)	91.56±6.25	86.19±6.51	<0.001 ^a
	ENRG (n=14)	90.05±4.25	87.05±3.09	0.851 ^b 0.040 ^c
BMI (kg/m ²)	ERG (n=34)	25.87±2.46	24.69±2.19	<0.001 ^a
	ENRG (n=14)	25.92±2.61	25.25±2.19	0.684 ^b 0.090 ^c
BF (%)	ERG (n=34)	32.99±3.31	31.01±3.16	<0.001 ^a
	ENRG (n=14)	32.65±2.55	31.64±2.40	0.878 ^b 0.031 ^c

ERG: exercise-responder group; ENRG: exercise-nonresponder group; WC: waist circumference; BMI: body mass index; BF: body fat. ^a=time, ^b=group, ^c=time*group.

Table 4. Change of cardiorespiratory fitness and blood pressure before and after the intervention

Variables	Group	Before	After	p value
SBP (mmHg)	ERG (n=34)	118.44±15.06	113.56±14.22	0.506 ^a
	ENRG (n=14)	111.21±13.91	113.68±11.21	0.390 ^b 0.046 ^c
DBP (mmHg)	ERG (n=34)	72.06±11.35	68.16±11.35	0.073 ^a
	ENRG (n=14)	70.04±9.30	68.89±9.33	0.838 ^b 0.321 ^c
VO _{2max} (ml/kg/min)	ERG (n=34)	28.64±3.76	33.73±4.56	0.038 ^a
	ENRG (n=14)	31.76±4.27	29.19±3.15	0.539 ^b <0.001 ^c

ERG: exercise-responder group; ENRG: exercise-nonresponder group; SBP, systolic blood pressure; DBP: diastolic blood pressure. ^a=time, ^b=group, ^c=time*group.

호작용($p=0.023$) 효과가 나타났다.

총 콜레스테롤($p=0.040$)과 고밀도 지단백 콜레스테롤($p=0.001$)은 두 집단 모두에서 유의하게 증가하였다<Table 5>.

혈중 렙틴은 두 집단 모두에서 감소($p=0.001$)하였으나, 비 반응 집단 보다 운동-반응 집단에서 더욱 감소($p=0.022$)하는 것으로 나타났다<Table 6>. TNF- α 는 두 집단 모두에서 감소하였다($p=0.001$).

Table 5. Change of lipid profiles before and after the intervention

Variables	Group	Before	After	p value
TG (mg/dl)	ERG (n=34)	140.53±76.20	121.35±64.65	0.792 ^a
	ENRG (n=14)	107.43±50.06	131.46±60.99	0.553 ^b 0.023^c
TC (mg/dl)	ERG (n=34)	190.60±30.51	198.84±33.12	0.040^a
	ENRG (n=14)	196.71±29.73	204.68±27.23	0.512 ^b 0.972 ^c
HDL-C (mg/dl)	ERG (n=34)	38.20±9.05	43.73±9.23	<0.001^a
	ENRG (n=14)	37.89±11.55	42.25±13.07	0.768 ^b 0.640 ^c
Glucose (mg/dl)	ERG (n=34)	98.56±15.66	98.68±13.39	0.587 ^a
	ENRG (n=14)	95.36±12.67	96.93±10.38	0.548 ^b 0.628 ^c
Insulin (mg/dl)	ERG (n=34)	6.79±3.78	5.80±3.16	0.491 ^a
	ENRG (n=14)	5.45±1.63	5.76±3.55	0.520 ^b 0.192 ^c
FFA (mg/dl)	ERG (n=34)	533.88±252.7	481.29±233.4	0.648 ^a
	ENRG (n=14)	440.00±144.9	444.07±234.7	0.204 ^b 0.594 ^c

ERG: exercise-responder group; ENRG: exercise-nonresponder group; TG: triglyceride; TC: total cholesterol; HDL-C: high density lipoprotein cholesterol; FFA, free fat acid. ^a=time, ^b=group, ^c=time*group.

Table 6. Change of serum adipocytokine before and after the intervention

Variables	Group	Before	After	p value
TNF-α (pg/ml)	ERG (n=34)	4.74±3.58	4.15±3.57	0.048^a
	ENRG (n=14)	5.99±3.90	4.62±3.22	0.405 ^b 0.425 ^c
Adiponectin (μg/ml)	ERG (n=34)	24.24±15.61	22.09±12.45	0.373 ^a
	ENRG (n=14)	22.17±25.66	22.18±19.88	0.853 ^b 0.368 ^c
Leptin (ng/ml)	ERG (n=34)	37.02±24.42	24.73±15.60	0.004^a
	ENRG (n=14)	28.14±12.84	26.68±11.57	0.542 ^b 0.022^c
IL-6 (pg/ml)	ERG (n=34)	8.25±10.82	14.86±26.02	0.628 ^a
	ENRG (n=14)	7.51±7.85	4.59±4.10	0.271 ^b 0.216 ^c

ERG: exercise-responder group; ENRG: exercise-nonresponder group; TNF-α: tumor necrosis factor-α; IL-6, interleukin-6. ^a=time, ^b=group, ^c=time*group.

5. 복부지방 아디포사이토카인 유전자 발현

렙틴 유전자(p=0.001) 발현은 운동 트레이닝 실시 후 두 집단 모두에서 유의하게 감소하였으나(p=0.001) 유의한 상호작용 효과는 나타나지 않았다.

Table 7. Change of abdominal fat genes expression before and after the intervention

Variables	Group	Before	After	p value
Leptin mRNA*	ERG (n=34)	1.29±0.61	0.74±0.43	<0.001^a
	ENRG (n=14)	1.14±0.38	0.75±0.40	0.640 ^b 0.228 ^c
Adiponectin mRNA*	ERG (n=34)	1.61±0.54	1.40±0.60	0.085 ^a
	ENRG (n=14)	1.53±0.50	1.45±0.74	0.937 ^b 0.425 ^c
TNF-α mRNA*	ERG (n=34)	1.17±0.70	0.86±0.62	0.245 ^a
	ENRG (n=14)	0.89±0.37	0.92±0.31	0.442 ^b 0.162 ^c
IL-6 mRNA*	ERG (n=34)	0.51±0.75	0.44±0.70	0.996 ^a
	ENRG (n=14)	0.43±0.39	0.50±0.94	0.956 ^b 0.687 ^c

ERG: exercise-responder group; ENRG: exercise-nonresponder group; TNF-α mRNA: tumor necrosis factor-α mRNA; IL-6, interleukin-6 mRNA. ^a=time, ^b=group, ^c=time*group.

*The mean of each mRNA expression was normalized to β-actin expression.

IV. 논의

본 연구에서는 운동 트레이닝을 통한 심폐체력의 향상이 모든 사람에게 적용되지 않는다는 선행연구 결과들의 근거아래 중년여성을 대상으로 운동 트레이닝의 개인별 민감도(운동-반응과 운동-비반응)에 따라 비만지표, 심혈관질환 위험인자 그리고 아디포사이토카인의 분비 및 유전자 발현에 어떠한 차이가 있는지 조사하였다.

총 48명을 대상으로 12주간 걷기 트레이닝을 실시한 결과 심폐체력의 지표인 최대산소섭취량이 향상된 운동-반응자는 34명, 최대산소섭취량이 향상되지 않은 운동-비반응자는 14명으로 운동 트레이닝에 반응한 자는 약 70%로 나타났다. 이는 몇몇의 선행연구와 유사하게 나타났으며(Bouchard et al., 1999; Hautala et al., 2006), Sisson 등(2009)의 연구에서 운동 트레이닝 후 운동-비반응자가 약

32%정도였다는 연구와 비슷한 경향을 나타냈다. 운동 트레이닝을 통한 이러한 개인별 운동 효과의 반응의 차이는 아직도 논란의 여지가 있기는 하지만(Bouchard & Rankine, 2001; Hautala et al., 2003) 나이, 성별, 유전적 요인에 의해 나타난 결과라 사료된다.

본 연구에서는 예상대로 걷기 운동 트레이닝을 통하여 허리둘레, 체지방량이 운동-비반응 집단에서보다 운동-반응 집단에서 유의하게 더 개선된 것으로 나타났으나 운동-비반응 집단에서도 체중, 허리둘레, 체질량지수 그리고 체지방량이 모두 감소된 것으로 나타났다. 이런 결과는 규칙적인 운동이 비만 지표를 개선시킨다는(Mougios et al., 2006) 선행 연구의 결과와 유사하다고 할 수 있다.

모든 참여자가 주당 1200 kcal를 소모토록 설계된 운동 트레이닝을 실시 한 후 운동에 반응하는 사람과 반응하지 않은 사람과의 체중 감량의 차이를 자세히 살펴보면 평균 1.49 kg 감량된 운동-비반응 집단에 비해 운동-반응 집단은 2.91 kg 가 감량되어 감소의 정도가 크다는 것을 알 수 있다. 이런 결과는 허리둘레, 체질량지수 그리고 체지방에서도 같았다.

본 연구의 결과에서 흥미로운 것은 두 집단 간에 비만 지표(체중, 허리둘레, 체질량지수 및 체지방량)의 개선의 차이가 있음에도 불구하고 12주간의 일일 신체활동량은 두 집단 간에 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다는 것이다. 이런 결과는 성인과 청소년에 있어 심폐체력과 복부비만이 유의한 음의 상관관계를 가지고 있다는 Kuk & Lee(2010)의 연구결과와 규칙적인 운동 트레이닝과는 독립적으로 심폐체력이 높은 사람은 복부 지방의 축적이 낮다고 제시한 Santos 등(2011)의 연구결과를 뒷받침 하는 결과라고 사료된다. 다시 말해 규칙적인 운동은 비만 지표에 긍정적인 변화를 유도하지만 특히, 심폐체력의 증진을 통한 대사능력의 향상으로 인해 비만 지표의 개선에 더욱더 많은 영향을 미친다고 보인다.

본 연구의 혈중 지질 변화를 살펴보면 고밀도 지단백 콜레스테롤은 두 집단에서 모두 유의하게 증가한 것을 볼 수 있었으나, 중성 지방은 운동-반응 집단은 감소하였고 반면에 운동-비반응 집단은 증가하여 서로 상호작용 효과를 나타내었다.

혈중 아디포사이토카인은 TNF- α 가 두 집단 모두에서 운동 전에 비해 운동 후에 유의하게 감소하였으며, 렙틴은 운동-반응 집단에서 운동-비반응 집단에서보다 유의하게 더욱 감소한 것으로 나타났다. 본 연구의 이런 결과는 14 주간 최대산소섭취량의 65~70%로 걷기 트레이닝을 실시

한 후 혈중 렙틴과 C-반응성 단백질(C-reactive protein; CRP)가 유의하게 감소되었다고 보고한 Giannopoulou 등(2005)의 연구 결과와 젊은 비만 여성을 대상으로 60~70% HRR(heart rate reserve; 여유심박수)로 7개월간 자전거 에르고미터 트레이닝 결과 렙틴이 유의하게 감소하였다고 보고한 kondo 등(2006)의 연구와 일치되는 것으로 나타났다. 그러나 Huffman 등(2008)의 STRRIED 스터디에서 혈중 아디포사이토카인과 염증지표의 변화를 살펴보면 유의하게 비만지표 및 복부 지방조직이 감소되었음에도 불구하고 아디포사이토카인의 변화가 나타나지 않았다고 보고하였으며, 다른 여러 선행 연구에서도 체중의 감소와 아디포사이토카인의 감소와 연관이 없거나, 아주 작은 관련성을 가지고 있다고 보고하였다(D'Andrea et al., 2005; Kim et al., 2007). 여러 선행연구들의 결과들을 종합해 볼 때 본 연구에서의 혈중 아디포사이토카인의 감소는 12주간의 운동 트레이닝의 직접적인 효과를 보여주는 것으로 사료된다. 다시 말해 대부분의 체중 감소에도 불구하고 사이토카인의 감소의 변화가 나타나지 않은 논문들을 살펴보면 심폐체력의 증가가 나타나지 않는 것을 볼 수 있었다. 이런 결과를 토대로 살펴봤을 때 혈중의 아디포사이토카인의 변화는 아마도 지방조직의 부피의 감소만으로 나타나는 것이 아니라 어떤 다른 원인들에 의해 독립적으로 작용 받는 것으로 사료되며, 그 중 심폐체력의 증가는 부교감신경계의 활성을 유도하여 염증반응을 감소시키는 역할을 한 것으로 여겨진다(Jae et al., 2009).

지방조직에서의 렙틴 유전자 발현에는 두 집단 모두에서 운동 후에 유의하게 감소하였지만($p < 0.001$) 상호작용 효과는 없었으며, 감소의 경향은 혈중 렙틴 분비와 비슷하게 나타났다. 그러나 여성을 대상으로 한 Sabatier 등(2008)의 연구에 의하면 렙틴의 농도는 유산소성 운동 능력과 관련이 없다고 제시하고 있다. 반면에 안 등(2006)이 제시한 결과를 살펴보면 심폐체력이 혈중 렙틴 농도의 변화를 예측할 수 있는 독립인자라고 보고하였다. 다시 말해, 이러한 결과는 심폐체력의 개선이 독립적으로 렙틴의 감소에 영향을 준다고 해석할 수 있다. 그러나 아직 심폐체력이 어떻게 혈중 렙틴 및 유전자 발현을 감소시키는 지에 관한 대사적 기전은 명확하지 않다. 따라서 차후 가능 기전을 알아보는 후속 연구가 필요하다고 사료된다.

마지막으로 본 연구에서 심폐체력이 향상된 운동-반응 집단은 수축기 혈압이 유의하게 운동 트레이닝 후에 감소

되었으나 운동-비반응 집단에서는 증가하는 것으로 나타났다. Gentile 등(2007)은 심폐체력이 좋은 사람은 복부 내장지방의 변화와는 독립적으로 체중이 증가한 후 혈압이 심폐체력이 낮은 사람에 비해 증가의 폭이 작다고 보고하였다. 다른 말로 심폐체력은 체중의 감소와는 독립적으로 혈압과 관련성이 있는 것으로 보고하고 있다. 운동-반응 집단에서만 수축기 혈압이 개선된 본 연구 결과의 가능기전을 살펴보면 심폐체력의 증가는 첫째, 조직의 산소이용 능력이 증가되며 둘째, 혈압에 영향을 주는 말초혈관벽의 압력을 감소시켜 이완성 콜라겐 섬유의 부하는 낮추고 이는 결국 혈관의 탄성도를 증가시키는 결과를 가져올 것이다(Amentano et al., 1991).

그러나 본 연구의 결과는 몇 가지 제한점을 가지고 있다. 첫째, 본 연구에서는 운동 트레이닝이 끝난 후 집단을 나누었기 때문에 집단 간의 피험자의 비율이 차이가 났다. 둘째, 운동-비반응자 집단과 비교해볼 수 있는 통제집단이 없었다. 마지막으로 본 연구에서는 피험자들의 식이를 12주간 모니터링하였으나 주관적 식이조사로 인하여 식이 섭취량이 실제보다 낮게 조사되었다는 제한점이 있다.

그러나 이러한 연구의 제한점에도 불구하고 새로운 관점에서 운동 트레이닝 후 운동 반응의 개인별 민감도를 알아보고, 운동-반응 집단과 운동-비반응 집단으로 나누어 집단 간에 종속 변인의 변화를 알아 본 것. 더 나아가 심폐체력의 향상이 없음에도 불구하고 규칙적인 운동이 건강에 이점을 주는 지를 알아보는 국내외 연구로써 처음 시도하였다는 점에 본 연구의 가치가 있을 것으로 사료된다.

이상의 결과를 종합해 보면 규칙적인 운동 트레이닝을 통해 심폐체력이 향상이 된 운동-반응자는 향상이 되지 못한 운동-비반응자보다 비만지표, 렙틴 분비가 더 많이 감소하였으며, 또한 혈중 중성지방과 수축기 혈압이 운동-비반응자 집단에 비해 유의하게 개선된 것으로 나타났다. 뿐만 아니라 본 연구의 결과를 살펴봤을 때, 심폐체력의 향상이 나타나지 않은 운동-비반응자도 비록 중성 지방과 수축기 혈압의 개선을 나타나지 않았지만, 복부비만을 개선할 필요할 필요가 있는 복부비만 중년여성에게 있어 비만지표 즉 체중, 허리둘레, 체지방율 그리고 렙틴의 분비 및 유전자 발현의 개선을 통하여 규칙적인 운동을 실시한 다는 것 자체가 건강의 이점을 가지고 올 수 있다고 사료된다.

V. 결론

본 연구에서는 복부 비만을 가지고 있는 중년 여성을 대상으로 운동 트레이닝의 개인별 민감도에 따라 비만지표, 심혈관계질환 위험인자 그리고 복부지방 조직의 유전자 발현에 미치는 영향을 알아보고자 하였다. 그 결과 운동-반응 집단과 운동-비반응 집단 모두 비만지표(체중, 허리둘레, 체지방률, 체지방량)의 개선이 나타났으나 운동-반응 집단에서 보다 큰 개선이 나타났으며, 혈중 중성지방과 혈압은 운동-반응 집단에서는 개선되었지만 운동-비반응 집단에서는 오히려 증가하는 것으로 나타났다. 그러나 고밀도지단백 콜레스테롤은 두 집단 모두에서 개선되었다. 혈중 아디포사이토카인인 렙틴은 두 집단 모두에서 개선되었으나 운동-반응 집단에서 유의하게 개선의 폭이 큰 것으로 나타났다. 마지막으로 두 집단 모두에서 복부지방조직의 렙틴의 유전자 발현이 감소하였다.

다시 말해, 운동-반응자는 운동-비반응자에 비해 비만지표, 심혈관계 질환의 위험요인 그리고 혈중의 염증반응의 개선이 높게 나타났다. 그러나 심폐체력이 증가되지 않더라도 비만관련 위험인자는 규칙적인 운동을 통해 개선되는 것으로 나타나 규칙적인 운동 자체가 인간의 건강에 이점을 줄 수 있다고 사료된다.

참고문헌

- 안의수, 이지영, 박수현, 한태경, 강현식(2006). 비만 중년 여성의 유산소운동에 따른 혈중 렙틴과 비만지표 및 심폐체력의 관련성. *운동과학*, 15(3): 247-252.
- ACSM (2000). ACSM Guidelines for exercise testing and prescription, 6th edition. Philadelphia, Lipponcott Williams and Wilkins.
- Armentano, R. L., Levenson J., Barra, J. G., Fischer, E. I., Breitbart G. J., Pichel, R. H., & Simon, A. (1991). Assessment of elastin and collagen contribution to aortic elasticity in conscious dogs. *Am. J. Physiol.*, 260(6 Pt 2): H1870-1877.
- Blair, S. N., Kampert, J. B., Kohl, H. W. 3rd., Barlow, C. E., Macera, C. A., Paffenbarger, R. S. Jr., & Gibbons, L. W. (1996). Influences of

- cardiorespiratory fitness and other precursors on cardiovascular disease and all-cause mortality in men and women. *JAMA*, 276(3): 205-210.
- Blair, S. N., Kohl, H. W. 3rd., Barlow, C. E., Paffenbarger, R. S. Jr., Gibbons, L. W., & Macera, C. A. (1995). Changes in physical fitness and all-cause mortality. A prospective study of healthy and unhealthy men. *JAMA*, 273(14): 1093-1098.
- Bouchard, C., & Rankinen, T. (2001). Individual differences in response to regular physical activity. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 33(6 Suppl): S446-451.
- Bouchard, C., An, P., Rice, T., Skinner, J. S., Wilmore, J. H., Gagnon, J., Pérusse, L., Leon, A. S., & Rao, D. C. (1999). Familial aggregation of VO(2max) response to exercise training: results from the HERITAGE Family Study. *J. Appl. Physiol.*, 87(3): 1003-1008.
- Bruce, R., A. (1972). Multi-stage treadmill tests of maximal and submaximal exercise. In exercise testing and training of apparently healthy individuals: A handbook for physician. New York: American Heart Association, 32. 33.
- Church, T. (2009). The low-fitness phenotype as a risk factor: more than just being sedentary? *Obesity (Silver Spring)*, Suppl 3: S39-42.
- Church, T. S., Earnest, C. P., Skinner, J. S., & Blair, S. N. (2007). Effects of different doses of physical activity on cardiorespiratory fitness among sedentary, overweight or obese postmenopausal women with elevated blood pressure: a randomized controlled trial. *JAMA*, 297(19): 2081-2091.
- D'Andrea, F., Grella, R., Rizzo, M. R., Grella, E., Grella, R., Nicoletti, G., Barbieri, M., & Paolisso, G. (2005). Changing the metabolic profile by large-volume liposuction: a clinical study conducted with 123 obese women. *Aesthetic Plast. Surg.*, 29(6): 472-478.
- Gentile, C. L., Orr, J. S., Davy, B. M., & Davy, K. P. (2007). Cardiorespiratory fitness influences the blood pressure response to experimental weight gain. *Obesity (Silver Spring)*, 15(12): 3005-3012.
- Gerson, L. S., & Braun, B. (2006). Effect of high cardiorespiratory fitness and high body fat on insulin resistance. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 38(10): 1709-1715.
- Giannopoulou, I., Fernhall, B., Carhart, R., Weinstock, R. S., Baynard, T., Figueroa, A., & Kanaley, J. A. (2005). Effects of diet and/or exercise on the adipocytokine and inflammatory cytokine levels of postmenopausal women with type 2 diabetes. *Metabolism*, 54(7): 866-875.
- Hautala, A. J., Mäkikallio, T. H., Kiviniemi, A., Laukkanen, R. T., Nissilä, S., Huikuri, H. V., & Tulppo, M. P. (2003). Cardiovascular autonomic function correlates with the response to aerobic training in healthy sedentary subjects. *Am. J. Physiol. Heart Circ. Physiol.*, 285(4): H1747-752.
- Hautala, A. J., Kiviniemi, A. M., Mäkikallio, T. H., Kinnunen, H., Nissilä, S., Huikuri, H. V., & Tulppo, M. P. (2006). Individual differences in the responses to endurance and resistance training. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 96(5): 535-542.
- Huffman, K. M., Slentz, C. A., Bales, C. W., Houmard, J. A., & Kraus, W. E. (2008). Relationships between adipose tissue and cytokine responses to a randomized controlled exercise training intervention. *Metabolism*, 57(4): 577-583.
- Jae, S. Y., Heffernan, K. S., Yoon, E. S., Lee, M. K., Fernhall, B., & Park, W. H. (2009). The inverse association between cardiorespiratory fitness and C-reactive protein is mediated by autonomic function: a possible role of the cholinergic antiinflammatory pathway. *Mol. Med.*, 15(9-10): 291-296.
- Kim, E. S., Im, J. A., Kim, K. C., Park, J. H., Suh, S. H., Kang, E. S., Kim, S. H., Jekal, Y., Lee, C.

- W., Yoon, Y. J., Lee, H. C., & Jeon, J. Y. (2007). Improved insulin sensitivity and adiponectin level after exercise training in obese Korean youth. *Obesity* (Silver Spring), 15(12): 3023-3030.
- Kohrt, W. M., Malley, M. T., Coggan, A. R., Spina, R. J., Ogawa, T., Ehsani, A. A., Bourey, R. E., Martin, W. H. 3rd., & Holloszy, J. O. (1991). Effects of gender, age, and fitness level on response of VO_{2max} to training in 60-71 yr olds. *J. Appl. Physiol.*, 71(5): 2004-2011.
- Kondo, T., Kobayashi, I., & Murakami, M. (2006). Effect of exercise on circulating adipokine levels in obese young women. *Endocr. J.*, 53(2): 189-195.
- Kuk, J. L., & Lee, S. (2010). Independent associations between cardiorespiratory fitness and abdominal obesity with metabolic risk in adolescents and adults. *Obesity* (Silver Spring), 18(10): 2061-2063.
- LaMonte, M. J., Barlow, C. E., Jurca, R., Kampert, J. B., Church, T. S., & Blair, S. N. (2005). Cardiorespiratory fitness is inversely associated with the incidence of metabolic syndrome: a prospective study of men and women. *Circulation*, 112: 505-512.
- Lee, S., Kuk, J. L., Katzmarzyk, P. T., Blair, S. N., Church, T. S., & Ross, R. (2005). Cardiorespiratory fitness attenuates metabolic risk independent of abdominal subcutaneous and visceral fat in men. *Diabetes Care*, 28: 895-901.
- Mougios, V., Kazaki, M., Christoulas, K., Ziogas G., & Petridou, A. (2006). Does the intensity of an exercise programme modulate body composition changes? *Int. J. Sports Med.*, 27(3): 178-181.
- Reaven, G. M. (1998). Banting lecture 1988. Role of insulin resistance in human disease. *Diabetes*, 37: 1595-1607.
- Sabatier, M. J., McCully, K. K., Marinik, E. L., Schwark, E. H., Haddow, S., Cortez-Cooper, M., Bergeron, M. F., Sloan, G. J., & Cannon, J. G. (2008). Leptin, blood pressure, and aerobic capacity in women. *Am. J. Hypertens.*, 21(11): 1245-1250.
- Santos, D. A., Silva, A. M., Baptista, F., Santos, R., Gobbo, L. A., Mota, J., & Sardinha, L. B. (2011). Are cardiorespiratory fitness and moderate-to-vigorous physical activity independently associated to overweight, obesity, and abdominal obesity in elderly? *Am. J. Hum. Biol.*, 10.1002/ajhb.21231. [Epub ahead of print]
- Sisson, S. B., Katzmarzyk, P. T., Earnest, C. P., Bouchard, C., Blair, S. N., & Church, T. S. (2009). Volume of exercise and fitness nonresponse in sedentary, postmenopausal women. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 41(3): 539-545.
- Skinner, J. S., Jaskólski, A., Jaskólska, A., Krasnoff, J., Gagnon, J., Leon, A. S., Rao, D. C., Wilmore, J. H., & Bouchard, C.; HERITAGE Family Study. (2001). Age, sex, race, initial fitness, and response to training: the HERITAGE Family Study. *J. Appl. Physiol.*, 90(5): 1770-1776.

논문투고일 : 2011. 11. 30

심사일 : 2011. 12. 06

심사완료일 : 2012. 01. 30