

운동과 제2형 당뇨병: 미국스포츠의학회와 미국당뇨병학회 공동 권고안

차의과학대학교 분당차병원 내과
김경수, 박석원

Exercise and Type 2 Diabetes: ACSM and ADA Joint Position Statement

Kyung Soo Kim, Seok Won Park

Department of Internal Medicine, CHA Bundang Medical Center, School of Medicine CHA University, Seongnam, Korea

Abstract

Diabetes has become a widespread epidemic, primarily due to the increasing prevalence and incidence of type 2 diabetes. Although physical activity (PA) is a key element in the prevention and management of type 2 diabetes, many with this chronic disease do not become or remain regularly active. Most benefits of PA in diabetes management are conferred through acute and chronic improvements in insulin action with both aerobic and resistance training. In this paper, the benefits of physical training are discussed, along with recommendations for varying activities, PA-associated blood glucose management, diabetes prevention, gestational diabetes mellitus, and safe and effective PA practices for patients with diabetes-related complications. The inclusion of an exercise program or other means of increasing overall PA is critical for optimal health in individuals with type 2 diabetes. (J Korean Diabetes 2012;13:61-68)

Keywords: Exercise, Motor activity, Type 2 diabetes mellitus

전 세계적으로 제2형 당뇨병의 유병률과 발생률이 증가하고 있다. 세계보건기구와 국제당뇨병연맹에 의하면 2003년 기준으로 지구상에는 1억 9,400만 명의 당뇨병환자가 있고 2025년에는 3억 명에 이를 것으로 추산하고 있다[1]. 우리나라의 경우도 2007~2009년도에 시행된 제4기 국민영양건강조사 자료에 의하면 9.6%의 유병률을 보이고 있으며 2030년도에는 당뇨병환자가 약 550만 명까지 증가할 것으로 추정된다[2,3]. 제2형 당뇨병은 심혈관계 질환, 실명, 신장 및 신경질환 등의 중요한 원인으로서 운동과 규칙적인 신체활동이 당뇨병과 합병증을 예방하고 지연시킬 수 있음에도 불구하고 대부분의 제2형 당뇨병환자들이 이를 지키지는 쉽지 않다[4]. 본 고에서는 운동과 제2형 당뇨병에 대해 미국스포츠의학회(American College of Sports Medicine, ACSM)와 미국당뇨병학회(American Diabetes Association, ADA)의 Joint position statement를 중심으로 알아보기로 한다(Table 1).

신체활동(physical activity)은 '골격근의 수축으로 인해 에너지 소비가 일어나는 신체의 움직임'으로 정의되고 운동(exercise)은 '체력을 증진시킬 목적으로 시행하는 일련의 신체활동'이라고 정의하지만 흔히 두 용어는 혼용되어 사용된다.

운동의 급성기 효과 (Acute Effects of Exercise)

정상인에서 혈당은 교감신경계와 내분비계의 상호작용에 의해 유지된다. 근육이 수축할 때 혈중 포도당의 흡수가 증가되는데, 간에서의 글리코겐분해와 포도당신합성, 유리지방산과 같은 대체 연료에 의해서 혈당은 일정하게 유지된다. 운동 초기 근육은 글리코겐을 주요 에너지원으로 사용하고, 글리코겐이 고갈되어 갈수록 유리지방산과 혈중 포도당을 더 많이 흡수하고 사용하게 된다. 운동에 필요한 포도당의

생성은 간의 글리코겐 분해로부터 이루어지지만 운동 시간이 길어짐에 따라 포도당신합성에 의한 생산량이 많아 지게 된다. 여러 인자들이 운동할 때 필요한 연료의 사용에 영향을 미치지만 가장 중요한 것은 운동의 강도와 지속시간이다[5-9].

근육에 의한 포도당 흡수를 촉진시키는 기전은 두 가지이다. 식후와 휴식 시에는 포도당 흡수가 인슐린 의존적이고 이는 근육의 글리코겐 저장에 필요한 포도당을 보충하는 역할을 한다. 운동 중에는 근육 수축으로 일어나는 글리코겐 분해로 인한 부족분을 보충하기 위해 포도당 흡수가 증가한다. 두 가지 경로가 다르므로 제2형 당뇨병환자에게는 인슐린 의존적인 포도당 흡수에 장애가 생기지만 근육의 수축에 의한 포도당 흡수는 정상적으로 유지된다. 근육의 수축에 의한 혈당 흡수는 운동 후 수 시간 정도 유지되고, 인슐린 매개에 의한 혈당 흡수는 좀 더 오랫동안 높게 유지된다[9-12].

인슐린과 근육 수축에 의한 포도당 흡수 모두 근육 내에 주로 존재하는 GLUT4에 의해 일어난다. 인슐린은 여러 복잡한 신호전달체계를 거쳐 GLUT4의 전위를 유발하는데 반해 근육 수축은 5'-AMP-activated protein kinase의 활성화를 통해 GLUT4의 전위를 유발한다. 제2형 당뇨병환자는 인슐린에 의한 GLUT4의 전위에 장애가 있지만, 유산소 운동과 저항성 운동은 모두 제2형 당뇨병환자에서도 GLUT4를 증가시키고 포도당의 흡수를 촉진한다[10,13-15].

정상인에서 중등도 강도의 유산소 운동을 하면 말초에서 포도당 흡수가 증가하는 만큼 간에서의 포도당 생성도 증가하여 혈당은 일정하게 유지된다. 그러나 제2형 당뇨병환자가 중등도 강도의 유산소 운동을 하면 말초에서 사용하는 포도당의 양이 간에서의 포도당 합성량보다 많아 혈당이 감소하게 되는데, 동시에 혈중 인슐린의 분비량도 낮아지기 때문에 인슐린 분비 촉진제나 인슐린을 사용하는 경우를 제외하고는 운동으로 인해 저혈당까지는 잘 발생하지 않는다. 유산소 운동이 인슐린 작용에 주는 영향은 운동의 강도, 지속시간, 식이에 따라 다르지만 대개 24~72시간 가량 지속된다. 중등도 유산소 운동은 총 지속시간이 같다면 한 번에 하든 여러 차례에 나누어 하든 같은 효과를 나타낸다. 짧은 고강도의 유산소 운동은 혈중 카테콜아민의 농도가 증가함으로써 포도당의 생성을 높여 고혈당을 유발시킬 수 있고 이러한 고혈당은 1-2시간 정도 지속될 수 있다[16-18].

제2형 당뇨병환자가 1회의 저항성 운동을 시행하였을 때 혈당과 인슐린 작용에 어떠한 효과를 나타내는지는 아직까지 알려져 있지 않다. 다만 공복혈당 장애가 있는

사람에서 운동 후 24시간 동안 혈당이 감소하였다는 연구 결과가 있다[19].

저항성 운동으로 근육량이 늘거나 유산소 운동으로 근육 내로 포도당을 흡수시키는 인슐린의 작용을 강화시키는 것 모두 혈당을 낮추는데 효과적이기 때문에 유산소 운동과 저항성 운동을 모두 포함하는 복합운동을 하는 것이 단독으로 운동하는 것 보다 혈당 조절에 더 효과적일 것으로 생각되어 왔다. 그러나 병합운동으로 진행된 연구들은 각각의 운동만으로 진행된 연구보다 운동의 지속시간이 길었고 칼로리 소모 또한 많아 이러한 요소들을 통제한 후 복합운동이 혈당 조절에 미치는 영향에 대한 추가적인 연구가 필요한 실정이다. 태극권이나 요가와 같은 정도의 운동 또한 혈당을 개선시키는 효과가 있을 것으로 기대되었지만 아직까지는 상반된 결과를 보이는 연구들이 많다[20-22].

제2형 당뇨병환자의 예방과 치료에서 운동을 함으로서 얻어지는 이익은 주로 인슐린의 급성 및 만성 작용을 개선함으로써 나타나는데, 경도나 중등도 강도의 운동의 경우 혈당 강하효과는 2시간에서 72시간까지 지속된다. 이러한 혈당 강하효과는 운동의 지속시간, 강도, 운동 전 조절상태, 훈련 상태에 따라 다르다. 제2형 당뇨병환자와 비만한 사람은 간내 지방함량이 증가되어 있어 간과 말초에서 인슐린 작용의 저하를 초래하는데, 유산소 운동 후 나타나는 인슐린 작용의 개선은 주로 말초에서의 인슐린 작용 강화에 의한 것으로 생각된다[23-25].

운동의 만성적 효과 (Chronic Effects of Exercise)

유산소 운동은 당뇨병의 예방과 치료를 위해 오래 전부터 처방되어 왔다. 제2형 당뇨병을 가진 환자가 1주간의 유산소 운동을 하는 것만으로도 인슐린감수성을 개선시킬 수 있고, 중등도 강도 이상의 유산소 운동은 수 시간에서 수 일까지 인슐린감수성을 개선시킬 수 있다. 운동을 하면 포도당 대사와 인슐린 신호전달에 관여하는 단백질의 발현이나 작용을 증가시킴으로서 인슐린에 대한 근육의 반응을 개선시키는 것이다. 지방 산화 또한 개선된 인슐린 작용 중의 하나이고 운동은 근육 내 지방저장과 지방 산화능력을 증대시킨다[15,25,26].

저항성 운동 또한 제2형 당뇨병에서 혈당을 개선시키고 인슐린 작용을 증가시킨다. 한 연구에 따르면 새롭게 진단받은 노인 제2형 당뇨병환자에게 16주간 2주에 한 번씩 저항성 운동을 시행한 결과 인슐린 작용이 46.3% 증가하였고, 공복혈당은 7.1% 감소하였으며 복부지방이 의미있게 감소하였다[27,28].

Table 1. Summary of ACSM evidence and ADA clinical practice recommendation statements

	ACSM evidence and ADA clinical practice recommendation statements	ACSM evidence category (A, highest; D, lowest)/ ADA level of evidence (A, highest; E, lowest)
Acute effects of exercise	· PA causes increased glucose uptake into active muscles balanced by hepatic glucose production, with a greater reliance on carbohydrate to fuel muscular activity as intensity increases.	A/a
	· Insulin-stimulated BG uptake into skeletal muscle predominates at rest and is impaired in type 2 diabetes, while muscular contractions stimulate BG transport via a separate, additive mechanism not impaired by insulin resistance or type 2 diabetes.	A/a
	· Although moderate aerobic exercise improves BG and insulin action acutely, the risk of exercise-induced hypoglycemia is minimal without use of exogenous insulin or insulin secretagogues. Transient hyperglycemia can follow intense PA.	C/a
	· The acute effects of resistance exercise in type 2 diabetes have not been reported, but result in lower fasting BG levels for at least 24 hr postexercise in individuals with IFG.	C/a
	· A combination of aerobic and resistance exercise training may be more effective in improving BG control than either alone; however, more studies are needed to determine whether total caloric expenditure, exercise duration, or exercise mode is responsible.	B/a
	· Milder forms of exercise (e.g., tai chi, yoga) have shown mixed results.	C/a
	· PA can result in acute improvements in systemic insulin action lasting from 2 to 72 hr.	A/a
Chronic effects of exercise training	· Both aerobic and resistance training improve insulin action, BG control, and fat oxidation and storage in muscle.	B/a
	· Resistance exercise enhances skeletal muscle mass.	A/a
	· Blood lipid responses to training are mixed but may result in a small reduction in LDL cholesterol with no change in HDL cholesterol or triglycerides. Combined weight loss and PA may be more effective than aerobic exercise training alone on lipids.	C/a
	· Aerobic training may slightly reduce systolic BP, but reductions in diastolic BP are less common, in individuals with type 2 diabetes.	C/a
	· Observational studies suggest that greater PA and fitness are associated with a lower risk of all-cause and CV mortality.	C/a
	· Recommended levels of PA may help produce weight loss. However, up to 60 min/day may be required when relying on exercise alone for weight loss.	C/a
	· Individuals with type 2 diabetes engaged in supervised training exhibit greater compliance and BG control than those undertaking exercise training without supervision.	B/a
	· Increased PA and physical fitness can reduce symptoms of depression and improve health-related QOL in those with type 2 diabetes.	B/a
PA and prevention of type 2 diabetes	· At least 2.5 hr/wk of moderate to vigorous PA should be undertaken as part of lifestyle changes to prevent type 2 diabetes onset in high-risk adults.	A/A
PA in prevention and control of GDM	· Epidemiological studies suggest that higher levels of PA may reduce risk of developing GDM during pregnancy.	C/a
	· RCTs suggest that moderate exercise may lower maternal BG levels in GDM.	B/a
Preexercise evaluation	· Before undertaking exercise more intense than brisk walking, sedentary persons	C/C

	with type 2 diabetes will likely benefit from an evaluation by a physician. ECG exercise stress testing for asymptomatic individuals at low risk of CAD is not recommended but may be indicated for higher risk.	
Recommended PA participation for persons with type 2 diabetes	<ul style="list-style-type: none"> · Persons with type 2 diabetes should undertake at least 150 min/wk of moderate to vigorous aerobic exercise spread out during at least 3 days during the week, with no more than 2 consecutive days between bouts of aerobic activity. B/B · In addition to aerobic training, persons with type 2 diabetes should undertake moderate to vigorous resistance training at least 2-3 day/wk. B/B · Supervised and combined aerobic and resistance training may confer additional health benefits, although milder forms of PA (such as yoga) have shown mixed results. Persons with type 2 diabetes are encouraged to increase their total daily unstructured PA. Flexibility training may be included but should not be undertaken in place of other recommended types of PA. B/C 	
Exercise with nonoptimal BG control	<ul style="list-style-type: none"> · Individuals with type 2 diabetes may engage in PA, using caution when exercising with BG levels exceeding 300 mg/dL (16.7 mmol/L) without ketosis, provided they are feeling well and are adequately hydrated. C/E · Persons with type 2 diabetes not using insulin or insulin secretagogues are unlikely to experience hypoglycemia related to PA. Users of insulin and insulin secretagogues are advised to supplement with carbohydrate as needed to prevent hypoglycemia during and after exercise. C/C 	
Medication effects on exercise responses	<ul style="list-style-type: none"> · Medication dosage adjustments to prevent exercise-associated hypoglycemia may be required by individuals using insulin or certain insulin secretagogues. Most other medications prescribed for concomitant health problems do not affect exercise, with the exception of β-blockers, some diuretics, and statins. C/C 	
Exercise with long-term complications of diabetes	<ul style="list-style-type: none"> · Known CVD is not an absolute contraindication to exercise. Individuals with angina classified as moderate or high risk should likely begin exercise in a supervised cardiac rehabilitation program. PA is advised for anyone with PAD. C/C · Individuals with peripheral neuropathy and without acute ulceration may participate in moderate weight-bearing exercise. Comprehensive foot care including daily inspection of feet and use of proper footwear is recommended for prevention and early detection of sores or ulcers. Moderate walking likely does not increase risk of foot ulcers or reulceration with peripheral neuropathy. B/B · Individuals with CAN should be screened and receive physician approval and possibly an exercise stress test before exercise initiation. Exercise intensity is best prescribed using the HR reserve method with direct measurement of maximal HR. C/C · Individuals with uncontrolled proliferative retinopathy should avoid activities that greatly increase intraocular pressure and hemorrhage risk. D/E · Exercise training increases physical function and QOL in individuals with kidney disease and may even be undertaken during dialysis sessions. The presence of microalbuminuria per se does not necessitate exercise restrictions. C/C 	
Adoption and maintenance of exercise by persons with diabetes	<ul style="list-style-type: none"> · Efforts to promote PA should focus on developing self-efficacy and fostering social support from family, friends, and health care providers. Encouraging mild or moderate PA may be most beneficial to adoption and maintenance of regular PA participation. Lifestyle interventions may have some efficacy in promoting PA behavior. B/B 	

ACSM, American College of Sports Medicine; ADA, American Diabetes Association; PA, physical activity; IFG, impaired fasting glucose; BG, blood glucose; LDL, low density lipoprotein; HDL, high density lipoprotein; CV, cardiovascular; QOL, quality of life; GDM, gestational diabetes mellitus; RCT, randomized controlled trial; CAD, coronary artery disease; PAD, peripheral artery disease; CAN, cardiovascular autonomic neuropathy; HR, heart rate.

^aNo recommendation given.

Adapted from Colberg et al. *Diabetes Care* 2010;33:e147-67 [37].

운동 시 혈중 지질 중 LDL 콜레스테롤은 약간 감소하고 중성지방과 HDL 콜레스테롤 수치에는 변화가 없다. Look AHEAD (Action for Health in Diabetes) 연구에서 집중적인 생활습관 개선을 시행한 환자군에서 대조군보다 중성지방이 감소하고, HDL 콜레스테롤이 증가하였고, LDL 콜레스테롤은 양 군에서 모두 감소하였다고 보고하였는데 대부분의 생활 습관 개선은 약 5kg 가량의 체중 감량을 동반하므로 전적으로 운동에 의한 지질개선으로 보기는 어렵다. 이와 같이 혈중 지질의 개선을 위해서는 유산소 운동만 하는 것보다 운동과 체중감량을 병행하는 것이 더 효과적이다[29].

고혈압은 제2형 당뇨병환자의 60% 이상에서 동반되는 흔한 질환으로 고혈압과 제2형 당뇨병이 동반되는 경우에는 각각의 질환이 단독으로 있을 경우보다 혈관 합병증의 위험이 66~100% 더 높아진다. 정상인에서 유산소 운동과 저항성 운동 모두 혈압을 감소시키지만 유산소 운동이 약간 더 효과가 좋은 것으로 나타났고, 당뇨병환자를 대상으로 시행한 몇몇 관찰 연구에서도 두 운동 모두 혈압을 감소시키는 것으로 나타났다. 그러나 여러 연구에서 제2형 당뇨병환자가 유산소 운동을 하면 수축기 혈압은 감소하지만 이완기 혈압에는 변화가 거의 없는 것으로 나타났다[30,31].

운동을 하는 것이 심혈관계 사망률과 총사망률을 낮춘다는 사실은 이미 널리 알려져 있다. 운동은 체중감량에 효과적이지만, 운동으로만 체중감량을 시도한다면 하루에 적어도 60분 이상 운동해야 한다. 또한 제2형 당뇨병환자가 운동을 할 때에는 전문적인 트레이너에 의해 관리 감독을 받는 것이 운동의 순응도와 혈당 개선에 모두 효과적이다. 일반인보다 더 우울증 등의 증상이 심한 제2형 당뇨병환자들에서 규칙적인 운동을 하는 것이 우울증도 감소시키고 삶의 질도 개선시킨다[32-35].

제2형 당뇨병환자에서의 운동 권고안

미국당뇨병학회(ADA)는 제2형 당뇨병환자가 최대 심박수의 50~70%인 중등도 강도의 유산소 운동을 일주일에 적어도 150분 이상, 3일 이상 해야 하고 연속해서 2일 이상 쉬지 않도록 하고, 금기사항이 없다면 저항성 운동도 일주일에 3회 이상 시행하도록 권고하고 있다[36].

이번 미국스포츠의학회(ACMS)와 미국당뇨병학회(ADA)의 Joint position statement에서는 운동으로 인한 인슐린 작용의 개선이 일시적이기 때문에 유산소 운동은 적어도 1주에 3일 이상 해야 하고 연속해서 2일 이상 쉬지 않아야 한다고 권고하였다. 또한 유산소

운동은 빠르게 걷기 등의 중등도 강도(40-60% of VO_{2max})로 이루어져야 하며, 고강도의 운동(> 60% of VO_{2max})도 역시 부가적인 이득이 있었고, 메타분석에서는 운동 강도가 운동의 양보다 혈당 개선에 더 효과적임이라고 하였다. 운동 시간은 적어도 1주당 150분 이상 시행하는 것이 좋다. 참고로 최근의 미국스포츠의학회(ACMS)와 미국심장학회(American Heart Association, AHA) 권고안은 중등도 강도의 운동 150분(30분, 1주당 5일) 혹은 고강도의 운동 60분(20분, 3일)이다[37,38].

저항성 운동은 적어도 일주일에 연속적이지 않게 2일 이상 혹은 3일 정도 유산소 운동과 함께 하는 것을 권장한다. 중등도(1 repetition maximum[1-RM]의 50%) 또는 고강도(1-RM 의 75~80%)의 운동을 시행하고, 각 운동 세션은 주요 근육을 포함하는 5~10가지 운동으로 각 세트당 10~15회 반복한다. 한 세트로 거의 지칠 정도로 3~4세트 반복하는 것을 권장한다[37].

요가와 같은 경도의 운동은 아직까지 명확하게 혈당개선효과가 있는 것으로 나타나지는 않았지만 개별화된 전문가의 관리를 받으면서 유산소 운동과 저항성 운동이 모두 포함된 복합운동을 하는 것이 혈당개선 외에도 추가적으로 건강에 이득이 있다. 제2형 당뇨병환자는 체계화되지 않은 운동이라도 매일의 운동량을 늘리는 것이 좋은데, 유연성 운동 또한 체계화되지 않은 운동에 포함되지만 이미 권고되었던 유산소 운동이나 저항성 운동을 대신하지는 못한다[37,39].

운동과 제2형 당뇨병의 예방

규칙적인 운동은 혈당을 개선시키고 제2형 당뇨병의 발생을 예방하거나 지연시킨다. 빠르게 걷기와 같은 중등도 강도의 운동이 제2형 당뇨병 발생 위험을 감소시키고, 대부분의 연구에서 현재의 권고안인 1주에 2.5시간, 중등도 강도의 유산소 운동을 하는 것이 당뇨병의 발생을 예방할 수 있다는 결과를 내놓았다. 10개의 코호트 연구에 대한 메타분석에서 중등도 강도의 운동을 권고안대로 시행하였을 때 제2형 당뇨병의 발생 위험도는 0.70 (0.58-0.84)으로 낮아지는 것으로 나타났다[40].

당뇨병의 유병률과 발생률이 전세계적으로 높아짐에 따라 임신성 당뇨병으로 진단되는 여성들 중에서 당뇨병으로 이환될 위험도 점차 높아지고 있는데, 운동이 임신성 당뇨병과 현성 당뇨병으로의 이환을 예방하기 위한 도구로 인식되고 있다. 여러 역학조사에

따르면 운동이 임신동안 임신성 당뇨병의 위험을 줄여준다고 알려져 있다. 산과적 합병증이 없는 산모의 경우 하루 30분 정도 빠르게 걷기 등의 중등도 강도의 운동을 하는 것이 권고된다. 또한 중등도 강도의 운동을 하는 것은 임신성 당뇨병환자에서 산모의 혈당을 개선시키는 효과가 있다고 한다[41,42].

운동 전 평가

평소에 주로 앉아서 일하는 제2형 당뇨병을 가진 환자가 빠르게 걷기보다 더 강도가 센 운동을 시작하려면 의료진의 상담과 평가가 필요하다. 모든 환자에서는 아니지만 관상동맥질환의 고위험군 환자에서는 운동부하 심전도검사 등의 운동 전 평가가 이루어져야 한다[36,43].

운동을 시작하기 전에 케톤증의 증상이 있고 혈당이 250 mg/dL 이상일 때는 운동을 시작하지 말아야 하고, 케톤증의 증상이 없더라도 혈당이 300 mg/dL 이상일 때 운동을 하는 것은 주의를 요한다. 또한 운동 전 혈당이 100 mg/dL 미만일 때에는 탄수화물을 섭취하고 운동을 시작하는 것이 좋다. 인슐린이나 인슐린 분비 촉진제를 사용하지 않는 제2형 당뇨병환자는 운동 시 저혈당에 빠질 위험이 거의 없지만, 인슐린이나 인슐린 분비 촉진제를 사용하는 환자는 운동 중이나 운동 후 생길 수 있는 저혈당을 예방하기 위해 탄수화물 보충이 필요하거나 용량 조절이 필요하다. 베타차단제, 몇몇 이노제, 스타틴 등을 제외한다면 대부분의 동반 질환의 조절을 위해 복용하는 약들은 운동에 영향을 주지 않는다[43,44].

만성합병증을 동반한 경우의 운동

제2형 당뇨병환자에게 심혈관질환의 과거력이 운동의 절대적 금기가 되지는 않는다. 그러나 관상동맥질환을 동반한 심혈관질환의 중등도 또는 고위험군 환자는 심장재활프로그램의 감독하에 운동을 시작해야 한다. 말초혈관질환이 있는 환자의 경우에는 운동을 하는 것이 삶의 질을 개선시키고, 운동능력을 향상시키는 등의 효과가 있으므로 운동을 해야 한다. 중등도의 걷기는 말초신경병증이 있는 환자에서 발의 궤양 위험성이나 재발을 증가시키지 않는다. 발의 급성 궤양이 없이 말초신경병증이 있는 환자는 중등도의 체중부하 운동 또한 시행할 수 있다. 중등도의 유산소 운동은 자율신경병증이 있는 제2형 당뇨병환자에서 자율신경계의 기능을 향상시키지만, 무증상의 심근색증이 있을 수 있으므로 운동 시작 전 담당의의

승인이 있어야 하고 운동부하 검사 등이 필요할 수 있다. 조절되지 않은 증식성 망막병증이 있는 환자는 안구 내압 증가와 출혈의 위험을 높이는 운동을 피해야 한다. 미세알부민뇨가 있어도 운동을 제한할 필요는 없고, 당뇨병성 신증이 있는 환자에서 운동은 운동능력과 삶의 질을 향상시킨다[45-50].

결론

운동은 인슐린저항성, 당뇨병 전단계, 임신성 당뇨병, 제2형 당뇨병과 합병증을 예방하고 조절하는데 중요한 역할을 한다. 유산소 운동과 저항성 운동 모두 인슐린 작용을 개선시키고 혈당, 지질, 혈압, 심혈관계 위험, 사망률, 삶의 질 등을 개선시킨다. 적절한 예방조치를 취한다면 대부분의 제2형 당뇨병환자도 안전하게 운동을 할 수 있으므로 규칙적이고 지속적으로 신체활동을 증가시키는 운동 프로그램이 제2형 당뇨병환자의 건강을 지키는데 매우 중요하다.

참고문헌

1. Sicree R, Shaw J, Zimmet P. Diabetes atlas. 2nd ed. Brussels: International Diabetes Federation; 2003. p.15-71.
2. Korea Diabetes Association. Diabetes in Korea 2007. Report of task force team for basic statistical study of Korean diabetes mellitus. Seoul: Korean Diabetes Association; 2007.
3. Kim DJ. The epidemiology of diabetes in Korea. Diabetes Metab J 2011;35:303-8.
4. Morrato EH, Hill JO, Wyatt HR, Ghushchyan V, Sullivan PW. Physical activity in U.S. adults with diabetes and at risk for developing diabetes, 2003. Diabetes Care 2007;30:203-9.
5. Suh SH, Paik IY, Jacobs K. Regulation of blood glucose homeostasis during prolonged exercise. Mol Cells 2007;23:272-9.
6. Wahren J, Ekberg K. Splanchnic regulation of glucose production. Annu Rev Nutr 2007;27:329-45.
7. Bergman BC, Butterfield GE, Wolfel EE, Casazza GA, Lopaschuk GD, Brooks GA. Evaluation of exercise and training on muscle lipid metabolism. Am J Physiol 1999;276(1 Pt 1):E106-17.
8. Kang J, Kelley DE, Robertson RJ, Goss FL, Suminski RR, Utter AC, Dasilva SG. Substrate utilization and glucose turnover during exercise of varying intensities in individuals with NIDDM. Med Sci Sports Exerc 1999;31:82-9.
9. Bajpeyi S, Tanner CJ, Slentz CA, Duscha BD, McCartney JS, Hickner RC, Kraus WE, Houmard JA. Effect of exercise intensity and volume on persistence of insulin

- sensitivity during training cessation. *J Appl Physiol* 2009;106:1079-85.
10. Goodyear LJ, Kahn BB. Exercise, glucose transport, and insulin sensitivity. *Annu Rev Med* 1998;49:235-61.
 11. Ploug T, Galbo H, Richter EA. Increased muscle glucose uptake during contractions: no need for insulin. *Am J Physiol* 1984;247(6 Pt 1):E726-31.
 12. Richter EA, Ploug T, Galbo H. Increased muscle glucose uptake after exercise. No need for insulin during exercise. *Diabetes* 1985;34:1041-8.
 13. Kennedy JW, Hirshman MF, Gervino EV, Ocel JV, Forse RA, Hoening SJ, Aronson D, Goodyear LJ, Horton ES. Acute exercise induces GLUT4 translocation in skeletal muscle of normal human subjects and subjects with type 2 diabetes. *Diabetes* 1999;48:1192-7.
 14. Musi N, Fujii N, Hirshman MF, Ekberg I, Fröberg S, Ljungqvist O, Thorell A, Goodyear LJ. AMP-activated protein kinase (AMPK) is activated in muscle of subjects with type 2 diabetes during exercise. *Diabetes* 2001;50:921-7.
 15. Wang Y, Simar D, Fiatarone Singh MA. Adaptations to exercise training within skeletal muscle in adults with type 2 diabetes or impaired glucose tolerance: a systematic review. *Diabetes Metab Res Rev* 2009;25:13-40.
 16. Boule NG, Weisnagel SJ, Lakka TA, Tremblay A, Bergman RN, Rankinen T, Leon AS, Skinner JS, Wilmore JH, Rao DC, Bouchard C; HERITAGE Family Study. Effects of exercise training on glucose homeostasis: the HERITAGE Family Study. *Diabetes Care* 2005;28:108-14.
 17. Baynard T, Franklin RM, Goulopoulou S, Carhart R Jr, Kanaley JA. Effect of a single vs multiple bouts of exercise on glucose control in women with type 2 diabetes. *Metabolism* 2005;54:989-94.
 18. Marliss EB, Vranic M. Intense exercise has unique effects on both insulin release and its roles in glucoregulation: implications for diabetes. *Diabetes* 2002;51 Suppl 1:S271-83.
 19. Black LE, Swan PD, Alvar BA. Effects of intensity and volume on insulin sensitivity during acute bouts of resistance training. *J Strength Cond Res* 2010;24:1109-16.
 20. Cuff DJ, Meneilly GS, Martin A, Ignaszewski A, Tildesley HD, Frohlich JJ. Effective exercise modality to reduce insulin resistance in women with type 2 diabetes. *Diabetes Care* 2003;26:2977-82.
 21. Sigal RJ, Kenny GP, Boulé NG, Wells GA, Prud'homme D, Fortier M, Reid RD, Tulloch H, Coyle D, Phillips P, Jennings A, Jaffey J. Effects of aerobic training, resistance training, or both on glycemic control in type 2 diabetes: a randomized trial. *Ann Intern Med* 2007;147:357-69.
 22. Innes KE, Vincent HK. The influence of yoga-based programs on risk profiles in adults with type 2 diabetes mellitus: a systematic review. *Evid Based Complement Alternat Med* 2007;4:469-86.
 23. Boule NG, Haddad E, Kenny GP, Wells GA, Sigal RJ. Effects of exercise on glycemic control and body mass in type 2 diabetes mellitus: a meta-analysis of controlled clinical trials. *JAMA* 2001;286:1218-27.
 24. Kirwan JP, Solomon TP, Wojta DM, Staten MA, Holloszy JO. Effects of 7 days of exercise training on insulin sensitivity and responsiveness in type 2 diabetes mellitus. *Am J Physiol Endocrinol Metab* 2009;297:E151-6.
 25. Winnick JJ, Sherman WM, Habash DL, Stout MB, Failla ML, Belury MA, Schuster DP. Short-term aerobic exercise training in obese humans with type 2 diabetes mellitus improves whole-body insulin sensitivity through gains in peripheral, not hepatic insulin sensitivity. *J Clin Endocrinol Metab* 2008;93:771-8.
 26. Kelley GA, Kelley KS. Effects of aerobic exercise on lipids and lipoproteins in adults with type 2 diabetes: a meta-analysis of randomized-controlled trials. *Public Health* 2007;121:643-55.
 27. 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.
 28. Ibañez J, Izquierdo M, Argüelles I, Forga L, Larión JL, García-Unciti M, Idoate F, Gorostiaga EM. Twice-weekly progressive resistance training decreases abdominal fat and improves insulin sensitivity in older men with type 2 diabetes. *Diabetes Care* 2005;28:662-7.
 29. Look AHEAD Research Group, Pi-Sunyer X, Blackburn G, Brancati FL, Bray GA, Bright R, Clark JM, Curtis JM, Espeland MA, Foreyt JP, Graves K, Haffner SM, Harrison B, Hill JO, Horton ES, Jakicic J, Jeffery RW, Johnson KC, Kahn S, Kelley DE, Kitabchi AE, Knowler WC, Lewis CE, Maschak-Carey BJ, Montgomery B, Nathan DM, Patricio J, Peters A, Redmon JB, Reeves RS, Ryan DH, Safford M, Van Dorsten B, Wadden TA, Wagenknecht L, Wesche-Thobaben J, Wing RR, Yanovski SZ. Reduction in weight and cardiovascular disease risk factors in individuals with type 2 diabetes: one-year results of the look AHEAD trial. *Diabetes Care* 2007;30:1374-83.
 30. Mourad JJ, Le Jeune S. Blood pressure control, risk factors and cardiovascular prognosis in patients with diabetes: 30 years of progress. *J Hypertens Suppl* 2008;26:S7-13.
 31. Wagner H, Degerblad M, Thorell A, Nygren J, Ståhle A, Kuhl J, Brismar TB, Ohrvik J, Efendic S, Båvenholm PN. Combined treatment with exercise training and acarbose improves metabolic control and cardiovascular risk factor profile in subjects with mild type 2 diabetes. *Diabetes Care* 2006;29:1471-7.
 32. Blair SN, Kohl HW 3rd, Barlow CE, Paffenbarger RS Jr,

- Gibbons LW, Macera CA. Changes in physical fitness and all-cause mortality. A prospective study of healthy and unhealthy men. *JAMA* 1995;273:1093-8.
33. Ross R, Dagnone D, Jones PJ, Smith H, Paddags A, Hudson R, Janssen I. Reduction in obesity and related comorbid conditions after diet-induced weight loss or exercise-induced weight loss in men. A randomized, controlled trial. *Ann Intern Med* 2000;133:92-103.
 34. Castaneda C, Layne JE, Munoz-Orians L, Gordon PL, Walsmith J, Foldvari M, Roubenoff R, Tucker KL, Nelson ME. A randomized controlled trial of resistance exercise training to improve glycemic control in older adults with type 2 diabetes. *Diabetes Care* 2002;25:2335-41.
 35. Egede LE, Zheng D. Independent factors associated with major depressive disorder in a national sample of individuals with diabetes. *Diabetes Care* 2003;26:104-11.
 36. Blair SN, Kohl HW 3rd, Barlow CE, Paffenbarger RS Jr, Gibbons LW, Macera CA. Changes in physical fitness and all-cause mortality. A prospective study of healthy and unhealthy men. *JAMA* 1995;273:1093-8.
 37. Colberg SR, Sigal RJ, Fernhall B, Regensteiner JG, Blissmer BJ, Rubin RR, Chasan-Taber L, Albright AL, Braun B; American College of Sports Medicine; American Diabetes Association. Exercise and type 2 diabetes: the American College of Sports Medicine and the American Diabetes Association: joint position statement. *Diabetes Care* 2010;33:e147-67.
 38. Haskell WL, Lee IM, Pate RR, Powell KE, Blair SN, Franklin BA, Macera CA, Heath GW, Thompson PD, Bauman A. Physical activity and public health: updated recommendation for adults from the American College of Sports Medicine and the American Heart Association. *Med Sci Sports Exerc* 2007;39:1423-34.
 39. Physical Activity Guidelines Advisory Committee. Physical activity guidelines advisory committee report, 2008. Washington, DC; U.S. Department of Health and Human Services; 2008. p.683.
 40. Jeon CY, Lokken RP, Hu FB, van Dam RM. Physical activity of moderate intensity and risk of type 2 diabetes: a systematic review. *Diabetes Care* 2007;30:744-52.
 41. Dyck RF, Sheppard MS, Cassidy H, Chad K, Tan L, Van Vliet SH. Preventing NIDDM among aboriginal people: is exercise the answer? Description of a pilot project using exercise to prevent gestational diabetes. *Int J Circumpolar Health* 1998;57 Suppl 1:375-8.
 42. Dempsey JC, Sorensen TK, Williams MA, Lee IM, Miller RS, Dashow EE, Luthy DA. Prospective study of gestational diabetes mellitus risk in relation to maternal recreational physical activity before and during pregnancy. *Am J Epidemiol* 2004;159:663-70.
 43. American Diabetes Association. Physical activity/exercise and diabetes. *Diabetes Care* 2004;27 Suppl 1:S58-62.
 44. Larsen JJ, Dela F, Madsbad S, Vibe-Petersen J, Galbo H. Interaction of sulfonylureas and exercise on glucose homeostasis in type 2 diabetic patients. *Diabetes Care* 1999;22:1647-54.
 45. Pena KE, Stopka CB, Barak S, Gertner HR Jr, Carmeli E. Effects of low-intensity exercise on patients with peripheral artery disease. *Phys Sportsmed* 2009;37:106-10.
 46. Balducci S, Iacobellis G, Parisi L, Di Biase N, Calandriello E, Leonetti F, Fallucca F. Exercise training can modify the natural history of diabetic peripheral neuropathy. *J Diabetes Complications* 2006;20:216-23.
 47. Vinik AI, Ziegler D. Diabetic cardiovascular autonomic neuropathy. *Circulation* 2007;115:387-97.
 48. Albright A, Franz M, Hornsby G, Kriska A, Marrero D, Ullrich I, Verity LS. American College of Sports Medicine position stand. Exercise and type 2 diabetes. *Med Sci Sports Exerc* 2000;32:1345-60.
 49. Johansen KL. Exercise and chronic kidney disease: current recommendations. *Sports Med* 2005;35:485-99.
 50. Fredrickson SK, Ferro TJ, Schutrumpf AC. Disappearance of microalbuminuria in a patient with type 2 diabetes and the metabolic syndrome in the setting of an intense exercise and dietary program with sustained weight reduction. *Diabetes Care* 2004;27:1754-5.