

규칙적인 운동을 통한 심폐체력의 향상이 비만 청소년의 혈관기능에 미치는 영향

박수현 · 윤은선 · 제세영

서울시립대학교

Abstract

Park, S. H., Yoon, E. S., Jae, S. Y. Effect of improvement of cardiorespiratory fitness by regular exercise training on vascular function in obese adolescents, *Exercise Science*, 21(4): 485-494, 2012. Vascular endothelial dysfunction and increased arterial stiffness are associated with early atherosclerosis in obese adolescents. High cardiorespiratory fitness (CRF) is associated with diminished cardiovascular risk factors and improved vascular endothelial function in children. The purpose of the study was to examine effects of the improvement of cardiorespiratory fitness by regular exercise training on vascular function in obese adolescents. Twenty one obese adolescents (Schoolboy, Mean age : 13-14 yr) were randomly assigned to an exercise training (ET)(12 weeks, 40 minutes, 5 days/week) group (n=11) and a non exercise control (CON) group (n=10). Cardiorespiratory fitness was measured using maximal oxygen uptake with metabolic gas analysis and body composition was determined by bioelectrical impedance. We measured carotid-femoral pulse wave velocity and reactive hyperemia index as indices of vascular function. Waist girth was significantly decreased in ET group than in CON group (ET 94.41±6.17 to 92.62±6.13 vs. CON 92.62±7.80 to 94.27±9.23 cm, $p < .05$). Cardiorespiratory fitness was significantly increased in ET group than CON group (ET 32.35±6.49 to 39.24±6.63 vs. CON 34.59±5.47 to 38.36±6.54 ml/kg/min, $p < .05$). Body mass index and selected CVD risk factors were not improved in ET group. Reactive hyperemia index was significantly increased in ET group (ET 1.60±0.45 to 1.87±0.58 vs. CON 1.73±0.39 to 1.43±0.26%, $p = < .05$) but carotid-femoral pulse wave velocity did not significantly decrease in ET group (ET 5.77±5.40 to 5.40±0.53 vs. CON 5.12±0.53 to 5.05±0.54 m/s, NS). Change in cardiorespiratory fitness was associated with change in reactive hyperemia index after adjusted for changes in waist ($r = .457$, $p < .037$). These results show that regular exercise training improved endothelial function, and this was associated with improved cardiorespiratory fitness independent of changes in body weight in obese adolescents.

Key words : obesity adolescent, vascular endothelial function, arterial stiffness, change in cardiorespiratory fitness

초 록

박수현, 윤은선, 제세영. 규칙적인 운동을 통한 심폐체력 향상이 비만 청소년의 혈관 기능에 미치는 영향. 운동과학, 제21권 제4호. 485-494, 2012. 혈관내피세포 장애 및 동맥경직도의 증가는 비만 청소년에서 조기 관상동맥질환과 관련이 있다. 반면 높은 심폐체력 수준은 비만 청소년에서 심혈관계 위험 및 혈관기능을 낮추는 것과 관련이 있다. 이에 본 연구는 규칙적인 운동을 통한 심폐체력 향상이 비만 청소년의 혈관 기능에 미치는 영향에 대해 알아보는 데 그 목적이 있다. 본 연구는 비만 청소년 21명(남학생, 평균나이 13-14세)을 운동집단(11명)(12주, 40분, 주 5일)과 통제집단(10명)으로 무선 배정하였다. 심폐체력은 대사적 가스 분석기를 이용하여 최대산소섭취량을 측정하였으며, 신체조성은 전기저항법을 이용하여 측정하였다. 혈관 기능의 지표로써 경동맥-대퇴동맥 전파맥파 속도와 맥 증폭지수를 측정하였다. 본 연구에서, 허리둘레는 운동 집단에서 통제집단에서 보다 유의하게 감소되었다(ET 94.41±6.17 to 92.62±6.13 vs. CON 92.62±7.80 to 94.27±9.23 cm, $p < .05$). 심폐체력은 운동 집단에서 통제집단 보다 유의하게 증가되었다(ET 32.35±6.49 to 39.24±6.63 vs. CON 34.59±5.47 to 38.36±6.54 ml/kg/min, $p < .05$). 체질량지수와 심혈관 위험 인자는 운동 집단에서 향상되지 않았다. 맥 증폭지수는 운동 집단에서 유의하게 증가하였으나(ET 1.60±0.45 to 1.87±0.58 vs. CON 1.73±0.39 to 1.43±0.26%, $p = < .05$), 경동맥-대퇴동맥 맥파전파 속도는 유의하게 감소되지 않았다(ET 5.77±5.40 to 5.40±0.53 vs. CON 5.12±0.53 to 5.05±0.54 m/s, NS). 허리둘레 변화를 보정한 심폐체력의 변화는 맥증폭지수의 변화와 관련이 있었다($r = .457$, $p < .037$). 이상의 결과를 종합해 보면 규칙적인 운동은 비만 청소년들의 혈관의 내피세포 기능을 향상시키며, 향상된 심폐체력은 체중의 감소와는 독립적으로 혈관 내피세포 기능과 관련이 있었다.

주요어 : 비만 청소년, 혈관 내피세포 기능, 동맥경직도, 심폐체력의 향상

I. 서론

최근 청소년 비만은 전 세계적으로 빠르게 증가하고 있으며(Strauss and Pollack, 2001) 이에 따라 비만 청소년의 이상 지질혈증, 고혈압, 인슐린저항성 및 동맥경화성 위험인자의 조기 발생률이 증가하고 있는 실정이다(Ogden et al., 2002). 특히, 소아 및 청소년기의 비만은 성인비만으로의 이환률이 80% 이상으로 매우 높고(Guo et al., 2000), 성인에 비해 동맥경화성 혈관의 변화가 더욱 가속화되기 때문에 예방 및 조기 치료가 무엇보다 중요하다(Freedman et al, 2001; Franks et al, 2010).

비만은 염증과 산화성 스트레스를 유발시켜 혈관의 내피세포 기능을 저하시키고(McGill et al., 2002), 나아가 허혈 및 심혈관 질환을 유도하는 것으로 알려져 있다(Sundell 2005). 선행연구들을 살펴보면, 비만 청소년은 정상 체중 청소년에 비해 심혈관 질환의 독립적인 예측인자인 상완동맥 혈관 내피세포 이완능이 저하되어 있으며, 동맥경직도는 증가되어 있다고 보고하고 있다(Kelly et al., 2004; Meyer et al., 2006; Watts et al., 2004; Woo et al., 2004). 뿐만 아니라 심혈관 질환을 일으키는 발생기전으로 제시되고 있는 미세혈관의 내피세포 기능 또한 비만 청소년에서 유의하게 감소되어 있는 것으로 나타났다(Mahmud et al., 2009). 동맥경화성 혈관의 변화는 큰 동맥 보다는 소동맥에서부터 발생되어 점차적으로 구조적 변화가 초래된다는 것을 살펴봤을 때(Cohn et al., 2005), 비만 청소년의 조기 동맥경화성 혈관 변화의 관찰은 상완의 동맥뿐만 아니라 미세혈관의 내피세포 기능을 살펴보는 것이 중요하다 할 수 있다.

한편, 규칙적인 운동은 에너지 소비를 통해 체중의 감소를 유도하고, 혈관 내 shear stress를 유발하여 내피세포 내 산화질소 분비를 촉진시켜 혈관의 이완능을 증가시키는 것으로 잘 알려져 있다(Green et al., 2004; Mestek et al., 2010). 이에 근거하여, 대부분의 연구들은 비만자의 심혈관계 질환의 위험요인 및 혈관기능 장애를 감소시키기 위해 규칙적인 운동을 권고하고 있다. 선행연구를 살펴보면, 8주간의 유산소성 운동을 통하여 비만 소아 및 청소년의 상완동맥 혈류의존성 확장능이 개선된 것을 볼 수 있었으며(Kelly et al., 2004; Watts et al., 2004), 또한 69명의 비만 청소년을 대상으로 6개월간의 유산소성 운동을 통하여 상완동맥 혈류의존성 내피세포 기능의 향상과 경동맥 내중막 두께가 개선되었다(Meyer et al., 2006).

그러나 지금까지 규칙적인 운동을 통해 혈관 기능의 개선

이 체중감량으로 인한 결과인지, 아니면 운동이 독립적으로 영향을 미치는 지에 관하여는 아직까지 명확하지 않다.

하지만 성인의 높은 수준의 심폐체력(CRF)은 독립적으로 심혈관계 질환의 유병률과 사망률을 낮추며(Laukkanen et al., 2001), 또한 혈관 내피세포 기능과 동맥경직도의 개선과도 관련이 있다고 여러 선행 역학연구들은 제시하고 있다(Evenson et al., 2004). 뿐만 아니라, 비만한 사람이라도 높은 수준의 심폐체력을 가지고 있는 경우 정상체중이지만 낮은 수준의 체력을 가지고 있는 사람보다 심혈관 질환의 위험이 적은 것으로 나타났으며(Blair et al., 1999; Lee et al., 1999, LaMonte et al., 2005; Laaksonen et al., 2002), 청소년에게서도 동일하게 나타났다(Eisenmann et al., 2007a;b). 이는 무엇보다 건강을 유지하는 데 있어 심폐체력의 중요성을 다시 한번 강조하는 결과이며, 또한 규칙적인 운동을 통한 심폐체력의 향상이 독립적으로 혈관 기능 개선에 영향을 미칠 수 있는 가능성을 제시하는 근거라 할 수 있다. 따라서 이를 검증할 수 있는 운동 중재 연구가 꼭 필요하다고 사료된다.

오늘날 전 세계 청소년들은 좌업생활의 증가로 인해 심폐체력이 감소하고 이로 인한 비만의 유병률도 증가하고 있는 실정이다(Mitchell et al., 2012). 우리나라의 소아 청소년의 심폐체력도 지난 10년간 약 38%정도 감소하였고, 반면에 비만율은 47%정도 증가한 것으로 나타나(통계청, 2012) 청소년의 조기 심혈관계 질환의 발현 가능성이 매우 높아지고 있다. 심대에 지속적으로 체력 수준이 높았던 청소년들은 성인이 되어서도 대사증후군 및 심혈관계 질환의 이환율이 적은 것을 살펴봤을 때(Ferreira et al., 2005) 청소년기의 심폐체력 향상이 보다 중요한 것으로 보인다.

따라서 본 연구는 규칙적인 운동을 통한 심폐체력의 향상이 비만 청소년의 혈관 기능의 개선에 영향을 미치는 지 조사하고자 하였다.

II. 연구 방법

1. 연구 대상

본 연구의 대상자는 소아 청소년 표준성장 도표를 기준으로 BMI 95백분위수 이상 또는 BMI 25 kg/m²이상으로 비만 판정을 받은 남학생 중 운동 트레이닝에 참가하기를 원하는 학생들로 하였다. 최종 대상자는 건강의학 질문지를 통해 의학적 이상이 없으며, 최근 6개월 이내에 규칙적인 신체활동

동이나 체중 감량을 위해 약물 복용 및 운동프로그램에 참여하지 않은 남학생을 선정하여 운동군 11명, 통제군 10명으로 무선 배정하였다(Table 1). 프로그램 전 모든 대상자에게 본 연구의 목적과 절차, 실험 처치 방법을 연구자가 직접 설명하고 예상되는 결과에 대한 정보를 제공한 후 본인 및 부모님 참가 동의서를 받은 후 연구를 시행하였다.

Table 1. Characteristics of the subjects

Variables	Exercise Group (n=11)	Control Group (n=10)	p values
Age (yr)	13.00±0.63	13.00±0.00	0.350
Height (cm)	166.64±5.85	163.50±6.02	0.989
Weight (kg)	76.23±9.75	74.05±12.04	0.447
BMI (kg/m ²)	27.41±2.72	27.62±3.84	0.433
VO ₂ max (ml/kg/min)	32.35±6.49	34.59±5.47	0.579

2. 운동 트레이닝

본 연구의 운동 트레이닝은 12주간 1교시 수업 전 월요일부터 금요일까지 주 5회 매일, 토요일은 2주마다 한번 씩 실시하였다. 매회 운동 시간은 스트레칭으로 구성된 준비운동(10분), 본운동(25분), 정리운동(5분)을 포함한 약 40분 정도로 하였으며, 운동 형태는 프로그램 참가자 대부분이 운동 초심자이고 좌업생활 특성이 많은 비만 학생임을 감안하여 전반기 6주간 운동 프로그램에는 쉽게 프로그램에 참여할 수 있고 신체활동을 증진시킬 수 있는 유산소 형태의 다양한 운동(왕복달리기, 축구, 농구, 나바론 런닝, 스트레칭 등)으로 구성하였다. 또한 운동에 대한 흥미를 유발하고 지속적 참여를 위해 2주마다 토요일에는 게임 위주의 운동을 실시하고 후반기 6주간 운동 프로그램에는 구기 운동 종목을 포함하여 실시하였다. 운동강도는 프로그램 참여 전 운동자각도(Ratings of Perceived Exertion; RPE, 6-20 scale)에 대해 설명 후 스스로 알맞다(11)-약간 힘들다(13)의 강도로 실시하였다.

3. 연구 절차 및 측정 항목

1) 신체계측

모든 피험자는 신체계측 전 최소 4시간 이상 공복 상태를

유지 한 후, 가벼운 복장을 착용한 상태에서 체질량지수(Body mass index; BMI), 체지방률(Percent body fat; %BF), 근육량(kg), 허리둘레(cm)를 측정하였다. 체질량지수, 체지방률(%)과 근육량(kg)은 Body Composition Analyzer(Inbody 3.0, Biospace)를 이용하여 산출하였다. 허리둘레는 줄자를 이용하여, 배꼽부위를 수평으로 2회 측정하여 평균값을 이용하였다.

2) 혈중 지질 및 혈당 측정

모든 피험자는 12시간 공복상태를 유지한 후, 상완정맥에서 약 10ml의 혈액을 채취하였다. 채취된 혈액은 즉시 전문 의료기관에서 다음과 같이 분석하였다.

총 콜레스테롤과 중성지방은 효소법(enzymatic method)으로, HDL 콜레스테롤과 LDL 콜레스테롤은 선택 제거법(selective elimination) 측정하였으며, 글루코스는 헥소키나아제법(hexokinase)으로 측정하였다. 모든 변인은 혈청으로 AU2007(Olympus, JAPAN)의 장비로 분석하였다.

3) 최대산소섭취량 측정

Q-Stress TM55 트레드밀(Quinton Cardiology Systems, Inc. USA), Treadmill EKG monitor(Quinton, USA)과 가스분석기(True-one metabolic cart, USA)를 이용한 점증운동부하검사를 통해 심폐체력 검사를 실시하였다. 측정 프로토콜은 bruce protocol을 이용하였으며, 운동자각도(RPE) 17 이상 또는 호흡교환율(RER) 1.10 이상 또는 피험자의 중단 요청이 있을 경우 운동을 종료하였다. 최대산소섭취량(VO₂max)은 운동검사 중 가장 높은 산소섭취량으로 하였다.

4) 동맥경직도

동맥경직도는 SphygmoCor (AtCor Medical, Sydney, Australia)를 이용하여 Clinical Application of Arterial stiffness, Task Force III (Van Bortel et al., 2002)의 지침에 따라 경동맥-대퇴동맥 맥파전파속도(Carotid-femoral pulse wave velocity; PWV)를 측정하였다.

측정방법은 두 동맥간의 거리(D)는 줄자를 이용하여 측정하고, 우측 경동맥으로부터 우측 대퇴동맥까지의 거리에서 우측 경동맥으로부터 흉골상절흔(suprasternal notch)까지의 거리를 제외한 값을 이용하였다. 이후 흉부에 3개의 심전도를 부착하여, 심전도 측정과 함께 high fidelity applanation tonometry (Millar Instruments, Houston, TX)를 이용하여 경동

맥과 대퇴동맥의 맥파를 측정하고, 경동맥과 대퇴동맥에서 기록된 맥파의 파형이 수축기에 상승하기 시작하는 지점간의 시간차(Δt)를 측정하였다. 맥파가 전이되는 시간차는 “foot-to-foot” 방법에 따라 측정였다(SphygmoCor, AtCor Medical, Sydney, Australia).

맥파전파속도는 두 동맥사이의 거리(D)를 시간차(Δt)로 나누는 것으로, 측정 장비에 저장된 소프트웨어에 의해 자동 분석하였다.

5) 혈관 내피세포 기능

혈관 내피세포기능은 Endo-PAT 2000 (Itamar Medical, Caesarea, Israel)을 이용하여 digital reactive hyperemia 에 따른 손가락 맥 증폭을 측정하였다.

측정 방법은 바르게 누운 자세에서 우측 전완에 혈압 커프를 감싸고, 양손 중지에 손가락 probe를 착용하여 5분간 baseline pulse amplitude를 측정한 뒤, 200 mmHg 까지 압력을 높여 5분간 혈류를 차단하였다. 혈류 차단 5분 후 즉시 혈압계의 압력을 0 mmHg을 감압 하여 5분 간 과혈류 상태를 측정하였다.

Reactive Hyperemia Index(RHI)는 안정시 2분 20초 동안의 pulse amplitude 평균값과 혈류 차단 후 hyperemia 기간 2분 20초 동안의 pulse amplitude 평균값을 이용하여 장비 내 저장되어 있는 알고리즘에 의해 자동으로 분석되었다.

모든 피험자는 측정 전 8시간 이상 공복, 과도한 운동을 삼가고 실내 온도 21~24 °C을 유지하고 빛과 소음이 차단된 환경에서 검사를 시행하였다.

4. 통계 분석

모든 자료는 평균과 표준편차의 값으로 나타내고, 통계처리 전에 raw data의 분포 상태를 확인한 다음, 정규분포를 이루고 있지 않을 경우 로그치환 후 분석하였다. 처치 전 운동 그룹과 통제 그룹의 생리학적 특성의 동일성은 one way ANOVA 분석을 통해 확인하였으며, 12주간의 운동 트레이닝의 효과를 알아보기 위해 two-way repeated ANOVA를 이용하여 분석하였다. 또한 운동 프로그램 실시 후 심폐체력의 변화와 혈관 내피세포 기능 변화 간의 관련성을 알아보기 위해 Pearson correlation을 실시하였다. 모든 통계는 SPSS-PC(version 19.0)를 이용하고, 통계적 유의수준(α)은 .05 수준에서 검정하였다.

III. 연구 결과

1. 신체구성의 변화

본 연구에서 12주간의 규칙적인 운동 참여 후, 체중($p=.005$)과 신장($p=.001$)은 두 집단 모두 유의하게 증가하였다. 그러나 허리둘레는 94.41±6.17에서 92.62±6.13로 약 1.8 cm 정도 감소하고 통제 집단에서는 92.62±7.80에서 94.27±9.23로 1.65 cm가 증가하여 통계적으로 유의한 상호작용 효과를 나타냈다($p=.019$)(Table 2).

Table 2. Changes of body composition after regular exercise training

Variables	Group	Pre	Post	<i>p</i> values
WT (kg)	EX (n=11)	76.23±9.75	77.85±9.65	0.005a
	CON (n=10)	74.05±12.04	77.00±10.83	0.682b 0.734c
HT (cm)	EX (n=11)	166.64±5.86	168.82±5.60	0.001a
	CON (n=10)	163.50±6.02	165.00±5.85	0.192b 0.284c
BMI (kg/m ²)	EX (n=11)	27.41±2.71	27.30±2.65	0.746a
	CON (n=10)	27.62±3.84	27.68±3.90	0.784b 0.431c
%BF (%)	EX (n=11)	32.60±4.09	31.56±4.23	0.306a
	CON (n=10)	34.636±6.15	34.30±6.66	0.336b 0.360c
Waist (cm)	EX (n=11)	94.41±6.17	92.62±6.13	0.914a
	CON (n=10)	92.62±7.80	94.27±9.23	0.983b 0.019c

WT : weight; HT : height; BMI : body mass index; %BF : % body fat, a=time, b=group, c=time*group

2. 심폐체력 및 혈중 지질의 변화

본 연구에서 규칙적인 운동 참여 후, 심폐체력의 지표인 최대산소섭취량은 통제 집단(사전 34.59±5.47, 사후 38.36±6.54) 보다 운동 트레이닝 집단(사전 32.35±6.49, 사후 39.24±6.63)에서 더 증가하여 통계적으로 유의한 상호작용 효과가 나타났다($p=.041$).

Table 3. Changes of Cardiorespiratory fitness and lipid profiles after regular exercise training

Variables	Group	Pre	Post	p values
VO ₂ max (ml/kg/min)	EX (n=11)	32.35±6.49	39.24±6.63	0.001a 0.800b
	CON (n=10)	34.59±5.47	38.36±6.54	0.041c
TC (mg/dl)	EX (n=11)	162.18±21.73	160.09±21.87	0.496a 0.129b
	CON (n=10)	176.67±8.62	184.67±32.74	0.251c
HDL-C (mg/dl)	EX (n=11)	47.55±5.82	51.09±9.46	0.022a 0.892b
	CON (n=10)	47.22±7.12	50.56±7.30	0.939c
LDL-C (mg/dl)	EX (n=11)	98.91±16.85	91.45±46.65	0.476a 0.182b
	CON (n=10)	108.67±33.84	117.77±31.68	0.094c
TG (mg/dl)	EX (n=11)	107.82±47.98	125.36±66.41	0.112a 0.644b
	CON (n=10)	120.22±46.86	135.22±63.57	0.898c
Glucose (mg/dl)	EX (n=11)	96.82±10.55	97.18±5.60	0.674a 0.574b
	CON (n=10)	94.67±8.12	95.67±6.38	0.844c

TC : total cholesterol; HDLC : high density lipoprotein cholesterol; LDL C : low density lipoprotein cholesterol; TG : triglyceride. a=time, b=group, c=time*group

혈중 지질을 살펴보면 HDL-C는 운동 집단과 통제 집단에서 모두 운동 전보다 운동 후에 유의하게 증가하였다(time effect, $p=.001$). 그러나 다른 심혈관질환 위험인자 TC, LDL-C, TG 그리고 Glucose에서는 두 집단 모두에서 유의한 변화가 나타나지 않았다(Table 3).

3. 혈관 내피세포 기능과 동맥경도와의 변화

본 연구에서 규칙적인 운동 참여 후, 동맥경직도의 지표인 경동맥-대퇴동맥 전파속도(PWV)는 운동 집단에서 5.77±5.40에서 5.40±0.53으로 약 7%정도 감소하였고, 통제집단에서는 5.12±0.53에서 5.05±0.54로 2% 정도 감소하여 운동집단과 통제집단 모두 감소하는 경향을 보였으나 통계적으로 유의한 상호작용 효과를 보이지 않았다($p=.275$).

혈관 내피세포 기능 지표인 최대 맥 증폭지수(RHI)는 운

동 집단에서는 1.60±0.45에서 1.87±0.58로 약 17% 정도 증가하였고, 반대로 통제 집단에서는 1.73±0.39에서 1.43±0.26로 17% 정도 감소하여 통계적으로 유의한 상호작용 효과가 나타났다($p=.019$)(Figure. 1).

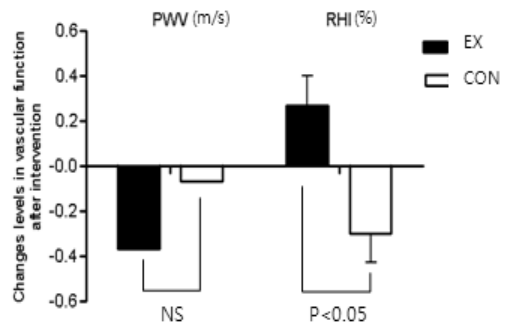


Figure. 1. Changes of arterial stiffness and vascular endothelial function between groups

4. 심폐체력과 혈관 내피세포 기능과의 관련성

본 연구에서는 규칙적인 운동 참여 후, 심폐체력의 변화와 맥 증폭지수의 변화 간에 유의한 양의 상관관계가 나타났다($r=.457, p=.037$)(Table 5). 이 결과는 체질량지수의 변화($r=.463, p=.040$)와 허리둘레의 변화($r=.463, p=.040$)를 보정하고서도 통계적으로 유의한 양의 상관관계를 보였다.

Table 4. Correlation of change in cardiorespiratory fitness and endothelial function (RHI) after regular exercise training

	Δ RHI	p values
ΔVO ₂ max	.457*	0.037
Model 1 ΔVO ₂ max	.463*	0.040
Model 2 ΔVO ₂ max	.469*	0.037

ΔVO₂max; change in VO₂max, ΔRHI; change in reactive hyperemia index
Model 1 : Adjusted BMI(body mass index)
Model 2 : Adjusted WC(waist circumference)

IV. 논의

본 연구에서는 규칙적인 운동을 통한 심폐체력의 향상이 비만 청소년들의 혈관기능에 미치는 영향에 대해서 알아보 고자 하였다.

연구의 결과 규칙적인 운동을 통하여 비만 청소년의 허리

둘레, 심폐체력과 혈관 내피세포 기능을 유의하게 개선시켰으며, 또한 체질량 지수와 허리둘레의 감소와는 독립적으로 심폐체력의 변화가 혈관 내피세포 기능의 변화와 유의한 양의 상관관이 있는 것으로 나타났다. 본 연구는 규칙적인 운동을 통한 심폐체력의 향상이 독립적으로 비만 청소년들의 혈관 기능에 유의한 영향을 미친다는 것을 조사한 첫 번째 연구라는 데에 큰 의미가 있다.

본 연구에서는 12주간의 규칙적인 운동 참여 후, 체중과 신장은 운동 집단과 통제 집단 모두에서 통계적으로 유의하게 증가하였다. 그러나 허리둘레는 운동 집단에서 감소하고 통제 집단에서 증가하여 유의한 상호작용이 나타났다. 이러한 결과는 비만 청소년을 대상으로 10주간의 규칙적인 유산소성 운동이 체중의 감소 없이 허리둘레가 감소되었다는 Lee 등(2010)의 연구와 12주간 규칙적인 유산소성 운동이 체중, 체질량지수, 체지방량은 개선시키지 않았다는 Mestek 등(2010)의 연구 결과와 일치하는 것으로 나타났다.

본 연구의 대상자가 가장 활발한 성장기에 있는 청소년들로 12주 동안 신장이 평균 2cm에서 부터 최고 10cm까지 성장하여 상대적으로 체중이 증가한 것으로 생각되며, 비록 체중 감소는 나타나지 않았지만 규칙적인 신체활동 증진이 비만 청소년에 있어 대사성 증후군 및 심혈관계 위험 인자들의 임상적 지표인 허리둘레(Capizzi et al., 2011)의 개선을 가져온 것으로 사료된다.

본 연구에서는 규칙적인 운동 참여 후, 심폐체력이 유의하게 향상되었다. 성인을 대상으로 한 선행 연구에서 1METs의 심폐체력이 증가할 때 마다 심혈관계 위험도는 약 12% 감소되는(Myers et al., 2002) 연구결과를 고려할 때 본 연구 결과는 비만 청소년의 심혈관계 위험도를 낮추는 데 심폐체력 향상의 중요성을 강조할 수 있다고 사료된다. 더불어, 청소년기의 비신체활동의 증가로 인한 체력감소 현상이 뚜렷이 나타나는 현 시점에서 규칙적인 운동 프로그램을 통해 심폐기능이 향상된 것은 시사 하는바가 크다.

Blair 등(1999)은 좌업생활을 하는 비만자와 비교하였을 때 신체활동을 많이 하는 비만자에서 심혈관계 질환 관련 유병률과 사망률이 유의하게 낮았다고 보고하였으며, 또한 Mayers 등(2002)은 체질량 지수 30이상인 사람에서 체력이 좋은 사람에 비해 체력이 낮은 사람은 심혈관계 질환 관련 사망률의 위험도가 1.8~3.0배 증가한다고 보고하고 있다. 그러나 아직까지 규칙적인 운동을 통한 심폐체력의 향상이 비만청소년의 혈관보호에 미치는 영향에 관한 연구는 명확하지 않다.

성인을 대상으로 한 연구에서 운동 트레이닝을 실시한 후 내피세포 기능과 동맥경직도 모두 향상되었다고 보고하고 있다(Baynard et al., 2008). 그러나 본 연구에서 동맥경직도를 평가하는 맥파전파속도(plus wave velocity; PWV)는 운동집단에서 7% 정도 감소하였고, 통제집단에서는 2%정도 감소하였으나 집단 간에 유의한 상호작용이 나타나지 않았다. 운동 프로그램의 효과의 차이는 운동 프로그램의 기간에 영향을 받는 것으로 보인다. Guimaraes 등(2010)은 16주간 간헐적 운동 집단이 통제집단보다 유의하게 경동맥-대퇴동맥 맥파전파 속도가 감소되었으며, 사이클 선수를 대상으로 한 Tordi 등(2006)의 연구에서도 16주간 운동 트레이닝 실시 후 경동맥-대퇴동맥 맥파전파 속도가 유의하게 감소되었다고 보고하고 있다. 반면에 비만 청소년을 대상으로 10주간의 유산소성 운동을 실시한 Lee 등(2010)의 연구에서는 상완-발목 맥파전파 속도에 변화가 없는 것으로 나타났다. 이런 선행 연구의 결과를 종합해보면 본 연구의 12주간의 운동 기간이 동맥경직도를 향상시키는 데 부족하였던 것 같으며, 또한 본 연구의 피험자 적어 통계적 파워가 떨어진 것으로 사료된다.

본 연구에서는 심혈관 질환을 일으키는 발생기전으로 제시되고 있는 미세혈관의 내피세포 기능을 평가하기 위해 말초 동맥 tonometry (PAT)을 이용하였다. PAT은 관상동맥의 내피세포 기능의 직접 측정뿐만 아니라 내피세포 의존성 이완능을 측정하는 것과 동일한 것으로 보고되고 있으며, 청소년들을 대상으로 측정하기가 간단하며, 검사의 결과가 정확하다는 장점을 가지고 있다(Kuvin et al., 2003; Hamburg et al., 2008).

Meyer 등(2006)은 본 연구의 대상자와 유사한 나이의 비만 청소년을 대상으로 6개월간 운동 프로그램을 실시한 결과 내피세포 의존성 혈관 이완능이 유의하게 개선되었다고 보고하였다. 또한 Woo 등(2004)의 연구에서는 9-12세의 비만아를 대상으로 12개월간 식이 요법과 운동 요법을 병행한 결과 내피세포 의존성 혈관 이완능이 개선되었다고 보고하였다. 뿐만 아니라 Yun 등(2010)은 12주간의 유산소성 운동이 유의하게 비만아동의 경동맥 내중막 두께를 감소시키고 혈관 내피세포 의존성 혈관 이완능이 증가한 것을 확인할 수 있었으며, Kelly 등(2004)은 8주간의 사이클 운동만으로도 내피세포 의존성 혈관 이완능이 개선시켰고, Watts 등(2004)도 8주간 주 3회의 신체활동 참여가 내피세포 기능을 향상시키는 것으로 보고하고 있어 짧은 기간의 운동을 통하여도 혈관의 내피세포 기능은 개선되는 것으로 보인다. 이는 본 연

구에서 PAT에 의해 평가된 맥 증폭지수(RHI) 운동 집단에서 통제 집단 보다 통계적으로 유의하게 증가한 결과와 일치하는 연구로 청소년의 내피세포 기능 개선에 대한 운동의 긍정적인 효과를 추가적으로 뒷받침 하는 자료가 될 것으로 사료된다. 여러 선행 연구들은 비만 청소년들이 정상 체중을 가지고 있는 청소년에 현저하게 내피의존성 혈관확장능이 감소되어 있다고 보고하고 있으며(Ciccione et al., 2011; Montero et al., 2012), 체질량지수의 10% 감소는 내피세포 기능을 개선시킨다고 보고하여 체중 감소의 중요성을 제시하고 있다.(Hamdy et al., 2005). 체중의 감소는 혈관 기능 개선에 중요한 요인이 되리라 생각된다. 그러나 본 연구의 결과를 살펴봤을 때, 비만 청소년에서 체중의 감량 없이도 규칙적인 운동을 통한 혈관 내피세포 기능을 향상시킬 수 있는 것으로 보인다.

그러나 본 연구에서는 혈관의 내피세포 기능은 향상되었지만 동맥경직도는 유의한 개선이 나타나지 않았다. 이런 이유로는 동맥경화성 혈관의 변화의 진행 과정을 살펴볼 수 있을 것 같다. 혈관의 손상은 초기에는 혈관의 기능 장애가 발생하며, 이후 구조적 변화가 초래되는 것으로 알려져 있다. 다시 말해, 초기에는 말초 및 소 혈관의 기능 저하가 발생되고, 도관 혈관의 기능저하, 나아가 소혈관의 구조적 변화, 도관혈관 구조적 변화, 대혈관의 구조적 변화의 순으로 혈관의 변화가 발생하게 되는 것이다. 따라서 본 연구에서 운동을 통해 먼저 혈관의 내피세포 기능이 개선되고 좀 더 중심 동맥과 관련된 동맥 경직도의 개선은 좀 늦게 일어났기 때문인 것으로 생각된다.

본 연구에서 가장 흥미로운 결과는 규칙적인 운동 트레이닝을 통한 심폐체력의 향상이 비만 지표와는 독립적으로 내피세포 기능 향상에 영향을 미쳤다는 것이다.

규칙적인 운동이 독립적으로 내피세포 혈관 기능을 개선시킨다는 선행연구 결과(Woo et al., 2004; Wunsch et al., 2006; Abbott et al., 2002)를 입증하는 것이라 할 수 있다.

따라서 비만으로 인한 혈관 내피세포 기능의 저하는 조기 관상동맥 질환의 발생 기전으로 제시되고 있는 상황에서, 본 연구에서 나타난 규칙적인 운동을 통한 체력의 향상과 혈관 내피세포 기능 개선의 관련성은 청소년의 비만 치료 및 조기 동맥경화증 예방에 체력의 중요성을 입증하는 자료가 될 것이다.

심폐체력 향상을 통한 혈관기능의 개선에 대한 가능 기전을 살펴보면 다음과 같다. 심폐체력의 향상은 첫째 기저 혈류를 증가시켰을 것이다. 일반적으로 운동은 혈류를 증가시

킨다. 심폐체력이 높은 사람은 심박수의 감소와 일회 박출량이 증가된다는 것은 잘 알려져 있다. 이런 결과는 내피세포에 shear stress를 증가시키고, 이는 eNOS 합성의 증가, 그로인한 혈관이완 물질인 산화질소 분비의 증가를 가져와 혈관 내피세포 기능을 증가시킬 수 있다(Neibauer et al., 1996). 둘째, 체력 향상은 우리 몸에 우수한 항산화 능력을 갖도록 할 것이다. Johnson 등(2011)에 따르면 신체활동이 높은 사람은 그렇지 않은 사람에 비해 항산화 효소의 기저 수준이 높았다고 보고하고 있다. 그리고 마지막으로 여러 관련 호르몬 분비의 활성 및 부교감 신경계의 활성을 제시할 수 있다. 본 연구에선 비록 산화질소 분비량을 직접적으로 측정하지는 않았지만, 내피세포 기능의 개선은 운동을 통한 전단력 증가로 인한 산화질소 활성도의 증가로 인한 결과라 사료된다.

마지막으로 본 연구의 제한점은 피험자들의 규칙적인 운동 참여 동안 식이를 통제하지 못하였다. 그러나 첫째, 본 연구에서는 규칙적인 운동을 접하기 어려운 청소년들에게 보다 쉽게 접근할 수 있는 학교가 중심이 되는 운동 트레이닝 프로그램 처치하여 참여율이 90% 이상 되었다. 둘째, 규칙적인 운동을 통한 심폐체력의 향상이 독립적으로 내피세포 기능을 향상시켜 비만 청소년의 조기 동맥경화성 혈관 변화를 억제하고 개선할 수 있도록 설계된 첫 번째 운동 중재 연구의 결과로 그 의미가 크다 할 수 있다.

결론적으로, 본 연구의 결과는 임상 및 보건의 관점에서 청소년의 심혈관계 건강에 중요한 시사점을 줄 수 있다고 판단된다.

V. 결론

본 연구의 결과를 종합해 보면, 규칙적인 운동에 참여한 집단은 통제 집단에 비해 허리둘레, 심폐체력과 혈관 내피세포 기능이 유의하게 개선되었으며, 두 집단 모두 체중의 감소는 나타나지 않았다. 또한 본 연구에서 규칙적인 운동 참여 후, 체질량 지수와 허리둘레를 보정하여 심폐체력의 변화와 혈관 내피세포 기능의 변화를 살펴본 결과 유의한 양의 상관관계가 나타나, 비만지표와는 독립적으로 심폐체력과 혈관 내피세포 기능에 관련이 있음을 증명하였다. 이에 따라 본 연구에서는 청소년의 건강을 위협할 정도로 신체활동량의 감소되는 현시대의 학습 환경에서 심폐체력은 비만한 청소년에서 흔히 나타날 수 있는 심혈관계 위험 요

인의 증가 및 혈관의 변화를 조기에 예방하고 개선하는 데 큰 역할을 할 것이라고 사료된다.

참고문헌

윤은선, 정수진, 제세영. (2010). 운동 프로그램이 비만 청소년의 경동맥 내중막두께와 상완동맥 혈관내피세포 의존성 혈관이완능에 미치는 영향. *운동과학*, 19(2) : 165-174.

통계청, (2012). 국가 통계 포털. <http://kosis.kr/>

Abbott, R. A., Harkness, M. A., & Davies, P. S. W. (2002). "Correlation of habitual physical activity levels with flow-mediated dilation of the brachial artery in 5-10 year old children", *Atherosclerosis*, 160(1) : 233-239.

Baynard T, Carhart RL Jr, Weinstock L. L., & Ploutz-Snyder JA. (2009). Short-term exercise training improves aerobic capacity with no change in arterial function in obesity. *Eur J Appl Physiol*, 107 : 299-308.

Blair S, N., & Brodney, S. (1999). Effects of physical inactivity and obesity on morbidity and mortality : current evidence and research issues. *Med. Sci. Sports. Exerc.*, 31 : S646-S662.

Capizzi, M., Leto, G., Petrone, A., Zampetti S., Papa, R. E., Osiman, M., Spoletini, M., Lenzi, A., Osborn, J., Mastantuono, M., Vania, A., & Buzzetti, R. (2011). Wrist circumference Is a clinical marker of insulin resistance in overweight and obese children and adolescents. *Circulation*, 123 : 1757-1762.

Ciccone M. M., Miniello V., Marchioli R., Scicchitano P., Cortese F., Palumbo V., Primitivo S. G., Sassara M., Ricci G., Carbonara S., Gesualdo M., Diaferio L., Mercurio G., De Pergola G., Giordano P., & Favale S. (2011). Morphological and functional vascular changes induced by childhood obesity. *Eur J Cardiovasc Prev Rehabil*, 8(6) : 831-835.

Cohn, J. N., Duprez, D. A., & Grandits, G. A. (2005). Arterial elasticity as part of a comprehensive assessment of cardiovascular risk and drug treatment. *Hypertension*, 46(1) : 217-220.

Eisenmann J. C., Welk G. J., Ihmels M., & Dollman J. (2007a).

Fatness, fitness, and cardiovascular disease risk factors in children and adolescents. *Med. Sci. Sports. Exerc.*, 39(8) : 1251-1256.

Eisenmann J. C., Welk G. J., Wickel E. E., & Blair S.N. (2007b). Combined influence of cardiorespiratory fitness and body mass index on cardiovascular disease risk factors among 8-18 year old youth : The Aerobics Center Longitudinal Study. *Int J Pediatr Obes.*, 2(2) : 66-72.

Evenson, K. R., Stevens, J., Thomas, R., & Cai, J. (2004). Effect of cardiorespiratory fitness on mortality among hypertensive and normotensive women and men. *Epidemiology*, 15 : 565-572.

Ferreira I., Twisk J. W., van Mechelen W., Kemper H. C., & Stehouwer C. D. (2005). Development of fatness, fitness, and lifestyle from adolescence to the age of 36 years : determinants of the metabolic syndrome in young adults : the amsterdam growth and health longitudinal study. *Arch Intern Med.*, 10;165(1) : 42-8.

Franks, P. W., Hanson, R. L., Knowler, W. C., Sievers, M. L., Bennett, P. H., & Looker, H. C. (2010). Childhood obesity, other cardiovascular risk factors, and premature death. *N. Engl. J. Med.*, 362(6) : 485-493.

Freedman D. S., Khan L. K., Dietz W. H., Srinivasan S. R., & Berenson G. S. (2001). Relationship of childhood obesity to coronary heart disease risk factors in adulthood : the Bogalusa Heart Study. *Pediatrics*, 108 : 712-718.

Green D. J., Maiorana A., O'Driscoll G., & Taylor R. (2004). Effect of exercise training on endothelium-derived nitric oxide function in humans. *J Physiol*, 15;561(Pt 1) : 1-25.

Guimarães G. V., Ciolac E. G., Carvalho V. O., D'Avila V. M., Bortolotto L. A., & Bocchi E. A. (2010). Effects of continuous vs. interval exercise training on blood pressure and arterial stiffness in treated hypertension. *Hypertens Res.*, (6) : 627-632.

Guo S. S., & Cjumlea W. C. (1999). Tracking of body mass index in children in relation to over wight in adulthood. *Am J Clin Nutr.*, 70 : 145S-148S.

Hamburg N. M., Keyes M. J., Larson M. G., Vasan R. S., Schnabel R., Pryde M. M., Mitchell G. F., Sheffy J., Vita

- J. A., & Benjamin E. J. (2008). Cross-sectional relations of digital vascular function to cardiovascular risk factors in the Framingham Heart Study. *Circulation*, 117(19) : 2467-2474.
- Hamdy O. (2005). Lifestyle modification and endothelial function in obese subjects. *Expert Rev Cardiovasc Ther.*, 3(2) : 231-241.
- Johnson B. D., Padilla J., Harris R. A., & Wallace J. P. (2011). Vascular consequences of a high-fat meal in physically active and inactive adults. *Appl Physiol Nutr Metab.*, 36(3) : 368-375.
- Kelly, A. S., Wetzsteon, R. J., Kaiser, D. R., Steinberger, J., Bank, A. J., & Dengel, D. R. (2004). "Inflammation, insulin, and endothelial function in overweight children and adolescents : the role of exercise", *J. Pediatr.*, 145(6) : 731-736.
- Kuvin J. T., Patel A. R., Sliney K. A., Pandian N. G., Sheffy J., Schnall R. P., Karas R. H., & Udelson J. E. (2003). Assessment of peripheral vascular endothelial function with finger arterial pulse wave amplitude. *Am Heart J.*, 146(1) : 168-174.
- Laaksonen D. E., Lakka H. M., Salonen J. T., Niskanen L. K., Rauramaa R., & Lakka T. A. (2002). Low levels of leisure-time physical activity and cardiorespiratory fitness predict development of the metabolic syndrome. *Diabetes Care*, 25(9) : 1612-1618.
- 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(4) : 505-512.
- Laukkanen J. A., Lakka T. A., Rauramaa R., Kuhanen R., Venäläinen J. M., Salonen R., & Salonen J. T. (2001). Cardiovascular fitness as a predictor of mortality in men. *Arch Intern Med.*, 161(6) : 825-831.
- Lee C. D., Blair S. N., & Jackson A. S. (1999). Cardiorespiratory fitness, body composition, and all-cause and cardiovascular disease mortality in men. *Am J Clin Nutr.*, 69 : 373-380.
- Lee, Y. H., Song, Y. W., Kim, H. S., Lee, S. Y., Jeong, H. S., Suh, S. H., Park, J. K., Jung, J. W., Kim, N. S., Noh, C. I., & Hong, Y. M. (2010). The effects of an exercise program on anthropometric, metabolic, and cardiovascular parameters in obese children. *Korean Circ. J.*, 40(4) : 179-184.
- Mahmud, F. H., Hill, D. J., Cuerden, M. S., & Clarkson, C. L. (2009). Impaired vascular function in obese adolescents with insulin resistance. *J. Pediatr.*, 155(5) : 678-682.
- McGill H. C. Jr, McMahan C. A., Herderick E. E., Zieske A. W., Malcom G. T., Tracy R. E., & Strong J. P. (2002). Obesity accelerates the progression of coronary atherosclerosis in young men. *Circulation*, 105(23) : 2712-2718.
- Mestek, M. L., Westby, C. M., Van Guilder, G. P., Greiner J. J., Stauffer, B. L., & DeSouza, C. A. (2010). Regular aerobic exercise, without weight loss, improves endothelium-dependent vasodilation in overweight and obese adults. *Obesity*, 18(8) : 1667-1669.
- Meyer, A. A., Kundt, G., Lenschow, U., Schuff-Werner, P., & Kienast, W., (2006). "Improvement of Early Vascular Changes and Cardiovascular Risk Factors in Obese Children After a Six-Month Exercise Program", *J. Am. Coll. Cardiol.*, 48 : 1865-1870.
- Mitchell J. A., Pate R. R., & Blair S. N. (2012). Screen-based sedentary behavior and cardiorespiratory fitness from age 11 to 13. *Med. Sci. Sports. Exerc.*, 44(7) : 1302-1309.
- Montero D., Walther G., Perez-Martin A., Roche E., & Vinet A. (2012). Endothelial dysfunction, inflammation, and oxidative stress in obese children and adolescents : markers and effect of lifestyle intervention. *Obes Rev.*, 13(5) : 441-455.
- Myers J., Prakash M., Froelicher V., Do D., Partington S., & Atwood J. E. (2002). Exercise capacity and mortality among men referred for exercise testing. *N Engl J Med.*, 346(11) : 793-801.
- Niebauer, J., & Cooke, J. P. (1996). Cardiovascular effects of exercise : role of endothelial shear stress. *J. Am. Coll. Cardiol.*, 28(7) : 1652-1660.
- Ogden C. L., Groll M. D., Curtin L. R., McDowell M. A., Tabak C. J., & Flegal K. M. (2006) Prevalence of overweight and obesity in the United States, 1999-2004. *JAMA.*, 295

: 1549-1555.

- Strauss R. S, & Pollack H. A. (2001). Epidemic increase in childhood overweight, 1986-1998. *JAMA*, 286(22); 2845-2848.
- Sundell J. (2005). Obesity and diabetes as risk factors for coronary artery disease : from the epidemiological aspect to the initial vascular mechanisms. *Diabetes Obes Metab.*, 7(1) : 9-20.
- Tordi N., Colin E., Mourot L., Bouhaddi M., Regnard J., & Laurant P. (2006). Effects of resuming endurance training on arterial stiffness and nitric oxide production during exercise in elite cyclists. *Appl Physiol Nutr Metab.*, 31(3) : 244-249.
- Van Bortel, L. M., Duprez, D., & Starmans-Kool, M. J. (2002). Clinical applications of arterial stiffness, task force III : recommendations for user procedures. *Am J Hypertens.*, 15 : 445-452.
- Watts K., Beye P., Siafarikas A., O'Driscoll G., Jones T. W., Davis E. A., & Green D. J. (2004). Effects of exercise training on vascular function in obese children. *J Pediatr.*, 144 : 620-625.
- Woo, K. S., Chook, P., Yu, C. W., Sung, R. Y., Qiao, M., Leung, S. S., Lam, C. W., Metreweli, C., & Celermajer, D. S. (2004). Effects of diet and exercise on obesity-related vascular dysfunction in children. *Circulation*, 109(16) : 1981-1986.
- Wunsch, R., de Sousa, G., Toschke, A. M., & Reinehr, T. (2006). Intima-media thickness in obese children before and after weight loss. *Pediatrics*, 118 : 2334-2340.

K C I

논문투고일 : 2012. 08. 31
심사일 : 2012. 09. 25
심사완료일 : 2012. 10. 21