

Association of Metabolic Syndrome with Exercise Capacity and Heart Rate Recovery after Treadmill Exercise Test

Kyung-A Shin[†]

Department of Laboratory Medicine Bundang Jesaeng Hospital, Sungnam-si, Gyeonggi-do 463-774, Korea

Heart rate recovery (HRR) immediately after a treadmill exercise test is a function of vagal reactivation. A delayed heart rate recovery is associated with an increased risk for overall cardiovascular mortality. The purpose of this study is to find out if metabolic syndrome is associated with autonomic nerve function and exercise capacity in healthy adults. We measured the treadmill exercise capacity (METs) and heart rate recovery in 119 subjects through a medical checkup at J General Hospital. The metabolic syndrome was defined according to the National Cholesterol Education Program Adult Treatment Panel III (NCEP-ATP III) criteria. The value for the HRR was defined as the difference between the heart rate obtained during the peak exercise and the heart rate obtained at first minute during the recovery period. The subjects with the metabolic syndrome had significantly lower exercise duration (9.6 ± 1.5 vs 8.7 ± 1.4), METs (11.6 ± 1.7 vs 10.4 ± 2.5), and HRR (37.5 ± 14.3 vs 27.1 ± 8.9). The waist circumference in subjects with the metabolic syndrome was more strongly correlated with HRR ($r = -.517$, $P < .001$) than in normal subjects. Furthermore, delayed HRR was associated with high resting heart rate and increased waist circumference ($P = .032$, $P < .001$, respectively). In conclusion, delayed HRR during the first minute after a treadmill exercise test was associated with the metabolic syndrome risk factors. Delayed HRR was also associated with high resting heart rate and increased waist circumference.

Key Words: Metabolic syndrome, Exercise capacity, Heart rate recovery, Vagal reactivation

서 론

운동 중 심박수 증가는 부교감신경의 활성화 감소와 동방결절에 대한 교감신경의 활성화가 균형을 이룬 것이며 (Arai et al., 1989), 자율신경계 불균형을 측정하는데 유용한 운동 후 심박수 회복 (heart rate recovery: HRR)은 미주신경 재활성 (vagal reactivation)을 반영하는 지표이다 (Cole et al., 1999).

심박수 회복의 지연은 미주신경계 활성화의 감소나 과도한 교감신경계 항진을 의미하며 (Schwartz et al., 1992; Imai et al., 1994), 이러한 운동부하 검사 직후 나타나는 느린 심박수 회복반응은 허혈성 심장질환자, 당뇨 환자, 일반성인을 대상으로 한 연구에서 전체 사망률과 심혈관

질환에 의한 사망률의 독립적인 예측인자로 제시되고 있다 (Cole et al., 1999; Cheng et al., 2003; Vivekananthan et al., 2003).

심박수 회복은 대상자의 특성에 따라서도 다양한 반응을 보이는데 운동선수의 경우 심박수 회복은 빠르게 이루어지지만 심부전 환자는 느리며, 부교감신경 억제제인 아트로핀 사용에 의해서 심박수 회복은 둔화된다 (Imai et al., 1994; Cole et al., 1999).

Spies 등 (2005)은 관상동맥질환자의 대사증후군과 심박수 회복 및 운동능력간의 관련성을 평가하였으며, 대사증후군은 관상동맥질환자에서 낮은 심박수 회복 및 운동 능력과 관련이 있음을 보고하였다. 또한 비만은 자율신경계 불균형을 일으키는 요인으로 인체측정학적 변인 중 체질량지수와 허리둘레는 심박수 회복과 독립적인 관련이 있는 것으로 보고되었다 (Dimkpa and Oji, 2009).

심박수 회복은 운동 중 도달한 최대 심박수에서 회복기 시간대의 심박수를 뺀 수치로 규정되며, 선행연구 (Savonen et al., 2011)에서 심박수 회복의 기준은 자전거 에르고미터를 이용하여 최대 운동부하 검사 후 회복기

*접수일: 2011년 8월 22일 / 수정일: 2011년 12월 26일
채택일: 2011년 12월 27일

[†]교신저자: 신경아, (우)463-050 경기도 성남시 분당구 서현동 255-2, 분당제생병원 진단검사의학과

Fax: 031-779-0257

e-mail: mobitz2@daum.net

2분대 심박수를 최대 심박수에서 뺀 값으로 정의하였다. 또한 Cole 등 (1999)에 따르면 트레드밀 운동부하 검사를 통해 최대 심박수에서 운동 후 회복기 1분대 심박수를 뺀 수치로 정의하고 있으나, 이와 같은 다양한 규정의 차이에도 심박수 회복은 전체 사망률의 독립적인 예측인자로 보고된다.

이와 같이 운동정지 후 심박수 회복의 진단적 가치에 대해서는 많이 알려져 있지만 그 기전은 아직 명확하지 않으며, 국내에서는 대사증후군에서의 운동능력 및 자율신경기능과의 관련성에 관한 연구는 부족한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 대사증후군 진단군과 대사증후군 위험요인이 없는 군으로 분류하여 운동능력 및 심박수 회복반응의 차이를 비교 평가하고, 심박수 회복에 영향을 미치는 위험요인을 알아보고자 하였다.

재료 및 방법

피험자

이 연구의 대상자는 2008년 7월부터 2011년 7월까지 경기지역 J 종합병원에서 심장특화 건강검진을 통해 운동부하 검사를 실시한 332명 중 대사증후군 위험요인이 없는 군과 대사증후군 진단군으로 판정된 30세 이상 119명 (남성 75명, 여성 44명)을 연구 대상으로 하였다.

대사증후군 진단기준은 Executive Summary of The Third Report of The National Cholesterol Education Program Adult Treatment Panel III (NCEP-ATP III)에서 제시한 1) 혈압 $\geq 130/85$ mmHg, 2) 공복혈당 ≥ 110 mg/dL, 3) high density lipoprotein (HDL) 콜레스테롤은 남성 < 40 mg/dL, 여성 < 50 mg/dL, 4) 중성지방 (triglyceride) ≥ 150 mg/dL, 5) 허리둘레 남성 > 102 cm, 여성 > 88 cm이며, 위의 5가지 항목 중 위험요인이 없는 군을 정상군, 3개 이상 항목에 만족하는 경우 대사증후군 진단군으로 정의하였다 (NCEP-ATP III, 2001).

대사증후군 기준 중 허리둘레는 서양인의 기준으로 동양인에 부적합하다고 판단되어 아시아태평양 지역의 복부 비만기준 (Asia-Pacific Criteria: APC)에 따라 남성 > 90 cm, 여성 > 80 cm를 적용하였다 (WHO, 2000). 고혈압, 당뇨병의 병력이 있는 경우는 대사증후군 해당항목 기준에 속하는 것으로 간주하였다. 연구 대상자 중 뇌, 심혈관 질환자로 지질대사에 영향을 미치는 지질 강하제, 심박수에 영향을 주는 베타차단제와 같은 약물을 복용하는 경우 대상에서 제외하였으며, 과거 병력, 약물 복용여부는

설문을 통해 파악하였다.

이 연구는 J 종합병원 윤리심의위원회 (Institutional Review Board: IRB) 승인을 받았으며, 연구목적과 방법에 대해 피험자들에게 사전에 설명을 하고 서면 동의를 받아 실시하였다.

점증적 운동부하 검사

운동부하 검사는 트레드밀 (Medtrack ST 55, Quinton Instrument Co., U.S.A)을 이용하여 3분마다 속도와 경사도를 증가시키는 Bruce 프로토콜에 따라 검사 중 흉통, 어지러움, 심한 호흡곤란 같은 증상이 있거나, 위험한 심전도와 혈압반응에 근거하여 검사를 종료하는 증상 제한적 운동부하 검사 (symptom limited exercise test)를 시행하였다.

운동부하 검사 중 최고 혈압과 심박수는 최대 운동시 혈압과 심박수를 측정하였으며, 회복시 프로토콜은 운동 직후 경사도 0%에서 30~40초간 가볍게 걷다가 트레드밀이 완전히 멈춘 후 침대에 누워 1분, 3분, 5분간 심전도, 혈압, 심박수를 측정하였다.

운동부하 검사 직후 심박수 회복 (heart rate recovery: HRR) 반응은 운동 중 도달한 최대 심박수에서 회복기 1분대의 심박수를 뺀 값으로 하였다 (Cole et al., 1999). 또한 운동능력을 나타내는 대사당량 (metabolic equivalents: METs)은 다음 공식을 이용하여 추정하였다.

$$\text{METs} = \frac{(\text{Speed} \times 0.1) + (\text{Grade}/100 \times 1.8 \times \text{Speed}) + 3.5}{3.5}$$

심박변동성 지수 (chronotropic index: CI)는 (도달한 최대 심박수 - 안정시 심박수) / (최대 예측 심박수 - 안정시 심박수)로 계산하였으며, 최대 예측 심박수 (predicted maximal heart rate)는 $220 - \text{나이}$ 로 계산하였다 (Fletcher et al., 2001).

신체계측 및 체성분 분석

혈압은 수은 혈압계를 이용하여 10분간 안정상태에서 측정하였으며, 생체전기저항분석법 (Bio-electrical impedance analyzer)을 이용한 Inbody 4.0 (Biospace Co., Seoul, Korea)을 사용하여 공복상태에서 신장, 체중, 근육량과 체지방량을 측정하였다. 체질량지수는 체중 (kg) / 키 (m)²의 공식으로 구하였으며, 허리둘레는 직립자세에서 숨을 내쉬 상태로 허리가 완전히 노출되게 한 후 최하위 늑골하

Table 1. The clinical characteristics of the subjects

Variable	Non-MS (n=75)	MS (n=44)
Age (years)	49.5±6.5	51.8±7.5
Female (%)	31 (41.3%)	13 (29.5%)
Height (cm)	164.6±8.4	166.6±8.3
Weight (kg)	61.4±9.7	77.4±12.8***
BMI (kg/m ²)	22.6±2.6	27.7±3.5***
Muscle mass (kg)	43.4±7.9	50.4±8.9***
Body fat mass (kg)	14.2±4.2	22.7±6.3***
Waist circumference (cm)	76.1±6.9	90.4±8.6***
Hip circumference (cm)	91.4±4.9	99.5±7.8***
Systolic BP (mmHg)	104.0±12.1	125.7±19.2***
Diastolic BP (mmHg)	67.1±9.0	91.5±13.2***
Homocysteine (μmol/L)	11.0±3.7	12.5±4.0*
Insulin (μU/mL)	3.7±2.6	8.4±4.9***
HbA1c (%)	5.5±0.3	6.3±1.0***
Glucose (mg/dL)	88.3±7.9	111.6±31.6***
HDL-cholesterol (mg/dL)	61.2±13.2	42.7±9.2***
LDL-cholesterol (mg/dL)	125.2±29.3	119.3±30.5
Total cholesterol (mg/dL)	200.9±31.1	191.2±31.3
Triglyceride (mg/dL)	96.5±34.8	205.4±98.9***
Uric acid (mg/dL)	5.1±1.4	6.0±1.4**
CRP (mg/dL)	0.19±0.48	0.35±0.90
Previous diagnosis		
Hypertension (%)	0	23 (52.3%)
Diabetes mellitus (%)	0	2 (4.5%)

Values are Mean ± SD. ***, $P < .001$; **, $P < .01$; *, $P < .05$.
Abbreviation: MS, metabolic syndrome; n, number of the subjects;
BMI, body mass index; BP, blood pressure; HbA1c, hemoglobin
A1c; HDL, high density lipoprotein; LDL, low density lipoprotein;
CRP, C-reactive protein.

부과 골반 장골능의 중간부위를 측정하였다.

혈액검사

혈액분석은 8시간 이상 금식 후 아침에 채혈을 실시하였다. TBA-200FR NEO (Toshiba, Japan)를 이용하여 Homocysteine, high sensitivity C-reactive protein (hs-CRP), HDL 콜레스테롤, low density lipoprotein (LDL) 콜레스테롤, 총콜레스테롤, 중성지방, 공복혈당, 요산 (Uric acid)을 측정하였으며, 당화혈색소 (hemoglobin A1c)는 Variant II (Bio Rad, U.S.A)를 이용하여 high performance liquid chro-

matography (HPLC)법으로 측정하였다. Insulin은 Modular analytics E-170 (Roche, U.S.A)으로 측정하였다.

자료처리방법

이 연구의 모든 자료는 윈도우용 SPSS 12.0 통계 프로그램 (SPSS Inc, Chicago, IL, U.S.A)을 이용하여 기술 통계치 (Mean ± SD)를 산출하였다. 대사증후군 유무에 따른 운동능력 및 심박수 회복의 차이를 검증하기 위해 independent sample *t*-test를 실시하였으며, 대사증후군 위험 요인과 심박수 회복간의 관련성을 알아보기 위해 Pearson의 정률상관분석을 적용하였다. 또한 범주형 변인의 분석은 χ^2 검정을 사용하였으며, 대사증후군 위험요인이 심박수 회복반응에 미치는 영향을 알아보기 위해 성별을 보정한 후 다중회귀분석 (multiple linear regression)을 실시하였다. 통계적 유의수준은 $P < .05$ 로 하였다.

결 과

연구 대상자의 특성

본 연구에 참여한 대상자의 특성은 Table 1에 나타난 바와 같이, 신체구성을 나타내는 체중, 체질량지수, 근육량, 체지방량, 허리둘레와 엉덩이둘레는 정상군과 비교해 대사증후군 진단군에서 높은 것으로 나타났다. 또한 수축기와 이완기 혈압은 대사증후군 진단군에서 유의하게 높게 나타났다 (각각 $P < .001$).

혈액학적 변인으로 homocysteine, insulin, HbA1c, 공복혈당, 중성지방, 요산은 정상군에 비해 대사증후군 진단군에서 유의하게 높게 나타났으며, high density lipoprotein (HDL) 콜레스테롤은 낮게 나타났다. 또한 대사증후군 진단군에서 이전에 고혈압과 당뇨병 진단을 받은 경우는 각각 52.3%와 4.5%로 나타났다.

운동부하 검사 중 운동능력 및 혈액학적 요인

Table 2에서 보는 바와 같이, 안정시 심박수 ($P = .005$), 안정시 수축기 및 이완기 혈압은 정상군에 비해 대사증후군 진단군에서 높게 나타났으며 (각각 $P < .001$), 안정시 심근산소소비량 또한 대사증후군 진단군에서 높은 것으로 나타났다 ($P < .001$).

최대 운동시 심박수, 최대 수축기와 이완기 혈압은 대사증후군 진단군에서 높게 나타났으며 (각각 $P < .001$), 또한 최대 심근산소소비량은 대사증후군 진단군에서 높게 나타났다 ($P = .014$).

Table 2. Exercise capacity and haemodynamic parameters during exercise treadmill test

Variable	Non-MS (n=75)	MS (n=44)
Resting HR (beats/min)	59.8±7.9	65.2±10.8**
Resting systolic BP (mmHg)	110.7±14.6	126.8±14.9***
Resting diastolic BP (mmHg)	68.4±10.0	81.1±12.1***
Resting RPP	6625.6±1303.7	8301.2±1919.1***
Maximum HR (beats/min)	161.0±10.7	152.3±14.1***
Maximum systolic BP (mmHg)	156.2±19.1	178.1±22.4***
Maximum diastolic BP (mmHg)	75.7±9.9	87.0±12.5***
Maximum RPP	25211.7±3949.7	27239.3±4845.8*
Exercise duration (min)	9.6±1.5	8.7±1.4**
Exercise capacity (METs)	11.6±1.7	10.4±2.5***
HRR (beats/min)	37.5±14.3	27.1±8.9***
CI	0.91±0.07	0.84±0.10***

Values are Mean ± SD. ***, $P < .001$; **, $P < .01$; *, $P < .05$.
Abbreviation: HR, heart rate; RPP, rate pressure product; METs, metabolic equivalents; HRR, heart rate recovery; CI, chronotropic index.

운동지속시간 ($P = .005$)과 운동능력을 나타내는 METs, 심박수 회복 (각각 $P < .001$)은 정상군에 비해 대사증후군 진단군에서 유의하게 낮게 나타났으며, 심박변동성 지수 또한 대사증후군 진단군에서 낮게 나타났다 ($P < .001$).

심박수 회복과 운동능력 및 대사증후군 위험요인간의 관련성

Table 3에서 보는 바와 같이, 체질량지수, 수축기와 이완기 혈압, 공복혈당, 중성지방, 안정시 심박수는 심박수 회복과 역상관 관계 (negative correlation)를 나타낸 반면, HDL 콜레스테롤, 심박변동성 지수는 정상관 관계 (positive correlation)를 보였다. 특히 허리둘레가 심박수 회복과 가장 높은 상관성을 보이는 것으로 나타났다 ($r = -.517, P < .001$) (Fig. 1). 그러나 운동지속시간 및 METs와 심박수 회복간에는 관련이 없는 것으로 나타났다.

대사증후군 위험요인이 심박수 회복에 미치는 영향

대사증후군 위험요인을 독립변인으로 하고 심박수 회복을 종속변인으로 하여 성별을 보정한 후 다중회귀분석을 시행한 결과 대사증후군 위험요인 중 허리둘레가 증가할수록 심박수 회복이 감소하는 것으로 나타났다 (R^2

Table 3. Correlation between heart rate recovery and exercise capacity or metabolic risk factors

Variable	Coefficient	P value
BMI (kg/m^2)	-.384	<.001***
Systolic BP (mmHg)	-.287	.002**
Diastolic BP (mmHg)	-.269	.003**
Glucose (mg/dL)	-.244	.008**
Total cholesterol (mg/dL)	.016	.861
HDL-cholesterol (mg/dL)	.396	<.001***
LDL-cholesterol (mg/dL)	-.079	.395
Triglyceride (mg/dL)	-.284	.002**
Exercise duration (min)	.064	.491
Exercise capacity (METs)	.059	.524
Resting HR (beats/min)	-.298	.001**
CI	.189	.040*

***, $P < .001$; **, $P < .01$; *, $P < .05$.

Abbreviation: HRR, heart rate recovery; BMI, body mass index; BP, blood pressure; HDL, high density lipoprotein; LDL, low density lipoprotein; METs, metabolic equivalents; CI, chronotropic index.

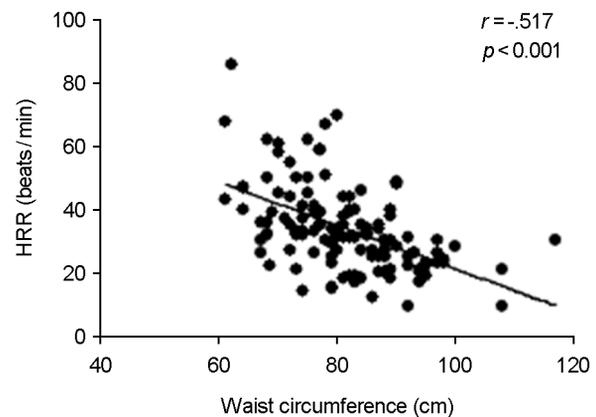


Fig. 1. Correlation with heart rate recovery (HRR) and waist circumference.

$= .349, F = 4.210, P < .001$). 또한 안정시 심박수가 증가할수록 심박수 회복이 감소하는 것으로 나타났다 ($R^2 = .349, F = 4.210, P = .032$) (Table 4).

고 찰

심박수 회복 (heart rate recovery: HRR)은 심장 자율신경계 활성의 지표로써 운동부하 검사 직후 심박수 회복이 늦을수록 미주신경 활성의 저하를 의미한다 (Cole et al., 1999). 또한 늦은 심박수 회복은 인슐린 저항성, 염증지표의 상승, 죽상경화증 (atherosclerosis), 혈관내피 기능장애

Table 4. Multiple linear regression between heart rate recovery and metabolic risk factors

Variable	β	P-value
BMI (kg/m ²)	.225	.114
Waist circumference (cm)	-.623	<.001***
Systolic BP (mmHg)	-.097	.616
Diastolic BP (mmHg)	.098	.605
Glucose (mg/dL)	.112	.298
Total cholesterol (mg/dL)	.067	.883
HDL-cholesterol (mg/dL)	.119	.587
LDL-cholesterol (mg/dL)	-.130	.770
Triglyceride (mg/dL)	-.038	.817
Exercise duration (min)	-.005	.974
Exercise capacity (METs)	-.013	.930
Resting HR (beats/min)	-.206	.032*
CI	.064	.445
R^2 (adj. R^2) = .349 (.266)		

R^2 , coefficient of determination; ***, $P < .001$; *, $P < .05$.
Abbreviation: HRR, heart rate recovery; BMI, body mass index; BP, blood pressure; HDL, high density lipoprotein; LDL, low density lipoprotein; METs, metabolic equivalents; CI, chronotropic index.
Adjusted for sex.

와 관련이 있다 (Lind and Andrén, 2002; Huang et al., 2004; Jae et al., 2007; Jae et al., 2008).

대사증후군 위험요인의 수가 증가할수록 심박수 회복의 지연을 보이며 (Sung et al., 2006), 75세 이상 여성 노인을 대상으로 대사증후군 위험요인과 심박수 회복간에는 관련이 있는 것으로 보고된다 (Nilsson et al., 2007).

본 연구결과에서는 안정시와 최대 운동시 심박수, 혈압은 정상군에 비해 대사증후군 진단군에서 높게 나타났으며, 운동지속시간과 METs (metabolic equivalents), 심박수 회복은 대사증후군 진단군에서 낮게 나타났다.

이러한 결과는 대사증후군 진단군에서 낮은 심박수 회복과 높은 안정시 심박수를 보이며 (Sung et al., 2006), 심박수 회복과 운동능력은 대사증후군 진단군에서 낮게 나타났다는 연구결과 (Deniz et al., 2007)와 일치한다. 또한 안정시 심박수의 증가는 교감신경 활성의 증가 및 높은 혈압과 관련이 있으며, 심혈관 사건 증가의 예측인자이다 (Deniz et al., 2007). 그러나 이러한 연구는 대사증후군 진단기준 중 복부비만을 체질량지수로 대체했으며, 심박수 회복의 진단기준으로 회복기 3분대 심박수를 적용한 제한점을 가지고 있다 (Sung et al., 2006).

대사증후군에서 심박수 회복의 감소는 낮은 운동능력

과 관련이 있으며, 심혈관 질환을 예측하는데 이용될 수 있다고 제시된다 (Cole et al., 1999). 그러나 또 다른 연구에서는 최대 산소섭취량은 심박수 회복과 관련이 없는 것으로 보고된다 (Sung et al., 2006).

본 연구에서는 심박수 회복과 운동지속시간 및 METs 간에는 관련이 없는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 운동능력을 측정하는데 있어서 직접적으로 산소섭취량 (VO₂max)을 측정하는 것이 아니라 간접적으로 추정된 METs로 운동능력을 측정했기 때문으로 사료되며, 산소섭취량으로 운동능력을 측정하는 대규모 연구가 필요하리라 생각된다.

건강한 성인에서 운동 중 낮은 심박변동지수 (chronotropic index: CI)는 심혈관 질환에 의한 사망률의 강력한 예측인자이다 (Savonen et al., 2006). 또한 심근산소소비량 (rate pressure product: RPP)은 심박수, 수축력과 심근벽의 긴장 (wall tension)이 중요한 결정요인으로써, 심도자술에 의해 직접적으로 측정하는 것이 정확하나 측정의 어려움 때문에 심박수와 수축기 혈압의 곱 (rate pressure product)을 이용하여 간접적으로 추정하는 방법이 주로 이용된다 (Jorgensen et al., 1977).

이 연구에서는 대사증후군 진단군에서 낮은 심박변동지수를 보이고 있으며, 안정시와 최대 운동시 심근산소소비량이 높게 나타났다. 또한 심박수와 수축기 혈압이 대사증후군 진단군에서 높게 나타나 높은 안정시 심근산소소비량을 보였으며, 높은 혈압반응으로 인해 최대 운동시 심근산소소비량이 높게 나타난 원인으로 작용하였다.

운동 증가와 함께 심박수 및 혈압의 증가로 인해 심근산소소비량은 증가하는데, 운동 중 과도한 혈압의 상승은 심근경색과 같은 심혈관 질환이 동반되었을 경우 심근허혈을 유발할 수 있는 요인으로 작용한다 (Kim and Shin, 2007). 그러므로 대사증후군 진단군에서의 낮은 심박변동지수와 높은 심근산소소비량은 대사증후군이 심혈관 질환 증가와 관련이 있다는 연구에 부합하는 결과라 할 수 있다 (Isomaa et al., 2001).

비만지표와 운동 후 심박수 회복간에 독립적인 관련이 있으며, 특히 중성지방과 허리둘레의 증가가 대사증후군 환자에서 심박수 회복과 유의한 관련성이 있는 것으로 보고된다 (Dimkpa and Oji, 2009).

본 연구결과, 허리둘레가 심박수 회복과 가장 높은 관련성을 보이며, 안정시 심박수와 허리둘레는 심박수 회복에 영향을 미치는 위험요인으로 나타났다. 그러나 대사증후군 진단군에서 다이어트에 의한 체중 감소, 운동, 베타

차단제 및 스타틴과 같은 약물복용이 자율신경기능에 긍정적인 영향을 미쳐 심박수 회복을 개선시키는 것으로 나타났다 (Katircibasi et al., 2005; Deniz et al., 2007). 이러한 결과를 통해 운동에 의한 체중 감소는 대사증후군 위험요인에 긍정적인 영향을 미치며, 대사증후군 위험요인의 감소는 운동능력과 심박수 회복의 향상에도 영향을 미칠 것으로 생각된다.

본 연구의 제한점으로는 규칙적인 운동수행 유무는 배제되었으며, 성별에 따른 운동능력과 심박수 회복의 차이는 규명하지 못하였다.

결론적으로 대사증후군 위험요인은 미주신경 재활성 지표인 심박수 회복의 저하와 관련이 있으며, 허리둘레와 안정시 심박수는 심박수 회복에 영향을 미치는 위험요인으로 나타났다.

REFERENCES

- Arai Y, Saul JP, Albrecht P, Hartley LH, Lilly LS, Cohen RJ, Colucci WS. Modulation of cardiac autonomic activity during and immediately after exercise. *Am J Physiol.* 1989. 256(1 Pt 2): H132-141.
- Cheng YJ, Lauer MS, Earnest CP, Church TS, Kampert JB, Gibbons LW, Blair SN. Heart rate recovery following maximal exercise testing as a predictor of cardiovascular disease and all-cause mortality in men with diabetes. *Diabetes Care* 2003. 26: 2052-2057.
- Cole CR, Blackstone EH, Pashkow FJ, Snader CE, Lauer MS. Heart-rate recovery immediately after exercise as a predictor of mortality. *N Engl J Med.* 1999. 341: 1351-1357.
- Deniz F, Katircibasi MT, Pamukcu B, Binici S, Sanisoglu SY. Association of metabolic syndrome with impaired heart rate recovery and low exercise capacity in young male adults. *Clin Endocrinol (Oxf).* 2007. 66: 218-223.
- Dimkpa U, Oji JO. Association of heart rate recovery after exercise with indices of obesity in healthy, non-obese adults. *Eur J Appl Physiol.* 2009. 108: 695-699.
- Expert panel on Detection, Evaluation and Treatment of High Blood Cholesterol in Adults. Executive summary of the third report of the national cholesterol education program (NCEP) expert panel on detection, evaluation, and treatment of high blood cholesterol in adults (Adult Treatment Panel III). *JAMA.* 2001. 285: 2486-2497.
- Fletcher GF, Balady GJ, Amsterdam EA, Chaitman B, Eckel R, Fleg J, Froelicher VF, Leon AS, Piña IL, Rodney R, Simons-Morton DA, Williams MA, Bazzarre T. Exercise standards for testing and training: a statement for healthcare professionals from the American Heart Association. *Circulation* 2001. 104: 1694-1740.
- Huang PH, Leu HB, Chen JW, Cheng CM, Huang CY, Tuan TC, Ding PY, Lin SJ. Usefulness of attenuated heart rate recovery immediately after exercise to predict endothelial dysfunction in patients with suspected coronary artery disease. *Am J Cardiol.* 2004. 93: 10-13.
- Imai K, Sato N, Hori M, Kusuoka H, Ozaki H, Yokoyama H. Vagally mediated heart rate recovery after exercise is accelerated in athletes but blunted in patient with chronic heart failure. *J Am Coll Cardiol.* 1994. 24: 1529-1535.
- Isomaa B, Almgren P, Tuomi T, Forsén B, Lahti K, Nissén M, Taskinen MR, Groop L. Cardiovascular morbidity and mortality associated with the metabolic syndrome. *Diabetes Care* 2001. 24: 683-689.
- Jae SY, Ahn ES, Heffernan KS, Woods JA, Lee MK, Park WH, Fernhall B. Relation of heart rate recovery after exercise to C-reactive protein and white blood cell count. *Am J Cardiol.* 2007. 99: 707-710.
- Jae SY, Carnethon MR, Heffernan KS, Choi YH, Lee MK, Park WH, Fernhall B. Slow heart rate recovery after exercise is associated with carotid atherosclerosis. *Atherosclerosis* 2008. 196: 256-261.
- Jorgensen CR, Gobel FL, Taylor HL, Wang Y. Myocardial blood flow and oxygen consumption during exercise. *Ann N Y Acad Sci.* 1977. 301: 213-223.
- Katircibasi MT, Canatar T, Kocum HT, Erol T, Tekin G, Demircan S, Tekin A, Sezgin AT, Baltali M, Muderrisoglu H. Decreased heart rate recovery in patients with heart failure: effect of fluvastatin therapy. *Int Heart J.* 2005. 46: 845-854.
- Kim YJ, Shin YO. Effects of aerobic exercise on cardiopulmonary-related factors in exercise-induced hypertension patients. *Korean Society of Exercise Physiology* 2007. 16: 131-140.
- Lind L, Andrén B. Heart rate recovery after exercise is related to the insulin resistance syndrome and heart rate variability in elderly men. *Am Heart J.* 2002. 144: 666-672.
- Nilsson G, Hedberg P, Jonason T, Lönnberg I, Ohrvik J. Heart rate recovery is more strongly associated with the metabolic syndrome, waist circumference, and insulin sensitivity in women than in men among the elderly in the general population. *Am Heart J.* 2007. 154: 460-467.
- Savonen KP, Lakka TA, Laukkanen JA, Halonen PM, Rauramaa

- TH, Salonen JT, Rauramaa R. Heart rate response during exercise test and cardiovascular mortality in middle-aged men. *Eur Heart J*. 2006. 27: 582-288.
- Savonen KP, Kiviniemi V, Laaksonen DE, Lakka TA, Laukkanen JA, Tuomainen TP, Rauramaa R. Two-minute heart rate recovery after cycle ergometer exercise and all-cause mortality in middle-aged men. *J Intern Med*. 2011. (in press)
- Schwartz PJ, La Rovere MT, Vanoli E. Autonomic nervous system and sudden cardiac death. Experimental basis and clinical observations for post-myocardial infarction risk stratification. *Circulation* 1992. 85(1 suppl): 77-91.
- Spies C, Otte C, Kanaya A, Pipkin SS, Schiller NB, Whooley MA. Association of metabolic syndrome with exercise capacity and heart rate recovery in patients with coronary heart disease in the heart and soul study. *Am J Cardiol*. 2005. 95: 1175-1179.
- Sung J, Choi YH, Park JB. Metabolic syndrome is associated with delayed heart rate recovery after exercise. *J Korean Med Sci*. 2006. 21: 621-626.
- Vivekananthan DP, Blackstone EH, Pothier CE, Lauer MS. Heart rate recovery after exercise is a predictor of mortality, independent of the angiographic severity of coronary disease. *J Am Coll Cardiol*. 2003. 42: 831-838.
- World Health Organization. West Pacific Region. The Asia-pacific Perspective: redefining obesity and its treatment. International Obesity Task Force. 2000. 2: 15-21.
-