건강한 젊은 남성에서 일시적 타바타식 운동과 중강도 지속적 운동이 혈관기능에 미치는 효과 비교

서울시립대학교 스포츠과학과

박인구* · 김영우* · 조민정 · 김현정 · 제세영

Comparison of Effects of Acute Tabata-Styled and Moderate Intensity Continuous Exercise on Vascular Function in Healthy Young Men

In-Goo Park*, Young Woo Kim*, Min Jeong Cho, Hyun Jeong Kim, Sae Young Jae

Department of Sport Science, University of Seoul, Seoul, Korea

Purpose: Regular moderate-intensity aerobic exercise confers immense vascular benefits, yet the lack of time remains the most common barrier to a regular exercise routine. A Tabata exercise is a type of high-intensity interval training exercise that is time efficient and has recently been demonstrated to improve cardiorespiratory fitness and metabolic profiles, but its benefits on vascular function still remain unclear. We tested the hypothesis that the Tabata-styled exercise would be as effective as moderate-intensity continuous exercise (MICE) in improving vascular function in young healthy adults.

Methods: Using a randomized, cross-over design, fourteen healthy men (age, 23.8 ± 2.3 years; body mass index, 23.7 ± 2.2 kg/m²) performed two acute exercise trials, separated at least by 72 hours: a modified Tabata-styled exercise (eight sets of 20-second exercise at 120% of maximal power output using a bike and 10-second rest, total 4 minutes) or a MICE for 30 minutes at a heart rate reserve of 40%–60%. Vascular function was assessed via brachial artery flow-mediated dilation and arterial stiffness (pulse wave velocity and augmentation index) at baseline and again at 60 minutes and 120 minutes after exercise.

Results: Compared with MICE, a Tabata-styled exercise increased heart rate at 60 minutes ($p < 0.05$). Both exercises improved vascular function to a similar extent, as evidenced by an increase in flow-mediated dilation and a reduction in arterial stiffness at 60 minutes and 120 minutes ($p < 0.05$).

Conclusion: These findings demonstrate that the Tabata-styled exercise is a time-efficient exercise strategy that is as effective as MICE in enhancing vascular function in healthy young men.

Keywords: Exercise, High intensity interval exercise, Vascular function

Received: February 6, 2020 Revised: July 17, 2020 Accepted: July 18, 2020

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: +82-2-6490-2949, E-mail: syjae@uos.ac.kr

*These authors contributed equally to this study as first authors.

Copyright ©2020 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

성인을 위한 신체활동 가이드라인은 주당 150분 이상의 중강도 또는 75분 이상의 지속적 고강도 유산소 운동 참여를 권고하고 있다^{1,2}. 그러나 우리나라 국민 절반 이상은 규칙적인 운동에 참여하지 않고 있으며, 이러한 주요한 원인 중 하나가 운동에 참여할 시간이 부족하다는 것이다^{3,4}.

최근 짧은 시간 수행 되는 시간 효율적 운동 방안들이 소개되고 각광받고 있다⁵. 이러한 형태의 운동으로 크로스핏, 스피닝, 플라이오 메트릭, 그리고 타바타(Tabata) 운동 등을 들 수 있다. 이러한 운동들은 짧은 시간 고강도 인터벌 운동의 특징을 가지고 있다는 장점이 있다. 그러나 이러한 형태의 운동들이 대중들에게 효과적으로 적용되기 위해서는 다양한 측면에서의 건강증진 효과 검증이 이루어져야 할 것이다.

타바타 운동은 4분이라는 짧은 운동 수행 시간과 인터벌 형태의 고강도 운동이라는 특징을 가지고 있다. 타바타 운동은 $VO_{2\max}$ 의 170% 운동 강도로 20초간 운동을 수행한 후 10초간 휴식을 취하며, 이를 8번 반복하여 총 4분으로 구성되어 있다⁶. 선행 연구에 따르면 4분간의 타바타 운동은 중강도 지속적 운동과 유사한 유산소 운동능력 향상 효과를 갖는다고 보고하였다⁶. 또한 12주간의 타바타 운동이 혈관기능 지표인 혈관경직도와 혈관 내피세포기능을 증진시켰다고 제시하였다⁷. 더욱이 일회성 타바타 운동으로도 혈관기능 개선 효과를 기대할 수 있다고 보고하였다⁸. 그러나 기존 타바타 운동은 $VO_{2\max}$ 의 170% 정도의 초고강도 운동으로 운동 수행이 쉽지 않으며 특히, 심혈관계 부담을 가중시킬 수 있을 가능성이 있어 일반 성인들에게 적용되기 어려운 한계점이 있다.

이러한 이유로 현재 타바타 운동은 일반적인 고강도 인터벌 운동의 강도 수준으로 수정되어 적용되고 있다⁹. 그러나 수정된 강도의 타바타 운동이 심부담도 변화에 미치는 영향이나 혈관기능개선 효과에 대해서는 현재 잘 알려져 있지 않다. 따라서 본 연구는 수정된 강도의 일회성 타바타식 운동이 기존에 권장되는 중강도 지속적 운동에서 나타나는 심부담도 정도를 비교하고 혈관기능개선 효과가 있는지 비교해 보고자 한다.

연구 방법

1. 연구 대상

본 연구는 서울시 S대학 교내에 연구 참여자 홍보물을 게시하여 건강한 20대 남성 15명을 모집하였으며 1명이 개인사정으로 중도

포기하여 총 14명의 피험자가 연구에 참여하였다(Table 1). 기초 설문지 작성을 통해 개인 병력, 심혈관계 질환, 대사성 질환, 근·골격계 질환 유무를 파악하였으며, 심혈관 및 대사성 질환이 있는 자 또는 신체활동 제한이 있는 자, 약물을 복용하고 있는 자는 연구 참여를 제한하였다. 실험 전 모든 피험자들에게 연구의 목적, 절차, 내용을 충분히 설명한 후 동의서 작성 후 실험을 진행하였다. 본 연구는 서울시립대학교 생명윤리위원회(IRB)의 승인을 받은 후 연구를 실시하였다(IRB No. UOS-IRB-2019-A20).

2. 연구 설계 및 절차

본 연구는 피험자가 타바타식 운동과 중강도 지속적 운동에 모두 참여하는 무작위 배치 교차설계(randomized cross-over design)로 진행되었다. 운동처치의 순서는 제비뽑기를 통해 선정하였으며 이전의 운동 처치가 종속 변인에 미치는 영향을 최소화하기 위하여 처치 간 간격은 최소 3일로 설정하였다. 연구 대상자에게 실험 참여 전날(24시간) 과도한 운동에 참여하지 않도록 요청하였으며, 검사 전 8시간 동안 공복상태 유지와 흡연, 알코올, 카페인 등을 금하도록 교육하였다. 실험실 실내 온도는 21℃-23℃를 유지하였다.

피험자는 총 3번 연구실에 방문하여 실험에 참여하였다. 첫 번째 방문에서 기초건강 설문지 작성을 통해 연구 참여 제한 유무를 확인한 후 피험자에게 연구의 목적, 내용, 절차, 주의사항 등을 충분히 설명한 후 참여의사를 확인하였다. 신장, 몸무게, 체질량지수, 체지방량 등을 측정하기 위해 신체조성 검사를 실시하였으며 신체조성 검사가 끝난 뒤 15분간 안정을 취한 후 심박수와 혈압을 측정하였다. 최대 파워산출량을 측정하기 위해 자전거 에르고미터 검사를 실시하였다. 또한, 두 번째 방문과 세 번째 방문에서 피험자는 실험실에 도착한 후 최소 15분간 안정을 취한

Table 1. Subjects' characteristics (n=14)

Variable	Mean±SD
Age (yr)	23.8±2.3
Height (cm)	174.8±5.6
Weight (kg)	72.5±7
BMI (kg/m ²)	23.7±2.2
Body fat (%)	17.4±5.8
SBP (mm Hg)	119.6±4.6
DBP (mm Hg)	70.3±6.5
Resting HR (beat/min)	59.9±6.7

SD: standard deviation, BMI: body mass index, SBP: systolic blood pressure, DBP: diastolic blood pressure, HR: heart rate.

후 종속변인(심박수 및 혈압, 동맥경직도, 상완동맥 혈관내피세포 기능을) 측정하였다. 배정된 운동 처치를 실시하였으며, 처치 종료 1시간과 2시간에 동일한 방식으로 종속변인을 측정하였다 (Fig. 1).

1) 최대파워 산출

최대 파워를 산출하기 위하여 자전거에르고미터 검사를 실시하였다. 검사는 분당 25 watt씩 점진적으로 운동 강도가 증가하는 램프프로토콜로 진행되었다¹⁰. 검사 전 피험자에게 무릎각도를 약 15° 정도 살짝 구부려 페달을 돌리기 가장 편한 자세로 페달 속도를 50-60 rpm으로 유지하도록 요청하였다. 최대 운동 도달 시점은 피험자가 중단을 요구할 경우나 예측된 최대 심박수(220-나이)로 산출된 심박수에 도달하였을 경우로 설정하였다. 검사 종료 후, 3분간 25 watt의 운동 강도로 정리운동을 실시하였다. 최대 파워산출량은 검사 종료의 최대 watt값으로 기록하였다.

2) 타바타식 운동

본 연구에서 타바타식 운동은 타바타가 제시한 고강도 인터벌 운동의 시간을 적용하였다⁶. 또한 운동 강도는 Roditis 등¹¹의

고강도 인터벌운동 강도를 참고하여 자전거 에르고미터검사를 통해 얻어진 최대 파워산출량의 120%의 운동 강도 (최대파워 산출량×1.2)로 설정하였다. 운동은 자전거 에르고미터를 이용하여 25 watt의 강도의 50-60 rpm으로 5분간 준비운동을 실시하였다. 준비운동 후 타바타식 운동은 80-90 rpm을 유지하여 최대 파워산출량의 120%강도(285±42 watt)로 20초간 운동 후 10초간 쉬는 것을 8번 반복하여 총 4분간 운동하였다. 준비운동과 유사하게 타바타식 운동 후 5분간 정리운동을 하였다(Fig. 2).

3) 중강도 지속적 운동

본 연구에서 중강도 지속적 운동은 자전거 에르고미터를 이용하여 운동하였다. 준비운동 후 본 운동은 50-60 rpm의 페달속도를 유지하면서 카보넨(Karvonen) 공식을 통해 계산된 여유심박수의 40%-60%의 강도로 30분간 운동하였다¹². 운동 중 심박수를 무선 심박동 장비(RS800CX; Polar, Kempele, Finland)를 통해 심박수를 확인하였으며, 운동강도는 watt값을 조정하여 목표 심박수로 운동하였다. 준비운동과 정리운동은 25 watt의 강도에 50-60 rpm의 페달속도로 5분간 실시하였다.

Fig. 1. Experimental design. MICE: moderate-intensity continuous exercise.

Fig. 2. Tabata-styled exercise protocol. RPM: revolutions per minute, MPO: max power output.

3. 측정 항목 및 방법

1) 신체 조성

신장은 수동신장계(aluminum extensometer; Samwha, Seoul, Korea)를 이용하여 측정하였다. 체중, 체질량 지수, 체지방률 측정은 생체전기저항법(Inbody 3.0; Biospace, Seoul, Korea)을 사용하여 측정하였으며, 정확한 측정을 위해 금속 및 액세서리 등을 제외하도록 하였고 가볍고 편한 복장을 입은 상태로 측정하였다.

2) 심박수 및 혈압

심박수와 상완동맥 혈압은 최소 15분간 누운 상태로 안정을 취한 이후 자동혈압계(JPN601; Omron Healthcare, Osaka, Japan)를 이용하여 측정하였다. 상완동맥 혈압은 좌측 상완에서 5분간격으로 총 2회 측정하여 평균값을 자료로 이용하였다. 측정 간의 오차 값이 10 mm Hg 이상 발생할 경우 1회 추가 측정하여 평균값을 자료로 이용하였다.

3) 요골동맥 맥파증폭지수

요골동맥 맥파증폭지수는 최소 10분간 누운 자세에서 충분한 안정을 취한 후 피험자의 우측 요골동맥에서 applanation tonometry (Millar instruments, Houston, TX, USA)을 이용하여 10초 이상의 연속적인 파형을 측정하였다. 심장 수축기에 발생하는 진행파(forward wave)와 말초저항으로 인해 되돌아오는 반사파(reflected wave)의 파형 높이와 속도를 SphygmoCor (AtCor Medical, New South Wales, Australia)의 변환알고리즘(generalized transfer function)을 통해 분석하였다. 요골동맥 맥파증폭지수는 심박수의 영향을 보정하기 위하여 75박 보정 값(Alx@75)을 종속변수로 설정하였다. 측정치의 정확도를 위하여 품질지수가 80% 이상인 값 중의 두 개의 평균값을 자료로 이용하였다.

4) 경동맥-대퇴동맥 맥파전파속도

동맥 경직도 지표 중 경동맥-대퇴동맥 맥파전파속도는 Clinical Application of Arterial Stiffness, Task Force III의 지침에 따라 SphygmoCor (AtCor Medical)를 이용하여 측정하였다¹³. 맥파전파속도는 거리와 속도를 이용하여 $c-f$ Pulse wave velocity= $D/\Delta t$ (m/s)의 공식으로 값을 산출하였다. 출자로 측정된 우측 경동맥과 우측 대퇴동맥 길이와 우측 경동맥에서 흉골 상절흔(suprasternal notch)의 길이를 측정하여 두 값을 뺀 값을 거리(D)로 설정하였다. 흉부에 3개의 심전도패드를 부착하여 측정된 심전도와 high-

fidelity applanation tonometry (Millar Instruments)를 이용하여 측정된 경동맥과 대퇴동맥 맥파의 수축기에 상응하는 지점을 비교하여 시간차(Δt)를 측정하였다. 이러한 시간차(Δt)는 “foot-to-foot” 방법에 따라 측정하였으며 측정 장비에 저장된 소프트웨어를 통해서 자동분석하였다.

5) 상완동맥 혈관 내피세포 의존성 혈관이완능

상완동맥 혈관 내피세포 의존성 혈관이완능은 초음파장비(Arietta 60; Hitachi Aloka Medical, Tokyo, Japan)를 이용하였다. 모든 과정은 Celermajer 등¹⁴이 제시한 방법에 따라 측정하였다. 피험자 우측 전완에 혈압계 커프를 감은 상태에서 팔오금(antecubital fossa)의 약 3 cm 상방에 9-4 MHz 중축 탐촉자(L441, Hitachi Aloka Medical)를 이용하여 B-mode에서 가장 정확하게 혈관 내경이 나오도록 조정 후 고정하였다. 1분간 기저혈관 내경을 측정한 후 전완에 감아 놓은 혈압계 커프 압력을 250 mm Hg까지 올려 5분간 혈류를 차단하였다. 5분 후 전완에 감아 놓은 커프 압력을 풀어(0 mm Hg) 3분간 혈관내경의 변화를 관찰하였다. 혈관내피세포 의존성 이완능의 값(%)은 소프트웨어(FMD Studio; Quipu, Pisa, Italy) 프로그램을 이용하여 실시간으로 분석하였다.

4. 자료 처리

본 연구의 모든 자료는 평균, 표준편차 또는 표준오차로 표시하였다. 타바타식 운동과 중강도 지속적 운동에 따른 시간별 종속변인들의 변화를 확인하기 위해 처치(타바타식 운동, 중강도 지속적 운동)와 측정 시간(사전측정, 운동 후 1시간, 운동 후 2시간)을 독립변인으로 하는 2×3 반복측정 이원배치분산분석(two-way analysis of variance with repeated measures)을 실시하였다. 같은 집단 내에서의 시간에 따른 변화와 같은 시간 구간의 변화량을 확인하기 위해 대응 t검증을 실시하였다. 피험자 간의 기저혈관 내경의 차이가 측정 결과에 영향을 미치기 때문에 이러한 차이를 보정하기 위해 공분산분석(analysis of covariance)을 실시하였다. 기저 flow mediated dilatation (FMD) 측정값을 종속변인으로 설정하고, 운동과 시간을 고정요인으로 하였으며, 기저혈관의 내경을 공변인으로 설정하였다. 모든 통계처리는 IBM SPSS ver. 25.0 (IBM Corp., Armonk, NY, USA)을 이용하였으며, 유의수준은 <0.05로 설정하였다.

결 과

심박수의 변화는 운동처치와 시간에 따른 유의한 상호작용

효과를 보였다(interaction effect $p < 0.001$) (Table 2). 타바타식 운동 후 1시간에서 안정시에 비해 심박수가 증가하였으나 2시간에서는 안정시 수준으로 회복되었다($p < 0.05$). 이에 반해, 중강도 지속적 운동은 1시간과 2시간에서 모두 감소하였다($p < 0.05$).

또한, 심부담도의 변화는 타바타 운동 후 1시간에 심부담도가 증가했다가 2시간에 감소하였고, 중강도 지속적 운동은 운동 후 모두 감소하는 것으로 나타나 운동 처치와 시간에 따른 상호작용 효과가 나타났다(interaction effect $p = 0.006$). 요골동맥 맥파증

Table 2. Comparisons of hemodynamics change between the TE and MICE

Variable	Baseline	60 min	120 min	p-value		
				Trial	Time	Interaction
HR (beat/min)				0.014	< 0.001	< 0.001
TE	61.4±1.6	67.9±2.6* [†]	59.1±2.1 [†]			
MICE	61.6±2.5	59.3±2.2	55.7±2.3* [§]			
SBP (mm Hg)				0.008	< 0.001	0.293
TE	118.8±1.3	113.1±1.6* [†]	114.5±1.5*			
MICE	120±1.1	116.5±1.6*	117.8±1.3*			
DBP (mm Hg)				0.481	0.041	0.615
TE	70±1.2	67.1±1.2*	68.6±1.3			
MICE	70.1±1.4	68.7±2	68.9±1.5			
MBP (mm Hg)				0.131	< 0.001	0.200
TE	84.1±1.4	79.4±1.3*	80.2±1.2*			
MICE	84.4±1.4	82.1±1.9*	82.1±1.4*			
PP (mm Hg)				0.065	0.019	0.385
TE	48.8±1.1	45.9±1.6*	45.9±1.5* [†]			
MICE	49.9±1.8	47.8±2.1	48.9±1.6			
RPP				0.135	< 0.001	0.006
TE	7,300.07±216.0	7,678±309.5 [†]	6,773.50±257.1* [†]			
MICE	7,396.29±317.7	6,910.71±279.0	6,565.14±283.4* [§]			

Values are presented as mean±standard error of the mean.

TE: Tabata-styled exercise, MICE: moderate-intensity continuous exercise, HR: heart rate, SBP: systolic blood pressure, DBP: diastolic blood pressure, MBP: mean blood pressure, PP: pulse pressure, RPP: rate pressure product.

* $p < 0.05$ from baseline; [†] $p < 0.05$ vs. MICE trial; [‡] $p < 0.05$ from TE 60 min; [§] $p < 0.05$ from MICE 60 min.

Fig. 3. Comparison of changes in augmentation index@75 (A), c-f Pulse wave velocity (B), and flow-mediated dilation (C) between the TE and MICE. Values are presented as mean±standard error of the mean. TE: Tabata-styled exercise, MICE: Moderate-intensity continuous exercise. * $p < 0.05$ from baseline; [†] $p < 0.05$ from MICE 60 min; [‡] $p < 0.05$ from TE 60 min.

폭지수(AIx@75)와 경동맥-대퇴동맥 맥파전파속도는 두 운동에서 시간에 따른 개선효과가 나타났으나(time effect $p < 0.001$), 운동 처치와 시간에 따른 유의한 상호작용 효과는 나타나지 않았다(time effect $p > 0.05$, respectively) (Fig. 3A and B). 상완동맥 혈관내피세포 의존성 혈관 이완능의 변화는 운동 처치와 시간에 따른 유의미한 상호작용 효과는 나타나지 않았다(interaction effect $p = 0.424$) (Fig. 3C). 그러나 상완동맥 혈관내피세포 의존성 혈관 이완능은 운동 전에 비해 운동 후 1시간과 2시간에서 두 운동 모두 증가하였다(time effect < 0.001).

고 찰

본 연구에서 수정된 타바타식 운동은 중강도 지속적 운동에 비해 운동 후 심박수와 심부담도의 회복이 지연되는 것으로 나타났다. 그러나 수정된 타바타식 운동과 중강도 지속적 운동 모두 혈관 기능 개선을 보였으며 그 개선 정도는 두 처치 간 비슷하였다.

본 연구의 타바타식 운동에서 나타난 지연된 심박수 회복은 고강도 운동 후 느린 심박수 회복을 관찰한 선행연구와 유사한 결과를 보인다. 20대 건강한 젊은 남성들을 대상으로 일회성 고강도 윙게이트 스프린트운동과 고강도 인터벌 형식의 윙게이트 스프린트운동을 실시한 후 10분단위로 1시간까지 심박수 변화를 관찰한 선행논문에서 본 연구와 유사한 정도의 심박수 회복을 보고하였다¹⁵. 일반적으로 운동 후 느린 심박수 회복은 체력 수준과 관계가 있으며, 또한 부교감신경 기능 감소 또는 심혈관질환의 예후를 예측할 수 있는 요인으로 알려져 있다¹⁶. 본 연구에서 운동 후 1시간에 심박수가 느리게 회복된 것은 수정된 타바타식 운동이 중강도 지속적 운동에 비해 여전히 심혈관계 부담을 가져오는 것으로 해석할 수 있다. 심부담도는 심장의 산소요구량을 간접적으로 계산한 것으로 수축기혈압과 심박수 곱으로 나타내며¹⁷, 일반적으로 운동 후 더딘 심부담도 회복은 심혈관질환의 위험도를 높인다고 알려져 있다¹⁸. 그러나 타바타식 운동 후 2시간의 심부담도는 운동 전 수준으로 회복되어 타바타식 운동이 심근에 미치는 부담이 일시적인 것으로 보인다. 따라서 타바타식 운동과 같이 심장에 강한 부담을 줄 수 있는 운동이 심혈관질환자 또는 고위험군에 속한 사람들에게 적용하기에 적합한 형태의 운동인지에 대한 여부는 추가적인 연구가 필요할 것으로 생각한다.

본 연구에서 타바타식 운동은 중강도 지속적 운동과 유사하게 혈관기능의 지표인 동맥경직도와 상완동맥 혈관 내피세포 이완능을 개선시켰다. 이러한 결과는 성인 비만 남성을 대상으로 한 Hinderliter 등¹⁸의 연구에서 12주간 주 3회 20분의 고강도 인터벌 운동이 중심동맥 파형지수와 맥파전파속도를 개선시킨 결과와

유사하다. 또한 청소년을 대상으로 한 일회성 타바타운동 직후 내피세포기능을 평가한 연구에서도 내피세포기능 향상이 보고하였다⁸. Rakobowchuk 등¹⁹의 연구에서 20대 건강한 성인남성을 대상으로 짧은 시간의 스프린트 인터벌운동과 중강도 지속적 운동을 6주간 훈련한 결과 말초동맥 경직도와 상완동맥 혈관 내피세포 이완능 검사에서 두 운동 모두 유사하게 개선되었다. 또한 20대 건강한 남성을 대상으로 일회성 스프린트 운동과 인터벌 스프린트 운동을 처치한 후 비교한 결과 운동 후 두 운동 모두 말초동맥 경직도가 점진적으로 감소하였다¹⁵. 이를 종합해 볼 때, 본 연구는 고강도인터벌 형식의 운동과 짧은 시간 고강도 운동처치를 통해 혈관기능을 관찰한 선행연구들과 유사한 결과가 나타난 것을 알 수 있었다. 그러나 고강도 인터벌 운동의 혈관개선 효과를 검증한 선행연구들은 모두 다른 형태와 시간 및 강도로 진행되었다는 제한점이 있다. 이에 본 연구에서는 프로토콜이 정해져 있으며 비교적 짧은 시간인 4분의 타바타식 운동을 진행하였다는 강점이 있다. 나아가 중강도 지속적 운동과 비교함으로써 4분간의 타바타식 운동이 혈관기능에 미치는 효과를 증명하였다.

본 연구에서 일시적 타바타식 운동 후 측정된 동맥경직도와 상완동맥 혈관 내피세포기능은 중강도 지속적 운동만큼 개선된 것을 볼 수 있었다. 본 연구는 동맥경직도의 대표적인 지표인 carotid to femoral pulse wave velocity (c-f PWV)와 상완동맥의 혈관 내피세포기능을 알 수 있는 FMD 검사를 통해 혈관기능을 관찰하였다. c-f PWV의 1 m/s의 증가는 심혈관 질환의 발병을 12% 증가시킨다고 보고되고 있으며 사망률은 9% 증가시킨다고 보고되고 있다²⁰. 또한 상완동맥 FMD의 1% 증가는 심혈관 질환 위험률이 13% 감소된다고 보고되고 있다²¹. 이러한 점으로 보았을 때 건강한 성인에서 4분간의 짧은 일시적 타바타식 운동이 일반적으로 권장되는 30분간의 지속적 중강도운동과 유사하게 혈관기능을 개선시킨 것은 흥미로운 결과로 생각된다.

비록 본 연구에서는 타바타식 운동의 혈관경직도와 혈관 내피세포기능 개선 효과에 대한 기전연구를 수행하지 않았으나, 선행연구들을 토대로 다음과 같은 기전을 유추하여 제시할 수 있다. 일반적으로 운동은 안정시에 비해 근육조직의 혈류량을 증가시키고 이로 인해 혈관내의 전단응력이 증가하게 된다. 이는 혈관확장 물질인 산화질소를 생성하여 혈관확장에 기여한다. 이와 더불어 운동 후 회복 시에는 상승된 교감신경계의 활동이 감소한다. 이러한 혈관확장 반응과 운동 후 회복 시 교감신경계 활동의 감소는 혈압을 감소시킨다. 낮아진 혈압은 맥압의 감소로 이어지고, 이는 동맥벽의 스트레스를 감소시켜 동맥경직도를 개선시킨다¹². 종합해보면 타바타식 운동 후 혈관기능 개선은 운동 중 발생된 전단응력으로 인한 혈관내의 산화질소의 생성이 내피세포

기능을 활성화시켜 혈관확장능을 높이고, 회복 시 교감신경계의 안정화와 혈압 감소가 혈관의 스트레스를 감소시켜 동맥경직도 감소에 영향을 준 것으로 생각한다.

본 연구에서 타바타식 운동 후 1시간에서 동맥경직도와 혈관 내피세포기능이 개선되었으며, 이러한 개선효과는 2시간까지 유지되었다. 이러한 혈관기능 개선의 효과는 측정 시간에 따른 결과일 수 있다. 고강도 운동은 endothelin-1과 활성산소종과 같은 혈관 수축성 인자들을 생성한다. 그러나 선행연구에 의하면 이러한 혈관 수축성 인자들은 운동 30분까지 증가하였다가 운동 후 1시간 이후에 운동 이전 값으로 회복된다고 보고하고 있다²². 따라서 본 연구에서 일회성 타바타식 운동 후 1시간에서 측정된 동맥경직도와 혈관 내피세포기능은 운동 후 손상된 혈관기능이 다시 회복되고 운동으로 인한 혈관내의 긍정적인 효과 나타나기에 적합한 시간으로 보이며, 이러한 효과는 운동 후 2시간까지 이어지는 것으로 생각한다. 추후 연구에서 타바타식 운동의 혈관기능 개선 효과에 대한 기전 연구가 수행되어야 할 것이다.

본 연구는 다음과 같은 제한점이 있다. 첫째, 본 연구는 20대 남성만을 대상으로 하기 때문에 여성, 또는 20대 이상 성인 개개인의 체격 및 체력 조건과 유전적 특성을 고려하지 못하였다. 둘째, 본 연구는 운동 후 2시간까지의 종속변인 변화를 관찰하므로 그 이후의 변화들은 설명하기 어렵다. 셋째, 본 연구는 각각의 운동 프로그램에 대한 차이를 검증하기 위함으로 운동에 대한 에너지소비량과 운동 시간을 일치시키지 못하였다. 넷째, 본 연구에서는 측정 당일 피험자의 심리적 상태, 수면 상태를 통제하지 못하였다. 다섯째, 본 연구는 일시적 처치 후 관찰하였으므로 지속적인 운동에 대한 효과는 알 수 없다. 그러나 본 연구는 4분간의 짧은 시간 타바타식 운동이 30분의 중강도 지속적 운동만큼 혈관기능 개선에 효과가 있다는 것을 밝히고자 한 연구라는 것에 의의가 있을 것으로 생각한다. 또한 최근 개정된 미국 신체활동 가이드라인에서 하루 최소 5분간의 신체활동이 건강상에 이점을 제공한다고 제시된 내용을 뒷받침하는 결과로써 의미가 있을 것으로 생각한다¹.

결론적으로, 심혈관 질환을 예방하기 위해 주당 150분의 중강도 지속적 운동이 권장되고 있지만 시간부족현상은 현대인의 운동 참여를 제한한다. 본 연구에서 20대 건강한 남성에게 짧은 4분간의 타바타식 운동의 혈관기능 개선 효과는 중강도 지속적 운동과 유사한 것으로 나타났다. 추가적인 연구를 통해 이러한 결과가 확인된다면 타바타식 운동은 혈관기능 개선을 위한 시간 효율적 대안 운동이 될 수 있을 것이다.

Conflict of Interest

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

ORCID

In-Goo Park <https://orcid.org/0000-0003-1177-9702>
 Young Woo Kim <https://orcid.org/0000-0002-2068-6594>
 Min Jeong Cho <https://orcid.org/0000-0002-5562-4609>
 Hyun Jeong Kim <https://orcid.org/0000-0001-5159-9525>
 Sae Young Jae <https://orcid.org/0000-0003-0358-7866>

Author Contributions

Conceptualization: SYJ, IGP. Data curation: IGP, YWK. Formal analysis: YWK, MJC. Methodology: MJC, HJK. Project administration: HJK, SYJ. Visualization: IGP, MJC. Writing-original draft: IGP, YWK. Writing-review & editing: MJC, SYJ.

References

1. Piercy KL, Troiano RP, Ballard RM, et al. The physical activity guidelines for Americans. JAMA 2018;320:2020-8.
2. Kim YS. Development of physical activity guidelines and self-prescription guides for Korean. Seoul: Korea Health Promotion Institute; 2012.
3. Ministry of Health and Welfare; Korea Centers for Disease Control and Prevention. Korea National Health and Nutrition Survey. Cheongju: Korea Centers for Disease Control; 2018.
4. Ministry of Culture, Sports and Tourism. Survey on the participation in national sports for all. Sejong: Ministry of Culture, Sports and Tourism; 2017.
5. Weston KS, Wisloff U, Coombes JS. High-intensity interval training in patients with lifestyle-induced cardiometabolic disease: a systematic review and meta-analysis. Br J Sports Med 2014;48:1227-34.
6. Tabata I, Nishimura K, Kouzaki M, et al. Effects of moderate-intensity endurance and high-intensity intermittent training on anaerobic capacity and VO2max. Med Sci Sports Exerc 1996;28:1327-30.
7. Chuensiri N, Suksom D, Tanaka H. Effects of high-intensity intermittent training on vascular function in obese preadolescent boys. Child Obes 2018;14:41-9.

8. Chuensiri N, Tanaka H, Suksom D. The acute effects of supramaximal high-intensity intermittent exercise on vascular function in lean vs. obese prepubescent boys. *Pediatr Exerc Sci* 2015;27:503-9.
9. Olson M. TABATA: It's a HIIT!. *ACSMs Health Fit J* 2014; 18:17-24.
10. Myers J, Bellin D. Ramp exercise protocols for clinical and cardiopulmonary exercise testing. *Sports Med* 2000;30:23-9.
11. Roditis P, Dimopoulos S, Sakellariou D, et al. The effects of exercise training on the kinetics of oxygen uptake in patients with chronic heart failure. *Eur J Cardiovasc Prev Rehabil* 2007;14:304-11.
12. Mitchell GF. Arterial stiffness and hypertension: chicken or egg? *Hypertension* 2014;64:210-4.
13. Van Bortel LM, Duprez D, Starmans-Kool MJ, et al. Clinical applications of arterial stiffness, Task Force III: recommendations for user procedures. *Am J Hypertens* 2002;15:445-52.
14. Celermajer DS, Sorensen KE, Bull C, Robinson J, Deanfield JE. Endothelium-dependent dilation in the systemic arteries of asymptomatic subjects relates to coronary risk factors and their interaction. *J Am Coll Cardiol* 1994;24:1468-74.
15. Rakobowchuk M, Stuckey MI, Millar PJ, Gurr L, Macdonald MJ. Effect of acute sprint interval exercise on central and peripheral artery distensibility in young healthy males. *Eur J Appl Physiol* 2009;105:787-95.
16. Lauer MS. Is heart rate recovery a modifiable risk factor? *J Cardiopulm Rehabil* 2003;23:88-9.
17. Segan R, Gupta V, Walia L, Mittal N. Rate pressure product predicts cardiovascular risk in type 2 diabetics with cardiac autonomic neuropathy. *Natl J Physiol Pharm Pharmacol* 2013; 3:43-7.
18. Hinderliter A, Miller P, Bragdon E, Ballenger M, Sheps D. Myocardial ischemia during daily activities: the importance of increased myocardial oxygen demand. *J Am Coll Cardiol* 1991;18:405-12.
19. Rakobowchuk M, Tanguay S, Burgomaster KA, Howarth KR, Gibala MJ, MacDonald MJ. Sprint interval and traditional endurance training induce similar improvements in peripheral arterial stiffness and flow-mediated dilation in healthy humans. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol* 2008;295: R236-42.
20. Zhong Q, Hu MJ, Cui YJ, et al. Carotid-femoral pulse wave velocity in the prediction of cardiovascular events and mortality: an updated systematic review and meta-analysis. *Angiology* 2018;69:617-29.
21. 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.
22. Adams V. CrossTalk proposal: acute exercise elicits damage to the endothelial layer of systemic blood vessels in healthy individuals. *J Physiol* 2018;596:537-9.