

척수장애인에서 활동적 비디오 게임을 활용한 신체활동이 고지방 식이 후 혈관기능 감소에 미치는 영향

서울시립대학교 스포츠과학과¹, 고려대학교 간호대학², 한림대학교 성심병원 가정의학과³

윤은선¹ · 김현정¹ · 추진아² · 박경희³ · 제세영¹

Effect of an Exergaming on Postprandial Endothelial Dysfunction Following a High Fat Meal in Individuals with Spinal Cord Injury

Eun Sun Yoon¹, Hyun Jeong Kim¹, Jina Choo², Kyung Hee Park³, Sae Young Jae¹

¹Department of Sport Science, University of Seoul, Seoul, ²College of Nursing, Korea University, Seoul,

³Department of Family Medicine, Hallym University Sacred Heart Hospital, Hallym University College of Medicine, Anyang, Korea

Endothelial dysfunction induced with a high-fat meal may be attenuated with an exercise in abled bodies individuals. Exergaming may be an exercise type applicable for disabled bodied individuals. We tested the hypothesis that an acute bout of exergaming following a high-fat meal would decrease postprandial lipemia, and endothelial dysfunction among individuals with spinal cord injury. Forty participants (age, 41±8 years; 24 males) were randomly assigned to either an exergaming group (n=20) or control group with seated rest (n=20) following a high-fat meal. Hemodynamic and blood parameters and flow-mediated vasodilation (FMD) as an index of endothelial function were measured at baseline and 4 hours after a high-fat meal. In half an hour following a high-fat meal, the exergaming group performed 50 minutes of moderate intensity active video games (Nintendo Wii Sports: boxing, tennis). Levels of blood triglycerides increased in both group ($p < 0.05$) following high-fat meal. FMD significantly decreased in the control group ($10.4\% \pm 4.9\%$ to $7.9\% \pm 4.4\%$) but significantly increased in the exergaming group ($10.9\% \pm 5.3\%$ to $12.3\% \pm 5.3\%$), with a significant interaction ($p = 0.004$). These results show that a high-fat meal causes endothelial dysfunction in persons with spinal cord injury, but endothelial dysfunction following a high-fat meal was attenuated by an acute bout of exergaming regardless of postprandial lipemia. Therefore, exergaming for individuals with spinal cord injury may have a cardioprotective effect from postprandial endothelial dysfunction induced with an exposure of a high-fat meal.

Keywords: Endothelial function, Exergaming, Hyperlipidemia, Spinal cord injuries

Received: September 22, 2017 Revised: November 16, 2017 Accepted: November 17, 2017

Correspondence: Sae Young Jae

Department of Sport Science, University of Seoul, 163 Seoulsiripdae-ro, Dongdaemun-gu, Seoul 02504, Korea

Tel: +82-2-6490-2953, Fax: +82-2-6490-5204, E-mail: syjae@uos.ac.kr

This work was supported by the Ministry of Education of the Republic of Korea and the National Research Foundation of Korea (NRF-2015S1A5A2A03049838).

Copyright ©2017 The Korean Society of Sports Medicine

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

서론

척수장애의 발생빈도는 전 세계적으로 증가하고 있는 추세이며, 매년 12,400여 명의 새로운 척수 손상 환자가 발생하는 것으로 추산되고 있다¹. 척수장애인은 비만, 고혈압, 고지혈증, 당뇨 및 인슐린 저항성을 비롯해 심혈관계 질환이 조기 발생하며², 영양섭취 불균형과 신체 활동 부족은 이러한 위험을 증가시키는 요인으로 알려져 있다. 아직 국내의 명확한 자료는 없지만, 서구 연구에 따르면, 척수장애인들은 지방을 권장량보다 많이 섭취하는 것으로 조사되었으며³, 식후에 대부분 시간을 비신체활동 형태로 보내기 때문에 식후 지질 농도가 비장애인에 비해 높은 것으로 나타났다⁴.

최근 식후 고중성지방혈증은 공복 시 중성지방 수준과 독립적으로 심혈관계 질환 발생의 위험을 증가시키는 주요 예측인자로 알려져 있으며⁵, 비장애인을 대상으로 한 연구에 따르면 식후 중성지방 수준이 100 mg/dL 증가할 때마다 심근경색 발생률이 40%씩 증가한다고 보고되었다⁶. 이에 관한 명확한 기전은 밝혀지지 않았지만, 식후 과도한 중성지방의 증가 및 제거의 지연으로 인해 혈관 내 염증 및 산화에 따른 스트레스가 증가하고, 혈관내피세포 기능이 유의하게 감소하는 것이 고지방식이 심혈관계 질환 위험도를 증가시키는 주요 기전으로 제시되고 있다⁷. 혈관내피세포 기능 감소는 동맥경화성 질환의 초기과정에서 나타나는 혈관 변화이며⁸, 일회 고지방식이 만으로도 식후 6-8시간까지 혈관내피세포 기능이 감소한다고 알려져 있다⁹. 반면, 운동은 고지방식이에 의한 과도한 혈중 지질 증가를 억제하며¹⁰, 고지방식이 후 혈관 기능 감소에 보호적 효과를 주는 것으로 보고되고 있다¹¹. 그러나 척수장애인의 운동 참여율은 매우 저조하며, 신체적 제약과 장소이동의 불편함은 그들의 대표적인 운동장애 요인으로 작용한다. 이에 척수 장애인의 심혈관 질환 및 대사질환의 예방을 위해 장애 요인이 충분히 고려된 운동 프로그램 적용이 요구되고 있다. 한편, 활동적 비디오 게임(exergaming)은 오락적 기능을 넘어 신체 활동 증진 및 노인과 장애인들의 재활 도구로서 활용도가 점차 증가하고 있다¹². 특히 상체운동을 중심으로 한 실내운동 형태인 활동적 비디오 게임은 척수장애인들에게 접근 용이성이 높은 유용한 운동 도구로서 활용가치가 높을 것으로 생각한다. 그러나 척수장애인들이 고지방 식이에 대한 동맥경화성 질환 위험도가 높은 상태임에도 불구하고 아직 이들의 고지방 식이 후 혈중지질 및 혈관 기능 변화에 대한 연구는 미흡한 실정이며, 운동의 보호적 효과를 증명한 연구는 아직 보고된 바 없다. 더욱이 척수장애인을 대상으로 활동적

비디오 게임의 운동 효과를 증명한 연구는 매우 미흡한 실정이다. 따라서 본 연구의 목적은 척수장애인을 대상으로 일시적 고지방식이 후 활동적 비디오 게임을 활용한 신체 활동이 식후 혈중 지질과 혈관내피세포 기능에 미치는 영향에 대해 알아보는 데 있다.

연구 방법

1. 연구 대상

본 연구의 참여자는 총 40명이었다. 본 연구 참여자는 기초 의학설문지를 통해 심혈관계 질환이 있거나 관련 치료약물을 복용하는 자는 제외되었으며, 척수손상 후 기간이 최소 1년 이상 지나고, 척수 손상부위가 상체의 움직임이 가능한 최고범위인 경추 6번 이하인 남녀 40명으로 하였다. 본 연구 피험자들의 손상부위는 경추 부위 3명(7.5%), 흉추 부위 30명(75.0%), 요추 부위 7명(17.5%)이었으며, 손상유형에 따라 완전 손상은 25명(62.5%), 불완전 손상은 15명(37.5%)이었다. 미국 척수 손상협회(American Spinal Injury Association) 손상척도¹³에 따르면 척수손상 부위 이하의 모든 운동과 감각 기능이 상실된 완전손상 A 단계는 27명, 운동기능은 완전한 마비이나 감각기능만 유지된 상태인 불완전 손상 B 단계는 5명, 운동기능은 남아 있으나 기능적이지 못한 불완전 손상 C 단계는 8명이었다. 본 연구는 서울의료원 생명윤리위원회 심의를 받아 시행되었으며(IRB No. 2016-02), 실험 전 참여자들에게 연구의 목적과 내용을 충분히 설명하고 동의를 구한 후 실시하였다. 모집된 모든 피험자는 고지방 식이와 활동적 비디오 게임 처치 또는 고지방식이와 통제 처치에 각각 20명씩 배정하였으며, 두 처치그룹 간 피험자 특성은 유사하였다. 본 연구 대상자의 특성은 Table 1에 제시하였다.

2. 실험설계 및 절차

본 연구는 무작위 배정 통제시험 설계로 진행되었으며 실험군으로 고지방식이와 활동적 비디오 게임그룹과 대조군으로 고지방식이와 비신체활동그룹으로 각각 20명씩 배정하였다. 고지방식이 후 혈중중성 지방이 최대 증가하는 시간과 혈관내피세포 기능이 감소하는 시간은 식후 2-4시간으로 알려져 있으며⁹, 운동 후 혈관 기능은 운동 직후 감소하였다가 운동 후 1시간 이후부터 증가하는 것으로 제시되고 있다¹⁴. 이러한 선행연구 결과를 토대로 모든 종속 변인은 고지방식이 전과 고지방식이 후 4시간에 2회 측정하였으며 실험군의 활동적

Table 1. Physical characteristics of the subjects (n=40)

Variable	Exergaming group (n=20)	Control group (n=20)	p-value
Age (yr)	41±7	41±8	0.905
Male : female	12 : 8	12 : 8	–
Body mass index (kg/m ²)	22.0±2.5	23.1±4.4	0.309
Current smoker	10 (50)	8 (40)	0.525
Alcohol intake (≥2 times/wk)	3 (15)	5 (25)	0.426
Waist circumference (cm)	90.1±10.0	95.1±14.5	0.240
Systolic blood pressure (mm Hg)	116.9±10.1	114.7±13.2	0.565
Diastolic blood pressure (mm Hg)	77.0±8.6	74.6±12.8	0.500
Physical activity (MET-hr/day)	18.88±11.07	16.76±13.22	0.585
Time since injury (yr)	13.5±8.3	13.6±8.0	0.967
Completeness of injury			0.744
Complete	13 (65)	12 (60)	
Incomplete	7 (35)	8 (40)	
Neurological level			0.737
Cervical	2 (10)	1 (5)	
Thoracic	14 (70)	16 (80)	
Lumbar	4 (20)	3 (15)	
ASIA impairment scale			0.597
A	15 (75)	12 (60)	
B	2 (10)	3 (15)	
C	3 (15)	5 (25)	

Values are presented as mean±standard deviation or number (%).
MET: metabolic equivalents, ASIA: American Spinal Injury Association.

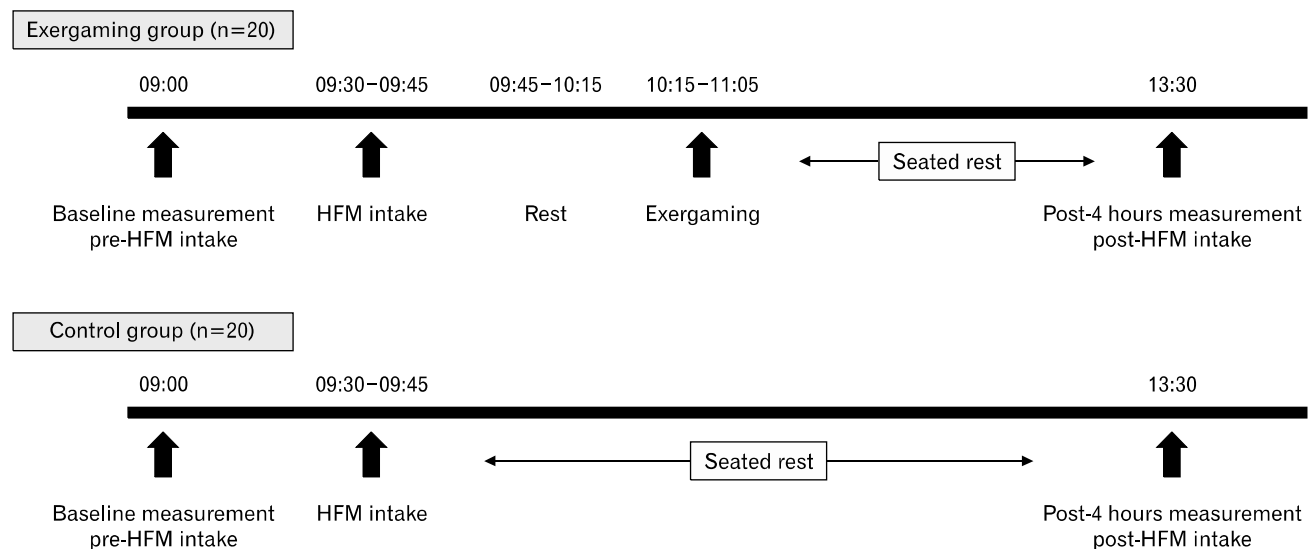


Fig. 1. Experimental design. HFM: high-fat meal.

비디오 게임은 고지방식이 섭취 후 30분간 휴식을 취한 뒤 50분간 실시하였다(Fig. 1). 혼란 변수의 영향을 최소화하기 위해 검사 4시간 전 공복, 12시간 카페인 섭취 금지, 24시간 전 고강도 신체 활동을 제한하였다.

3. 고지방식이

고지방식은 식후 중성지방이 증가하고 혈관내피세포 기능 장애가 유발되었다고 보고된 Vogel 등⁹과 Padilla 등¹¹의 연구에서 이용한 음식과 동일하게 구성하였다. 모든 피험자는

총열량 1,260 kcal, 총 지방 48 g, 포화지방 17 g이 함유된 M사의 bacon egg McMuffin 1개, sausage egg McMuffin 1개, hash brown 2개, 중간 크기의 콜라 1개를 섭취하였다.

4. 신체 활동 및 비신체활동 통제 처치

신체 활동은 고지방 식이 섭취 후 30분간의 휴식을 취한 뒤 활동적 비디오 게임(Wii Sports; Nintendo, Tokyo, Japan)을 이용하여 복싱(30분)과 테니스(20분) 운동을 연구보조원과 짝을 이루어 실시하였다. 무선심박동 장비(RS800CX; Polar Electro Ltd., Kempele, Finland)를 착용하여 운동 강도를 측정하고, 여유 심박수의 약 50%~60% 즉 중강도에 해당되었으며, 활동적 비디오 게임 그룹 모두 운동을 완수하였다. 활동적 비디오 게임 그룹은 운동 후 측정시간을 제외한 시간 동안은 앉은 자세를 유지하였다. 비신체활동 통제 그룹은 고지방 식이 섭취 후 측정시간을 제외한 모든 시간 동안 앉은 자세를 유지하도록 하였다.

5. 측정 항목 및 방법

1) 혈압 및 혈액검사

상완동맥 혈압은 5분간 누운 자세에서 충분히 휴식을 취한 후 자동혈압계(HEM-7080IC; Omron healthcare, Kyoto, Japan)를 이용하여 측정하였다. 3분 간격으로 2회 측정하여 낮은 값을 자료로 이용하였다. 총콜레스테롤, 고밀도 및 저밀도 지단백 콜레스테롤, 중성지방은 상완정맥에서 8.5 mL serum separation tube에 혈액을 채취하여 혈청을 분리한 뒤 분석하였으며, 혈당은 혈당 분석전용 용기인 항응고제가 포함된 3 mL NaF tube에 혈액을 채취하여 분석하였다.

2) 혈관내피세포 기능

혈관내피세포 기능은 우측 상완에서 내피세포 의존성 혈관이완능(brachial artery endothelial flow-mediated vasodilation [FMD])으로 측정하였다. 우측 팔오금(antecubital fossa)의 3 cm 상방에서 고해상도 초음파(Acuson X300; Siemens, Washington, DC, USA)의 11.4 MHz 종축 탐촉자(linear probe)를 이용하여 상완동맥 기저내경(baseline brachial artery diameter)을 측정하고, 전완에 혈압 커프의 압력을 250 mm Hg까지 올려 5분간 혈류를 차단하였다. 이후 압력을 풀고 2분간 상완동맥의 직경 변화를 관찰하여, 기저 상태의 혈관 내경과 과혈류 때 최고 이완된 혈관 내경(maximal brachial artery diameter)을 이용하여 혈관 내경 증가비율(%)을 구하였으며, 혈관이완능은 자동분석 프로그램(FMD Studio; Quipu, Pisa, Italy)을 이용하여 분석하였다.

3) 신체 활동량

신체 활동량은 Washburn 등¹⁵⁾이 개발한 physical activity scale for individuals with physical disabilities를 번역하여 우리나라 실정에 맞게 수정 보완한 질문지를 이용하였다. 지난 일주일간 레저 시간, 가사일, 일 관련 활동에 대한 강도별 참여 일수와 시간을 기록하였으며, 카테고리별 일일 평균시간에 항목별 승수(multiplier)를 곱한 총점을 구하여 일일 신체 활동량을 구하였다(metabolic equivalents [MET]-hr/day).

6. 자료 처리

측정된 모든 자료는 평균과 표준편차를 산출하였다. 고지방 식이 섭취 후 활동적 비디오 게임 그룹과 비신체활동 통제 그룹

Table 2. Changes in hemodynamic and blood parameters after a high-fat meal in exergaming and control group

Variable	Exergaming group		Control group		p-value
	Baseline	Post-4 hours	Baseline	Post-4 hours	
Systolic blood pressure (mm Hg)	116.9±10.1	114.6±13.0	114.7±13.2	115.3±16.2	0.443
Diastolic blood pressure (mm Hg)	77.0±8.6	70.0±9.3*	74.6±12.8	71.6±12.8*	0.114
Heart rate (bpm)	70.0±9.2	80.8±13.7*	67.6±8.4	72.8±10.4*	0.051
Total cholesterol (mg/dL)	189.7±35.8	183.7±46.2	184.9±28.5	182.1±27.0	0.616
Low-density lipoprotein cholesterol (mg/dL)	124.3±35.7	116.9±31.2*	118.2±30.9	110.2±29.0*	0.724
High-density lipoprotein cholesterol (mg/dL)	50.3±10.3	44.0±10.0*	51.8±17.0	46.0±15.6*	0.362
Triglyceride (mg/dL)	119.5±39.2	228.6±93.4*	121.6±55.7	230.2±98.1*	0.596
Glucose (mg/dL)	93.0±19.6	97.2±25.1	89.1±8.3	93.2±20.4	0.981

Values are presented as mean±standard deviation.

The p-values for time×group interaction effect, *p<0.05 paired t-test between baseline and post-4 hours high-fat meal.

에 따른 시간별 종속 변인들의 변화를 알아보기 위해 그룹(신체활동, 통제그룹)과 측정시간(사전, 고지방식이 4시간 후)을 독립변인으로 하는 2×2 반복측정 analysis of variance를 실시하였다. 사후검사로 고지방 식이 사전과 사후값을 이용한 종속 t-test를 실시하였다. 모든 통계분석은 IBM SPSS ver. 23.0 (IBM Corp., Armonk, NY, USA)을 이용하였으며, 통계적 유의수준은 $\alpha=0.05$ 로 설정하였다.

결 과

1. 혈압과 혈중지질 및 혈당 변화

수축기 혈압은 활동적 비디오 게임과 통제그룹 모두 고지방식이 후 변화가 없었다. 이완기 혈압은 두 그룹 모두 고지방식이 후 감소하였으나(time effect, $p=0.001$), 그룹 간 유의한 차이는 없었다.

중성지방은 활동적 비디오 게임과 통제 그룹 모두 고지방식이 후 유의하게 증가하였으며(time effect, $p<0.001$), 그룹 간 유의한 차이는 나타나지 않았다. 저밀도 지단백 콜레스테롤과 고밀도 지단백 콜레스테롤은 두 그룹 모두 고지방식이 후 감소하였으며 그룹 간 유의한 차이는 없었다. 총 콜레스테롤은 고지방식이 후 두 그룹 모두 유의한 변화를 보이지 않았다. 고지방식이 후 4시간에 혈당은 두 그룹 모두 증가하는 경향을 보였으나(time effect, $p=0.051$), 그룹 간 유의한 차이는 없었다 (Table 2).

2. 혈관내피세포 기능 변화

혈관내피세포 기능은 통제그룹의 경우 사전 $10.4\pm4.8\%$ 에서 고지방식이 후 4시간에는 $7.9\pm4.4\%$ 로 유의하게 감소하였다. 그러나 활동적 비디오 게임 그룹의 경우 사전 $10.9\pm5.3\%$ 에서 식후 4시간에는 $12.3\pm5.2\%$ 로 증가하였으며, 통계적으로 유의한 상호작용 효과가 나타났다($p=0.004$) (Fig. 2). 혈관내피세포 기능 검사 시 상완동맥 직경 변화를 살펴보면, 통제그

룹은 고지방식이 전후에 상완동맥 기저 직경과 과혈류 반응 시 최고 이완직경의 차이가 없는 반면, 활동적 비디오 게임 그룹은 고지방식이 4시간 후 상완동맥 기저 직경이 증가하였으며, 과혈류 반응 시 최고 이완직경도 유의하게 증가하였다 (Table 3).

고 찰

본 연구는 척수장애인을 대상으로 활동적 비디오 게임을 활용한 신체 활동이 고지방식이 후 혈중지질과 혈관내피세포 기능 변화에 미치는 영향을 알아보고자 하였다. 고지방식이 후 혈관내피세포 기능은 통제그룹에서는 유의하게 감소한 반면 활동적 비디오 게임 그룹에서는 식후 혈관내피세포 기능 감소가 억제되었을 뿐만 아니라 오히려 향상된 결과를 보였다. 이러한 결과는 건강한 성인을 대상으로 고지방식이 후 약 45분간의 걷기 운동이 혈관내피세포 기능을 향상시켰다고 보고한 Padilla 등¹¹의 연구와 비만 청소년에서 고지방식이 후 활동적 비디오 게임 실시가 혈중지질을 감소시키지는 못하였지만, 혈관내피세포 기능을 유의하게 증가시켰다고 보고한

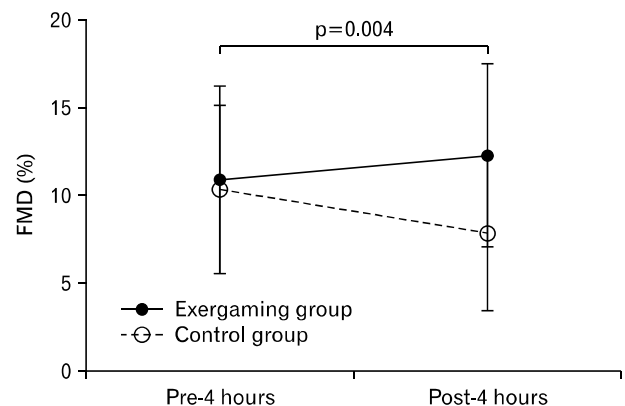


Fig. 2. Changes in flow-mediated vasodilation (FMD) after a high-fat meal in exergaming and control groups. The p-value for time×trial interactive effect.

Table 3. Changes in brachial artery diameter at baseline and peak during flow-mediated vasodilation test after a high-fat meal in exergaming and control group

Variable	Exergaming group		Control group		p-value
	Baseline	Post-4 hours	Baseline	Post-4 hours	
Basal diameter (mm)	4.2±0.7	4.3±0.7*	4.3±0.9	4.4±1.0	0.694
Peak diameter (mm)	4.6±0.7	4.9±0.7*	4.7±0.9	4.7±1.0	0.064

Values are presented as mean±standard deviation.

The p-values for time×group interaction effect, * $p<0.05$ paired t-test between baseline and post-4 hour high fat.

Park 등¹⁶과 동일한 결과이다. 따라서 본 연구는 고지방 식이 후 활동적 비디오 게임의 실시에 따른 혈관보호 효과를 척수장애인에게까지 적용할 수 있다는 가능성으로 제시한 것으로 의의가 있다. 고지방식이 동맥경화성 질환을 유발하는 기전은 명확히 밝혀지지 않았으나, 식후 혈중 중성지방 증가로 인한 혈관 기능 감소가 하나의 주요기전으로 제시되고 있다⁷. 식후 지질에는 동맥경화 및 혈전 형성형 지질인 remnant lipoprotein cholesterol (RLP-C)이 많이 포함되어 있으며, 식후 중성지방 농도가 증가할수록 RLP-C 농도가 증가하는 것으로 알려져 있다⁵. 이는 세포 내 산화에 따른 스트레스 및 염증반응을 일으키고 혈관 이완 물질인 산화질소 생성에 필수물질인 BH4 (tetrahydrobiopterin)를 산화시킨다. 따라서 산화질소 분비 및 활성도가 감소하여 혈관내피세포 기능이 저하되고, 동맥경화 질환 발생이 촉진되는 것으로 보고되고 있다¹⁷. 고지방 식이로 인한 식후 혈관 기능 감소는 단 1회 섭취만으로도 나타나며^{9,11,16}, 섭취된 지방량과 식후 중성지방 증가수준 그리고 신체 활동 여부와 체력상태에 따라 다르지만, 건강한 성인의 경우 약 17%~70% 정도의 혈관기능 감소폭을 보인다^{18,19}. 한편, 척수장애인의 경우 신체 활동 부족과 근육량 감소로 고지방식이에 따른 동맥경화 질환 발생 위험도가 더 높을 것으로 제시되고 있으나, 아직 이들의 식후 지질대사에 관한 연구는 매우 미흡하며 더욱이 고지방식이에 따른 혈관 기능 변화는 거의 보고된 바 없다. Nash 등⁴은 척수장애인에서 식후 지혈증 대사에 대해 처음 보고하였는데, 비록 적은 피험자를 대상으로 하였지만, 척수장애인은 비장애인보다 식후 중성지방 area under the curve가 46.5% 증가하였다. 그러나 이후 Emmons 등²⁰의 연구에서는 척수장애인과 비장애인은 공복 시 중성지방과 식후 중성지방 증가 모두 유의한 차이가 없었으며, 척수장애인 내에서 apolipoprotein B, 체지방, 복부지방이 높을수록 식후 지혈증이 높게 나타나는 것으로 보고하였다. 비록 본 연구에서 직접 비장애인과 척수장애인의 식후 지혈증 및 혈관기능을 비교하지는 않았지만, 본 연구와 같은 고지방 식이를 섭취한 비만 청소년¹⁶ 및 젊은 성인²¹과 비교해 볼 때, 척수장애인에서 더 높은 식후 중성지방 증가폭을 보였으며 (90 mg/dL vs. 110 mg/dL), 특히 혈관내피세포 기능도 비만 청소년¹⁶과 젊은 성인²¹의 경우 약 13%~14.5% 감소한 반면, 본 연구에서는 식후 4시간에 24.1%로 더 많은 감소폭을 나타냈다. 이에 관한 명확한 근거는 부족하지만, 척수장애인은 근손실로 인한 골격근의 lipoprotein lipase activity (LPL) 활성도 감소로 식후 지질 제거 능력이 감소할 수 있으며²², 이로 인해 더 과도한 식후 혈관 기능 감소가 나타난 것으로 생각한다.

반면 운동은 식후 지혈증 감소 및 혈관 기능 감소 억제에 효과적이며, 일반적으로 중강도의 유산소 운동이 권장되고 있다^{10,11}. 그러나 척수장애인에게 이제까지 선행연구에서 사용된 걷기, 달리기와 같은 유산소 운동을 적용할 수 없으므로, 본 연구에서는 상체운동을 중심으로 한 실내운동 형태인 활동적 비디오 게임을 이용하여 고지방식이 후 혈중지질농도와 혈관 기능 변화를 살펴보았다. 활동적 비디오 게임은 종목마다 다르지만, 저-중정도 운동강도에 해당하며, 특히 하지마비 장애인들에게 지질 개선 및 심폐 체력을 향상하기에 충분한 강도를 줄 수 있는 것으로 제시되고 있다²³. 그러나 본 연구 결과, 활동적 비디오 게임은 식후 지질농도를 유의하게 감소시키지 못하였다. 운동이 식후 지질을 제거하는 기전은 hepatic very low-density lipoprotein 합성 억제, LPL 활성도 증가, chylomicron particle 감소 등이 제시되고 있으나²⁴, 척수장애인의 경우 손상 후 속근섬유로의 근섬유 변화로 운동 시 지방 동원 비율이 감소된 것이 원인이 될 수 있으며²⁵, 골격 근량이 절대적으로 부족하므로 운동 후 중성지방 제거에 필요한 골격근의 LPL 농도가 부족하기 때문으로 생각한다²². 그러나 이에 관련된 추가적인 연구가 필요하다.

본 연구에서 흥미로운 점은 고지방 식이 후 실시한 활동적 비디오 게임은 혈중지질 감소와 독립적으로 혈관내피세포를 개선했다는 점이다. 비록 고지방식이에 따른 혈관내피세포 기능 감소에 있어 중성지방 증가가 주요 원인으로 알려졌지만, 두 변화 간 관련성이 없다는 연구결과도 종종 제시되고 있다. Tyldum 등²⁶의 연구에서도 운동은 식후 중성지방 농도를 감소시키지 못하지만 혈관내피세포 기능을 개선했다고 보고하였다. 이에 대한 원인으로 먼저 운동의 혈류 증가 기전을 고려해 볼 수 있다. 운동으로 증가한 혈류량은 내피세포에 직접 shear stress를 증가시키고 혈관 이완 물질인 산화질소 분비 증가 및 활성도를 증가시킴으로 혈관내피세포 기능을 향상할 수 있다²⁷. 또한 고지방식이에 의한 산화적 스트레스와 염증물질의 증가는 혈관내피세포 기능을 감소시킬 수 있는데²⁸, 운동은 항산화 효소 기능을 향상할 뿐만 아니라 근수축은 직접적으로 interleukin-6과 같은 항염증 사이토카인 분비를 증가시킴으로 고지방식이에 따른 혈관내피세포 기능 감소에 보호적 효과를 줄 수 있다²⁹. 한편, 운동의 항산화 기능은 강도에 따라 다르게 나타날 수 있는데, 중강도 운동은 고강도 운동보다 고지방 식이에 따른 산화적 스트레스 손상 억제 및 혈관내피세포 개선에 효과적이라고 제시되고 있다³⁰. 본 연구에서 활용한 활동적 비디오 게임의 경우 무선심박동 장비로 운동강도를 확인한 결과 여유 심박수의 약 50%~60% 즉 중강도에 해당되었

으며, 식후 혈관내피세포 기능이 12.7% 정도 증가하였다. 본 연구와 같은 활동적 비디오 게임을 실시한 비만 청소년을 대상으로 한 연구에서도 본 연구와 유사한 운동강도를 보였고 식후 혈관내피세포 기능도 16% 증가하였다¹⁶. 그러나 건강한 성인을 대상으로 한 연구에 따르면 활동적 비디오 게임의 운동강도는 40% 미만의 저강도로 나타났으며, 식후 혈관내피세포 기능은 약 7% 정도 증가하여 유의한 개선 효과가 없었다²¹. 따라서 이러한 결과를 볼 때 고지방 식이에 따른 혈관내피세포 기능 개선을 위해 중강도의 신체 활동이 필요하며, 활동적 비디오 게임의 경우 운동 종목과 대상자에 따라 운동강도가 다르게 나타나지만 척수장애인에게 활동적 비디오 게임은 식후 혈관내피세포 기능 억제를 보호하기에 적절한 운동 효과를 줄 수 있을 것으로 생각한다.

본 연구는 다음과 같은 제한점이 있다. 첫째, 본 연구는 식후 4시간까지만 측정하였기 때문에 4시간 이후에 운동 처치와 통제 처치 간에 나타날 수 있는 차이를 관찰하지 못하였다. 일반적으로 건강한 성인의 경우 중성지방은 식후 4시간에 최고치를 보이지만 질환이 있는 사람들의 경우 중성지방 최고 수준 시간이 지연되어 나타나며 장시간 고 중성지방 농도에 노출될 수 있다²². 그러나 척수장애인을 대상으로 식후지혈증을 측정한 초기 연구에 따르면 비록 일반인보다 척수장애인에서 식후지혈증 농도가 유의하게 더 높게 증가하더라도 최고 농도를 보이는 시간은 식후 4시간으로 동일하게 나타났다⁴. 둘째, 본 연구는 모든 피험자에게 동일한 고지방 식이를 섭취하도록 하였으므로 성별, 개별적 지질 대사 능력 및 운동 시 에너지 대사 수준을 고려하지 못하였다. 그러나 본 연구에서 섭취한 고지방식은 일반적으로 섭취할 수 있는 패스트푸드이며, 여러 선행연구에서 고지방식에 따른 혈중지질과 혈관 기능 변화를 관찰하는 데 사용되어왔다. 세 번째, 본 연구는 대상자들의 평소 식습관과 체력 수준을 고려하지 못하였다. 그러나 설문지를 통한 신체 활동량을 평가한 결과 두 집단 간 신체 활동량은 유사한 수준이었다. 마지막으로 고지방 식이에 의한 혈당 변화는 인슐린 저항성과 관련이 있을 수 있으나, 본 연구에서는 인슐린 저항성을 측정하지 못하였다. 추후 연구에서 이러한 점을 고려하는 것이 필요할 것으로 생각한다. 비록 본 연구는 위에서 제시한 몇 가지 제한점이 있지만 척수장애인을 대상으로 고지방식에 따른 혈중지질변화와 혈관내피세포 기능을 살펴보고, 식후 혈관 변화에 있어 활동적 비디오 게임을 활용한 신체 활동의 보호적 효과를 제시한 초기 연구라는 점에서 그 연구적 가치가 있을 것으로 생각한다. 이상의 결과를 종합해 보면, 척수장애인에게 고지방 식이 후 활동적

비디오 게임은 혈중지질 변화 없이 직접적으로 혈관기능에 보호적 효과를 나타냈으며, 추후 척수장애인을 대상으로 장기간 활동적 비디오 게임의 활용한 신체 활동의 건강학적 효과에 관한 연구가 필요할 것으로 생각한다.

Conflict of Interest

No potential conflict of interest relevant to this article was reported.

Acknowledgements

We sincerely thank the Korea Spinal Cord Injury Association for their support in this study. We also thank all the participants for this study.

References

1. Devivo MJ. Epidemiology of traumatic spinal cord injury: trends and future implications. *Spinal Cord* 2012;50:365-72.
2. Bauman WA, Spungen AM. Coronary heart disease in individuals with spinal cord injury: assessment of risk factors. *Spinal Cord* 2008;46:466-76.
3. Levine AM, Nash MS, Green BA, Shea JD, Aronica MJ. An examination of dietary intakes and nutritional status of chronic healthy spinal cord injured individuals. *Paraplegia* 1992;30:880-9.
4. Nash MS, DeGroot J, Martinez-Arizala A, Mendez AJ. Evidence for an exaggerated postprandial lipemia in chronic paraplegia. *J Spinal Cord Med* 2005;28:320-5.
5. Nordestgaard BG, Benn M, Schnohr P, Tybjaerg-Hansen A. Nonfasting triglycerides and risk of myocardial infarction, ischemic heart disease, and death in men and women. *JAMA* 2007;298:299-308.
6. Gaziano JM, Hennekens CH, O'Donnell CJ, Breslow JL, Buring JE. Fasting triglycerides, high-density lipoprotein, and risk of myocardial infarction. *Circulation* 1997;96:2520-5.
7. Gaenzer H, Sturm W, Neumayr G, et al. Pronounced postprandial lipemia impairs endothelium-dependent dilation of the brachial artery in men. *Cardiovasc Res* 2001;52: 509-16.
8. Anderson TJ. Arterial stiffness or endothelial dysfunction as a surrogate marker of vascular risk. *Can J Cardiol* 2006;22 Suppl B:72-80.

9. Vogel RA, Corretti MC, Plotnick GD. Effect of a single high-fat meal on endothelial function in healthy subjects. *Am J Cardiol* 1997;79:350-4.
10. Katsanos CS. Prescribing aerobic exercise for the regulation of postprandial lipid metabolism: current research and recommendations. *Sports Med* 2006;36:547-60.
11. Padilla J, Harris RA, Fly AD, Rink LD, Wallace JP. The effect of acute exercise on endothelial function following a high-fat meal. *Eur J Appl Physiol* 2006;98:256-62.
12. Lieberman DA, Chamberlin B, Medina E Jr, et al. The power of play: innovations in getting active summit 2011. A science panel proceedings report from the American Heart Association. *Circulation* 2011;123:2507-16.
13. Kirshblum SC, Groah SL, McKinley WO, Gittler MS, Stiens SA. Spinal cord injury medicine. 1. Etiology, classification, and acute medical management. *Arch Phys Med Rehabil* 2002;83(3 Suppl 1):S50-7, S90-8.
14. Dawson EA, Green DJ, Cable NT, Thijssen DH. Effects of acute exercise on flow-mediated dilatation in healthy humans. *J Appl Physiol* (1985) 2013;115:1589-98.
15. Washburn RA, Zhu W, McAuley E, Frogley M, Ficoni SF. The physical activity scale for individuals with physical disabilities: development and evaluation. *Arch Phys Med Rehabil* 2002;83:193-200.
16. Park SH, Yoon ES, Lee YH, et al. Effects of acute active video games on endothelial function following a high-fat meal in overweight adolescents. *J Phys Act Health* 2015;12: 869-74.
17. Wallace JP, Johnson B, Padilla J, Mather K. Postprandial lipaemia, oxidative stress and endothelial function: a review. *Int J Clin Pract* 2010;64:389-403.
18. Nicholls SJ, Lundman P, Harmer JA, et al. Consumption of saturated fat impairs the anti-inflammatory properties of high-density lipoproteins and endothelial function. *J Am Coll Cardiol* 2006;48:715-20.
19. Marchesi S, Lupattelli G, Schillaci G, et al. Impaired flow-mediated vasoactivity during post-prandial phase in young healthy men. *Atherosclerosis* 2000;153:397-402.
20. Emmons RR, Ciriigliaro CM, Kirshblum SC, Bauman WA. The relationship between the postprandial lipemic response and lipid composition in persons with spinal cord injury. *J Spinal Cord Med* 2014;37:765-73.
21. Yoon ES, Park SH, Lee YH, Ahn ES, Jae SY. Effects of an active video game on vascular function after a high fat meal. *Exerc Sci* 2013;22:75-84.
22. Patsch JR, Miesenbock G, Hopferwieser T, et al. Relation of triglyceride metabolism and coronary artery disease: studies in the postprandial state. *Arterioscler Thromb* 1992;12:1336-45.
23. Burns P, Kressler J, Nash MS. Physiological responses to exergaming after spinal cord injury. *Top Spinal Cord Inj Rehabil* 2012;18:331-9.
24. Teeman CS, Kurti SP, Cull BJ, Emerson SR, Haub MD, Rosenkranz SK. Postprandial lipemic and inflammatory responses to high-fat meals: a review of the roles of acute and chronic exercise. *Nutr Metab (Lond)* 2016;13:80.
25. Castro MJ, Apple DF Jr, Hillegass EA, Dudley GA. Influence of complete spinal cord injury on skeletal muscle cross-sectional area within the first 6 months of injury. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1999;80:373-8.
26. Tyldum GA, Schjerve IE, Tjonna AE, et al. Endothelial dysfunction induced by post-prandial lipemia: complete protection afforded by high-intensity aerobic interval exercise. *J Am Coll Cardiol* 2009;53:200-6.
27. Jungersten L, Ambring A, Wall B, Wennmalm A. Both physical fitness and acute exercise regulate nitric oxide formation in healthy humans. *J Appl Physiol* (1985) 1997;82: 760-4.
28. Zhao T, Bokoch GM. Critical role of proline-rich tyrosine kinase 2 in reversion of the adhesion-mediated suppression of reactive oxygen species generation by human neutrophils. *J Immunol* 2005;174:8049-55.
29. Steensberg A, van Hall G, Osada T, Sacchetti M, Saltin B, Klarlund Pedersen B. Production of interleukin-6 in contracting human skeletal muscles can account for the exercise-induced increase in plasma interleukin-6. *J Physiol* 2000;529 Pt 1:237-42.
30. Lopes Kruger R, Costa Teixeira B, Bouffleur Farinha J, et al. Effect of exercise intensity on postprandial lipemia, markers of oxidative stress, and endothelial function after a high-fat meal. *Appl Physiol Nutr Metab* 2016;41:1278-84.