복부 비만남성의 인슐린저항성에 따른 심폐체력 및 혈중 지질과 글루코스 농도 변화

김 명 수 · 이 지 영

포항공과대학교 인문사회학부

Abstract

Kim, M.S., Lee, J.Y. Cardiorespiratory fitness, blood lipid profile and glucose according to insulin resistance in abdominal obesity men. Exercise Science, 00(0), 00-00. The purpose of the current study was to investigate correlation between insulin resistance and cardiorespiratory fitness, and change of blood lipid profile and glucose during exercise in order to improve obesity and insulin resistance of abdominal obesity men. A total of 82 abdominal obesity men(25.1 ± 3.01 ; range: 21~32years) were recruited in this study. Based on the HOMA-IR(homeostasis model assessment of insulin resistance) level, the participants were divided into 4groups (quartile 1, 2, 3, and 4). We found that the insulin resistance, as expected, had significant correlation with cardiorespiratory fitness, obesity indices, HDLC(high density lipoprotein cholesterol), and insulin. Also, interaction effects between group and blood collecting time on TG(triglyceride), FFA(free fat acid), glucose concentration during exercise and recovery were significant. In conclusion, the current findings suggest that cardiorespiratory fitness and insulin resistance should be need to be considered in exercise prescription for 20~30years abdominal obesity men individually.

Key words : insulin resistance, cardiorespiratory fitness, blood lipid profile, blood glucose

초록

김명수, 이지영. 복부 비만남성의 인슐린저항성에 따른 심폐체력 및 혈중 지질과 글루코스 농도 변화. 운동과학, 제 00권 제 0호, 00-00, 2009. 본 연구의 목적은 20~30대 복부비만 남성의 인슐린저항성과 심폐체력 수준과의 상관성을 조사하고 운동 중 혈중 지질과 글루코스 농도 변화를 조사하여 복부 비만자의 비만치료 및 인슐린저항성 개선을 위한 운동처방 프로그램에 기초자료를 제공하는 것이었다. 본 연구의 참여대상자는 20~30대 복부 비만 남성(25.1 ± 3.01 ; range: 21~32세) 82명으로, 호마지수에 따라 4집단으로 분류한 후, 심폐체력 및 비만도, 총콜레스테롤, 고밀도 지단백 콜레스테롤, 인슐린과 비교하고, 운동 중 및 회복기 60분에 혈중 중성지방, 유리지방산, 그리고 글루코스 농도의 변화를 비교분석하였다. 분석결과, 인슐린저항성은 심폐체력 수준을 비롯한 비만지표, 고밀도 지단백 콜레스테롤 등과 유의한 상관을 보이는 것으로 나타났고, 운동 중 혈중 지질과 글루코스 농도의 변화에 있어서도 유의한 상호작용 효과가 있는 것으로 나타났다. 따라서 20~30대 복부비만 남성의 인슐린저항성 개선 및 체지방감량을 위한 운동처방 시 심폐체력 및 인슐린저항성이 추가적으로 고려되어야 할 것이다.

주요어 : 인슐린저항성, 심폐체력, 혈중 지질, 혈중 글루코스

I. 서론

비만은 단순한 체중 증가가 아니라 체지방의 과다한 축적, 즉 체지방량의 증가로 정의되고 있으며, 특히 복부비만은 인슐린 기능 저하, 고지혈증, 그리고 고혈압 등의 대사증후군을 유발하기 때문에 이를 장시간 방치할 경우 당뇨병과 심혈관계 질환 등의 퇴행성 질환을 유발한다(Aviva 등, 1999). 더욱이 복부비만의 주요원인인 내장지방은 피하지방에 비해 α 수용체보다 γ 수용체가 많아 지방분해 신호에 민감하고, 이러한 신호에 의해 대단히 분해가 잘되는 특성이 있어, 인슐린저항을 유발하는 원인이 된다(Randle 등, 1965; Poulit 등, 1990).

한편, 과거 단순한 체력의 지표로써 여겨졌던 심폐체력이 최근 인슐린저항 및 대사증후군 지표와 역 상관관계가 있음이 보고되면서 심폐체력 수준이 더 이상 체력수준과 관련된 하나의 지표로서만이 아닌 질병을 예방하고 치료하기 위한 수단으로 간주되어지고 있다(Bertoli 등, 2003; Jurca 등, 2004; Wessel 등, 2004). 인슐린저항성과 심폐체력의 역 상관관계에 관한 대표적인 선행연구들로, 9,007명의 남성과 1,491명의 여성을 대상으로 실시된 연구(LaMonte 등, 2005)와 4,105명의 여성을 운동부하 검사 후 심폐체력 수준별 그룹으로 나누어 인슐린저항성을 비교한 연구(Farrell 등, 2004), 더 나아가 심폐체력 수준이 고혈압(Barlow 등, 2005) 및 심혈관질환 사망률(Blair 등, 1996)과도 연관성을 가진다고 보고되고 있다. 국내 연구에서도 강미라 등(2005)은 1,432명(남 998명, 여 434명)을 대상으로 한 연구에서 심폐체력 수준이 인슐린저항성 및 대사증후군과 역 상관관계에 있음을 실험적으로 규명함과 동시에 심폐체력 수준(최대산소섭취량)이 대사증후군을 결정하는 후보인자가 될 가능성이 있는 강력한 인자임을 제기하였다. 이러한 인슐린저항성과 심폐체력 수준과의 역 상관관계에 대한 세포수준에서의 기전은 아직 확실히 밝혀져 있지 않은 상태이나, 그 가능한 대

사적 원인으로 미토콘드리아의 기능 부전과 산화적 인산화 유전자 발현이 달라진다는 일부 기전이 제시되고 있다(Atfi & Kendziora, 2003; Bergeron 등, 2001; Paffi 등, 2003).

또한 인슐린저항성은 복부비만 등에 의해 간으로 유입되는 다량의 유리지방산으로 인해 인슐린 수용체와 인슐린의 결합을 저해하여, 인슐린의 간내 제거를 감소시켜 말초에 고인슐린혈증을 유발하며, 간에서 인슐린에 의해 매개되는 당신생 억제 기전이 저해되어 혈당이 높아짐과 동시에 골격근에서 유리지방산의 산화가 촉진되어 인슐린매개 당흡수가 억제되는 기전으로 유발되어진다(Randle 등, 1965; Terry 등, 1991; Packard & Shepherd, 1997). 따라서 인슐린저항성은 지질 및 탄수화물 대사에 직접적으로 영향을 주는 요소이며, 운동으로 인해 에너지 기질의 대사가 활성화 될 경우 그 영향력은 더욱 커질 수밖에 없을 것이다. 다시 말해, 비만 또는 복부비만으로 판정되더라도, 인슐린저항성의 정도에 따라 인체에 주어지는 동일한 운동 강도에서 사용되는 에너지원이 다를 수밖에 없는 대사 상태에 놓일 수 있을 것이라 사료된다.

현재까지의 인슐린저항성에 대한 연구는 주로 비만과의 상관성에 대한 내용이 주를 이루었고(박용우, 2001; Janssen 등, 2002; Terry 등, 1991; Wang 등, 2005; WHO, 2002; Janssen 등, 2004; Bigaard 등, 2004; Tremblay 등, 2004; Nagaretani 등, 2001), 앞서 언급하였듯이 최근 심폐체력 수준에 따른 인슐린저항성 및 대사증후군에 대한 연구가 진행되어지고 있으나, 그 대상이 일반인과 비만인 모두를 포함하는 대단위 연구(LaMonte 등, 2005; Farrell 등, 2004; Barlow 등, 2005; 강미라 등, 2005)로, 비만인에서 주로 나타나는 인슐린저항성과 심폐체력 및 운동 중 혈중 에너지기질의 변화에 대한 구체적인 현상을 파악하고 있지 못한 실정이다. 다시 말해, 가능한 한 동질성이 있는 복부비만인을 대상으로 인슐린저항성과 심폐체력 수준의 비교, 그리고 인슐린저항성에 따른 운동 중 혈중 에너지기질의 차이에

관한 연구는 국내는 물론 국외적으로도 보고된 바가 없는 실정이다. 효과적인 비만 및 비만으로 인한 이차 질환의 운동치료를 위해 비만인의 생리적인 특성에 대한 보다 구체적인 평가와 관리가 필요하며, 이를 위해 비만인에게서 주로 나타나는 인슐린저항성과 심폐체력 수준의 상관성에 대한 조사 및 인슐린저항성에 따른 운동 중 에너지지질의 변화를 조사하는 것은 비만 및 비만으로 인한 이차 질환의 예방 및 치료에 보다 유의한 정보를 제공할 수 있을 것이다.

따라서 본 연구의 목적은 아직까지 국내·외적으로 보고된 바 없는 20~30대 복부비만 남성을 대상으로 인슐린저항성과 심폐체력 수준의 상관성을 조사하고 인슐린저항에 따른 운동 중 혈중 지질 및 글루코스 농도 변화의 차이를 조사하여, 궁극적으로 복부비만자의 비만치료 및 인슐린저항성 개선을 위한 운동처방 프로그램에 기초자료를 제공하고자 하는데 있었다.

II. 연구방법

1. 연구대상 및 집단구성

본 연구의 참여 대상자는 20~30대 남성 112명 (range: 21~32세)을 대상으로 비만도 검사를 실시한 후, BMI(body mass index) $25\text{kg}/\text{m}^2$, 체지방율 20%, 허리둘레 90cm 이상의 세 가지 조건을 동시에 만족하지 못하는 대상자 30명을 연구대상에서 제외하고 세 가지 조건을 모두 만족하는 복부비만 남성 82명으로 하였고, 비만 이외에 특별한 의학적 질환이 없으며, 어떤 약물도 복용하고 있지 않은 대상으로 하였다. 실험 전 모든 피험자들에게 실험에 대한 충분한 내용을 설명하고 동의를 얻은 후 실험에 참여토록 하였다.

Table 1. Physical characteristics of subjects

Age (yr)	Height (cm)	Weight (kg)	SBP (mmHg)	DBP (mmHg)	Waist Cir. (cm)	BMI (kg/m^2)	Body fat (%)
25.12 (3.01)	174.01 (5.88)	89.14 (11.54)	127.75 (14.40)	78.32 (11.98)	97.39 (8.52)	29.41 (3.34)	28.40 (4.42)

Data are mean(S.D.)

인슐린저항성에 따른 심폐체력 수준과 운동 중 혈중 지질과 글루코스의 변화를 비교하기 위하여, 인슐린저항성 지표인 HOMA-IR(homeostasis model assessment index insulin) 수치를 4분위수, 즉 인슐린저항의 정도에 따라 4집단으로 편성하였다. 4분위수의 임계점으로 산출된 HOMA-IR 지수는 각각 1.71, 2.53, 3.57이었다.

2. 비만지표 및 혈압 측정

신장과 체중은 자동측정기(DS-102, Jenix, Korea)를 이용하여 측정하였고, BMI는 체중(kg)/신장(m^2)을 이용하여 산출하였다. 체지방율(% body fat, %BF)은 체성분분석기(X-Scan Body Composition Analyzer, JAWON Medical Co., Korea)를 이용하여 측정하였고 허리둘레는 줄자를 이용하여 바닥과 수평을 이루게 하여 배꼽부위를 초기 말에 측정하였다. 혈압은 실험실 도착 후 30분간 안정을 취한 후 자동혈압계(FT-500R, Jawon Medical, Korea)로 측정하였다.

3. 심폐체력 측정

심폐체력은 트레드밀(Medtrack ST 65, Quinton, USA)과 가스분석기(True-one, Quinton, USA)를 이용하여 측정하였다. 운동부하 검사 프로토콜은 Modified Bruce protocol(Handler & Sowton, 1984)을 이용하여 측정하였으며, 최대능력 도달의 기준은 호흡교환율(respiratory exchange ratio, RER) 1.15이상, 자각적 운동 강도 17이상, 운동 강도가 증가하여도 VO_2 값이 상승되지 않을 때로 하였다.

4. 운동절차 및 체열시기

본 실험에 참여한 모든 피험자는 운동부하 검사 측정 1주일 후, 12시간 공복을 실시 한 후에 최대 산소섭취량 측정 시 사용한 트레드밀과 가스분석기를 이용하여 최대산소섭취량에 의한 개인별 운동 강도 40% 수준에서 1시간 동안 지구성 운동을 실시하였다. 운동 시작 전 상완정맥에 카테터를 삽입하고 운동을 시작하였고 운동 전, 운동 30분, 운동 종료시점인 60분, 그리고 회복기 60분에 혈액을 채혈 하였다.

5. 혈중 지질, 글루코스, 인슐린분석

채취된 혈액은 원심분리(3000rpm, 15분) 후 혈장을 분리하여, FFA는 NEFA(Shinyang, Korea) 시약을 이용하여 Hitachi 7600-100(Hitachi, Japan)으로 분석하였고, TC(Vitro CHOL DTD, Johnson & Johnson, NY, USA), HDLC(Vitro HDLC DTD, Johnson & Johnson, NY, USA), blood glucose(Vitro GLU DTD, Johnson & Johnson, NY, USA), TG(Vitro TRIG DTD, Johnson & Johnson, NY, USA)은 Vitros Chemistry DT60II(Johnson & Johnson, NY, USA)로 분석하였다. Insulin 분석은 Human Insulin ELISA

kit(ALPCO Diagnostics)를 이용하여 분석하였다. HOMA-IR은 Matthews의 공식[fasting insulin(μ IU/mL) $\times$ fasting glucose (mmol/L)/22.5]을 이용하여 산출하였다(Matthews 등, 1985).

6. 통계 분석

측정된 모든 자료는 평균과 표준편차로 나타내었고, 인슐린저항성에 따른 심폐체력을 비롯한 측정변인들의 분석은 일원변량분석(one-way ANOVA)를 실시하였으며, 측정변인의 상관관계는 Pearson correlations를 이용하여 산출하였다. 인슐린저항성에 따른 운동 중 혈중 glucose는 반복측정 이원변량분석(two-way repeated measured ANOVA)을 실시하였으며, 사전(안정시) 값에서 집단 간 차이를 보인 혈중 TG, FFA는 반복측정 이원공변량분석(two-way repeated measured ANCOVA)을 실시하였다. 사후검증은 LSD를 실시하였다. 모든 통계처리는 SPSS-PC(version 15.0) 통계 프로그램을 이용하여 실시하였으며, 통계적 유의수준은 $\alpha=0.05$ 에서 검정하였다.

Table 2. Comparison of cardio-respiratory fitness, obesity indices, blood TC, HDLC, and Insulin according to Insulin resistance

Variable	Q1 ^a (n=20)	Q2 ^b (n=20)	Q3 ^c (n=21)	Q4 ^d (n=21)	p	post-hoc
VO ₂ max (ml/kg/min)	45.29 (5.42)	41.48 (4.04)	42.10 (6.35)	40.25 (5.96)	.033	a>b,d
WC(cm)	94.63 (8.20)	93.30 (4.76)	98.50 (7.97)	102.82 (9.42)	.001	a, b<d
BMI(kg/m ²)	27.60 (3.46)	29.09 (2.46)	30.38 (1.48)	30.47 (4.51)	.016	a<d
BF(%)	26.65 (4.06)	26.96 (4.06)	29.53 (2.77)	30.31 (5.45)	.012	a<c,d b<d
TC (mg/dl)	202.43 (14.06)	222.32 (33.88)	210.57 (18.87)	223.29 (39.12)	.066	
HDLC (mg/dl)	57.28 (7.11)	52.58 (10.63)	48.50 (5.42)	48.64 (7.07)	.001	a>c,d
Insulin (μ IU/mL)	4.65 (1.35)	8.50 (1.06)	11.60 (1.30)	15.93 (1.68)	.001	a<b,c,d b<c,d c<d

Q: quartile; WC: waist circumference; TC: total cholesterol; HDLC: high density lipoprotein cholesterol

III. 연구 결과

1. 인슐린저항성에 따른 심폐체력, 비만지표 및 안정 시 혈중 TC, HDLC, 인슐린 농도 비교 및 상관분석

<Table 2>는 인슐린저항성에 따른 심폐체력 수준, 비만지표 및 안정시 혈중 TC, HDLC, insulin의 농도를 비교한 것이다. TC를 제외한 심폐체력, 허리둘레, BMI, % BF, HDLC, insulin에서 인슐린

% BF는 Q1이 Q3과 Q4보다 낮으며 Q2는 Q4보다 낮은 것으로 나타났다. 또한 HDLC는 Q1이 Q3과 Q4보다 높은 것으로 나타났고, insulin은 모든 집단 간 차이가 있는 것으로 나타났다. 그리고 <Table 3>은 측정변인들 간의 상관성을 분석한 것이다. 분석결과, HOMA-IR은 심폐체력과 HDLC와 유의한 음의 상관을 나타내었고, 비만지표와 TC에서는 유의한 양의 상관을 보이는 것으로 나타났으며, 측정변인들 중 허리둘레와 가장 큰 상관성을

Table 3. Correlation between HOMA-IR, cardiorespiratory fitness, obesity indices, TC, and HDLC

	HOMA-IR	VO ₂ max	Waist	BMI	%BF	TC	HDLC
HOMA-IR	1	-.314**	.429**	.383**	.391**	.319**	-.347**
VO ₂ max	-.314**	1	-.667**	-.725**	-.619**	-.208	.297**
Waist	.429**	-.667**	1	.843**	.821**	.262*	-.223*
BMI	.383**	-.725**	.843**	1	.825**	.206	-.218*
%BF	.391**	-.619**	.821**	.825**	1	.170	-.217
TC	.319**	-.208	.262*	.206	.170	1	.255*
HDLC	-.347**	.297**	-.223*	-.218*	-.217	.255*	1

*: p<.05; **: p<.001

Table 4. Change of TG and FFA concentration during exercise according to Insulin resistance(by ANCOVA)

Item	Group	Rest	Ex. 30min	Ex. 60min	Rec. 60min	p
TG (mg/dl)	Q1	65.38 (18.83)	74.75 (22.42)	81.13 (26.89)	57.10 (13.65)	.014 ^a .203 ^b .001 ^c
	Q2	110.35 (30.67)	121.13 (50.36)	136.10 (32.38)	106.45 (30.04)	
	Q3	136.00 (16.14)	144.78 (26.34)	146.07 (34.50)	110.86 (35.78)	
	Q4	204.86 (58.02)	207.43 (53.12)	206.64 (45.94)	185.07 (48.14)	
FFA (μEq/L)	Q1	502.88 (129.86)	574.13 (180.74)	781.13 (285.88)	710.93 (188.66)	.001 ^a .006 ^b .001 ^c
	Q2	603.53 (261.08)	735.55 (370.07)	1109.90 (623.50)	795.80 (160.05)	
	Q3	492.50 (159.67)	582.21 (139.13)	837.93 (255.61)	712.64 (120.66)	
	Q4	672.00 (286.58)	667.00 (252.57)	728.00 (161.00)	772.57 (182.40)	

a: time; b: group; c: time×group; Q:quartile; TG:triglyceride ; FFA:free fat acid ; Ex.:exercise ; Rec. : recovery

저항에 따라 유의한 차이를 보이는 것으로 나타났다. 사후검증 결과, 최대산소섭취량은 Q(Quartile) 1이 Q4보다 유의하게 높은 것으로 나타났고, 허리둘레는 Q1과 Q2가 Q4보다 낮은 것으로 나타났으며, BMI는 Q4가 Q1보다 높게 나타났다. 그리고

가지는 것으로 나타났다.

2. 인슐린저항성에 따른 혈중 중성지방과 유리 지방산 농도의 변화

<Table 4>은 TG와 FFA 모두 안정 시 값에서 집단 간 차이를 보여 인슐린저항성에 따른 운동 중 혈중 TG와 FFA의 변화를 ANCOVA 분석을 통해 나타낸 것이다. TG의 경우 시기 간 차이가 있었고 집단 간 차이는 없었으며, 시기와 집단 간 상호작용 효과가 있는 것으로 나타났다. 그리고 FFA의 경우는 시기, 집단, 그리고 시기와 집단 간의 상호작용 효과 모두 통계적으로 유의한 수준에 있는 것으로 나타났다.

3. 인슐린저항성에 따른 혈중 글루코스 농도의 변화

<Table 5>는 인슐린저항성에 따른 혈중 glucose 농도의 변화를 나타낸 것이다. 시기, 집단, 그리고 시기와 집단 간 상호작용 효과가 유의하게 나타났다. Q1과 Q2집단이 운동 및 회복기 60분으로 갈수록 점차 감소하는 반면, Q3와 Q4는 운동

다(Hubert 등, 1983; Kannel 등, 1991; Fujiok 등, 1987). 본 연구결과에서도 인슐린저항성에 따라 비만지표인 허리둘레, BMI, %BF 모두에서 유의한 차이가 있는 것으로 나타났고, 특히 측정변인과 HOMA-IR과의 상관분석에서도 나타났듯이 허리둘레에서 가장 큰 유의성을 보이는 것으로 나타났다. 또한 HOMA-IR은 심폐체력 수준과도 유의한 상관관계를 보였을 뿐만 아니라, HDLC와도 상관성을 가지는 것으로 나타났다. 인슐린저항성이 증가될수록 TC가 증가하고, 그로 인한 CETP (cholesteryl ester transfer protein) 및 HL(hepatic lipase)의 작용에 의해 HDLC가 감소되어진다(Packard & Shepherd, 1997)고 보고되고 있으며, 또한 심폐체력 수준이 HDLC 수준과 높은 양의 상관성을 가진다는 점(Packard & Shepherd, 1997)에서 본 연구에서 관찰된 인슐린저항성과 HDLC의 상관성에 심폐체력 수준이 직·간접적으로 연관

Table 5. Change of blood glucose concentration during exercise according to Insulin resistance

Item	Group	Rest	Ex. 30min	Ex. 60min	Rec. 60min	p
Glucose (mg/dl)	Q1	102.45	100.28	99.88	93.97	.001 ^a .012 ^b .001 ^c
		(8.14)	(6.51)	(6.76)	(7.56)	
	Q2	99.33	98.85	98.35	95.35	
		(7.56)	(6.14)	(4.93)	(6.30)	
	Q3	100.79	100.29	101.36	100.00	
		(8.10)	(7.02)	(6.68)	(6.26)	
	Q4	101.86	107.57	106.14	101.86	
		(5.04)	(9.24)	(6.31)	(8.23)	

a: time; b: group; c: time×group; Q:quartile; Ex.:exercise ; Rec. : recovery

중 안정 시보다 오히려 증가하고 회복기에도 안정 시 수준에 머무르는 것을 관찰할 수 있었다.

IV. 논 의

인슐린저항성은 II형 당뇨병의 초기현상일 뿐만 아니라 대사증후군과 깊은 연관성을 가지며, 장기간 방치할 경우 고혈압, 심혈관계질환 등의 퇴행성질환을 야기하는 위험인자이다(DeFronzo & Ferrannini, 1991). 인슐린저항성을 유발하는 강력한 인자는 비만이며, 특히 복부비만은 인슐린저항성을 야기하는 독립적인 인자로 보고되어지고 있

되어 있을 것으로 사료된다.

인슐린저항성과 심폐체력 수준과의 관계는 본 연구결과에서도 관찰되었듯이 비만 및 혈중 지질 등의 여러 가지 현상의 복합적인 생리적 상태와 연관되어지는 것으로 나타났지만, 인슐린저항성(HOMA-IR)과 심폐체력 수준이 통계적으로 유의한 수준의 역상관관계에 있다는 것을 감안할 때, 심폐체력 수준에 따라 인슐린저항성이 영향을 받을 수 있음을 의미한다고 사료된다.

이미 국내·외 여러 연구들에서 인슐린저항성 또는 대사증후군과 심폐체력 수준과의 관계가 보고(Blair, 1996, LaMonte, 2005, 장미라 등, 2005)되었

고, 복부비만자로 한정하여 관찰한 본 연구의 결과 역시 정상인과 일반인 모두를 포함하여 실시된 위의 선행연구의 결과내용과 유사한 결과를 나타내고 있다. 즉, 본 연구에서는 BMI, %BF, 허리둘레 모두를 만족하는 비만인으로 한정하여 둘의 관계를 살펴본 결과, 본 연구대상인 비만인 내에서도 비만도가 높을수록 더 큰 인슐린저항성을 가지며, 무엇보다도 심폐체력 수준이 낮을수록 인슐린저항성이 높게 나타나고 있음을 확인할 수 있었는데 의의가 있다고 사료된다.

한편, 인슐린저항성에 따른 운동 중 혈중 TG와 FFA의 ANCOVA 분석 결과에서도 집단 간 유의한 수준의 상호작용 효과가 있는 것으로 나타났다. TG의 경우 Q1과 Q2에서는 운동 30분에서 운동 60분까지 혈중 농도가 증가 하였으나, Q3와 Q4의 경우는 증가 정도가 약하거나 오히려 감소하는 경향을 보였고, 모든 집단에서 회복기 60분에는 감소하는 것으로 나타났다. 그러나 혈중 FFA의 경우에는 Q1, Q2, 그리고 Q3에서 운동 60분까지 증가하는 추세를 보인 후 회복기 60분에 감소하였으나, 인슐린저항성이 가장 큰 집단인 Q4에서는 회복기 60분까지 지속적으로 증가하는 양상을 보였다. 본 연구에서 실시한 운동 강도는 VO_{2max} 의 40%로 이 운동 강도는 지방연소가 가장 활발히 이루어지는 강도이다(Dorien 등, 2002). 따라서 운동 시간이 지속됨에 따라 혈중 TG와 FFA 농도가 증가하고 운동 후 감소되는 현상은 이미 많은 연구들에서 밝혀진 내용(Ball-Burnet 등, 1991; Gollnik & saltin, 1988; Ladu 등, 1991)으로 예상된 결과라 사료되나, 인슐린 저항성에 따라 중감 패턴이 다르게 나타난다는 것은 인슐린 저항성 자체가 운동 중 이용되는 에너지원의 사용에 영향을 미친다는 것을 단편적으로 보여주는 것이라 사료된다.

또한 혈중 지질뿐만 아니라 운동에 따른 혈중 glucose에서도 집단 간 유의한 상호작용 효과가 있는 것으로 나타났다. 이원변량분석에 의한 혈중 glucose 농도는 Q1 집단의 경우 운동 및 회복기 동안 가장 안정적인 양상을 나타내었고 Q2와 Q3

집단은 지속적으로 감소하고 회복 시에 급격히 감소하는 양상을 보였으며, Q4집단은 운동 30분에 급격히 증가한 후 서서히 감소하는 경향을 나타내었다. 비록 본 연구에서 실시한 운동 강도가 지방연소가 최대로 이루어지는 VO_{2max} 의 40%의 강도이지만, 운동 중 탄수화물이 에너지화 되지 않는 것은 아니며, 운동 강도 상 많은 부분의 탄수화물이 에너지화에 이용되지 않았다 하더라도 분명 골격근 수축을 위해 일정 부분 탄수화물은 이용되었을 것이다(Brooks & Mercier, 1994). 이러한 상황에서 Q4집단에서의 운동 30분에서의 혈중 glucose 농도의 급격한 상승은 운동 중 골격근에서의 glucose 이용이 적절히 이루어지지 못하고 있음을 보여준다고 사료된다. 한편, Q2, Q3, Q4집단의 비정상적인 양상과는 반대로 복부비만이기는 하나 인슐린 저항성이 낮은 집단인 Q1집단은 다른 집단에 비교적 안정적인 혈중 glucose 농도를 유지하는 것으로 나타났다. 이러한 현상은 인슐린 저항성의 정도에 따라 탄수화물 대사가 운동 중에도 원활히 이루어지지 못하고 있음을 단편적으로 보여주는 결과라 사료된다. 즉, 본 연구에서 사용된 변인만으로 운동 중 에너지 기질 사용에 대한 모든 현상을 설명할 수는 없으나, 혈중 지질이 과다할 경우 우리 인체는 탄수화물보다 지질을 에너지화 하게 되고 이는 탄수화물의 이용능력을 감퇴시켜 인슐린저항성을 유발하게 하는 대사적 기전(Randle 등, 1965)이 운동 중 탄수화물과 지질의 대사과정에도 나타나고 있음을 20~30대 복부비만 남성에서 실험적으로 확인할 수 있었다는 데에 의의가 있다고 사료된다.

V. 결 론

본 연구에서는 82명의 복부비만 남성에서 인슐린 저항성과 심폐체력 수준의 상관성을 조사하고, 인슐린저항성에 따른 운동 중 혈중 TG, FFA, 글루코스 농도의 변화를 관찰하여 안정 시 뿐만 아니라 운동 중에도 이들 변인의 변화가 인슐린저항성

에 따라 차이가 있는지를 조사하였다.

본 연구 결과, 20~30대 복부비만 남성에서 인슐린저항성과 심폐체력 수준은 유의한 연관성을 가지며, 운동 중 혈중 TG, FFA, glucose 농도 변화 또한 인슐린저항성에 따라 차이가 있는 것으로 나타났다. 따라서 복부비만 남성의 효율적인 체지방 감량 및 인슐린저항성 개선을 위한 운동처방 프로그램은 기본적인 비만치료 운동프로그램 뿐만 아니라 심폐체력 향상 및 인슐린저항성에 따른 혈중 지질과 glucose 농도 변화에 근거한 보다 세분화된 접근방법이 제시되어야 할 것으로 사료된다.

참고문헌

- 강미라, 성지동, 유병철, 최운호, 제세영, 정재훈, 민용기, 이명식, 김광원, 이문규(2005). 최대산소섭취량(VO_{2max})과 대사중후군. 당뇨병, 29(1).
- 박용우(2001). 복부비만의 평가. 대한비만학회지, 10(4), 297-305.
- Attie, A.D. and Kendzierski, C.M.(2003). PGC-1alpha at the crossroads of type 2 diabetes. Nat. Genet. 34:244-245.
- Aviva M., Jenniger S., & Eugenie H.(1999). The Disease Burden Associated With Overweight and Obesity. Journal of American Medical Association, 282, 1523-1529.
- Ball-Burnet, M., Green, H., and Houston, M.(1991). Energy of beta adrenergic blockade on the lacticid and alacticid components. Journal of Applied Physiology, 27:813-816.
- Barlow, C. E., LaMonte, M. J., FitzGerald, S. J., Kampert, J. B., Perrin, J. L., and Blair, S. N.(2006). Cardiorespiratory Fitness is an independent predictor of hypertension incidence among initially normotensive healthy women. American Journal of Epidemiology, 163, 142-150.
- Bergeron, R., Ren, J.M., Cadman, K.S., Moore, I.K., Perret, P., Pypaert, M., Young, L.H., Semenkovich, C.F. and Shulman, G.I.(2001). Chronic activation and of AMP kinase results in NRF-1 activation and mitochondrial biogenesis. Am. J. Physiol. Endocrinol Metab., 281:E1340-1346.
- Bertoli, A., Di Daniele, N., Ceccobelli, M., Ficara, A., Girasoli, C., and De Lorenzo, A.(2003). Lipid profile, BMI, body fat distribution, and aerobic fitness in men with metabolic syndrome. Acta Diabetologica, Suppl., 1, S130-S133.
- Bigaard J., Thomsen B. L., Tjonneland A.(2004). Does waist circumference alone explain obesity-related health risk. American Journal of Clinical Nutrition, 80(3), 790-792.
- 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. 17;276(3):205-10.
- Brooks, G., and Mercier, J.(1994). Balance of carbohydrate and lipid utilization during exercise : The 'crossover' concept. Journal of Applied Physiology, 76:2253-2261.
- DeFronzo, R. A., Ferrannini, E.(1991). Insulin resistance. A multifaceted syndrome responsible for NIDDM, obesity, hypertension, dyslipidemia, and atherosclerotic cardiovascular disease. Diabetes Care. 14(3), 173-194.
- Dorien P. van Aggel-Leijssen, Wim H. Saris, Gabby B. Hul, and Marleen A. van Baak(2002). Long-term effects of low intensity exercise training on fat

- metabolism in weight-reduced obese men. *Metabolism*, 51(8), 1003-1010.
- Farrell, S. W., Cheng, Y. J., Blair, S. N.(2004). Prevalence of the metabolic syndrome across cardiorespiratory fitness level in women. *Obesity Research*, 12(5), 824-830.
- Fujiok, S., Matsuzawa, Y., Tokunaga, K., Tauri, S.(1987). Contribution of intra-abdominal fat accumulation to the impairment of glucose and lipid metabolism in human obesity. *Metabolism*, 36, 54-9.
- Collnick, P, and Saltin B.(1988). Fuel for muscular exercise: Role of fat. In *Exercise, Nutrition, and Energy Metabolism*, New York: Macmillan, 72-88.
- Handler, C.E. & Sowton, E.(1984). A comparison of the Naughton and modified Bruce treadmill exercise protocols in their ability to detect ischemic abnormalities six weeks after myocardial infarction. *Eur. Heart J.* 5(9), 752-755.
- Hubert, H. B., Feinleib, M., Mcnamara, P. M., Castelli, W. P.(1983). Obesity as an independent risk factor for cardiovascular disease: A 26-year follow up of participants in the Framingham Heart Study. *Circulation*, 67, 968-77.
- Janssen, I., Katzmarzyk, P. T., Ross, R., Leon, A. S., Skinner, J. S., Rao, D. C., Wilmore, J. H., Rankinen, T., Bouchard, C.(2004). Fitness alters the associations of BMI and waist circumference with total and abdominal fat. *Obesity Research*, 12, 525-537.
- Janssen, Ian ph D, Katzmarzyk, Peter T, PhD, Ross, Robert PhD.(2002) Body Mass index, Waist Circumference, and Heart Risk Evidence in Support of Current National Institutes of Health Guidelines. *American Medical Association*, 162(18), 2074-2079
- Jurca, R., Lamonte, M. J., Church, T. S., Earnest, C. P., fitzgerald, D. J., Barlow, C. E., Jordan, A. N., Kampert, J. B., and Blair, S. N.(2004). Associations of muscle strength and fitness with metabolic syndrome in men. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 36(8), 1301-1307.
- Kannel, W. B., Cupples, L. A., Ramanani, R., Stokes, J. III., Kreger, B. E., Higgins, M.(1991). Regional obesity and riskof cardiovascular disease: The Framingham study. *Journal of Clinical Epidemiology*, 44, 183-90
- Ladu, M., Kapsas, H., and Palmer, W.(1991). Regulation of lipoprotein lipase in muscle and adipose tissue during exercise. *Journal of Applied Physiology*, 32:690-694.
- 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*, 25, 505-512.
- Matthews, D.R., Hosker, J.P., Rudenski, A.S., Naylor, B.A., Treacher, D.F., and Turner, R.C.(1985). Homeostasis model assessment insulin resistance and β -cell function from fasting plasma glucose and insulin concentration in man. *Diabetologia*, 28:412-419.
- Nagaretani, H., Nakamura, T., Funahashi, T., Kotani, K., Miyanaga, M., Tokunaga, K., Takahashi, M., Nishizawa, H., Kishida, K., Kuriyama, H., Hotta, K., Yamashita, S., and Matsuzawa, Y.(2001) Visceral fat is a major contributor for multiple risk factor clustering in Japanese men with impaired glucose tolerance. *Diabetes Care*, 24(12), 2127-2133.
- Packard, C.J. & Shepherd, J.(1997). Lipoprotein

- heterogeneity and apolipoprotein B metabolism. *Arteriosclerosis, Thrombosis, and Vascular Biology*, 17(12):3542-56.
- Patti, M.E., Butte, A.J., Crunkhorn, S., Cusi, K., Berria, R., Kashyap, S., Miyazaki, Y., Kohane, I., Costello, M., Saccone, R., Landaker, E.J., Goldfine, A.B., Mun, E., DeFronzo, R., Finlayson, J., Kahn, C.R., and Mandarino, L.J.(2003). Coordinated reduction of genes of oxidative metabolism in humans with insulin resistance and diabetes: Potential role of PGC1 and NRF1. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 100:8466-8471.
- Poult, M.C., Despres, J.P., Nadeau, A., Tremblay, A., Moorjani, S., & Lupien P.J.(1990). Associations between regional body fat distribution, fasting plasma free fatty acid levels and glucose tolerance in premenopausal women. *International Journal of Obesity*, 14(4), 293-302.
- Randle, P.J., Garland, .P.B., Newsholme, E.A., & Hales, C.N.(1965). The glucose fatty acid cycle in obesity and maturity onset diabetes mellitus. *Annals of the New York Academy of Sciences*. 161(1)324-333.
- Terry, R.B., Stefanick, M.L., Haskell, W.L., & Wood, P.D.(1991). Contributions of regional adipose tissue depots to plasma lipoprotein concentrations in overweight men and women : possible protective effect of thigh fat. *Metabolism*. 40(7), 733-740.
- Tremblay, A.J., Despres, J. P., Piche, M. E., Nadeau, A., Bergeron, J., Almeras, N., Tremblay, and Lemieux, S.(2004). Associations between the fatty acid content of triglyceride, visceral adipose tissue accumulation, and components of the insulin resistance syndrome. *Metabolism*, 53(3), 310-317.
- Wang, Y, Rimm, E. B, Stampfer, M. J, Willett, W. C, Hu, F. B.(2005). Comparison of abdominal adiposity and overall obesity in predicting risk of type 2 diabetes among men. *American Journal of Clinical Nutrition*, 81, 555-563.
- Wessel, T. R., Arant, C. B., Olson, M. B., Johnson, B. D., Reis, S. E., Sharaf, B. L., Shaw, L. J., Handberg, E., Sopko, G, Kelsey, S. F., Pepine, C. J., and Merz, N. B.(2004). Relationship of physical fitness vs body mass index with coronary artery disease and cardiovascular events in women. *JAMA*, 292(10), 1179-1187.
- World Health Organization. Obesity.(2002). preventing and managing the global epidemic. Report of a WHO consultation on obesity. WHO Technical Report Series no. 894. Geneva.