

운동이 당대사에 미치는 영향

인하대학교 의학전문대학원 내과학교실
김소현

Effect of Exercise on Glucose Metabolism

So Hun Kim

Department of Internal Medicine, Inha University School of Medicine, Incheon, Korea

Abstract

Exercise is one of the cornerstones of diabetes management along with diet and medication. Exercise can acutely improve insulin sensitivity for between 2 and 72 hours. Moderate aerobic exercise acutely improves insulin sensitivity and lowers blood glucose while a single bout of intense exercise can transiently increase blood glucose. Combined aerobic and resistance exercise may have more benefits than each exercise alone, although this needs to be confirmed in future studies. Aerobic and resistance training can both improve insulin sensitivity and blood glucose, while, resistance exercise increases muscle mass and may be particularly beneficial in the elderly. (J Korean Diabetes 2011;12:21-24)

Keywords: Diabetes, Exercise, Glucose metabolism

서론

운동은 당뇨병 관리에 있어서 중추적인 역할을 한다. 규칙적이고 지속적인 운동은 혈당 조절을 호전시키고 당뇨병의 합병증을 예방하거나 진행을 억제할 수 있다 [1-3]. 이러한 장점에도 불구하고 제2형 당뇨병환자의 많은 수가 권장되는 대로 운동을 잘 하지 않는다[4, 5]. 당뇨병환자의 경우 운동이 혈당을 개선하는 효과는 급성과 만성적인 인슐린 작용의 향상에 기인하는데 이는 유산소운동과 저항성운동 모두를 통하여 나타날 수 있다 [6]. 본 고에서는 운동이 당대사에 미치는 효과에 대해서 알아보려고 한다.

본론

1. 운동 시 체내 대사의 변화

운동을 할 때 정상 혈당을 유지하기 위하여 교감 신경계와 여러 내분비계통이 주로 작용한다. 근육이 수축할 때 혈중 포도당의 흡수를 증가시키는데, 혈중

포도당 농도는 간에서의 글리코겐분해와 포도당신합성, 유리지방산의 동원을 통하여 유지된다. 운동을 하는 경우, 근육의 주된 연료가 유리지방산에서 유리지방산, 포도당, 근육 내 글리코겐 등으로 다양해진다. 운동의 강도가 증가함에 따라 탄수화물이 근육의 연료로 더 중요한 역할을 한다. 고강도 운동의 초기에는 주로 근육의 글리코겐이 사용된다. 운동시간이 길어지고 글리코겐이 고갈되어감에 따라 혈중 포도당과 유리지방산의 흡수와 사용이 증가된다. 근육에 필요한 포도당은 처음에는 간의 글리코겐분해로부터 만들어지나 이후에는 포도당신합성에서 기원하게 된다. 운동에 의한 대사변화는 여러 인자에 의해 영향을 받으나 가장 큰 영향 인자는 운동의 강도와 지속시간이다[6-8].

근육에서 포도당 흡수를 촉진하는 기전은 크게 두 가지이다. 휴식 시와 식후에는 포도당 흡수가 인슐린에 의해 일어나며 주로 글리코겐을 보충하는데 사용된다. 운동시에는 근육 수축에 따른 글리코겐분해를 보충하기 위하여 포도당 흡수가 증가한다. 근육에서 인슐린과 근육수축에 의한 포도당 수송은 모두 GLUT4에 의해 주로 일어난다. 인슐린은 여러 복잡한 신호전달 체계를

교신저자: 김소현, 인천시 중구 신흥동 3가 7-241번지 인하대학교 의학전문대학원 내과학 교실, E-mail: shoney@inha.ac.kr

• 이 논문은 2010년도 인하대학교 연구비의 지원에 의해 이루어진 것임(INHA - 40886).

거쳐 GLUT4의 전위를 유발한다. 그와는 별도로 근육수축에 의한 GLUT4의 전위 기전 중 일부는 5'-AMP-activated protein kinase (AMPK)에 의한다. 제2형 당뇨병환자의 경우, 인슐린에 의한 GLUT4의 전위에 장애가 대개 있다. 반면, 유산소운동과 저항성 운동 시에 GLUT4가 증가하고 포도당 흡수가 일어나는 반응의 경우에는 인슐린저항성이나 제2형 당뇨병에 의해 장애가 생기지 않는다[6,8,9].

2. 운동 후 혈당의 변화

운동은 유산소운동과 저항성운동으로 나눌 수 있다. 유산소운동은 10분 이상 동일한 큰 근육군을 사용하여 리드미컬하고 반복적인 동작을 하는 것으로 걷기, 자전거 타기, 조깅, 수영 등이 포함된다. 저항성운동은 근력을 이용하여 무게나 저항력에 대항하는 운동으로 역기나 웨이트 장비를 이용한 웨이트 트레이닝 등이 여기에 해당한다[10].

1) 유산소 운동 시 혈당의 변화

당뇨병이 없는 사람이 중등도 강도의 유산소운동을 하는 경우, 말초의 포도당 흡수 증가는 간에서의 포도당 생성과 균형을 이루어 혈당은 대개 변화하지 않는다. 반면, 제2형 당뇨병환자가 중등도의 유산소운동을 하는 경우 간에서 생성되는 포도당보다 근육에서 사용되는 혈중 포도당이 더 많아 혈당은 일반적으로 감소한다[11]. 이때 인슐린 농도도 같이 감소하여 오랜 기간 운동을 해도 인슐린이나 인슐린 분비 촉진제를 사용하는 경우를 제외하고는 저혈당이 잘 발생하지 않는다. 유산소운동을 1회 시행했을 때 나타나는 인슐린감수성의 변화는 운동의 지속시간, 강도, 식사에 따라 달라지는데, 한 번의 운동은 보통 24-72시간 동안 인슐린감수성과 혈당을 호전시킬 수 있다[6]. 중등도의 운동이 한 번에 이루어지든 여러 번에 나누어 이루어지든 총 지속시간이 같다면 효과는 비슷하다[12]. 고강도의 짧은 운동 시에는 혈중 카테콜아민이 상승하고 포도당 생성이 증가하여 고혈당이 발생할 수 있고 이는 1-2시간동안 지속될 수 있다[13].

2) 저항성운동 시 혈당의 변화

제2형 당뇨병환자에서 저항성운동을 1회 시행했을 때 혈당과 인슐린 작용의 변화에 대해서는 알려져 있지 않다. 공복혈당장애가 있는 사람의 경우에는 저항성 운동을 한 뒤 24시간 동안 혈당이 감소하였고 전체 운동량과 강도가 증가함에 따라 감소폭이 더 컸다[14].

3) 유산소운동과 저항성운동의 복합운동을 하는 경우

유산소운동이나 저항성운동 단독보다 두 가지 모두를 포함하는 복합운동을 하는 것이 혈당 조절에 더 효과적일 가능성이 있다[15,16]. 저항성운동으로 인한 근육량의 증가는 포도당 흡수를 증가시킬 수 있고 유산소 운동은 인슐린 작용을 개선시켜 포도당 흡수를 증가시킬 수 있다. 그러나, 지금까지 발표된 복합운동의 경우 각각의 단독운동을 할 때보다 총 운동량과 칼로리 소모가 더 컸기 때문에[15,16] 이러한 차이를 배제한 후에도 복합운동 자체가 혈당개선 효과가 더 큰지에 대해서 향후 추가 연구가 필요하다.

3. 운동이 인슐린저항성에 미치는 영향

제2형 당뇨병환자의 경우, 운동의 혈당 개선 효과는 주로 급성과 만성적인 인슐린 작용 개선에 의한 것이다. 경도나 중등도의 운동을 할 때 인슐린 작용은 빠른 시간 내 개선되어 대다수의 환자에서 운동 시와 운동 후 2-72시간 동안 혈당이 감소한다. 이러한 혈당 감소는 운동의 지속시간, 강도, 운동 전 혈당의 조절상태, 운동능력과 관련이 있다. 운동이 더 오래 지속되거나 강도가 높을 때 인슐린 작용의 개선이 더 오래 지속될 수 있다[6]. 운동 시 급성의 인슐린감수성 증가는 주로 말초의 인슐린감수성 증가에 기인하고 간에서의 인슐린 감수성에는 변화가 없는 것으로 보인다[17].

4. 지속적인 운동의 장기적인 효과

당뇨병의 예방과 치료를 위해 전통적으로 유산소 운동을 처방한다. 제2형 당뇨병이 있는 사람의 경우 1주간의 짧은 정기적인 유산소운동도 인슐린감수성을 증가시킬 수 있다[17]. 한 번의 중등도 또는 고강도 운동은 수시간에서 수일의 짧은 기간 동안 인슐린 감수성을 증가시킬 수 있다. 지속적인 운동은 당대사와 인슐린 신호전달에 관여하는 단백질의 발현이나 작용을 증가시켜서 인슐린에 대한 근육의 반응을 향상시킬 수 있다[18-20]. 중등도의 유산소운동은 glycogen synthase와 GLUT4 단백질의 발현을 증가시켰으나 인슐린 신호전달에는 영향을 주지 않았다[18,19].

제2형 당뇨병환자에서 저항성운동도 혈당과 인슐린 작용에 긍정적인 영향을 미친다. 저항성운동은 제2형 당뇨병환자에게 GLUT4 단백질과 인슐린 신호전달을 증가시키는 효과가 있었다[20]. 새로 진단받은 노인 남성 당뇨병환자가 16주간 저항성운동을 한 후 인슐린 감수성은 46.3% 증가 하였고 공복 혈당은 7.1% 감소하였으며 복부지방이 유의하게 감소하였다[21].

저항성운동에 의한 근육량의 증가 자체가 혈중 포도당 흡수를 증가시킬 수 있고 노화에 따른 근육량 감소도 예방할 수 있다[22,23].

결론

제2형 당뇨병이 있는 환자의 경우 인슐린에 의한 근육에서의 포도당 흡수는 감소되어 있다. 반면, 운동 시의 근육수축은 인슐린저항성이나 당뇨병에 영향을 받지 않고 포도당 흡수를 촉진할 수 있다. 운동은 인슐린 감수성을 2-72시간 동안 급성으로 향상시킬 수 있다. 중등도의 유산소운동은 혈당 감소와 인슐린감수성 증가를 즉각적으로 유발할 수 있고, 고강도의 유산소 운동은 일시적인 고혈당을 일으킬 수 있다.

유산소운동과 저항성운동을 함께 하는 경우 각각을 단독으로 시행했을 때보다 혈당 조절에 긍정적인 효과를 미칠 수 있는데, 동일한 칼로리 소모량과 지속시간에서 양군을 비교한 추가 연구가 필요한 실정이다. 지속적인 유산소운동과 저항성운동 모두 인슐린감수성을 향상시키고 혈당 조절을 향상시킬 수 있다. 저항성 운동은 근육량의 증가도 촉진할 수 있어 노인에게 특히 유용하다. 운동은 당뇨병의 치료 및 교육에서 계속 강조되어야 하며 의료진은 당뇨병환자가 올바른 운동을 할 수 있도록 지속적으로 노력해야 할 것이다.

참고문헌

- 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.
- 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.
- Howorka K, Pumplrla J, Haber P, Koller-Strametz J, Mondrzyk J, Schabmann A. Effects of physical training on heart rate variability in diabetic patients with various degrees of cardiovascular autonomic neuropathy. *Cardiovasc Res* 1997;34:206-14.
- 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.
- Min KW, An KH, Sohn TS, Park YM, Hong YS, Kim YS, Park YB, Park KS, Lee GW, Kim IJ, HanKA, Yu JM, Son HS, Baik SH, Lee WC, Cho CG, Lee HW, Park SW. The study of physical activity in the Korean with type 2 diabetes. *Korean Diabetes J* 2005;29:517-25.
- Colberg SR, Sigal RJ, Fernhall B, Regensteiner JG, Blissmer BJ, Rubin RR, Chasan-Taber L, Albright AL, Braun B. 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.
- Suh SH, Paik IY, Jacobs K. Regulation of blood glucose homeostasis during prolonged exercise. *Mol Cells* 2007;23:272-9.
- 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.
- Goodyear LJ, Kahn BB. Exercise, glucose transport, and insulin sensitivity. *Annu Rev Med* 1998;49:235-61.
- Sigal RJ, Kenny GP, Wasserman DH, Castaneda-Sceppa C. Physical activity/exercise and type 2 diabetes. *Diabetes Care* 2004;27:2518-39.
- Minuk HL, Vranic M, Marliss EB, Hanna AK, Albisser AM, Zinman B. Glucoregulatory and metabolic response to exercise in obese noninsulin-dependent diabetes. *Am J Physiol* 1981;240:E458-64.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- Sigal RJ, Kenny GP, Boule 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.
- 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.
- Christ-Roberts CY, Pratipanawatr T, Pratipanawatr W, Berria R, Belfort R, Kashyap S, Mandarino LJ. Exercise training increases glycogen synthase activity and GLUT4 expression but not insulin signaling in

- overweight nondiabetic and type 2 diabetic subjects. *Metabolism* 2004;53:1233-42.
19. O'Gorman DJ, Karlsson HK, McQuaid S, Yousif O, Rahman Y, Gasparro D, Glund S, Chibalin AV, Zierath JR, Nolan JJ. Exercise training increases insulin-stimulated glucose disposal and GLUT4 (SLC2A4) protein content in patients with type 2 diabetes. *Diabetologia* 2006;49:2983-92.
 20. Holten MK, Zacho M, Gaster M, Juel C, Wojtaszewski JF, Dela F. Strength training increases insulin-mediated glucose uptake, GLUT4 content, and insulin signaling in skeletal muscle in patients with type 2 diabetes. *Diabetes* 2004;53:294-305.
 21. Ibañez J, Izquierdo M, Argüelles I, Forga L, Larrión JL, Garosiaga-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.
 22. 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.
 23. Willey KA, Singh MA. Battling insulin resistance in elderly obese people with type 2 diabetes: bring on the heavy weights. *Diabetes Care* 2003;26:1580-8.