

고지방식이 섭취 후 간헐적 저항성 신체활동을 통한 좌식 차단이 혈관 기능 및 식후 대사에 미치는 영향

서울시립대학교 스포츠과학과¹, 서울시립대학교 도시보건대학원 도시사회건강전공²

조민정¹ · 정용준¹ · 김연욱¹ · 최태구¹ · 김재엽¹ · 김현정¹ · 제세영^{1,2}

The Effect of Intermittent Resistance Activity for Interrupting Prolonged Sitting on Vascular Function and Postprandial Metabolism after a High-fat Meal

Min Jeong Cho¹, Yong Joon Jung¹, Yun Wook Kim¹, Tae Gu Choi¹, Jae Yeop Kim¹,
Hyun Jeong Kim¹, Sae Young Jae^{1,2}

¹Department of Sport Science, University of Seoul, Seoul,

²Division of Urban Social Health, Graduate School of Urban Public Health, University of Seoul, Seoul, Korea

Purpose: Numerous studies have reported the effects of interrupting prolonged sitting with aerobic exercise on vascular and postprandial function, but the effects of resistance exercise for interrupting prolonged sitting remain unclear. We tested the hypothesis that intermittent resistance activity breaks would attenuate prolonged sitting-induced vascular and postprandial metabolic dysfunction.

Methods: Fourteen healthy adults (age, 24±2 years; body mass index, 22.0±2.4 kg/m²) completed two trials in a randomized cross-over design. During a 4-hour sitting after a high-fat meal, the participants underwent either resistance activity (RA) with 10 repetitions of five exercises every hour or uninterrupted sitting as a control trial (SIT). Plasma glucose, triglycerides, and brachial artery blood pressure, along with blood flow and shear rate in the superficial femoral artery and carotid artery were measured at baseline and every hour during the 4-hour sitting period. Brachial artery flow-mediated dilation (FMD) was measured at baseline, 2 hours, and 4 hours after the start of the sitting.

Results: Plasma glucose and triglycerides increased after a high-fat meal in both RA and SIT groups without a significant interaction effect. In addition, while SIT group decreased brachial artery FMD (7.2%±2.0% to 6.5%±2.7% to 5.1%±2.6%), RA did not attenuate a decrease in FMD (7.6%±3.4% to 7.3%±3.1% to 6.7%±2.7%, interaction p=0.581).

Conclusion: Our findings indicate that interrupting prolonged sitting with intermittent RA did not attenuate the negative effects of sitting on vascular function and postprandial metabolism in young healthy adults.

Keywords: Sedentary behavior, Vasodilation, Resistance training, Regional blood flow, Postprandial period

Received: January 30, 2023 Revised: April 6, 2023 Accepted: April 13, 2023

Correspondence: Sae Young Jae

Exercise and Cardiovascular Physiology Laboratory, 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

Copyright ©2023 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

과학기술의 발달로 인해 현대인들의 좌식생활 행태가 증가하였으며, 즉석식품 및 서구화된 식이 등의 고지방식이 현대사회에 만연한 식습관으로 자리 잡았다. 안정 시 대사량의 1.5배 이하의 에너지 소비량으로 앉거나 누워서 보내는 활동으로 정의되는 좌식생활¹은 모든 원인 및 심혈관질환 사망의 독립적인 위험인자로 알려져 있다². 이러한 좌식생활의 전형적인 형태는 TV 시청이나 업무 중 지속적으로 앉아 있는 것이며, 중간 활동 없이 장시간 앉아있는 것은 심혈관 질환 유병률을 증가시키는 것으로 제시된다³. 흥미로운 것은, 이러한 장시간 앉아있는 시간과 심혈관계 질환 및 사망률과의 정적인 연관성은 여가 관련 신체활동량을 보정한 뒤에도 나타났다³. 따라서 최근에는 좌식생활이 신체활동 부족의 개념을 넘어서 독자적인 심혈관 위험인자로 제시되고 있다.

좌식생활이 심혈관계 질환 및 사망의 위험을 증가시키는 원인에 대해서는 잘 알려져 있지 않으나, 좌식으로 유발되는 혈관 내피세포 기능장애를 주요한 원인으로 제시하고 있다^{4,5}. 혈관 내피세포 기능장애는 죽상경화 및 심혈관질환 사망의 독립적인 위험인자로 잘 알려져 있다⁶. 이에 장시간 좌식은 혈류 및 혈액 전단속도(shear rate)를 감소시켜 혈관 내피세포 내 산화질소 생성을 줄일 뿐만 아니라 산화 스트레스를 유발하는 진동성 혈액 전단력(oscillatory shear rate)을 유발하여 혈관 내피세포 기능을 저하시키는 것으로 알려져 있다⁴. 또한 장시간 좌식은 골격근 활성도를 감소시키며 이로 인한 식후 대사기능 저하 및 산화 스트레스 증가가 혈관 내피세포기능 감소를 유발할 수 있다⁷. 특히, 현대인들에게 만연한 고지방식이 섭취 후 장시간 좌식 행태는 식후 중성지방 및 혈당 농도를 증가시켜 혈관 내피세포 기능장애를 더욱 악화시킬 것이다⁸. 따라서, 고지방식이 섭취 후 장시간 좌식으로 인한 혈관 기능 저하를 억제할 수 있는 전략이 필요하다.

최근, 장시간 좌식 중 짧은 시간의 신체활동 및 운동을 수행하는 간헐적 좌식 차단(interrupting prolonged sitting with intermittent physical activity)이 좌식 및 식후 대사기능으로 인한 혈관 기능 저하에 보호적 역할을 한다는 증거들이 제시되고 있다^{9,10}. 그러나 많은 연구에서 좌식 차단 방법으로 걷기, 자전거 타기 및 계단 걷기와 같은 유산소 형태의 신체활동 및 운동을 이용하였다^{4,9,10}. 이러한 유산소 형태의 좌식 차단이 장시간 좌식으로 인해 발생하는 혈류 감소 및 혈액 전단속도 저하를 억제할 뿐만 아니라 골격근의 활성화를 높여 혈당 흡수를 증가시키는 효과적인 전략이라고 제시되고 있음에도 불구하고⁴, 물리적인 장소 및 전문화된 장비

(트레드밀, 사이클 에르고미터 등)가 필요하다는 단점이 여전히 존재한다. 반면에, 저항성 신체활동 및 운동은 제한된 장소에서 자신의 체중을 이용하거나 비교적 작은 아령 및 저항성 밴드를 사용하여 수행할 수 있다¹¹. 최근 제2형 당뇨병 환자를 대상으로 한 연구에서 저항성 운동을 통한 간헐적 좌식 차단이 걷기와 같은 유산소 형태의 효과만큼 식후 대사기능을 촉진시키는 것으로 보고하고 있다^{12,13}. 그러나 이와 관련된 연구는 현재 매우 부족하며 특히, 이러한 연구 결과를 확인하고 일반화하기 위해서는 다른 인종이나 일반인을 대상으로 적용한 추가적인 연구가 필요하다.

더욱이, 저항성 신체활동을 이용한 좌식 차단 방법이 좌식으로 인한 혈관 내피세포 기능 저하에 미치는 효과를 확인한 연구는 부족한 실정이다. 저항성 운동 트레이닝은 산화질소의 생체 이용률을 높여 혈관 내피세포 기능을 증가시키는 것으로 알려져 있으나^{14,15}, 일시적 저항성 운동이 혈관 내피세포 기능에 미치는 효과는 논쟁적이다. 간헐적인 저항성 운동은 좌식 중 혈류를 증가시키고 근펌프(muscle pump)를 활성화하여 정맥 회귀를 용이하게 할 뿐만 아니라 고지방식이 후 고중성지방혈증을 완화하여 혈관 기능에 보호적인 역할을 할 것으로 생각되나, 이를 뒷받침할 수 있는 연구가 미비하다. 따라서 본 연구에서는 저항성 운동을 통한 좌식 차단이 고지방식이 섭취 후 장시간 좌식으로 인한 혈관 및 식후 대사기능에 미치는 영향을 확인하고자 하였다. 본 연구에서는 고지방식이 섭취 후 장시간 좌식은 혈관 및 식후 대사기능을 저하시킬 것이며 저항성 운동을 통한 좌식 차단은 이에 보호적인 역할을 할 것이라는 가설을 설정하고 이를 검증하고자 하였다.

연구 방법

1. 연구 대상

본 연구의 참여자는 건강한 20대 성인 14명(남자 8명, 여자 6명; 나이: 24±2세, 체질량지수: 22.0±2.4 kg/m²)으로 서울시립대학교 온라인 커뮤니티를 통해 모집하였다(Table 1). 연구 참여에 자원한 자를 대상으로 기초의학 설문지 및 글로벌 신체활동 설문지를 통해 연구 참여 적합성을 확인하였다. 연구 참여자 선정기준으로는 하루 평균 좌식 시간이 4시간 이상인 자로 설정하였으며, 제외기준으로는 심혈관계 질환, 대사성 질환 및 근골격계 질환이 있거나 비만(체질량지수 ≥30 kg/m²)인 자, 신체활동 참여에 제한이 있는 자로 설정하였다. 참여자들의 하루 평균 좌식 시간은 8.7±2.4시간이었으며, 상대적으로 여가관련 신체활동에 참여하는 활동적인 특성을 갖고 있었다.

2. 연구 설계

본 연구는 무작위 교차설계(randomized cross-over design)로 연구 참여자들은 간헐적 저항성 신체활동 좌식 차단 처치와 좌식 처치(통제 처치)에 모두 참여하였다(Fig. 1). 처치 순서는 무작위로 배치하였으며 저항성 운동이 혈관 기능에 미치는 이월 효과(carryover effect)를 배제하기 위하여 두 처치는 최소 72시간 간격으로 진행하였다. 연구 참여자들에게는 매 처치 참여 전 혈관 및 대사기능에 영향을 미칠 수 있는 알코올 및 카페인(12시간), 흡연(8시간)과 격렬한 운동 참여(24시간)를 삼가고 8시간

이상의 공복상태를 유지하도록 요청하였다. 실험실에 방문한 연구 참여자들은 앉은 자세로 10-15분의 휴식을 취한 후 기저 상태를 측정하였다. 이후 20분 동안 고지방식이를 섭취하였으며, 고지방식이는 선행연구¹⁵와 동일하게 에그 맥머핀 1개, 소시지 에그 맥머핀 1개, 해쉬 브라운 2개와 500 mL 생수를 제공하였다 (1,058 kcal, 포화지방 18.2 g, 단백질 44 g, 나트륨 3,414 mg). 식사 후 연구 참여자들은 4시간의 좌식을 시작하여 두 가지 처치 중 해당 처치를 수행하였다. 좌식 처치는 통제 처치로 4시간의 지속적인 좌식을 실시하였다. 반면에 저항성 신체활동 좌식 차단 처치는 미국스포츠의학회 근력운동 권고사항¹⁶을 기반으로 5가지 다관절을 이용한 운동을 10회씩 매시간 총 4회 실시하도록 설정하였다(스쿼트, 밴드 사이드 레터럴 레이즈, 얼터네이티브 런지, 밴드 바이셉스 컬, 카프레이즈). 운동은 식후 25분에 처음 시작하여 매시간 연구자의 관리 하에 진행하였으며, 동작 속도를 표준화하기 위하여 메트로놈을 이용하였다. 앉아있는 동안에 연구 참여자들은 노트북 및 휴대폰 사용과 독서활동이 허용되었으며 화장실 이용을 제외한 기타 활동은 통제되었다.

본 연구는 서울시립대학교 생명윤리위원회의 승인을 받았으며(UOS IRB No. 2022-05-001), 실험 전 모든 피험자들에게 연구의 목적과 내용을 충분히 설명하고 연구 참여 동의서를 서면으로 받은 후 실험을 진행하였다.

3. 측정

연구 참여자의 특성을 파악하기 위한 신체조성 및 혈액 지표 측정과 신체활동 설문지 조사는 첫 방문에서만 진행하였다. 본 연구의 종속변인 측정은 기저 상태와 4시간의 좌식 중 매시간 총 5회 진행하였으며, 상완동맥 혈관 내피세포 이완능(flow-mediated dilation, FMD)은 기저상태와 좌식 2시간 및 4시간에 측정하였다. 모든 측정은 앉은 자세에서 진행하였다.

Table 1. Participants' characteristics

Characteristic	Data
No. of participants	14
Sex, male:female	8:6
Age (yr)	24±2
Height (cm)	169.6±10.3
Weight (kg)	63.9±12.4
Body mass index (kg/m ²)	22.0±2.4
Body fat (%)	19.3±7.0
Lean body mass (kg)	51.7±11.3
Glucose (mg/dL)	99.0±7.0
Triglycerides (mg/dL)	106.0±43.0
Cholesterol (mg/dL)	
Total	143.0±24.0
Low-density lipoprotein	68.0±19.0
High-density lipoprotein	55.0±9.0
Sitting time (hr/day)	8.7±2.4
Leisure time moderate to vigorous physical activity (METs-min/wk)	600 (270-1,485)

Values are presented number, mean±standard deviation, or median (interquartile range).

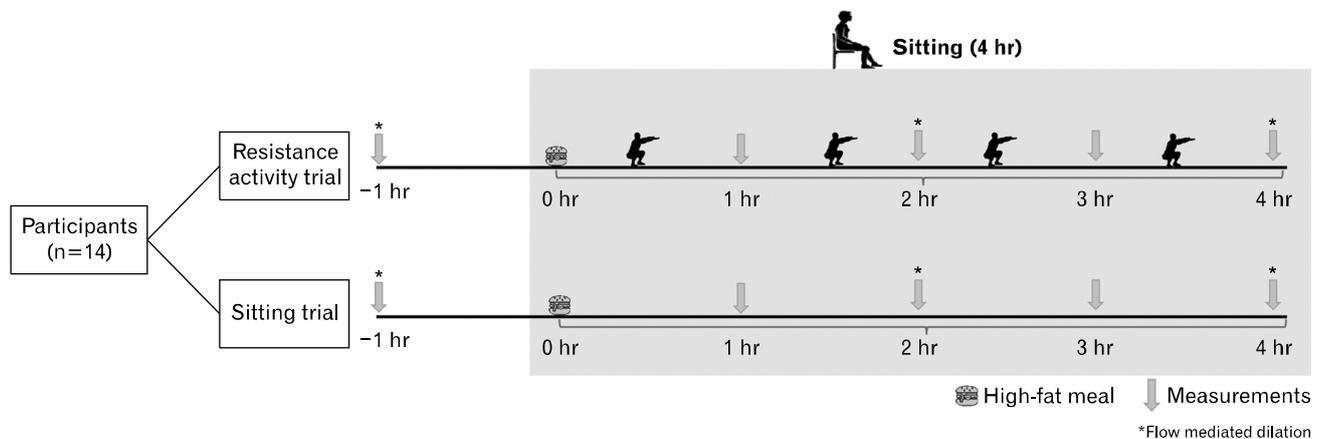


Fig. 1. Experimental design.

체중과 신장은 체중기(X19, X21)와 신장계(Samhwa Ins.)로 측정하였으며, 체수분 분석기(BWA 2.0; Inbody Biospace)를 통해 체지방률 및 골격근량을 측정하였다. 혈액 지표는 왼손가락 끝에서 채혈된 혈액을 자동 혈액 분석기(LABGEO PT10; Samsung)를 이용하여 혈당, 중성지방 및 고밀도 지단백 콜레스테롤, 저밀도 지단백 콜레스테롤, 총 콜레스테롤을 확인하였다. 연구 참여자들의 여가 관련 중·고강도 신체활동 및 좌식 시간은 글로벌 신체활동 설문지를 이용하여 파악하였다.

식후 대사기능을 확인하기 위하여 처치 중 혈당과 중성지방을 측정하였다. 알코올 솜으로 소독한 손가락 끝에서 채혈하여 자동 분석 기기(혈당: Accu-Chek Performa, 중성지방: Accutrend Plus; Roche Diabetes Care)를 통해 나온 데이터를 사용하였다. 연구 참여자들의 불편을 최소화하기 위하여 매 측정마다 다른 손가락에서 채혈을 진행하였다.

혈관 기능으로 혈관 내피세포 기능을 평가할 수 있는 상완동맥 FMD와 혈액학적 지표로 상완동맥의 혈압, 하지동맥 및 경동맥의 혈류량 및 혈액 전단속도를 측정하였다. 상완동맥 FMD는 우측 상완동맥에서 최신 가이드라인¹⁷에 따라 측정하였다. 팔 오금에서 몸쪽 2-3 cm의 동맥 이미지를 초음파 장비(Arietta 60; Hitachi Aloka Medical)와 9-14 MHz의 선형탐색자(L441, Hitachi Aloka Medical)를 이용하여 확인하고, 1분간 안정 상태의 동맥 직경을 측정하였다. 이후 전완에 감싼 혈압 커프의 압력을 220 mm Hg까지 올리고 5분이 지난 뒤 커프를 재빨리 풀어 과혈류를 유발시켰다. 과혈류로 인한 동맥 직경과 혈액 속도 변화를 3분간 측정하였다. 동맥 직경과 혈액 속도는 실시간 자동분석 프로그램(FMD Studio; Quipu s.r.l.)을 이용하여 측정하였으며 그 결과로 FMD를 계산하였다: $FMD = (\text{최대 직경} - \text{안정 시 직경}) / \text{안정 시 직경} \times 100$. FMD에 영향을 미칠 수 있는 과혈류 후 최대 직경까지의 혈액 전단속도 곡선하 면적(area under the curve, AUC)을 다음과 같은 식을 이용하여 산출하였다: $\text{혈액 전단속도} (/sec) = 8 \times \text{평균 혈액 속도}(cm/sec) \times \text{직경}(cm)$.

혈액 지표로 상완동맥의 혈압과 심박수와 하지 동맥 및 경동맥의 혈류량 및 혈액 전단속도를 측정하였다. 혈압과 심박수는 자동 혈압측정 장비(Mobil-O-Graph; IEM GmbH)의 커프를 좌측 상완에 감은 후 최소 2분 간격으로 2회 측정하였다. 두 측정 간의 혈압 차이가 10 mm Hg를 초과할 경우 혈압을 1회 추가 측정하였다. 2개 혈압 값의 평균을 데이터로 사용하였으며 평균 혈압은 다음의 공식을 이용하여 산출하였다: $(\text{수축기 혈압} + 2 \times \text{이완기 혈압}) / 3$. 하지동맥 및 경동맥의 혈류량 및 혈액 전단속도는 위와 같은 초음파 장비와 탐촉자로 우측 외측 대퇴동맥(superficial femoral artery)과 우측 총경동맥(common carotid artery)에서 확인

하였다. 동맥의 이미지는 각각 서혜부(inguinal line)에서 7-10 cm 아래쪽과 경동맥 팽대(carotid bulb) 근위 2 cm에서 확인하였다. 실시간 자동분석 프로그램을 통해 20초간의 동맥 직경과 혈류 속도를 동시에 측정하여 다음과 같은 공식을 통해 혈류량과 혈류 전단속도를 계산하였다: $\text{혈류량} = 60 \times \pi \times \text{평균 혈류 속도}(cm/sec) \times (\text{직경}[cm]/2)^2$, $\text{혈액 전단속도} (/sec) = 8 \times \text{평균 혈류 속도}(cm/sec) \times \text{직경}(cm)$. 외측 대퇴동맥에서는 앞방향(antegrade) 및 역방향(retrograde) 혈액 전단속도를 추가 측정하여 진동성 혈액 전단지표(oscillatory shear index)를 계산하였다: $|(\text{앞방향 혈액 전단속도}) + (\text{역방향 혈액 전단속도})|$.

4. 자료 처리

본 연구의 참여자 수는 고지방식이 후 4시간의 좌식 중 매시간 5분의 계산 걷기가 상완동맥 FMD에 미치는 효과를 확인한 선행 연구¹⁰를 토대로 산출하였다. G*Power 프로그램을 통해 부분 에타제곱(η^2) 0.08, 유의 수준 0.05, 파워 80%로 13명의 참여자가 필요한 것을 확인하였고, 중도 탈락을 고려하여 14명의 참여자를 모집하였다.

측정한 모든 자료는 평균과 표준편차 또는 중위값(사분범위)으로 표시하였다. 데이터의 정규성 검증을 수행했으며, 정규분포를 따르지 않는 다음의 변인들은 로그 치환 후 통계 처리하였다: 외측 대퇴동맥 혈액 전단속도 및 혈류량, 상완동맥 안정 시 혈류량, 두 처치 간의 기저상태 값의 차이를 대응 t 검정으로 파악하였다. 이후 좌식 및 저항성 운동 좌식 차단 처치가 혈관 및 식후 대사기능에 미치는 효과를 확인하기 위해 반복측정 일원배치 분산분석(one-way analysis of variance [ANOVA])를 실시하였다. 시간에 따른 두 처치의 효과를 비교하기 위해 처치와 측정 시기를 독립 변인으로 하는 반복측정 이원배치(two-way) ANOVA를 실시하였다. 상완동맥 FMD의 경우 혈액 전단속도 및 안정 시 직경을 공변량으로 하는 공분산분석(analysis of covariance)을 추가로 시행하였다. 모든 통계 처리는 IBM SPSS version 27.0 (IBM Corp.)을 이용하였으며, 유의 수준은 $p < 0.05$ 로 설정하였다.

결 과

고지방식이 혈중 혈당 및 중성지방 농도를 통계적으로 유의하게 증가시켰으며, 이러한 결과는 저항성 신체활동 좌식 차단 처치 및 좌식 처치에 모두 나타났고 두 처치 간의 유의미한 상호작용은 나타나지 않았다(Fig. 2). 상완동맥의 FMD를 측정할 결과는 Table 2와 같으며, 최대 직경까지의 혈액 전단속도 AUC를 제외한 나머지 변인들의 처치 간 기저상태의 차이가 나타나지 않았다. 좌식 중

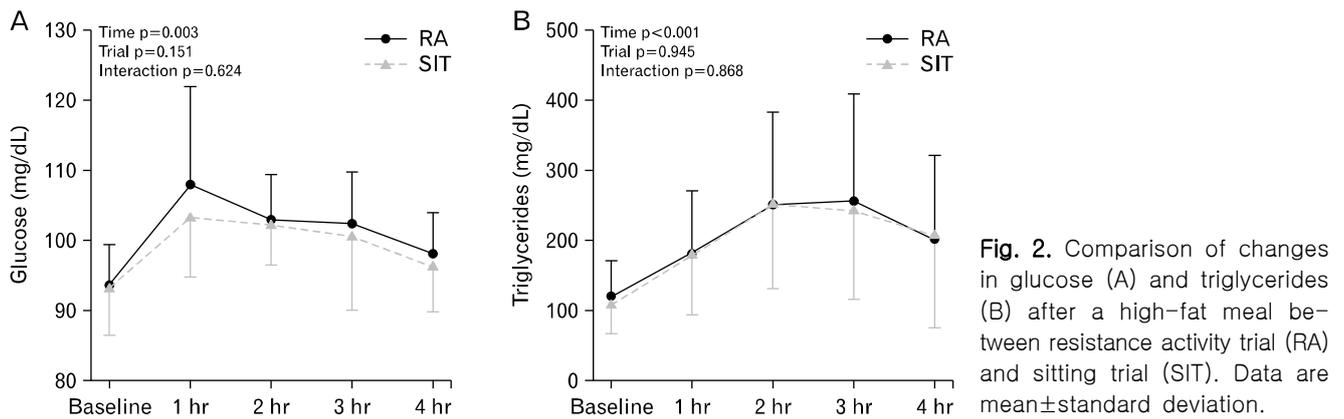


Fig. 2. Comparison of changes in glucose (A) and triglycerides (B) after a high-fat meal between resistance activity trial (RA) and sitting trial (SIT). Data are mean±standard deviation.

Table 2. Comparisons of changes in brachial artery FMD responses between resistance activity trial and sitting trial

Variable	Baseline	2 Hour	4 Hour	One-way	p-value		
					Time	Trial	Interaction
Resting diameter (mm)							
RA	3.77±0.53	3.87±0.54	3.86±0.57	0.027			
SIT	3.79±0.49	3.83±0.45	3.85±0.50	0.173	0.024	0.663	0.244
Resting blood flow (mL/min)							
RA	238±93	239±75	209±91	0.362			
SIT	244±122	209±79	194±77	0.507	0.380	0.140	0.632
Resting shear rate (/sec)							
RA	744±244	743±312	644±290	0.208			
SIT	724±270	655±280	590±249	0.189	0.127	0.245	0.681
Peak diameter (mm)							
RA	4.05±0.56	4.15±0.55	4.11±0.52	0.050			
SIT	4.06±0.51	4.06±0.51	4.04±0.48	0.806	0.322	0.168	0.113
Absolute FMD (mm)							
RA	0.28±0.13	0.27±0.12	0.25±0.08	0.566			
SIT	0.27±0.08	0.23±0.16	0.19±0.09	0.193	0.166	0.138	0.638
SR AUC							
RA	49,268±14,630	46,642±10,671	45,267±12,014	0.645			
SIT	39,812±14,820*	48,045±14,463	47,175±15,433	0.203	0.720	0.460	0.131
SR-corrected FMD (%)							
RA	7.46±2.74	7.28±2.72	6.77±2.72	0.831			
SIT	7.51±2.77	6.39±2.73	5.05±2.73	0.036	0.239	0.236	0.490
Diameter-corrected FMD (%)							
RA	7.74±2.78	7.44±2.78	6.85±2.78	0.753			
SIT	7.16±2.77	6.33±2.79	4.95±2.79	0.038	0.153	0.070	0.669

Values are presented as mean±standard deviation.

FMD: flow-mediated dilation, RA: resistance activity trial, SIT: sitting trial, AUC: area under the curve, SR: shear rate, SR AUC: shear rate AUC above baseline of the shear rate stimulus from release of the arterial occlusion to peak vasodilation.

*p<0.05 vs. RA.

저항성 신체활동은 상완동맥의 안정 시 직경을 유의하게 증가시켰으나, 두 처치와 시간에 따른 변화에는 차이가 나타나지 않았다(상호작용 $p=0.244$). 고지방식이 섭취 후 4시간의 지속적 좌식은 FMD를 유의하게 감소시켰다. 반면에 저항성 신체활동 좌식 차단 처치는 FMD를 변화시키지 않는 것으로 나타났으나 시간과 처치에 따른 상호작용은 유의하게 나타나지 않았다(Fig. 3). 이러한 결과는 혈액 전단속도와 안정 시 동맥 직경을 보정한 후에도 동일하게 나타났다.

Table 3은 상완동맥, 하지동맥 및 경동맥의 혈액학적 변인을 나타낸다. 심박수는 고지방식이 섭취 후 좌식 중 두 처치 모두에서 유의하게 증가한 후 4시간에 기저상태 값으로 돌아왔으나(시간 $p<0.001$), 두 처치 간 시간에 따른 변화는 차이가 나타나지 않았다(상호작용 $p=0.189$). 상완동맥 혈압의 경우, 처치 및 시간의 따른 변화 및 상호작용이 유의하게 나타나지 않았다($p>0.05$). 저항성 신체활동 좌식 차단 처치와 좌식 처치 모두 외측 대퇴동맥 및 경동맥 직경을 유의하게 변화시키지 않았다. 반면에 저항성 신체활동 좌식 차단 처치는 하지동맥의 혈류량을 유의하게 증가시켰으나($p=0.038$), 좌식 처치와 유의한 차이는 나타나지 않았다. 하지동맥의 평균, 앞방향 및 역방향 혈액 전단속도와 혈액 전단지표는 모두 시간과 처치에 따른 상호작용이 나타나지 않았다($p>0.05$). 고지방식이 섭취 후 좌식은 경동맥 혈류량을 감소시켰다($p=0.023$). 이에 반해 저항성 신체활동은 보호적인 효과를 보이는 경향이 있었으나 통계적으로 유의한 상호작용은 없었다($p=0.105$). 경동맥의 혈액 전단속도는 좌식 차단 처치에서 통계적으로 유의하게 감소하였으나 좌식 처치에서도 감소하는 경향이 나타나며 유의한 상호작용이 나타나지 않았다.

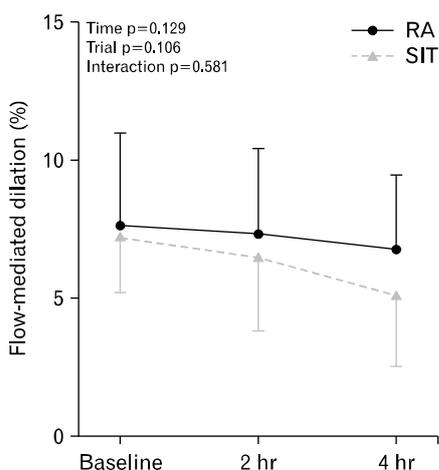


Fig. 3. Comparison of change in brachial artery flow-mediated between resistance activity trial (RA) and sitting trial (SIT). Data are mean±standard deviation.

고찰

본 연구는 고지방식이 섭취 후 4시간의 좌식 중 저항성 신체활동을 통한 간헐적 좌식 차단이 혈관 및 식후 대사기능에 미치는 영향에 대해서 살펴보고 그 결과는 다음과 같다. 고지방식이 섭취 후 혈당과 중성지방 농도가 증가되었으며, 이는 좌식 차단의 유무와 상관없이 동일하게 나타났다. 4시간의 지속적 좌식은 혈관 내피세포 기능을 감소시켰으나, 저항성 신체활동 좌식 차단은 이에 보호적인 효과를 나타내지 못하였다. 또한 장시간 좌식은 경동맥 혈류량을 감소시키는 반면, 저항성 신체활동 좌식 차단은 하지의 혈류량을 증가시키고 경동맥 혈액 전단속도를 감소시키는 것으로 나타났으나 두 처치 간 시간에 따른 변화에는 차이가 나타나지 않았다. 따라서 고지방식이 섭취 후 4시간의 좌식 중 저항성 신체활동을 이용한 간헐적 좌식 차단은 좌식으로 인한 혈관 내피세포 기능 감소와 식후 대사 증가를 억제하지 못한 것으로 생각된다.

장시간 좌식은 혈류 및 혈액 전단속도를 감소시키고, 산화질소 생성을 줄일 뿐만 아니라 산화 스트레스 및 염증을 유발하여 대혈관(macrovascular) 및 미세혈관(microvascular) 기능을 저하시키는 것으로 알려져 있다⁵. 본 연구에서 4시간의 지속적 좌식은 대혈관 기능 지표인 상완동맥 FMD를 감소시켰으며, 이러한 결과는 1회의 지속적 좌식으로도 혈관 내피세포 기능장애가 일어났다는 선행연구들과 일치한다^{10,12,18,19}. 대부분의 선행연구에서는 외측 대퇴동맥 및 오금동맥과 같은 하지동맥에서 좌식으로 인한 혈관 내피세포 기능장애를 보고하였다^{12,18}. 그러나, 일부 연구에서는 좌식으로 인한 상완동맥 FMD의 감소를 보고하였으며^{10,19}, FMD의 감소는 없었지만 내피세포 기능을 저하시킬 수 있는 혈류의 감소를 확인하였다¹⁸. 상완동맥의 혈관 내피세포 기능장애는 관상동맥 질환 및 죽상경화증 위험 증가와 연관되어 있으며⁶, 더욱이 본 연구의 참여자들이 상대적으로 건강하고 활동적임에도 불구하고 상완 혈관 내피세포 기능장애가 나타났다는 점에서 신체활동과는 다른 관점으로 좌식 시간이 심혈관질환 위험에 미치는 영향에 대해 인지해야 한다. 또한 본 연구에서는 좌식 중 하지의 혈액학적 요인에는 변화가 없었으나, 좌식 중 경동맥의 혈류와 혈액 전단속도가 감소하는 것을 확인할 수 있었다. 현재까지 좌식으로 인한 경동맥의 변화를 살펴본 연구는 거의 없지만, 몇몇 연구에서 좌식으로 인한 뇌 혈류의 감소를 보고하였다²⁰. 총경동맥은 뇌 혈류로 연결되는 통로 역할을 하기 때문에 경동맥의 혈류 감소는 뇌 혈류와 연관이 있을 것으로 생각된다. 만성적인 뇌 혈류 감소는 치매 발생에 부분적으로 매개하기 때문에²¹ 좌식으로 인한 경동맥 혈류 및 혈액 전단속도 감소는 임상적으로 중요한

Table 3. Comparisons of changes in hemodynamics between RA and SIT

Variable	Baseline	1 Hour	2 Hour	3 Hour	4 Hour	p-value			
						One-way		Two-way	
						Time effect	Trial effect	Interaction effect (time×trial)	
Brachial artery									
Heart rate (beats/min)	RA 65±9	73±11	70±9	69±9	66±8	<0.001	0.736	0.189	
	SIT 68±8	72±7	69±9	66±7	66±8	0.001			
MBP (mm Hg)	RA 96±6	95±8	96±7	94±7	95±7	0.545	0.367	0.563	
	SIT 97±8	97±9	96±8	95±8	97±9	0.616			
Superficial femoral artery									
Diameter (mm)	RA 6.11±0.71	6.17±0.75	6.11±0.76	6.14±0.83	6.16±0.73	0.806	0.395	0.841	
	SIT 6.03±0.60	6.08±0.65	6.08±0.67	6.04±0.63	6.10±0.63	0.581			
BF (mL/min)	RA 221±83	276±107	282±85	265±110	245±90	0.038	0.057	0.778	
	SIT 228±122	267±109	248±123	225±70	217±81	0.254			
Mean SR (/sec)	RA 214±83	245±93	248±127	266±99	235±82	0.160	0.356	0.805	
	SIT 215±99	229±67	218±82	234±97	215±79	0.551			
Antegrade SR (/sec)	RA 173±64	206±100	223±97	195±75	174±66	0.079	0.134	0.784	
	SIT 161±52	181±53	179±59	167±58	167±61	0.704			
Retrograde SR (/sec)	RA 45±21	49±17	51±16	51±18	57±24	0.238	0.717	0.462	
	SIT 47±18	54±18	58±25	47±14	53±20	0.169			
OSI	RA 0.22±0.09	0.21±0.08	0.21±0.08	0.22±0.08	0.25±0.08	0.199	0.295	0.527	
	SIT 0.23±0.08	0.23±0.06	0.25±0.08	0.23±0.08	0.25±0.09	0.761			
Carotid artery									
Diameter (mm)	RA 6.33±0.57	6.38±0.51	6.44±0.57	6.47±0.45	6.42±0.41	0.347	0.770	0.860	
	SIT 6.35±0.46	6.37±0.54	6.34±0.39	6.45±0.48	6.41±0.45	0.549			
BF (mL/min)	RA 943±181	908±199	949±199	929±256	942±218	0.841	0.374	0.105	
	SIT 946±214	952±171	874±153	880±178	879±146	0.023			
SR (/sec)	RA 672±165	612±148	612±166	586±123	587±100	0.020	0.626	0.803	
	SIT 637±130	607±140	623±137	571±137	577±91	0.070			

Values are presented as mean±standard deviation.
 RA: resistance activity trial, SIT: sitting trial, MBP: mean blood pressure, BF: blood flow, SR: shear rate, OSI: oscillatory shear index.

의미가 있다.

본 연구에서 상완동맥의 혈관 내피세포 기능장애는 좌식으로 인해 발생하였을 수도 있으나, 부분적으로 고지방식이로 인한 과도한 중성지방 상승이 영향을 미쳤을 가능성을 배제할 수 없다. 식후 중성지방 상승은 산화질소의 합성을 방해하여 혈관 내피세포 기능장애를 유발하는 산화 스트레스와 연관이 있는 것으로 알려져 있다. 최근 메타 분석에 의하면 1회의 고지방식이만으로도 상완동맥 FMD가 식후 2시간과 4시간에 각각 1.02%와 1.19% 감소하는 것으로 나타났다²². 그러나 본 연구에서 FMD 감소의 원인으로 좌식과 고지방식이의 기여도를 분리하여 확인할 수 없으므로, 이와 관련된 후속 연구로 밝혀야 할 것이다. 그럼에도 불구하고 대부분의 현대인들이 학교 및 직장, 집에서 식후 좌식 생활을 하기 때문에 좌식 및 고지방식이로부터 혈관을 보호할 전략들이 필요하다.

최근 좌식 중 간헐적인 유산소 형태의 신체활동 및 운동을 이용한 좌식 차단 방법이 좌식으로 인한 혈관 기능 및 식후 대사기능 저하에 보호적인 역할을 한다는 연구가 제시되고 있다. 그러나 본 연구에서 저항성 신체활동을 이용한 간헐적 좌식 차단이 좌식으로 인한 혈관 내피세포 기능 저하와 대사 증가를 억제하지 못하였다. 이러한 선행연구와 불일치한 연구 결과는 적용된 운동 강도, 운동 형태, 혈관 기능 측정 부위 및 연구 참여자의 차이 등에 기인한다고 볼 수 있을 것이다. 대부분의 선행연구에서는 좌식 중 30-60분 간격으로 2-10분의 자전거 타기 및 걷기 등의 중강도 유산소 운동을 통해 간헐적 좌식 차단의 효과를 검증하였다. 좌식 차단으로 이용하는 운동이 같은 양으로 수행될 때 빈도보다는 1회 수행시간이 길수록, 강도가 낮은 활동보다는 높은 활동에서 더욱 효과가 있는 것으로 보고하고 있다²³. 실제로, 지속적 좌식 중 매시간 5분의 계단 걷기(평균 여유 심박수의 66%의 증강도)를 하였을 때는 상완동맥의 FMD 감소에 보호적 효과를 제공한 것으로 나타났다¹⁰. 본 연구에서 사용된 저항성 신체활동 좌식 차단은 개인의 체중과 밴드를 사용하여 1시간 간격으로 5분간 시행하였다. 그러나 동작 변경 등과 같은 특성으로 인해 이러한 활동을 연속적으로 시행하기 어려워 실제 참여 시간은 이보다 적을 것으로 생각되며 개별적인 최대 근력을 고려하여 운동 강도를 적용할 수도 없었다. 추후 연구에서는 개인의 근력에 맞는 강도를 설정하여 보다 높은 강도에서 지속적으로 저항성 운동을 적용하여 그 효과를 확인할 필요가 있다.

대부분 선행연구에서 좌식 차단 방법으로 사용된 유산소 운동은 전신의 혈류를 증가시켜 좌식으로 인한 혈류 감소를 막고 내피세포 기능 저하를 보호하는 것으로 여겨진다^{19,24}. 반면에, 저항성 운동은 수축하는 근육에 일시적인 허혈(ischemia)을 유발

후 국소적인 충혈(hyperemia)을 유발하는 특징을 갖고 있다¹⁴. 또한, 저항성 운동은 유산소 운동에 비해 혈류역학적 변화가 적고 혈관 수축을 유발할 수 있는 교감신경계 활성도가 일시적으로 증가한다고 알려져 있다²⁵. 이러한 특징으로 인해 실제 일회성 저항성 운동이 혈관 기능을 개선시킬지에 대해서는 여전히 논란이 많다. 그럼에도 불구하고 본 연구에서 고지방 섭취 후 좌식 차단 방법으로 저항성 신체활동을 적용한 이유는 저항성 운동이 인슐린 민감도 개선 및 골격근으로 혈류를 촉진하는 긍정적인 효과가 있으며, 특히 제한된 장소에서 비교적 쉽게 적용할 수 있는 좌식 차단 형태이기 때문이다.

저항성 신체활동을 좌식 차단 방법으로 사용하여 혈관 기능에 미치는 효과를 확인한 연구는 매우 부족하다. 제2형 당뇨병 환자를 대상으로 7시간의 좌식 중 하지 근력 운동(하프 스쿼트, 카프레이즈, 니업)을 7시간의 좌식 중 30분 간격으로 3분, 또는 60분 간격으로 6분 하도록 하였을 때, 30분 간격으로 3분 운동한 처치에서 대퇴동맥 FMD가 높아지는 것을 확인하였다²⁶. 동일한 운동을 과체중/비만이 있는 성인에게 5시간 좌식 중 30분 간격으로 3분 수행하였을 때도 외측 대퇴동맥 FMD 감소에 보호적인 효과를 제공하였으나, 상완동맥 FMD에는 보호적 효과가 나타나지 않았다¹². 이러한 연구는 저항성 신체활동이 좌식으로 인한 상완동맥 혈관 내피세포 기능 감소에 보호적 효과를 미치지 못한 본 연구의 결과와 일치하는 것이다. 반면에, 건강한 성인에게 86분의 좌식 동안 20분 간격으로 2분의 상하지를 모두 사용한 맨몸 근력 운동을 하도록 한 결과 상완의 혈액 전단속도가 증가했다고 보고하였다²⁷. 종합해보면, 좌식 차단을 위한 저항성 운동은 1회 수행 시간보다는 빈도가 혈관 기능에 영향을 미치며, 사용된 근육 부위에 따라 국소적인 영향이 있을 것으로 여겨진다. 그러나 저항성 운동을 이용한 좌식 차단이 혈관 기능에 미치는 영향에 대해 추후 여러 대상 및 다양한 운동 프로토콜을 적용한 효과검증이 필요하다.

마지막으로, 본 연구의 참여자들이 건강한 성인이라는 점이 선행연구와 다른 결과를 도출했을 수 있다. 특히 좌식 차단이 대사기능에 미치는 영향을 살펴본 연구에 따르면, 좌식 차단의 효과는 신체활동 부족자, 과체중 또는 비만이 있거나 제2형 당뇨병을 포함한 대사질환을 갖고 있는 사람에게 더 효과적인 것으로 나타났다²⁸. 그 외로 상대적으로 짧은 좌식 시간이나 측정 간격도 본 연구 결과에 영향을 미쳤을 수 있다. 일반적으로 지단백질 지방분해효소(lipoprotein lipase)의 활성은 운동 시작 후 8시간에 가장 활성화되어 있는 것으로 알려져 있어²⁹, 4시간의 좌식 중 저항성 신체활동 좌식 차단은 대사기능에 효과를 제공하기에 짧았을 수 있다. 또한 본 연구에서는 대사기능을 1시간 간격으로

측정하였기 때문에, 측정 사이의 세밀한 변화를 살펴보기 어려웠다. 저항성 운동은 근육의 인슐린 민감도를 증가시키고 AMPK (adenosine monophosphate-activated protein kinase) 및 GLUT4 (glucose transporter type 4)를 조절하여 혈당 대사 및 인슐린 저항성을 개선하는 것으로 알려져 있다³⁰. 따라서 저항성 운동을 통한 간헐적 좌식 차단은 식후 대사에 기능에 긍정적인 효과를 나타낼 것으로 보이나, 긴 좌식 시간 중 연속 혈당 측정기와 같은 반복측정 방법을 사용한 추후 연구가 필요하다.

본 연구에는 몇 가지 제한점이 있다. 연구에 참여한 여성 참여자들의 여성 호르몬 주기를 완벽하게 통제하지 못하였다. 또한 산화질소, 산화 스트레스 및 지단백질 지방 분해효소 등을 측정하지 못하여 결과를 뒷받침할 수 있는 정확한 기전을 제시할 수 없었다. 이에 추후 연구에서는 산화질소, 염증 지표 및 인슐린 저항성 등의 기전을 제시할 수 있는 혈액 지표의 분석이 필요하다. 마지막으로 본 연구는 건강하고 활동적인 성인을 대상으로 실험실 환경에서 진행되었다. 이에 다른 대상 및 실제 환경에서 적용했을 때는 다른 결과가 나타날 수 있을 것이다. 그럼에도 불구하고, 본 연구는 근력향상을 위해 다관절의 운동을 8-12회씩 2-4세트를 권장하는 미국스포츠의학회의 자료를 기반으로 운동을 설정하고 저항성 운동 좌식 차단이 고지방식이 후 좌식으로 인한 혈관 및 식후 대사에 미치는 영향을 확인하였다는 강점이 있다. 이와 관련하여 추후 연구에서는 저항성 운동 좌식 차단의 효과를 확인하는 중·장기간의 연구가 진행되어야 한다. 또한 효과적인 좌식 차단 방법으로 알려져 있는 유산소 운동의 효과 및 기전을 저항성 운동과 비교하는 연구도 필요할 것이다.

결론적으로, 고지방식이 섭취 후 4시간의 좌식은 건강한 성인의 혈관 내피세포 기능을 감소시켰다. 그러나 저항성 운동을 이용한 간헐적 좌식 차단은 혈관 내피세포 기능 감소와 식후 대사 증가에 보호적 역할을 제공하지 못하였다.

Conflict of Interest

Sae Young Jae is the Editor-in-Chief of *The Korean Journal of Sports Medicine* and was not involved in the review process of this article. All authors have no other conflicts of interest to declare.

Acknowledgments

This work was supported by the Basic Study and Interdisciplinary R&D Foundation Fund of the University of Seoul (2022).

ORCID

- Min Jeong Cho <https://orcid.org/0000-0002-5562-4609>
- Yong Joon Jung <https://orcid.org/0000-0002-7992-4569>
- Yun Wook Kim <https://orcid.org/0000-0003-4036-8988>
- Tae Gu Choi <https://orcid.org/0000-0002-0422-9692>
- Jae Yeop Kim <https://orcid.org/0000-0002-0096-3689>
- Hyun Jeong Kim <https://orcid.org/0000-0001-5159-9525>
- Sae Young Jae <https://orcid.org/0000-0003-0358-7866>

Author Contributions

Conceptualization: MJC, HJK, SYJ. Formal analysis: MJC. Funding acquisition, Supervision: SYJ. Investigation: MJC, YJJ, YWK, TGC, JYK. Methodology: MJC, YJJ, YWK, HJK. Project administration: HJK, SYJ. Visualization: MJC, HJK. Writing-original draft: MJC. Writing-review & editing: MJC, SYJ.

References

1. Tremblay MS, Aubert S, Barnes JD, et al. Sedentary Behavior Research Network (SBRN): Terminology Consensus Project process and outcome. *Int J Behav Nutr Phys Act* 2017;14:75.
2. Biswas A, Oh PI, Faulkner GE, et al. Sedentary time and its association with risk for disease incidence, mortality, and hospitalization in adults: a systematic review and meta-analysis. *Ann Intern Med* 2015;162:123-32.
3. Ekelund U, Steene-Johannessen J, Brown WJ, et al. Does physical activity attenuate, or even eliminate, the detrimental association of sitting time with mortality?: a harmonised meta-analysis of data from more than 1 million men and women. *Lancet* 2016;388:1302-10.
4. Inaba Y, Chen JA, Bergmann SR. Prediction of future cardiovascular outcomes by flow-mediated vasodilatation of brachial artery: a meta-analysis. *Int J Cardiovasc Imaging* 2010;26: 631-40.
5. Pekas EJ, Allen MF, Park SY. Prolonged sitting and peripheral vascular function: potential mechanisms and methodological considerations. *J Appl Physiol* (1985) 2023;134:810-22.
6. Latouche C, Jowett JB, Carey AL, et al. Effects of breaking up prolonged sitting on skeletal muscle gene expression. *J Appl Physiol* (1985) 2013;114:453-60.
7. 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.
8. Thosar SS, Bielko SL, Mather KJ, Johnston JD, Wallace JP. Effect of prolonged sitting and breaks in sitting time on endothelial function. *Med Sci Sports Exerc* 2015;47:843-9.
 9. Cho MJ, Bunsawat K, Kim HJ, Yoon ES, Jae SY. The acute effects of interrupting prolonged sitting with stair climbing on vascular and metabolic function after a high-fat meal. *Eur J Appl Physiol* 2020;120:829-39.
 10. Kowalsky RJ, Hergenroeder AL, Barone Gibbs B. Acceptability and impact of office-based resistance exercise breaks. *Workplace Health Saf* 2021;69:359-65.
 11. Climie RE, Wheeler MJ, Grace M, et al. Simple intermittent resistance activity mitigates the detrimental effect of prolonged unbroken sitting on arterial function in overweight and obese adults. *J Appl Physiol (1985)* 2018;125:1787-1794.
 12. Dempsey PC, Larsen RN, Sethi P, et al. Benefits for type 2 diabetes of interrupting prolonged sitting with brief bouts of light walking or simple resistance activities. *Diabetes Care* 2016;39:964-72.
 13. Howley ET. Type of activity: resistance, aerobic and leisure versus occupational physical activity. *Med Sci Sports Exerc* 2001;33(6 Suppl):S364-9.
 14. Ashor AW, Lara J, Siervo M, et al. Exercise modalities and endothelial function: a systematic review and dose-response meta-analysis of randomized controlled trials. *Sports Med* 2015;45:279-96.
 15. 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.
 16. Liguori G; American College of Sports Medicine (ACSM). ACSM's guidelines for exercise testing and prescription. 11th ed, Paperback. LWW; 2021.
 17. Thijssen DH, Bruno RM, van Mil AC, et al. Expert consensus and evidence-based recommendations for the assessment of flow-mediated dilation in humans. *Eur Heart J* 2019;40:2534-47.
 18. Thosar SS, Bielko SL, Wiggins CC, Wallace JP. Differences in brachial and femoral artery responses to prolonged sitting. *Cardiovasc Ultrasound* 2014;12:50.
 19. Headid RJ 3rd, Pekas EJ, Wooden TK, et al. Impacts of prolonged sitting with mild hypercapnia on vascular and autonomic function in healthy recreationally active adults. *Am J Physiol Heart Circ Physiol* 2020;319:H468-80.
 20. Grasser EK, Yepuri G, Dulloo AG, Montani JP. Cardio- and cerebrovascular responses to the energy drink Red Bull in young adults: a randomized cross-over study. *Eur J Nutr* 2014;53:1561-71.
 21. Wolters FJ, Zonneveld HI, Hofman A, et al. Cerebral perfusion and the risk of dementia: a population-based study. *Circulation* 2017;136:719-28.
 22. Fewkes JJ, Kellow NJ, Cowan SF, Williamson G, Dordevic AL. A single, high-fat meal adversely affects postprandial endothelial function: a systematic review and meta-analysis. *Am J Clin Nutr* 2022;116:699-729.
 23. Carter SE, Draijer R, Holder SM, Brown L, Thijssen DH, Hopkins ND. Effect of different walking break strategies on superficial femoral artery endothelial function. *Physiol Rep* 2019;7:e14190.
 24. Taylor FC, Pinto AJ, Maniar N, Dunstan DW, Green DJ. The acute effects of prolonged uninterrupted sitting on vascular function: a systematic review and meta-analysis. *Med Sci Sports Exerc* 2022;54:67-76.
 25. Heffernan KS, Collier SR, Kelly EE, Jae SY, Fernhall B. Arterial stiffness and baroreflex sensitivity following bouts of aerobic and resistance exercise. *Int J Sports Med* 2007;28:197-203.
 26. Carter SE, Gladwell VF. Effect of breaking up sedentary time with callisthenics on endothelial function. *J Sports Sci* 2017;35:1508-14.
 27. Benatti FB, Ried-Larsen M. The effects of breaking up prolonged sitting time: a review of experimental studies. *Med Sci Sports Exerc* 2015;47:2053-61.
 28. Gill JM, Herd SL, Vora V, Hardman AE. Effects of a brisk walk on lipoprotein lipase activity and plasma triglyceride concentrations in the fasted and postprandial states. *Eur J Appl Physiol* 2003;89:408.
 29. Stöllberger C, Finsterer J. Side effects of whole-body electro-myostimulation. *Wien Med Wochenschr* 2019;169:173-80.
 30. Santos JM, Ribeiro SB, Gaya AR, Appell HJ, Duarte JA. Skeletal muscle pathways of contraction-enhanced glucose uptake. *Int J Sports Med* 2008;29:785-94.