

한국인 제2형 당뇨병환자에서 유산소/저항운동이 체지방 및 근육량, 혈관내피세포기능에 미치는 영향

을지위대 내분비내과
민경완

The Effects of Aerobic/Resistance Exercise on Body Fat Mass, Muscle Strength and Endothelial Function in Korean Type 2 Diabetes mellitus Patients

Kyung Wan Min

Department of Internal Medicine, Eulji University School of Medicine, Seoul, Korea

Abstract

Regular exercise has been shown to reduce cardiovascular risk factors. Korean type 2 diabetic patients showed a reduced aerobic exercising capacity (VO_{2max} 5.2 ± 1.3 MET, VT 3.5 ± 0.9 MET) when compared to normal subjects matched to anthropometric conditions. A typical activity of moderate intensity is "brisk" walking at 5.6 km/h on a flat surface requiring 3.8 MET. Thus, the duration of aerobic exercise training is more important than intensity in Korean type 2 diabetic patients. During 12 weeks of exercise intervention, aerobic exercise improved cardiopulmonary function and endothelial function in Korean type 2 diabetic patients. However, muscle strength was not changed significantly by aerobic exercise.

The maximal muscle strength of Korean type 2 diabetes mellitus patients was decreased compared to normal subjects with similar body weight. The maximal muscle strength was decreased with age, especially more in the lower extremities than the upper extremities. Generally, increased muscle mass was correlated with body mass index, however, muscle mass in obese type 2 diabetic women was not increased proportion with weight gain. Therefore, combined exercise is recommended to obese Korean type 2 diabetic women. Low intensity resistance training using resistance bands was effective in increasing muscle mass and muscle strength and reducing abdominal fat mass in diabetic women. However, endothelial function was not changed significantly by resistance exercise. [J Korean Diabetes 2011;12:6-12]

Keywords: Aerobic exercise, Resistance, Type 2 diabetes mellitus

규칙적인 운동에 의한 심폐능력의 향상은 심혈관 질환의 위험요인을 감소시킨다[1]. 심폐능력의 저하는 복부비만과 밀접한 연관성을 가질 뿐만 아니라[2,3] 인슐린저항성[4], 고지혈증[5]을 수반하는 대사증후군의 유병률은 물론 각종 심혈관질환으로 인한 조기 사망률을 높이는 역할을 하는 것으로 알려지고 있다[6].

미국당뇨병학회(American Diabetes Association, ADA)는 제2형 당뇨병의 예방과 치료를 위해 규칙적인 신체 활동의 이점을 강조하고 있어 가능하면 매일 30분 이상의 중등도 신체 활동을 시행하도록 권고하고 있고, 특히 혈당 조절, 체중 유지, 심혈관질환의 위험도를 감소시키기 위해서는 최대 심박수의 50~70%인

중등도의 강도로 주당 150분 이상, 최소 주당 3회 이상의 유산소운동을 권고하고 있다[7].

운동강도를 결정하는 방법 중 무산소역치(anaerobic threshold, AT)의 운동강도는 심혈관 기능에 영향을 주지 않기 때문에 고혈압, 비만, 심근경색을 가진 환자들에게 적용된다[8]. 따라서 당뇨병성 자율신경병증이나 혈관 합병증을 가진 제2형 당뇨병 환자에서도 안전하게 이용될 수 있다. 무산소역치 중 하나인 젖산역치(lactate threshold, LT)는 젖산의 반응이 사람에 따라서 달라질 수 있으며 지속적인 혈장젖산 측정이 요구되기 때문에 제2형 당뇨병환자의 연구에 많이 이용되지 않으며[9], 환기역치(ventilatory

threshold, VT)는 당뇨병환자에서도 측정이 용이하며, 당뇨병성 자율신경병증, 심근경색과 같은 혈관장애를 가진 환자에서도 안전하게 측정할 수 있다 [10].

An 등은[11] 제2형 당뇨병환자 581명에게 운동부하 검사를 측정한 결과 환기역치에서 측정된 산소 섭취량은 평균 3.5 ± 0.9 METs, 최대산소섭취량은 5.2 ± 1.3 METs였고, 남자가 여자보다 높음을 보고하였다 ($P = 0.012$, $P = 0.002$). 환기역치에서의 운동부하는 55.8 ± 21.5 watts였고, 최대운동부하는 96.8 ± 30.9 watts였으며 남자가 여자보다 높았다($P < 0.001$) (Table 1). 그런데, An 등이[11] 보고한 환기역치에서의 최대 산소섭취량 5.2 ± 1.3 METs는 미국스포츠의학회에서 제시한 최저강도인 6 METs보다도 낮은 정도의 체력 수준을 나타내는 것이다. 또한 적절한 운동강도로 권고되는 환기역치에서의 산소 섭취량이 3.5 ± 0.9 METs로 보고하여, 3-4 METs의 운동이 한국인 제2형 당뇨병환자에게 적합한 운동 강도로 제안하였다. 이러한 강도의 운동으로는 4.83 k/h의 속도로 걷기, 혹은 1 km를 20분에 걷기(3-4.9 k/h)가 가볍게 자전거타기 등이 있으며, 집안일의 경우에는 청소하기(쓸고 닦기), 유리창 닦기, 아이와 놀기 등이 이에 해당하고, 일상적인 활동으로는 엘리베이터 이용 대신 걷기, 짧은 거리는 차를 이용하지 않고 걸어가기, 버스 한 정거장 정도는 걸어가기 등이 이에 해당된다.

유산소운동은 다른 방법보다 내장지방을 효과적으로

감소시킬 수 있는 방법이다. 그러나 이들은 훈련에 의한 유산소운동의 효과를 관찰한 결과이고 일상생활의 신체활동을 포함한 유산소운동의 효과를 관찰한 연구는 적다. 특히, 제2형 당뇨병환자를 대상으로 운동 훈련을 모두 실시하는 것은 현실적으로 불가능하므로 운동 훈련에 의한 유산소운동의 효과보다는 일상생활 속의 유산소운동의 효과를 알아보는 것이 반드시 필요한 일이다.

다중기록가속도계에 의한 신체활동 모니터링은 신체활동 패턴에 대한 객관적인 정보를 얻고 활동과 관련된 에너지 소비량을 평가하는데 사용된 도구이다. 다중기록가속도계는 활동 강도, 기간, 빈도를 지속적으로 기록하고 저장하여 장시간 동안의 활동량도 모니터링 할 수 있다.

중강도의 운동강도는 3.0~6.0 MET를 의미하는데, 다중기록가속도계의 강도를 MET로 환산하면[12], Kumahara 등은[13] 저강도(다중기록가속도계의 3이하)의 신체활동은 3.5 MET 이하이고 중강도(다중기록가속도계의 4~6)의 운동강도는 3.6~6.0 MET 강도에 해당하며 고강도(다중기록가속도계의 7 이상) 운동강도는 6.1 MET 이상의 강도에 해당한다고 하였다.

Min 등은[14] 비만한 당뇨병환자에서 12주 중강도 운동을 주 5회, 60분 시킨 결과, 다중기록가속도계로 중강도(다중기록가속도계의 4~6 강도)가 평균 29.5 ± 16.5 분으로 조사되었다. 이러한 중강도의 운동에서

Table 1. Physical capacity at ventilatory threshold and maximum exercise capacity (adapted from An et al. J Korean Diabetes Assoc 2005;29:479-85 [11])

	Male (N = 298)	Female (N = 283)	Total (N = 581)	Sig
Ventilatory Threshold				
Load (watts)	68.0 ± 19.0	43.6 ± 15.9	55.8 ± 21.5	< 0.001
METs	3.6 ± 1.0	3.4 ± 0.8	3.5 ± 0.9	0.012
Heart rate (beats/min)	113.2 ± 11.7	114.1 ± 11.9	113.6 ± 11.8	NS
ΔHeart rate	27.4 ± 13.1	26.5 ± 13.5	27.0 ± 13.3	NS
%HRmax	65.7 ± 7.3	67.6 ± 7.3	66.6 ± 7.3	0.002
%HRR	34.6 ± 11.4	34.8 ± 11.7	34.7 ± 11.5	NS
SBP (mm Hg)	142.0 ± 24.1	140.2 ± 31.6	141.2 ± 28.1	NS
DBP (mm Hg)	84.5 ± 12.9	86.1 ± 16.3	85.2 ± 14.6	NS
Max				
Load (watts)	116.2 ± 26.4	76.6 ± 21.0	96.8 ± 30.9	< 0.001
METs	5.4 ± 1.4	5.0 ± 1.1	5.2 ± 1.3	0.002
Heart rate (beats/min)	139.2 ± 16.0	135.4 ± 16.7	137.5 ± 16.4	0.01
SBP (mm Hg)	175.7 ± 27.9	167.5 ± 26.2	172.1 ± 27.5	0.001
DBP (mm Hg)	91.2 ± 15.6	93.2 ± 13.3	92.2 ± 14.6	NS

MET, metabolic equivalent unit (1 MET = $3.5 \text{ mLkg}^{-1}\text{min}^{-1}$); ΔHeart rate, ventilatory threshold heart rate-resting heart rate; HR, heart rate; HRR, % heart rate reserve; SBP, systolic blood pressure; DBP, diastolic blood pressure.

운동시간은 전산화 단층촬영으로 측정된 복부총지방의 감소량과 상관관계를 보여, 중강도의 운동이 저강도나 고강도의 운동보다 복부 지방 감소에 더 효과적이라고 보고하였다(Table 1). 그리고 무산소 역치에서의 산소섭취량은 유의하게 증가하여 심폐능력을 증가시킨 것으로 나타났으나, 대퇴 근육량은 유산소운동군 운동 전·후 유의한 변화가 없다고 하였고, 최대근력으로 평가한 상·하지의 근력은 모두 유의한 변화가 없었다고 보고 하였다(Table 2).

미국당뇨병학회(American diabetes association, ADA)에서는 제2형 당뇨병환자의 운동 요법으로 유산소 운동과 함께, 1 RM의 75~85% 강도로, 1일 8~10회, 3 set 를 일주일에 3회의 저항운동을 권장하고 있다[15].

이러한 저항운동을 실시하기 위해서는 환자의 최대 근력을 알아야 한다. 근력 트레이닝을 실시할 때 운동강도, 즉 어느 정도의 무게를 이용하여 운동할 것인가를 결정해야 한다. 일반적으로 최대 근력을 기준으로 이것의 상대적 비율에 해당하는 무게를 선택하지만, 자신의 최대근력을 측정하기가 어렵기 때문에 근육 또는 근육군이 피로해지기 전까지 최대로 반복할 수 있는 무게를 나타내는 최대반복횟수(repetition maximum, RM)을 주로 이용한다[16]. 다시 말하면 1RM은 최대한의 힘으로 1회 반복할 수 있는 강도를 나타내는 지표로서, 이는 적정무게로 부터 시작하여 점차 무게를 점증시켜 1회에 들어올릴 수 있는 최대중량을 찾아내는 것이다[17]. 저항운동을 실시할 때 운동부하(운동강도)는 흔히 1 RM의 몇 %로 설명된다.

근력은 연령의 증가와 함께 감소하는 것으로 알려져 있는데, 근력은 40~50대 이후 감소하기 시작하여, 매 10년마다 약 10~15%씩 감소하며 20대에 비해 60대와 70대에는 30~39% 정도 근력이 저하되는 것으로 알려져 있다[18-20].

Kwon 등은[21] 남, 여 당뇨병환자 266명을 대상으로

한 연구에서(평균 연령 58세) 측정된 최대근력은 상지는 21.8 ± 10.5 kg, 하지는 97.5 ± 33.1 kg이었다. 특히, 40대 여성의 결과는 상·하지 각각 20.2 ± 5.7 kg, 98.5 ± 29.3 kg, 평균체중은 67.9 ± 5.2 kg이었고, 일반 성인여성 40대를 대상으로 한 Kwon 등의 연구에서[22] 벤치 프레스(bench press)를 이용한 최대근력은 23.5 ± 5.3 kg, 레그 프레스(leg press)를 이용한 최대근력은 142.0 ± 33.9 kg이었다(Table 3). 이는 비슷한 체중에도 일반인에 비해 우리나라 당뇨병환자의 근력, 특히 하지의 근력이 떨어져 있음을 알 수 있었다. 또한, 연령이 증가할수록 최대근력이 감소함을 보고하였다. 남자의 경우 40대에 비해 70대의 최대근력 감소 비율이 상지와 하지에서 각각 33.2%, 36.8%로 감소하였고, 여자의 경우 34.1%, 34.9%로 감소하였다. 하지가 상지의 최대근력에 차지하는 비율로 비교한 결과에서도 통계적으로는 유의하지 않았지만 남자의 경우 연령대가 높아질수록 하지 근력의 낮아지고 여자의 경우 상지 근력이 낮아지는 것으로 보고 하였다(Table 3).

Han 등[23]은 40~60대 제2형 당뇨병환자 177명을 대상으로 Inbody를 통한 근육량과 체스트 프레스와 레그 프레스를 통한 1 RM을 측정한 결과, 최대 근력은 근육량과 체질량지수와 상관관계를 보였다. 이러한 결과는 체질량지수가 증가할수록 근육량이 증가하기 때문이라 하였다. 그러나, 비만도 25 kg/m^2 를 기준으로 군을 나누어 분석하였을 때, 남자의 경우 체질량지수에 상관없이 체질량지수가 증가하면 근육량도 같이 증가하였는데, 여자의 경우에는 체질량지수 25 kg/m^2 이상인 군에서는 체질량지수 증가에 따라 근육량이 증가하는 경향을 보였으나 통계적으로 유의한 상관관계를 보이지 못하였다고 하였다. 즉, 비만한 여자는 체중이 증가해도 그에 비례하여 근육량이 함께 증가하지 않고 지방량이 증가하므로, 비만한 여자

Table 2. Correlation between the duration of physical activity, regional fat and aerobic capacity (adapted from Kwon et al. Korean Diabetes J 2010;34:23-31 [14])

	TFA		VFA		SFA		VO ₂ -AT	
	<i>r</i>	<i>P</i>	<i>r</i>	<i>P</i>	<i>r</i>	<i>P</i>	<i>r</i>	<i>P</i>
Duration of physical activity, min/day								
Light intensity	-0.184	0.358	-0.183	0.361	-0.096	0.635	0.134	0.507
Moderate intensity	-0.484	0.01 ^a	0.305	0.122	-0.531	0.004 ^a	0.343	0.080
High intensity	-0.115	0.568	-0.052	0.797	-0.144	0.474	0.414	0.032 ^a

TFA, total fat area; VFA, visceral fat area; SFA, subcutaneous fat area; VO₂-AT, oxygen consumption rate at the anaerobic threshold.

^a *P*-values < 0.05.

당뇨병환자들에서 근육량을 늘리기 위한 복합운동이 필요하다고 하였다(Fig. 1).

저항 운동의 방법은 최대근력의 20~30% 해당하는 낮은 강도로 많은 횟수를 실시하는 방법과 최대근력의 60~80%의 고강도로 적은 횟수를 실시하는 방법으로 크게 나눌 수 있는데[17], 낮은 강도는 근지구력을, 고강도는 주로 최대 근력을 발달시키지만 당뇨병은 심혈관계 합병증을 유발할 수 있는 위험 요소를 포함하고 있어 고강도보다는 낮은 강도의 저항운동이 더 바람직하다[24,25].

Han 등은[26] 비만한 제2형 당뇨병환자를 대상으로 저항 운동군과 대조군으로 무작위로 배정하여 12주 운동프로그램을 실시하였다. 운동프로그램에서 저항 운동군은 탄력밴드(thera-band, USA)를 이용하여 교육하였는데, 최대근력의 40~50%까지 점진적으로 강도를 올려 12주간 실시하였다. 운동 횟수는 10~15회, 3 set 실시하였다. 운동 빈도는 주당 3회 내원하여 단체로 실시하였으며 준비운동(10분), 본 운동(40분), 정리 운동(10분)순으로 교육하였다. 상체운동은 팔 앞으로 굽히기(bicep curl), 팔 머리 위로 올리기(triceps extension), 팔 가슴위로 들어 올리기(upright row), 팔 앞으로 펴기(shoulder chest press), 앉아서 팔 뒤로

당기기(seated row)로 구성하였고, 몸통운동은 허리 옆으로 숙이기(trunk side bend), 하체운동으로는 무릎 굽혔다 펴기(leg press), 무릎 펴서 위로 들기(hip flexion), 앉아서 무릎 들어올리기(leg flexion), 무릎 펴서 뒤로 차기(leg extension)로 구성하였다[27]. 대조군은 실험기간 12주 동안 운동을 시키지 않은 그룹으로 하였다. 12주간 최대근력의 40~50%에 해당하는 탄력밴드를 이용하여 운동시킨 결과, 총 복부지방은 6.5%, 내장지방은 3.9%, 피하지방은 6.1% 감소하였고, 총 근육량이 3.0%로 증가하였다. 비록 내장 지방의 감소율이 적어 통계적으로 유의하지는 않았지만 감소하는 경향이 있었으며 총 복부 지방량과 피하지방의 감소의 결과를 보면 저항운동도 복부 지방을 감소하기 위한 적당한 운동으로 제시하였다. 최대근력은 저항 운동군에서만 상·하지 모두 유의하게 증가하였고, 심폐능력과 인슐린저항성은 두 군 모두 유의한 변화가 없었다. 이는 비만하지 않은 제2형 당뇨병환자를 대상으로 한 An 등의 연구와 같은 결과로[28] 상·하지 최대근력은 각각 13.2%, 10.2% 통계적으로 유의하게 증가하였으나 심폐능력에는 유의한 변화가 없었다. 미국대학스포츠의학회(American college of sports medicine)에서도 저항운동을 심폐지구력 향상을

Table 3. One repetition maximum (1RM) according to age quartile (adapted from Kwon et al. Korean Diabetes J 2009;33:412-20 [21])

Gender	Limb	Age (yr)	N	Weight (kg)	1 RM	P-value ^a
Men	Upper	40~49	21	68.0 ± 9.5	35.2 ± 11.0	< 0.001
		50~59	32	69.5 ± 10.1	34.6 ± 12.0	
		60~69	22	68.9 ± 11.1	29.8 ± 10.2	
		70+	20	66.8 ± 9.1	23.5 ± 5.7 ^c	
	Lower	40~49	21	68.0 ± 9.5	146.5 ± 27.9	< 0.001
		50~59	32	69.5 ± 10.1	127.0 ± 26.9 ^b	
		60~69	21	68.9 ± 11.1	113.0 ± 36.3	
		70+	20	66.8 ± 9.1	92.5 ± 18.4 ^{b,c}	
Women	Upper	40~49	36	64.0 ± 10.6	20.2 ± 5.7	< 0.001
		50~59	57	64.0 ± 9.6	17.8 ± 5.2 ^b	
		60~69	56	62.8 ± 8.7	14.7 ± 4.0 ^b	
		70+	22	55.5 ± 8.7	13.3 ± 4.2	
	Lower	40~49	36	64.0 ± 10.6	98.5 ± 29.3	< 0.001
		50~59	57	64.0 ± 9.6	89.8 ± 21.1	
		60~69	56	62.8 ± 8.7	77.8 ± 20.7 ^b	
		70+	21	55.5 ± 8.7	64.1 ± 20.2 ^b	

Values are presented as mean ± SD.

^a Difference among age group from ANOVA.

^b Significantly lower than the antecedent age-group.

^c Significantly lower than 40s and 50s.

목적으로 하는 활동으로 권장하지 않는다[17].

혈관 내피세포 기능장애는 순환계 질환의 위험 요인으로 동맥 경화증의 초기 단계에서 주로 발생하며[29], 혈관벽의 이완 요소인 산화질소(nitric oxide; NO)의 생리적인 활용성이 감소되면서 내피세포 의존성 혈관 확장반응(Endothelium dependent vasodilation, Flow-mediated dilatation, FMD)에 장애가 있는 것으로 밝혀졌다. 운동은 활동하는 근육에 혈액을 증가시키며, 혈관 내피세포에서 생성된 산화질소가 혈관 이완작용에 중요한 역할을 한다. 혈관벽에 백혈구나 단핵구가 부착되는 것을 억제하며 혈소판과 혈관벽의 상호작용을 방해하고 혈관 내피세포의 투과성을 감소시키며 혈관 평활근 세포의 증식을 막아 혈관 강도를 감소시키는 작용을 한다. 내피세포 기능장애는 노화과정과 더불어 순환계 질환의 위험 요인과 함께 신체적 활동이 부족하게 되면서 더욱 가속화되어 동맥경화를 악화시키게 되는데 특히 제2형 당뇨병, 이상지질혈증, 고혈압 및 비만환자에서 내피세포 기능이상도 동반된다[30].

Zoppini 등은[31] 6개월 동안 비만한 제2형 당뇨병 환자를 대상으로 유산소운동(50~70% HRR, 60분, 2/주)을 실시하여 혈관 내피세포가 증가하였다고 보고하였다. Hamdy 등도[32] 6개월간 내당능장애와 제2형 당뇨병환자 등을 대상으로 유산소운동을 (60~80% HRmax, 30분, 3/주-적어도 주당 150분) 실시하여 혈관 내피세포의 유의한 향상을 보고하였다. Kwon 등도[33] 40명의 비만한 제2형 당뇨병환자를 12주 동안 중강도 유산소 운동군(다중기록가속도계 4-6의 강도, 1주일에 5회, 60분간의 걷기)과

대조군(평소 활동 유지)으로 나누어 운동을 시킨 후, 상완동맥에서 내피세포 의존성 혈관 확장 반응(Endothelium dependent vasodilation, Flow-mediated dilatation, FMD)을 측정하였다. 12주 후 FMD는 유산소운동군에서 $2.2 \pm 1.9\%$ 향상되어 대조군보다 통계적으로 유의하게 향상되었고($P = 0.002$), 이러한 FMD 변화량은 AT_VO2 변화량과 유의한 상관관계를 보였다($r = 0.342$, $P = 0.033$). 이러한 결과는 12주라는 짧은 기간에도 불구하고 주당 운동 시간이나 회수가 많았기 때문이라 하였다.

Cohen 등은[34] 비만한 제2형 당뇨병환자를 대상으로 점진적 저항성운동을(75~85% 1 RM, 3 set, 8회) 실시했을 때 2개월에는 혈관 내피세포 기능에 유의한 변화가 없었으나 14개월에는 혈관 내피세포 기능이 향상되었다고 보고하였다. 그러나 Kwon 등은[33] 40명의 비만한 제2형 당뇨병환자에서 최대 근력의 40~50%의 강도, 10~15회, 3 set의 밴드 운동을 시킨 저항운동군과 평소 활동량을 유지시킨 대조군으로 무작위 배정후 12주 운동시킨 결과, 저항운동군에서 FMD는 $0.7 \pm 3.6\%$ 향상을 보였으나 대조군보다 통계적으로 유의한 차이는 보이지 못하였다. 이러한 차이는 12주동안 최대근력의 40~50%의 낮은 운동이 혈관 내피세포 기능을 향상시키는 경향은 있으나 통계적으로 유의한 변화를 얻기에는 운동 기간이 짧았기 때문이라 하였다. 따라서 단기간 운동에 의한 혈관 내피세포 기능의 개선을 위해서는 저항 운동보다 유산소 운동이 더 효과적이며, 단기간의 운동을 실시할 경우는 운동 횟수가 많을수록, 혈관 내피세포 기능의 손상이 적은 당뇨병 유병기간이 짧은 환자일수록 운동이 혈관

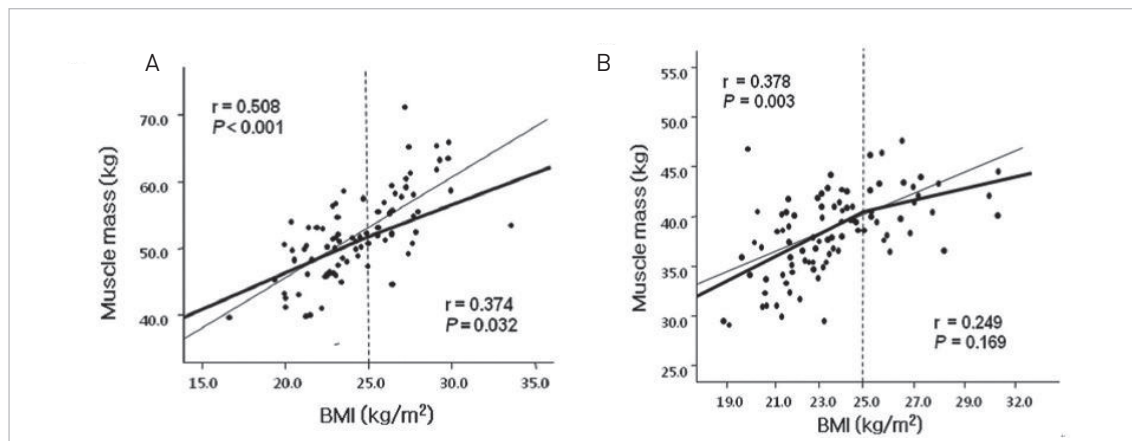


Fig. 1.

Correlation between muscle mass and BMI for (A) men and (B) women; BMI, body mass index (Adapted from Kwon et al. Korean Diabetes J 2009;33:511-7 [23]).

내피세포의 기능 개선에 더 효과적임을 알 수 있다.

참고문헌

1. Kemi OJ, Haram PM, Loennechen JP, Osnes JB, Skomedal T, Wisløff U, Ellingsen O. Moderate vs. high exercise intensity: differential effects on aerobic fitness, cardiomyocyte contractility, and endothelial function. *Cardiovasc Res* 2005;67:161-72.
2. Nagano M, Sasaki H, Kumagai S. Cardiorespiratory fitness and visceral fat impact the relationship between psychological fitness and metabolic syndrome in Japanese males with type 2 diabetes mellitus. *Metab Syndr Relat Disord* 2004;2:172-9.
3. Arsenault BJ, Lachance D, Lemieux I, Almeras N, Tremblay A, Bouchard C, Perusse L, Despres JP. Visceral adipose tissue accumulation, cardiorespiratory fitness, and features of the metabolic syndrome. *Arch Intern Med* 2007;167:1518-25.
4. Chen CN, Chuang LM, Wu YT. Clinical measures of physical fitness predict insulin resistance in people at risk for diabetes. *Phys Ther* 2008;88:1355-64.
5. Bertoli A, Di Daniele N, Ceccobelli M, Ficara A, Girasoli C, De Lorenzo A. Lipid profile, BMI, body fat distribution, and aerobic fitness in men with metabolic syndrome. *Acta Diabetol* 2003;40 Suppl 1:S130-3.
6. Wessel TR, Arant CB, Olson MB, Johnson BD, Reis SE, Sharaf BL, Shaw LJ, Handberg E, Sopko G, Kelsey SF, Pepine CJ, Merz NB. Relationship of physical fitness vs body mass index with coronary artery disease and cardiovascular events in women. *JAMA* 2004;292:1179-87.
7. Sigal RJ, Kenny GP, Wasserman DH, Castaneda-Sceppa C, White RD. Physical activity/exercise and type 2 diabetes: a consensus statement from the American Diabetes Association. *Diabetes Care* 2006;29:1433-8.
8. Weber KT, Janicki JS. Cardiopulmonary exercise testing for evaluation of chronic cardiac failure. *Am J Cardiol* 1985;55:22A-31A.
9. Kawaji K, Fujita Y, Yajima Y, Shirataka M, Kubo H. Usefulness of anaerobic threshold in estimating intensity of exercise for diabetics. *Diabetes Res Clin Pract* 1989;6:303-9.
10. Schneider SH, Khachadurian AK, Amorosa LF, Clemow L, Ruderman NB. Ten-year experience with an exercise-based outpatient life-style modification program in the treatment of diabetes mellitus. *Diabetes Care* 1992;15:1800-10.
11. An KH, Han KA, Min KW. Evaluation of physical capacity and proper calculation method of exercise intensity based on measured maximal heart rate in Korean type 2 diabetics. *J Korean Diabetes Assoc* 2005;29:479-85.
12. Pate RR, Pratt M, Blair SN, Haskell WL, Macera CA, Bouchard C, Buchner D, Ettinger W, Heath GW, King AC, et al. Physical activity and public health. A recommendation from the Centers for Disease Control and Prevention and the American College of Sports Medicine. *JAMA* 1995;273:402-7.
13. Kumahara H, Schutz Y, Ayabe M, Yoshioka M, Yoshitake Y, Shindo M, Ishii K, Tanaka H. The use of uniaxial accelerometry for the assessment of physical-activity-related energy expenditure: a validation study against whole-body indirect calorimetry. *Br J Nutr* 2004;91:235-43.
14. Kwon HR, Min KW, Ahn HJ, Seok HG, Koo BK, Kim HC, Han KA. Effects of aerobic exercise on abdominal fat, thigh muscle mass and muscle strength in type 2 diabetic subject. *Korean Diabetes J* 2010;34:23-31.
15. Sigal RJ, Kenny GP, Wasserman DH, Castaneda-Sceppa C. Physical activity/exercise and type 2 diabetes. *Diabetes Care* 2004;27:2518-39.
16. Shin HK, Lee SH, Tae KS. The correlation between 1RM and MVC for estimating strength. *J Korea Sport Res* 2003;14:409-14.
17. American College of Sports Medicine. ACSM's guidelines for exercise testing and prescription. 7th ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins; 2006.
18. Bassey EJ, Harries UJ. Normal values for handgrip strength in 920 men and women aged over 65 years, and longitudinal changes over 4 years in 620 survivors. *Clin Sci (Lond)* 1993;84:331-7.
19. American College of Sports Medicine. ACSM's guidelines for exercise testing and prescription. 6th ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins; 2000.
20. Frontera WR, Hughes VA, Lutz KJ, Evans WJ. A cross-sectional study of muscle strength and mass in 45- to 78-yr-old men and women. *J Appl Physiol* 1991;71:644-50.
21. Kwon HR, Ku YH, Ahn HJ, Jeong JY, Ryu SR, Koo BK, Han KA, Min KW. Maximal muscle strength deteriorates with age in subjects with type 2 diabetes mellitus. *Korean Diabetes J* 2009;33:412-20.
22. Kwon YC, Park JH, Yun MS, Park SK. The effects of muscular resistance training on abdominal fat and insulin concentration in obese middle-aged women. *J Sport Leis Stud* 2002;17:127-36.
23. Kwon HR, Han KA, Ku YH, Ahn HJ, Koo BK, Min KW. Relationship of maximal muscle strength with body mass index and aerobics capacity in type 2 diabetic patients. *Korean Diabetes J* 2009;33:511-7.
24. Fleck SJ, Kraemer WJ. Designing resistance training programs. 2nd ed. Champaign: Human Kinetics; 1997.
25. Baechle TR, Earle RW. Essentials of strength training and conditioning, 2nd ed. Champaign: Human Kinetics; 2000.
26. Kwon HR, Han KA, Ku YH, Ahn HJ, Koo BK, Kim HC, Min KW. The effects of resistance training on muscle and

- body fat mass and muscle strength in type 2 diabetic women. *Korean Diabetes J* 2010;34:101-10.
27. Dean CM, Richards CL, Malouin F. Task-related circuit training improves performance of locomotor tasks in chronic stroke: a randomized, controlled pilot trial. *Arch Phys Med Rehabil* 2000;81:409-17.
 28. An KH, Min KW, Han KA. The effects of aerobic training versus resistance training in non-obese type 2 diabetics. *J Korean Diabetes Assoc* 2005;29:486-94.
 29. Perticone F, Ceravolo R, Pujia A, Ventura G, Iacopino S, Scozzafava A, Ferraro A, Chello M, Mastroroberto P, Verdecchia P, Schillaci G. Prognostic significance of endothelial dysfunction in hypertensive patients. *Circulation* 2001;104:191-6.
 30. Caballero AE. Endothelial dysfunction in obesity and insulin resistance: a road to diabetes and heart disease. *Obes Res* 2003;11:1278-89.
 31. Zoppini G, Targher G, Zamboni C, Venturi C, Cacciatori V, Moghetti P, Muggeo M. Effects of moderate-intensity exercise training on plasma biomarkers of inflammation and endothelial dysfunction in older patients with type 2 diabetes. *Nutr Metab Cardiovasc Dis* 2006;16:543-9.
 32. Hamdy O, Ledbury S, Mullooly C, Jarema C, Porter S, Ovalle K, Moussa A, Caselli A, Caballero AE, Economides PA, Veves A, Horton ES. Lifestyle modification improves endothelial function in obese subjects with the insulin resistance syndrome. *Diabetes Care* 2003;26:2119-25.
 33. Kwon HR, Min KW, Ahn HJ, Seok HG, Lee JH, Park GS, Han KA. Effect of aerobic exercise vs resistance training on endothelial function in type 2 diabetic women subjects. *Diabetes Metab J*. Forthcoming 2011.
 34. Cohen ND, Dunstan DW, Robinson C, Vulikh E, Zimmet PZ, Shaw JE. Improved endothelial function following a 14-month resistance exercise training program in adults with type 2 diabetes. *Diabetes Res Clin Pract* 2008;79:405-11.