

Effects of Acute Exergame on Glucose Control After Glucose Ingestion in Individuals with Pre- and Type 2 Diabetes

Eun-Ah Jo^{1,*}, Hyung-Rae Han^{1,*}, Shan-Shan Wu¹, Jung-Jun Park^{1,**}

¹ Department of Sports Science, Pusan National University, Busan, Republic of Korea

Received: October 28, 2022

Accepted: December 19, 2022

Published online: January 31, 2023

Keywords:

Diabetes
Exergame
Glucose Control
Glucose Ingestion



ABSTRACT

OBJECTIVES The purpose of present study was to analyze the acute effects of exergame on glucose control after glucose ingestion in individuals with pre- and type 2 diabetes.

METHODS We enrolled 60 adults with pre-diabetes (Pre-DM, 58.1±9.2 years, n=20) and type 2 diabetes (T2DM, 61.7±9.9 years, n=40). We measured fingertip capillary blood glucose level at 10 min before, 30 min after, 60 min after and 120 min after the 75-g oral glucose tolerance test (OGTT). For the non-exergame control days, participants pursued normal daily activities but refrained from unusual strenuous physical activity. On the exercise days, participants conducted on exergame at 30 min after 75-g OGTT for 30 min.

RESULTS Acute exergame reduced the glucose level 60 min, ΔBG30-60 and ΔBG60-120 after glucose ingestion compared to the control trials ($p<0.01$, $p<0.01$ and $p<0.001$ respectively). The cumulative glucose total area under the curve was lower with exergame than under the control condition ($p<0.05$).

CONCLUSION Acute exergame after glucose ingestion can improve hyperglycemia and glycemic excursion.

© The Asian Society of Kinesiology and the Korean Academy of Kinesiology

서론

제2형 당뇨병 환자의 경우 치료의 주요 목적은 고혈당증의 감소이다. 고혈당 예방은 포도당 농도가 가장 높은 식사 후가 특히 중요하며, 특히, 제 2형 당뇨병 환자들에게는 합병증의 증가와 관련이 있기 때문에 식후 고혈당 예방은 중요한 치료 목표이다[1]. 항고혈당제 사용에도 불구하고 식후 고혈당증과 급성 포도당 변동은 제2형 당뇨병 환자의 주요 특징으로 남아 있다. 따라서 식후 고혈당증의 유병률을 줄이기 위한 치료 방법이 필요하다[2].

식후 고혈당증을 줄이기 위한 잠재적으로 유망하고

안전한 전략 중 하나는 운동을 통한 근육 수축을 반복하는 것이다[3]. 제2형 당뇨병 환자는 인슐린 감수성이 손상되었지만 근육 수축 매개 포도당 섭취는 포도당이 인슐린과 무관하게 혈류를 빠져나와 근육 조직으로 들어가는 수단을 제공한다. 운동은 식후 수축 매개 포도당 흡수를 유도하는 데 사용될 수 있기 때문이다[4]. 운동의 고혈당증 예방에 대한 이점에도 불구하고, 당뇨병 환자들에게 규칙적인 운동 습관은 아직까지 어려운 과제로 남아있다[5]. 이들에게는 더 나은 즐거움과 동기 부여를 제공하여 높은 출석률과 순응도를 보여줄 새로운 형태의 운동이 필요하다.

반면, 최근 몇 년 동안 게임 및 가상 현실 프로그램의 기술 발전으로 인해 엑서게임(exergame)이라는 새로운 운동 프로그램이 개발되었다. 엑서게임은 “exercise”와 “game” 합성어로, 전신의 움직임을 요구하여 신체 활동

* These two authors contributed equally to this work

**Correspondence: Jung-Jun Park, Department of Sports Science, Pusan National University, 2 Busandaehak-ro 63 beon-gil, Geumjeong-gu, Busan, Rep. of Korea; Tel: +820515102713; Fax (Optional): +820515103746; E-mail: jjparkpnu@pusan.ac.kr



This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

을 증가시킬 수 있는 기회를 제공하고 대안적인 운동 방식으로 입증되고 있는 대화형 비디오 게임이다[6]. 최근 들어 액서게임에 대한 관심이 증가하면서 노인 및 근골격계 질환, 심혈관질환, 환자들에 대한 액서게임의 효과를 다룬 연구들이 많이 진행되었고 긍정적인 결과들을 보여주었다[7-9]. 그러나 액서게임이 식후 고혈당 예방을 위한 하나의 운동 방식으로 효과가 있는지에 대해서는 아직 연구된 바가 없다.

따라서 본 연구는 75 g 경구당부하 후 1회성 액서게임이 혈당조절능력에 미치는 영향을안정시(control trial)와 비교하고자 하며, 또한 대상자의 특성에 따라 75 g 경구당부하 후 1회성 액서게임의 혈당조절능력에 차이를 보이는지 분석하기 위하여 당뇨전단계 환자와 제2형 당뇨병 환자를 비교하고자 한다.

연구방법

연구대상

본 연구는 K병원에 내원하는 당뇨전단계(Pre-DM, pre-diabetes), 및 제2형 당뇨병(T2DM, type 2 diabetes)을 가지고 있는 20세 이상의 성인 60명을 대상으로 하였다. T2DM 은 공복혈당이 126mg/dL 이상이거나, HbA1c(HemoglobinA1c)가 6.5% 이상이거나, 경

구용 혈당강하제를 복용 중인 자로 정의하였고, Pre-DM는 공복혈당이 100~125mg/dL 이거나 HbA1c가 5.7~6.4%인 사람들로 정의하였다. 조절되지 않는 고혈압(>160/100 mmHg) 또는 신체활동에 제한이 있는 정형외과적 장애가 있거나, 인슐린을 사용하는 환자들은 본 연구에서 제외하였다. 자료 수집 전 IRB승인을 받은 후 연구 취지, 실험 내용이 담긴 동의서를 작성하여 피험자 동의를 거친 후 실험을 실시하였다. 연구대상자의 신체적 특성은 <Table 1>과 같다.

연구절차

본 연구의 대상자들은 총 2번의 실험실 방문을 하였다. 첫번째 실험실 방문에서는 신체구성, 혈압, 혈액검사를 시행하고 운동 세션 없이 75g 경구당부하 검사(75g oral glucose tolerance test, OGTT)를 실시하였다. 두번째 실험실 방문에서는 75경구당부하 검사 30분 후 액서게임을 실시하여 OGTT를 시행하였다(EXOGTT, exergame + OGTT).

신체구성 측정

신장과 체중은 자동신체계측기(Jawon Medical, Korea)를 이용하여 각각 0.1kg, 0.1cm까지 측정하였다. 신장과 체중을 이용하여 체질량지수(BMI, body mass index)는 체중(kg)/신장(m²)의 계산법에 따라 계산하였다. 체성분 측정은 체성분 분석기(Inbody 4.5, Biospace, Republic of Korea)를 사용하여 생체전기저항법(Bioelectrical impedance analysis)으로 측정하였다.

혈압 검사

안정 시 혈압은 대상자들이 측정 장소에 도착한 후 최소 5분 동안 안정을 취하게 한 후 혈압을 측정하였다. 피험자에게 측정 전 30분 동안 흡연 및 카페인 섭취와 격렬한 신체활동을 삼가하도록 하였으며, 자동 혈압계를 사용하여 측정하였다. 혈압은 2회 이상 검사실을 방문하여 측정하도록 하였으며, 앉은 자세에서 최소한 1분 간격으로 총 2회 이상 측정된 값의 평균값을 기초로 결정하였다.

혈액 검사

혈액 검사는 8시간 이상의 공복 상태를 확인한 후 전완동맥에서 혈액을 15cc 채취하도록 하였다. 총콜레스

Table 1. Characteristics and metabolic profiles of subjects.

	Pre-DM (n=20)	T2DM (n=40)	All (n=60)
Age (years)	58.0±9.1	61.6±9.8	60.6±9.7
Height (cm)	161.8±8.5	163.3±8.8	162.8±8.6
Weight (cm)	68.7±14.0	67.7±13.3	68.0±13.4
BMI (kg/m ²)	26.2±4.8	25.1±3.1	25.5±3.8
Systolic BP(mm Hg)	135.1±15.9	130.6±17.7	132.6±16.8
Diastolic BP(mm Hg)	79.5±9.9	77.1±9.5	77.2±9.9
Total cholesterol (mg/dL)	144.5±17.0	146.2±26.1	146.9±23.7
HDL cholesterol (mg/dL)	54.2±7.3	47.3±11.1	50.5±10.5
LDL cholesterol (mg/dL)	77.3±17.9	78.2±25.9	78.5±21.5
Triglyceride (mg/dL)	107.7±38.3	150.8±110.9	132.2±81.8
Fasting glucose	115.3±24.8	142.9±66.4	133.1±56.8
HbA1c	6.1±0.2	7.1±1.1***	67.7±1.0

Values are mean standard deviation
Pre-DM; Pre-diabetes, T2DM; type 2 diabetes, BMI; body mass index, BP; blood pressure, HDL; high density lipoprotein, LDL; low density lipoprotein, HbA1c; hemoglobin A1c.
*** indicate the presence of significant differences ($p < 0.001$) from Pre-DM

테롤, 중성지방, LDL(low density lipoprotein)-콜레스테롤, HDL(High density lipoprotein)-콜레스테롤, 공복혈당, HbA1c를 측정하였다. 이러한 분석은 K병원 임상병리실에 의뢰하였다.

75g 경구당부하검사

대상자들은 약물을 포함하여 8시간 금식한 후 손가락 끝의 모세혈관을 채혈하여 공복혈당을 측정한 후(BG0, blood glucose 0 min), 75g의 포도당을 350ml의 물에 녹인 용액을 복용한 후 의자에 앉아서 안정된 자세에서 30분(BG30, blood glucose 30 min), 60분(BG60, blood glucose 60 min), 120(BG120, blood glucose 120 min)분에 각각 혈당을 측정하였다.

BG0과 BG30 사이의 혈당 차이는 Δ BG0-30, BG30과 BG60 사이의 혈당 차이는 Δ BG30-60, BG60과 BG120 사이의 혈당 차이는 Δ BG60-120, BG0과 BG120 사이의 혈당 차이는 Δ BG0-120으로 표기하였다.

Exergame

대상자들은 75g 경구당부하 30분 후 모세혈관 채혈을 실시한 직후(BG30) 다음 채혈 시간 직전까지(BG60) 엑서게임을 총 30분 동안 실시하였다. 엑서게임 디바이스인 엑서하트(EXERHEART)는 스마트 헬스케어 제품으로서 스텝보드와 태블릿 PC를 연동하여 태블릿 PC의 화면을 보면서 스텝보드를 발로 밟으며 걷기, 빨리 걷기, 뛰기, 방향(좌, 우) 및 점프, 슬라이딩 등을 조절할 수 있는 장비이다 <Figure 1>.

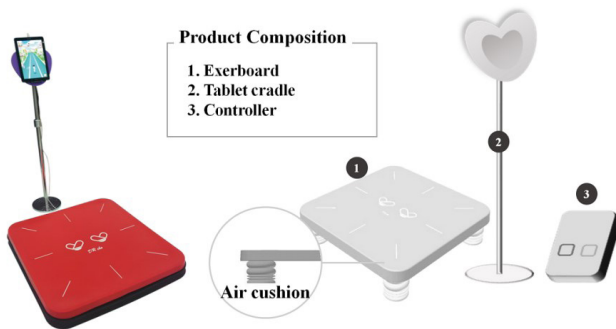


Figure 1. The exergame using Exerheart devices with permission from D&J humancare.

엑서게임은 운동강도에 구애받지 않고 본인이 편안한 강도로 재미있게 즐기면서 운동할 수 있다. 선행 연구

에서 강도의 개입없이 스스로 선택한 강도로 엑서하트를 시행할 경우 평균 운동강도가 42~82% HRR(heart rate reserve)로, 약 중~고강도에 해당하는 강도임을 보여주었다[9]. 본 연구에서는 엑서하트를 이용하여 대상자들이 자유롭게 운동하되, 1회성 운동임을 감안하여 중강도 범위를 크게 벗어나지 않도록 polar(Rs400sd, APAC, 90026360, USA)를 착용하여 감독하에 운동을 실시하였다. 중강도 운동 범위를 벗어나거나, 운동을 실시하지 못하는 대상자는 본 연구에서 제외하였다.

자료 처리

본 연구에서 얻어진 결과는 SPSS 28.0 통계 프로그램을 사용하여 모든 항목에 대해 평균(mean)과 표준편차(SD)를 산출하였다. 경구당부하 후 2시간 동안 OGTT와 EXOGTT 차이를 검증하기 위해 반복측정 분산 분석(Repeated measures ANOVA)을 실시하였으며, 각 시점에 대한 차이를 검증하기 위해서 독립표본 T검정을 실시하였다. 모든 통계적 유의수준(p)은 .05로 정하였다.

결과

<Table 2>는 OGTT(OGTT only)와 EXOGTT(exergame + OGTT) 중 혈당 반응을 Pre-DM, T2DM 그리고 전체(All)적으로 보여주고 있다. 두 조건의 baseline인 0분과 30분 시점의 혈당은 전체대상자에서 유의한 차이가 없었으나, Pre-DM에서는 30분 시점의 혈당 차이가 있었다.

전체(All)적 통계 결과에서는 OGTT는 BG60까지 혈당이 급격히 올라가는 반면, EXOGTT 혈당이 급격히 오르지 않고, 완만함을 보여주었다. 엑서게임을 함으로써 BG60 시점의 혈당이 EXOGTT가 OGTT에 비해 유의하게 낮았으며($p=0.002$), Δ BG30-60에서도 EXOGTT가 OGTT보다 유의하게 감소함을 보여주었다($p=0.001$). BG120 시점의 혈당 수치에서는 OGTT와 EXOGTT간 유의한 차이가 없었으나, BG60 시점의 두 조건간의 차이로 인해 Δ BG60-120에서는 EXOGTT가 OGTT보다 유의하게 감소하였음을 보여주었다($p=0.001$). <Figure 3>은 경구당부하 후 두 조건의 0-120분 AUC(area under the curve)를 보여주고 있다. EXOGTT의 AUC 면적이 OGTT의 AUC 면적보다 유의하게 감소하였으며($p=0.03$), 이는 경구당부하후 혈당반응이 엑서게임

Table 2. Changes of blood glucose level during OGTT and EXOGTT trials

	Pre-DM	T2DM	ALL
BG0 (mg/dl)			
OGTT	102.9±11.0	110.8±14.3	108.2±13.7
EXOGTT	106.4±14.4	111.7±14.4	109.0±14.5
BG30 (mg/dl)			
OGTT	186.4±25.5	197.3±38.9	193.7±35.1
EXOGTT	173.9±19.8**	197.1±37.8	189.4±34.5
BG60 (mg/dl)			
OGTT	204.8±48.9	220.4±58.7	215.2±55.6
EXOGTT	166.5±37.9**	202.0±59.8	190.2±55.7**
BG120 (mg/dl)			
OGTT	167.2±50.8	203.1±64.0	191.1±61.8
EXOGTT	170.7±47.9	207.5±63.8	195.2±60.8
ΔBG0-30 (mg/dl)			
OGTT	83.5±23.3	86.5±34.7	75.5±31.2
EXOGTT	67.5±20.2*	85.4±29.1*	79.7±27.6
ΔBG30-60 (mg/dl)			
OGTT	18.4±41.2	23.1±48.7	21.6±46.0
EXOGTT	7.4±34.4*	4.8±46.5	0.8±42.9**
ΔBG60-120 (mg/dl)			
OGTT	37.7±45.1	17.3±48.8	24.1±48.1
EXOGTT	4.2±44.3**	5.5±39.0	5.1±40.5***
ΔBG0-120 (mg/dl)			
OGTT	64.3±53.0	92.3±57.3	82.9±57.0
EXOGTT	64.3±47.1	95.8±56.8**	85.3±55.4

Values are mean standard deviation

BG0, BG30, BG60, BG120: blood glucose level 0, 30, 60 and 120 min after glucose ingestion.

ΔBG0-30: difference between BG0 and BG 30.

ΔBG30-60: difference between BG30 and BG 60

ΔBG60-120: difference between BG60 and BG 120

ΔBG0-120: difference between BG0 and BG 120

Pre-DM, Pre-diabetes; T2DM, type 2 diabetes; OGTT, Oral glucose tolerance test; EXOGTT, Exergame after oral glucose tolerance test.

*, ** and *** indicate the presence of significant differences ($p < 0.05$, $p < 0.01$ and $p < 0.001$ respectively) from OGTT

을 통해서 당 부하 후 2시간까지 운동 효과가 지속되는 것을 나타내준다.

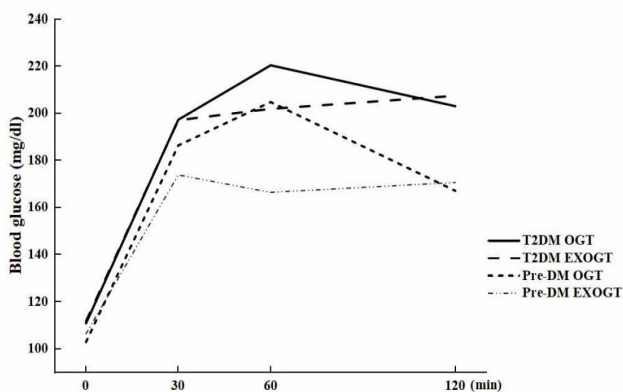


Figure 2. Changes in blood glucose level during OGTT and EXOGTT trials in Pre-DM and T2DM groups. Pre-DM, Pre-diabetes; T2DM, type 2 diabetes; OGTT, Oral glucose tolerance test; EXOGTT, Exergame after oral glucose tolerance test.

<Table 2>와 <Figure 2>는 OGTT와 EXOGTT의 혈당반응을 Pre-DM과 T2DM으로 그룹을 나누어 보여주고 있다. T2DM의 BG30, BG60에서의 OGTT, EXOGTT는 유의한 차이가 없었으나, Pre-DM의 BG30과 BG60의 OGTT와 EXOGTT사이에 유의한 차이가 있었다. 특히 Pre-DM에서 BG60 시점의 혈당이 OGTT보다 EXOGTT가 유의하게 감소하였으며($p=0.002$), Pre-DM에서만 ΔBG30-60에서 두 조건간의 유의한 차이가 났다($p=0.02$). 또한 ΔBG60-120 혈당수치에도 Pre-DM에서만 두 조건간의 유의한 차이가 나타났으며($p=0.003$), T2DM에서는 두 조건간의 유의한 차이가 없었다. OGTT와 EXOGTT의 AUC에서도 Pre-DM에서는 두 조건간의 유의한 차이가 나타난 반면($p=0.01$), T2DM에서는 유의한 차이가 나타나지 않았다.

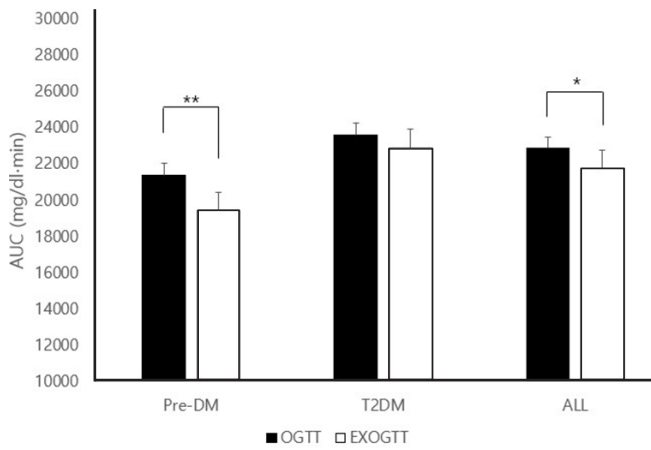


Figure 3. The glucose area under the curve (AUC) during OGTT and EXOGTT. Data are estimated mean SD. **, * and *** indicate the presence of significant differences ($p < 0.05$, $p < 0.01$ and $p < 0.001$ respectively) from OGTT. Pre-DM, Pre-diabetes; T2DM, type 2 diabetes; OGTT, Oral glucose tolerance test; EXOGTT, Exergame after oral glucose tolerance test.

논의

본 연구에서는 OGTT와 EXOGTT의 검사에서 BG30까지 두 조건이 동일하게 혈당이 상승하는 것을 관찰할 수 있었지만, OGTT에서는 BG60 시점까지 혈당이 계속적으로 증가하는 반면, EXOGTT에서는 운동 후 혈당이 크게 증가하지 않으며 유지되는 패턴을 보여주었다. 따라서 OGTT와 비교하였을 때 EXOGTT에서 60분 시점의 혈당이 12%, 2시간 AUC는 10% 유의하게 감소됨을 볼 수 있었다. 결과적으로, EXOGTT가 OGTT보다 경구당부하 후 혈당 반응을 유의하게 감소시켰으며, 특히, 운동 직전과 직후인 Δ BG30-60의 혈당 반응에서 엑서게임의 고혈당 예방 효과의 우수함이 나타났다. 그러나 이러한 효과는 Pre-DM에게서만 유의하게 나타났으며, T2DM에게서는 감소하는 경향은 나타났지만 통계적으로 유의한 차이가 나타나지 않았다. 최근 들어 엑서게임의 운동효과에 대한 연구결과가 많이 나타나고 있지만, 식후 또는 경구당부하 후 고혈당 예방을 위한 엑서게임의 효과에 대한 연구는 없었으며, 본 연구는 엑서게임이 특히, Pre-DM에서 경구당부하 후 고혈당 예방에 효과적임을 처음으로 보여준 연구이다.

Weili et al. (2007)은 건강한 젊은 남성을 대상으로 75 g 경구당부하 직후 중강도에 트레드밀을 45분 실시한 결과 control trial과 비교하였을 때 유의한 혈당 감소 효과가 나타나지 않았지만 경구당부하 후 1시간 시점 인슐린 수치가 운동반응에 유의하게 낮게 나타났다고 보고하였다[10]. 하지만 Hagobian et al. (2006)은

건강한 젊은 남성을 대상으로 75g 경구당부하 후 30분 시점에 중강도 자전거 운동 30분을 시행하였고, 그 결과 control trial과 비교할 수 있는 데이터는 없었지만, 운동 직후 혈당이 운동 직전보다 12% 감소됨을 보여주었다[11]. 두 선행연구 모두 건강한 성인이거나, control trial을 실시하지 않아 본 연구결과가 정확하게 비교할 수 있는 데이터가 다소 부족하였다. 대다수의 선행연구들이 식후 1회성 운동의 혈당 반응을 실험하였고, Pre-DM 혹은 T2DM을 대상으로 경구당부하 후 1회성 운동의 혈당 반응을 실험한 연구는 거의 없다.

반면, T2DM을 대상으로 식후 운동이 혈당 반응에 미치는 영향을 다룬 많은 선행연구들에서는 운동의 효과를 유의하게 보여주었다. Colderg et al. (2009)은 식사 직후 중강도 20분 걷기 운동이 control trial 대비 운동 직후 혈당을 22.1% 유의하게 감소시킴을 보여주었으며[12], Manders et al. (2010)은 식후 1시간 시점에 저강도 60분 자전거 운동이 control trial 대비 운동 직후 혈당을 13.9% 유의하게 감소시킴을 보여주었다[13]. 선행연구들의 운동 시작하는 시점, 운동 시간, 운동강도 등이 다양하지만 그 중 위의 두 연구가 본 연구의 설계와 가장 비슷하였고, 그 결과 또한 일치하는 것을 볼 수 있었다. 비록 본 연구는 75g 경구당부하 후 운동에 반응하는 혈당을 측정하였지만, 포도당 섭취 후 1회성 엑서게임이 혈당 증가를 억제할 수 있는 가능성을 보여주었으며, 1회성 반응에 대한 혈당 변화를 개선할 수 있고 고혈당을 예방할 수 있는 것으로 보인다.

이러한 결과는 이미 선행연구에서 언급되었듯이 운동 시 골격근에서 인슐린을 매개로 당수송을 담당하는 단백질 증가 및 인슐린 수용체의 친화력 증진에 의해 당대사가 향상되었음을 보여주는 것이다[14]. 근 수축은 포도당 수송체(glucose transporter 4, GLUT4)의 세포 표면으로 전위를 유도하여 골격근에서 포도당 섭취를 빠르게 활성화시키는 것으로 잘 알려져 있다[4, 15]. 사람의 경우 포도당 흡수가 5분 이내에 증가하고[16], 운동 시작 후 10분 이내에 거의 최대에 도달하는 것으로 나타났다[17]. 특히, 근 수축으로 자극된 포도당 흡수와 GLUT4의 전위는 T2DM이나 비만인과 같은 인슐린 저항성이 높은 상태에서도 정상 수준으로 유지되기 때문에[18, 19], 이러한 운동-유발 포도당 흡수 기전이 혈당이 높은 사람이나 식후 고혈당증의 개선을 위하여 널리 적용되어져 왔다.

최근까지는 고혈당 예방을 위한 식후 운동의 적절한 시점, 강도, 유형 등에 대한 관심이 높다. 총 12편의 논문을 다룬 리뷰연구에서는 식전 운동보다는 식후 운동이 고혈당 예방에 더 효과적이며, 저-중강도에 해당하는 식후 걷기나 자전거 운동에 대한 강력한 증거들을 제시하였다[1]. 하지만 고강도 운동에 대한 연구들은 그 결과가 서로 상이한점이 다소 있었다. 한 연구에서는 식후 고강도 인터벌트레이닝이 고혈당 반응을 많이 감소시켰음을 보여준 반면에[20], 다른 연구에서는 운동 직후 오히려 혈당이 약간(1.1%) 증가하는 것으로 나타났다[21]. 또한 저-중강도 운동의 경우 24시간 고혈당 발생률이 49.7%로 감소한 반면[22], 고강도 운동 후에는 18.6%만 감소함을 보여줌으로써 식후 혈당 반응에 저-중강도 운동이 더 안정적으로 나타났다. 이에 대한 한가지 잠재적인 이유는 고강도 운동이 중강도 운동보다 더 실질적인 내분비 반응을 유발할 수 있기 때문인 것으로 보이며, 이것은 이론적으로 포도당신생합성과 글리코겐분해의 증가로 인한 포도당 반응을 자극할 수 있다. 1회성 운동은 인슐린 감수성을 2-72시간 동안 향상시킬 수 있지만[3], 고강도의 유산소 운동은 혈중에서 카테콜라민의 농도가 증가함으로써 포도당 생성이 근육에서의 글루코스 흡수를 초과하기 때문에 운동 직후의 혈당은 오히려 더 증가한다[23]. 본 연구에서 식후 액서게임이 혈당 반응을 control trial보다 안정적으로 감소시킬 수 있었던 이유도 본 연구에서 시행한 액서게임이 비록 본인이 즐기면서 시행한 운동강도이지만 평균적으로 중강도에 해당하는 신체활동이기 때문인 것으로 보인다.

본 연구에서는 대상자의 특징에 따라 운동에 대한 혈당 반응 차이도 알아보기 위하여, 경구당부하 후 운동에 반응하는 혈당을 Pre-DM과 T2DM으로 그룹을 나누어 분석하였다. 그 결과 Pre-DM에서만 control trial 대비 운동의 혈당 감소 효과가 나타났다. 근육에 의한 포도당 흡수를 촉진시키는 기전은 두가지이다. 식후와 휴식 시에는 포도당 흡수가 인슐린에 의존적이며 이는 근육의 글리코겐 저장에 필요한 포도당을 보충하는 역할을 한다[24]. 운동 중에는 근육 수축으로 일어나는 글리코겐 분해로 인한 부족분을 보충하기 위해 포도당 흡수가 증가한다[25]. 본 연구에서는 T2DM의 경구당부하 후 액서게임 운동의 효과가 감소하는 경향은 보여졌으나 통계적으로 유의하게 나타나지는 않았다. 이는 T2DM

의 인슐린 저항성이 Pre-DM보다 증가되어 있기 때문에 경구당부하 후 30분 시점인 BG30에서 Pre-DM보다 더 높은 혈당 수치를 보여주었다고 사료되며[26], 이로 인해 똑같은 운동 강도와 시간이지만 T2DM의 다소 높은 혈당을 감소시키기에는 액서게임의 운동 강도나 시간이 다소 부족했거나 혹은 적절한 형태가 아닐 수 있는 것처럼 보인다. 이는 경구당부하 또는 식후 운동에 반응하는 혈당이 운동의 다양성뿐만 아니라 개개인의 특징에 따라 같은 운동강도 또는 운동량일지라도 혈당 반응이 다르게 나올 수 있음을 시사한다. 본 연구에서는 Pre-DM와 T2DM를 대상으로 경구당부하 후 1회성 액서게임의 효과를 분석하였지만, 경구당부하 후 또는 식후 혈당반응에 영향을 미칠 수 있는 다른 요인(예: 당뇨 유병기간, 신체활동량, HbA1c 수준 등)에 대한 추가적인 연구가 진행되어 식후 고혈당 예방을 위한 맞춤형 운동처방이 필요하다고 사료된다.

결론

본 연구에서 1회성 액서게임은 경구당부하 후 과도한 혈당 상승을 완화시킬 수 있음을 보여주었다. 이는 운동에 대한 순응도가 떨어지는 사람들에게 재미있고 즐겁게 운동에 참여함으로써 신체활동량을 증가시켜 건강상의 이점 중에 하나인 식후 고혈당을 예방할 수 있는 새로운 운동형태로 발전할 수 있음을 시사한다. 하지만 경구당부하 후 1회성 액서게임에 대한 혈당 반응은 당뇨 전단계와 제2형 당뇨병 환자들 사이에 차이가 있었다. 당뇨 전단계 환자들에게서는 경구당부하 후 1회성 액서게임이 과도한 혈당 상승을 완화시킴을 보여주었지만, 제2형 당뇨병 환자들에게서는 그 효과가 유의하게 나타나지 않았다. 이는 1회성 액서게임이 평균적으로 식후 고혈당 예방에 효과적이거나, 제2형 당뇨병 환자들의 식후 고혈당을 예방하기 위한 운동으로는 다소 부족할 수 있음을 보여주었으며, 개개인의 특징에 따라 식후 고혈당 예방을 위한 맞춤형 운동처방의 필요성을 보여주었다고 사료된다.

Conflicts of Interest

The authors declare no conflict of interest.

References

1. Borrer A, Zieff G, Battaglini C, Stoner L. The effects of postprandial exercise on glucose control in individuals with type 2 diabetes: a systematic review. *Sports Medicine*. 2018; 48(6):1479-1491.
2. Cavalot F, Pagliarino A, Valle M, et al. Postprandial blood glucose predicts cardiovascular events and all-cause mortality in type 2 diabetes in a 14-year follow-up: lessons from the San Luigi Gonzaga Diabetes Study. *Diabetes care*. 2011; 34(10):2237-2243.
3. Bacchi E, Negri C, Trombetta M, et al. Differences in the acute effects of aerobic and resistance exercise in subjects with type 2 diabetes: results from the RAED2 Randomized Trial. *PLoS One*. 2012; 7(12):e49937.
4. Hayashi T, Wotjtaszewski JF, Goodyear LJ. Exercise regulation of glucose transport in skeletal muscle. *American Journal of Physiology-Endocrinology And Metabolism*. 1997; 273(6):E1039-E1051.
5. Morrato EH, Hill JO, Wyatt HR, Ghushchyan V, Sullivan PW. Physical activity in US adults with diabetes and at risk for developing diabetes, 2003. *Diabetes care*. 2007; 30(2):203-209.
6. Graves L, Stratton G, Ridgers ND, Cable NT. Comparison of energy expenditure in adolescents when playing new generation and sedentary computer games: cross sectional study. *Bmj*. 2007; 335(7633):1282-1284.
7. Fu AS, Gao KL, Tung AK, Tsang WW, Kwan MM. Effectiveness of exergaming training in reducing risk and incidence of falls in frail older adults with a history of falls. *Archives of physical medicine and rehabilitation*. 2015; 96(12):2096-2102.
8. Amorim MGS, Maurício Dias de Oliveira, Soares DS, Leandro da Silva Borges, Dermargos A, Hatanaka E. Effects of exergaming on cardiovascular risk factors and adipokine levels in women. *The Journal of Physiological Sciences*. 2018; 68(5):671-678.
9. Jo EA, Wu SS, Han HR, Park JJ, Park SJ, Cho KI. Effects of exergaming in postmenopausal women with high cardiovascular risk: A randomized controlled trial. *Clinical Cardiology*. 2020; 43(4):363-370.
10. Zhu W, Zhong C, Yu Y, Li K. Acute effects of hyperglycaemia with and without exercise on endothelial function in healthy young men. *European journal of applied physiology*. 2007; 99(6):585-591.
11. Hagobian TA, Braun B. Interactions between energy surplus and short-term exercise on glucose and insulin responses in healthy people with induced, mild insulin insensitivity. *Metabolism*. 2006; 55(3):402-408.
12. Colberg SR, Zarrabi L, Bennington L, et al. Postprandial walking is better for lowering the glycemic effect of dinner than pre-dinner exercise in type 2 diabetic individuals. *Journal of the American Medical Directors Association*. 2009; 10(6):394-397.
13. Manders RJ, Van Dijk, Van Loon L. Low-intensity exercise reduces the prevalence of hyperglycemia in type 2 diabetes. *Medicine and science in sports and exercise*. 2010; 42(2):219-225.
14. Borghouts L, Keizer H. Exercise and insulin sensitivity: a review. *International journal of sports medicin*. 2000; 21(1):1-12.
15. Jessen N, Goodyear LJ. Contraction signaling to glucose transport in skeletal muscle. *Journal of Applied Physiology*. 2005; 99(1):330-337.
16. Romijn JA, Coyle EF, Sidossis LS, et al. Regulation of endogenous fat and carbohydrate metabolism in relation to exercise intensity and duration. *American Journal of Physiology-Endocrinology And Metabolism*. 1993; 265(3):E380-E391.
17. Felig P, Wahren J. Fuel homeostasis in exercise. *New England Journal of Medicine*. 1975; 293(21):1078-1084.
18. Martin IK, Katz A, Wahren J. Splanchnic and muscle metabolism during exercise in NIDDM patients. *American Journal of Physiology-Endocrinology And Metabolism*. 1995; 269(3):E583-E590.
19. Kennedy JW, Hirshman MF, Gervino EV, et al. Acute exercise induces GLUT4 translocation in skeletal muscle of normal human subjects and subjects with type 2 diabetes. *Diabetes*. 1999; 48(5):1192-1197.
20. Gillen JB, Little JP, Punthakee Z, Tarnopolsky MA, Riddell MC, Gibala MJ. Acute high-intensity interval exercise reduces the postprandial glucose response and

- prevalence of hyperglycaemia in patients with type 2 diabetes. *Diabetes, Obesity and Metabolism*. 2012; 14(6):575-577.
21. Jelleyman C, Yates T, O'Donovan G, et al. The effects of high-intensity interval training on glucose regulation and insulin resistance: a meta-analysis. *Obesity reviews*. 2015; 16(11):942-961.
22. Larsen JJ, Dela F, Kjaer M, Galbo H. The effect of moderate exercise on postprandial glucose homeostasis in NIDDM patients. *Diabetologia*. 199; 40(4):447-453.
23. Camacho RC, Galassetti P, Davis SN, Wasserman DH. Glucoregulation during and after exercise in health and insulin-dependent diabetes. *Exercise and sport sciences reviews*. 2005; 33(1):17-23.
24. Goodyear LJ, Kahn BB. Exercise, glucose transport, and insulin sensitivity. *Annual review of medicine*. 1998; 49:235.
25. Bajpeyi S, Tanner CJ, Slentz CA, et al. Effect of exercise intensity and volume on persistence of insulin sensitivity during training cessation. *Journal of applied physiology*. 2009; 106(4):1079-1085.
26. Færch K, Johansen NB, Witte DR, Lauritzen T, Jørgensen ME, Vistisen E. Relationship between insulin resistance and β -cell dysfunction in subphenotypes of prediabetes and type 2 diabetes. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*. 2015; 100(2):707-716.