

대학생의 트레드밀 걷기활동과 자율적 걷기활동을 통한 에너지소비량 측정 - 간접열량계와 가속도계를 이용하여 -

김예진 · 왕취상 · 김은경[†]

강릉원주대학교 식품영양학과

Measurement of Energy Expenditure Through Treadmill-based Walking and Self-selected Hallway Walking of College Students - Using Indirect Calorimeter and Accelerometer

Ye-Jin Kim, Cui-Sang Wang, Eun-Kyung Kim[†]

Department of Food and Nutrition, Gangneung-Wonju National University, Gangneung, Koera

[†]Corresponding author

Eun-Kyung Kim
Department of Food and
Nutrition, Gangneung-Wonju
National University, 7 Jukheon -
gil, Gangneung, Gangwon-do,
25457, Koera

Tel: (033) 640-2336
Fax: (033) 640-2330
E-mail: ekkim@gwnu.ac.rk
ORCID: 0000-0003-1292-7586

Received: November 29, 2016
Revised: December 16, 2016
Accepted: December 19, 2016

ABSTRACT

Objectives: The objective of this study was to assess energy expenditure and metabolic cost (METs) of walking activities of college students and to compare treadmill based walking with self-selected hallway walking.

Methods: Thirty subjects (mean age 23.4 ± 1.6 years) completed eight walking activities. Five treadmill walking activities (TW2.4, TW3.2, TW4.0, TW4.8, TW5.6) were followed by three self-selected hallway walking activities, namely, walk as if you were walking and talking with a friend: HWL (leisurely), walk as if you were hurrying across the street at a cross-walk: HWB (brisk) and walk as fast as you can but do not run: HWF (fast) were performed by each subject. Energy expenditure was measured using a portable metabolic system and accelerometers.

Results: Except for HWF (fast) activity, energy expenditures of all other walking activities measured were higher in male than in female subjects. The lowest energy expenditure and METs were observed in TW2.4 (3.65 ± 0.84 kcal/min and 2.88 ± 0.26 METs in male), HWL (leisurely) (2.85 ± 0.70 kcal/min and 3.20 ± 0.57 METs in female), and the highest rates were observed in HWF (fast) (7.72 ± 2.81 kcal/min, 5.84 ± 1.84 METs in male, 6.65 ± 1.57 kcal/min, 7.13 ± 0.68 METs in female). Regarding the comparison of treadmill-based walking activities and self-selected walking, the energy expenditure of HWL (leisurely) was not significantly different from that of TW2.4. In case of male, no significant difference was observed between energy costs of HWB (brisk), HWF (fast) and TW5.6 activities, whereas in female, energy expenditures during HWB (brisk) and HWF (fast) were significantly different from that of TW5.6.

Conclusions: In this study, we observed that energy expenditure from self-selected walking activities of college students was comparable with treadmill-based activities at specific speeds. Our results suggested that a practicing leisurely or brisk walking for a minimum of 150 minutes per week by both male and female college students enable them to meet recommendations from the Physical activity guide for Koreans.

Korean J Community Nutr 21(6): 520~532, 2016

KEY WORDS physical activity, treadmill walking, self-selected walking, energy expenditure

서 론

걷기 활동은 남녀노소 누구에게나 안전하고 효율성이 높은 운동으로 알려져 있으며 [1] 에너지 소비량 및 지방산화율의 증가, 스트레스 완화, 면역기능 증진, 혈액순환 촉진 및 심혈관 질환 예방 등의 효과가 있다 [2, 3]. 또한 걷기 활동은 시설, 장비, 비용의 제약이 없을 뿐만 아니라 특별한 훈련 없이도 간단하게 수행 할 수 있으므로 [4] 건강한 사람뿐만 아니라 고령자, 재활이 필요한 환자, 체중 조절이 필요한 자 등을 위한 신체 활동으로 널리 활용되어지고 있다 [5].

그러나 2014 국민건강영양조사 결과에 따르면 [6] 만 19세 이상 성인의 걷기 실천율(최근 1주일 동안 1회 10분 이상, 1일 총 30분이상 주 5일 이상 실천한 사람의 비율)은 2008년에는 46.9%였으나 2014년에는 41.3%로 지속적으로 감소하는 추세인 반면, 비만유병률은 2008년 31.0%에서 2014년에는 31.5%로 증가하였다. 또한 위의 걷기 기준에 따라 실천하는 성인은 5명 중 2명 정도(41.7%)인 것으로 나타났다 [6]. 이와 같은 걷기 실천율의 감소와 더불어 앉아서 보내는 시간은 만 19세이상 성인 남녀에서 각각 7.7 시간/일과 7.4 시간/일이었으며, 연령대별로는 남녀 모두 20대가 가장 많은 시간(남 8.3시간/일, 여 9.0시간/일)을 앉아서 보내고 있는 것으로 보고되었다 [6].

실제로 대학생을 대상으로 활동일기를 이용하여 하루 생활 패턴을 살펴본 연구결과 [7-9]에 따르면, 수면시간을 제외한 나머지 활동 중에서 학습관련 활동(독서, 글쓰기) 및 휴식을 포함하여 앉아서 하는 활동이 가장 많은 부분(약 20~28%)을 차지하였다. 이처럼 대학생들은 고교시절의 과도한 입시경쟁에서는 벗어났지만 여가시간의 대부분을 컴퓨터나 스마트폰을 이용하는 정적인 활동으로 보내고 있으며, 전공과목 중심의 교과과정 이수로 인하여 체육학과 학생들이나 체육활동 교과목을 수강하는 소수의 학생을 제외하고는 걷기 활동을 포함한 다양한 신체활동에 소비하는 시간은 매우 부족한 실정이다 [10, 11].

20대 청년기에 적절한 신체활동량을 유지하고 습관화 하는 것은 성인기의 건강과 연관되므로 매우 중요하다 [11]. 따라서 이들의 신체활동량을 증진시키기 위하여 일상생활에서 쉽게 활용 할 수 있는 구체적인 운동 방법 및 지침을 제시할 필요가 있다.

20대를 대상으로 최근에 수행된 신체활동에 관한 연구들 [9, 10]을 살펴보면 자가보고형(self-reprot) 신체활동 측정방법(24시간 활동기록법, 설문지 등)를 이용하여 이들의

1일 신체 활동 패턴 및 신체활동수준(physical activity level : PAL)을 평가하고 있다. 그러나 이들 연구 결과들은 각각의 활동 에너지 소비량(kcal/min)과 활동 강도(metabolic equivalents : METs)와 같은 구체적인 활동량을 제시하고 있지 않아 신체활동 지침의 기초자료로 활용되는데 한계가 있다.

그 밖에 20대 성인을 대상으로 걷기 활동뿐만 아니라 앉기, 서기 등의 일상생활 중의 대표활동의 에너지소비량을 측정한 국내 연구 [12,13]도 있지만 이 연구들에서는 각 동작 또는 활동별 측정값을 비교하기 보다는 신체활동 측정 도구들 간의 정확성 및 관련성을 비교 분석하였다. 또한 위와 같은 국내연구 [12, 13]에서는 걷기 활동 수행 시 주로 트레드밀(treadmill) 장비가 갖추어진 실험실 환경에서 이루어진 연구로 일상생활에 적용하는데는 제약이 따른다.

한편 걷기 활동에 대한 외국의 선행 연구들을 살펴보면 트레드밀(treadmill)을 이용한 걷기 활동 [14-16] 뿐만 아니라 대상자가 상황에 맞게 스스로 속도를 조절(self-selected walking)하는 걷기 활동의 에너지소비량을 측정하여 [4, 17, 18] 보고하였다. 이와 같은 걷기 활동은 일상생활에서 쉽게 수행이 가능하며 대상자의 평상시 걸음걸이대로 보폭 및 빈도를 조절할 수 있다는 장점이 있으나 국내에서는 이와 같은 방법을 적용한 연구가 부족한 실정이다.

최근 가속도계는 신체의 움직임에 간접적으로 모니터링 하는 간편한 도구로 신체활동 평가 연구에서 보편적으로 사용되는 추세이며 이에 대한 정확성 및 타당성 평가 또한 활발하게 이루어지고 있다 [18-20]. 이와 관련한 신체활동 측정에 관한 선행 연구들을 [18-20] 살펴보면 가속도계(accelerometer)와 휴대용 무선 호흡 가스 분석기를 함께 사용하여 신체의 움직임에 따라 신체활동량과 활동 강도를 평가한 바 있다.

이에 본 연구에서는 첫째, 대학생을 대상으로 휴대용 무선 호흡가스분석기(Cosmed K4b², Rome, Italy)와 3차원 중력가속도계(ActiGraph, GT3X⁺)를 이용하여 트레드밀에 기초한 5가지 속도의 걷기 활동과 자유롭게 평상시 걷기 속도에 맞춰 걷는 3가지의 복도 걷기 활동(self-selected hallway walking)의 에너지 소비량을 측정하고 그 강도를 비교 및 분석 하고자 하였다.

둘째, 위의 결과를 토대로 20대 남녀 별도로 적용 할 수 있고 일상생활에서 쉽게 수행 할 수 있는 적절한 걷기 운동의 강도와 빈도(또는 소요시간)를 제시함으로써 이들을 위한 건강증진 및 운동처방 프로그램을 개발하는데 필요한 기초 자료를 제공하고자 하였다.

연구대상 및 방법

1. 연구대상자

본 연구는 인간을 대상으로 진행한 연구로서 강릉원주대학교 생명윤리심의위원회 (Institutional review board of Gangneung-wonju national university, IRB) 심의를 (IRB 승인번호 : GWNUIRB-2015-4-1) 받은 후 2015년 7월 12일부터 9월 3일까지 진행되었다. 본 연구는 강릉시에 위치한 대학교의 재학생 중 교내 게시판의 연구대상자 모집공고(특별한 질환이 없고, 에너지 소비량에 영향을 미치는 약물 및 호르몬제를 복용하지 않는 건강한 성인 남녀)를 보고 자발적으로 참여를 신청한 대학생 총 30명(남학생 15명, 여학생 15명)을 대상으로 하였다.

2. 신체계측

연구대상자는 연구에 참여하는 동안 편안한 복장을 입도록 하였으며, 보다 정확한 신체계측을 위하여 측정 시작 4시간 전부터 식사 및 카페인 음료의 섭취를 제한하고 심한 운동은 자제하도록 하였다. 신체계측시 오차를 줄이기 위하여 지속적으로 동일한 연구자가 동일한 방법으로 측정하였다. 신장은 자동신장계(BSM 330, Biospace, Korea)를 사용하여 연구대상자가 가벼운 옷차림으로 직립한 자세에서 측정되었다. 체중과 체지방량은 체성분분석기(Inbody 720, Biospace, Korea)를 이용하여 생체전기저항법(Bioelectrical impedance analysis)으로 측정되었다.

3. 신체활동량 측정

휴대용 무선 호흡가스분석기와 3축 가속도계를 이용하여 8가지 걷기 활동 중의 신체활동량(각각 산소소비량과 counts 값)을 측정한 후, 에너지 소비량과 METs로 제시하였다.

1) 휴대용 무선 호흡가스분석기를 이용한 측정

휴대용 무선 호흡가스분석기(Cosmed K4b², COSMED s.r.l, Rome, Italy)는 간접열량계(indirect calorimeter)의 일종으로 분석기(analyzer unit)와 배터리(battery), 마스크(face mask), 샘플링라인(sampling line) 등으로 구성되어 있다. K4b²는 신체활동 중 매 호흡시마다 초 단위로 측정된 산소섭취량(VO_2)과 이산화탄소 배출량(VCO_2)을 실시간으로 모니터링하여 에너지소비량(Energy Expenditure) 및 METs 산출값을 제공한다.

실험 측정 시작 1시간 전 모든 장비 및 부속품을 셋팅 한 뒤 전원을 켜서 워밍업을 하였다. 또한 배터리는 전날 충전

히 충전하여 바로 사용 할 수 있도록 준비하였다. 실험 측정 시작 30분 전, 보다 정확한 측정을 위하여 제조사의 가이드 라인에 따라 초기화조정(calibration)을 실시하였고 그 순서는 Room air, gas, delay, turbine의 순으로 하였다. Room air 및 gas calibration 과정을 통하여 분석기에 대기압 값(O_2 16.00%, CO_2 5.2%, N 78.8%)을 조성하고, delay calibration 과정에서는 호흡시마다 측정된 가스 샘플이 샘플링라인을 지나가기 위해 필요한 시간을 맞추었으며, 마지막으로 turbine 과정에서 3.0 L calibration syringe(Hans-Rudolph, Shawnee, KS)를 이용하여 정확한 양을 측정 할 수 있도록 조정하였다.

초기화조정을 완료 한 후 대상자의 연령, 신장, 체중, 성별을 분석기에 입력하고, 나일론 소재의 부드러운 마스크로 대상자의 코와 입 주위를 덮어 들숨과 날숨이 새어나가지 않도록 마스크 고정 밴드(head harness)를 이용하여 최대한 조여 측정을 준비하였다. 모든 연구대상자는 기기를 착용하고 호흡하는 것에 적응 할 수 있도록 마스크를 착용한 후 5~10분간의 휴식시간을 가지고 안정을 취한 후에 측정을 시작하였다.

2) 가속도계를 이용한 측정

본 연구에서 사용한 가속도계는 3축(상하, 좌우, 앞뒤 3차원 중력) 가속도계(triaxial ActiGraph accelerometer, model GT3X⁺, Actigraph LLC, USA)로 신체활동 중 세 개의 축(axis 1, axis 2, axis 3)에서 측정된 움직임의 정도를 counts값으로 제시하고 이들 값을 토대로 계산된 VM(Vector Magnitude) 값을 제공한다[21].

$$VM = \sqrt{(Axis1)^2 + (Axis2)^2 + (Axis3)^2}$$

실험 측정 하루 전날 가속도계를 충분히 충전 한 후 실험 당일 대상자가 가속도계를 착용하기 전 가속도계와 연결된 소프트웨어 프로그램(Actilife 6.9.4)을 이용하여 대상자의 연령, 신장, 체중, 성별을 입력(휴대용 무선 호흡가스분석기에 입력한 값과 동일하게)하였다. 이때 가속도계의 자료요약 주기(epoch)는 휴대용 무선 호흡가스분석기에서 매 호흡시마다 초단위로 데이터를 요약하는 것과 동일하게하기 위하여 10초로 설정하였다.

가속도계의 착용을 위하여 연구대상자의 엉덩이 장골릉(iliac crest)에 탄력성 있는 나일론 벨트를 채우고 이 벨트를 이용하여 오른쪽 허리에 가속도계를 착용하였다. 모든 연구대상자에게 가속도계 착용 중의 주의사항에 대하여 충분히 설명하였으며 가속도계를 의식하지 않고 평소처럼 걸을 수 있도록 연습하도록 하였다. 8가지 걷기 활동은 각각 5분

동안 수행하도록 하였으며, 각 활동 간의 영향을 배제하기 위하여 각 걷기 활동의 측정을 마치고 5분~10분간 휴식시간을 가졌다.

4. 신체활동(걷기) 프로토콜

모든 대상자들은 무선 휴대용 호흡가스분석기와 3축 가속도계를 동시에 착용한 상태에서 트레드밀에서 정해진 속도를 걷는 5가지 활동과 복도에서 스스로 속도를 조절하며 걷는 3가지 활동 등 총 8가지의 걷기 활동을 수행하였다(Table 1). 연구 대상자가 8가지 걷기 활동을 수행하기 전 각각의 단계에 대한 걷기 속도를 미리 안내하였으며, 각 단계별로 연구자의 걷기 시범 후 대상자가 활동을 수행하도록 하였다. 걷기 속도가 정해진 트레드밀에서의 걷기 활동은 Hall KS 등 [18]의 프로토콜을 참고하였다.

Table 1에서 보듯이 실험실에서 측정된 트레드밀에서의 걷기활동은 속도가 점차 증가하는 5가지 걷기 활동으로 구성되었다. 즉 대상자들은 트레드밀에서 천천히걷기①(Treadmill walking 2.4 km/hr : TW2.4), 천천히걷기②(Treadmill walking 3.2 km/hr : TW3.2), 보통걷기①(Treadmill walking 4.0 km/hr : TW4.0), 보통걷기②(Treadmill walking 4.8 km/hr : TW4.8), 빠르게 걷기(Treadmill walking 5.6 km/hr : TW5.6)을 수행하였다. 연구대상자들은 트레드밀에서의 걷기 활동 측정이 종료된 후 20~30분간의 휴식 시간을 가졌다.

휴식을 마친 후 연구대상자들은 걷기 속도를 규정하지 않고 개인이 스스로 속도를 조절하며 자유롭게 걷는 3가지 복도 걷기 활동(self-selected hallway walking)을 수행하였다. 여기에는 친구와 대화하듯 천천히 걷기(Hallway walking leisurely : HWL), 깜빡이는 신호등을 건너듯 조금 빠르게 걷기(Hallway walking brisk : HWB), 뛰지는 않되 가능한 가장 빠르게 걷기(Hallway walking fast :

HWF)가 포함되었다. 모든 대상자들은 주어진 기준을 숙지하고 특별히 제시된 기준 속도 없이 평소에 본인이 상황에 따라 걷는 속도를 유지하며 3가지 걷기 활동을 수행하였다.

5. 자료처리 및 통계분석

연구대상자가 각 활동에 적응하고 산소섭취량이 안정되기 까지 일정시간이 소요됨을 고려하여, 각 활동의 측정시간 5분 중 앞부분의 2분간 데이터를 삭제 한 후 통계처리에 이용하였다. 또한 트레드밀에서의 걷기 활동의 경우, 측정 종료시 트레드밀의 속도가 서서히 줄어들면서 멈추기까지의 마지막 뒷부분의 10초도 삭제하여 측정 오차를 최소화 하였다. 따라서 총 측정시간 5분 중 위와 같이 삭제하고 실제로 남은 2분 50초 동안의 측정값을 통계처리에 사용하였다[18]. 트레드밀 걷기 활동뿐만 아니라 속도를 규정하지 않고 자유롭게 걷는 복도 걷기 활동에서도 이와 동일한 방법으로 자료를 사전 처리하였다.

본 연구의 모든 자료는 SPSS Statistics 23.0(IBM, USA) 통계 프로그램을 이용하여 통계 분석하였다. 대상자의 평균 연령 및 신체계측 등은 평균과 표준편차(Mean±SD)로 표시하였다. 본 연구의 표본이 모집단에 대해 정규 분포를 가정하기에는 본 연구 대상자 수가 30명(남자 15명, 여자 15명)으로 제한적이었으므로 모집단에 관계없이 표본의 자료만을 검정하는 비모수적 검정(non-parametric test) 방법 중 하나인 Mann-Whitney u test를 사용하여 남녀 간의 에너지소비량 등 측정값의 평균 차이를 검증하였다.

한편 휴대용 무선 호흡가스분석기와 가속도계로 측정된 에너지소비량 및 METs값들 간의 비교 시에는 Kolmogorov-Smirnov test를 사용하여 검정한 결과, 수집된 자료가 유의수준 0.05에서 정규분포를 이루는 것으로 나타나 모수 검정을 시행하였다. 즉 Pearson's correlation coefficient를 이용하여 휴대용 무선 호흡가스분석기와 가속도계로 측정된

Table 1. Descriptions of 8 walking activities

Walking activities	Categories	Speed (km/h)	Description of walking activities
Treadmill walking	TW2.4 ¹⁾	2.4	Slowly walking ①
	TW3.2	3.2	Slowly walking ②
	TW4.0	4.0	Usually walking ①
	TW4.8	4.8	Usually walking ②
	TW5.6	5.6	Quickly walking
Self-selected hallway walking	HWL ²⁾	Leisurely	Walking as if you were walking and talking with a friend
	HWB ³⁾	Brisk	Walking as if you were hurrying across the street at a cross-walk
	HWF ⁴⁾	Fast	Walking as fast as you can but do not run

1) TW: treadmill walking
 2) HWL: hallway walking leisurely
 3) HWB: hallway walking brisk
 4) HWF: hallway walking fast

에너지소비량 및 METs값들 간의 활동별 상관관계를 분석하였고, 두 기기를 이용하여 얻은 에너지소비량 간의 비교는 paired t-test로 유의성을 검정하였다. 휴대용 무선 호흡가스분석기를 이용하여 측정된 8가지 걷기 활동의 에너지소비량의 크기를 비교하고자 One way Repeated Measures ANOVA 방법을 이용하여 유의성을 검증하였다. 본 연구의 모든 자료는 유의수준 5% ($p < 0.05$)에서 유의성을 검증하였다.

결 과

1. 연구대상자의 신체계측

연구대상자의 신체계측 결과는 Table 2와 같다. 대상자의 평균 연령은 남자가 23.5±1.1세, 여자가 23.3±2.0세로 성별에 따른 유의한 차이를 보이지 않았다. 신장과 체중은 남자가 173.2±4.6 cm와 76.7±12.5 kg로 여자의 159.1±4.0 cm와 54.0±9.0 kg보다 유의하게 높게 나타났으며 신장과 체중을 이용하여 계산한 체질량지수(BMI)도 남자가 25.5±3.5 kg/m²로 여자의 21.3±2.8 kg/m²보다 유의하게 높았다. 또한 체지방량(kg)은 남자가 58.1±5.4 kg로 여자 37.4±3.8 kg에 비하여 유의하게 높았으나 체지방율(%)에서는 여자가 30.2±5.2%로 남자의 23.2±7.8%에 비하여 유의하게 높았다.

2. 성별 휴대용 무선 호흡가스 분석기로 측정된 걷기 활동의 에너지 소비량

휴대용 무선 호흡가스 분석기를 이용하여 측정된 8가지 걷기 활동의 산소섭취량(VO_2), 에너지 소비량(kcal/min) 및 METs 값은 Table 3과 같다. 트레드밀에서의 5가지 걷기 활동의 VO_2 값(ml/kg/min)과 METs값은 여자가 남자보다 유의하게 높았으나 에너지소비량(kcal/min)은 남자가 여자보다 유의하게 높았다.

그러나 복도걷기 활동에서는 HWL(leisurely)와 HWB

Table 2. Anthropometric measurements of subjects

	Male (N=15)	Female (N=15)	Total (N=30)
Age (years)	23.5 ± 1.1 ¹⁾	23.3 ± 2.0	23.4 ± 1.6
Height (cm)	173.2 ± 4.6*	159.1 ± 4.0	166.1 ± 8.3
Weight (kg)	76.7 ± 12.5*	54.0 ± 9.0	65.3 ± 15.7
Body mass index (kg/m ²) ²⁾	25.5 ± 3.5*	21.3 ± 2.8	23.4 ± 3.8
Body fat (%) ³⁾	23.2 ± 7.8*	30.2 ± 5.2	26.7 ± 7.4
Fat free mass (kg) ³⁾⁴⁾	58.1 ± 5.4*	37.4 ± 3.8	47.7 ± 11.5

1) Mean ± SD

2) Weight (kg) / [Height (m)]²

3) Measured by Inbody 720

4) Weight (kg) - Fat mass (kg)

*: $p < 0.05$, Significantly different between male and female by Mann-Whitney test

Table 3. Energy costs of walking activities measured by indirect calorimeter

Walking activities	Speed	Sex	VO_2 (ml/kg/min) ¹⁾	EE (kcal/min) ²⁾	METs ³⁾	Intensity ⁴⁾
Treadmill walking	TW2.4	Male	9.92 ± 0.87**	3.65 ± 0.84*	2.88 ± 0.26**	Low
		Female	11.64 ± 1.48*	2.97 ± 0.63	3.36 ± 0.44	Moderate
	TW3.2	Male	11.02 ± 0.91**	4.09 ± 0.95*	3.20 ± 0.27**	Moderate
		Female	12.87 ± 1.59*	3.30 ± 0.66	3.71 ± 0.47	Moderate
	TW4.0	Male	12.92 ± 1.36**	4.80 ± 1.25*	3.75 ± 0.39**	Moderate
		Female	14.85 ± 1.63	3.81 ± 0.65	4.28 ± 0.48	Moderate
TW4.8	Male	14.70 ± 1.08***	5.43 ± 1.01*	4.27 ± 0.33***	Moderate	
	Female	17.77 ± 1.64	4.58 ± 0.70	5.12 ± 0.48	Moderate	
TW5.6	Male	17.77 ± 1.27***	6.58 ± 1.23*	5.17 ± 0.39***	Moderate	
	Female	21.55 ± 1.77	5.57 ± 0.70	6.21 ± 0.51	Vigorous	
Self-selected hallway walking	HWL (leisurely)	Male	10.63 ± 2.19	3.90 ± 0.85**	3.00 ± 0.44	Moderate
		Female	11.03 ± 1.94	2.85 ± 0.70	3.20 ± 0.57	Moderate
	HWB (brisk)	Male	17.79 ± 3.23	6.58 ± 1.53**	5.12 ± 0.92	Moderate
		Female	18.11 ± 3.06	4.67 ± 1.07	5.22 ± 0.90	Moderate
	HWF (fast)	Male	20.40 ± 6.21**	7.72 ± 2.81	5.84 ± 1.84*	Moderate
		Female	24.75 ± 2.36	6.65 ± 1.57	7.13 ± 0.68	Vigorous

1) VO_2 : Volume of oxygen consumption

2) EE: Energy expenditure

3) METs: Metabolic equivalents

4) Compendium of physical activities: METs intensities (Ainsworth BE et al 2000)

Low: <3.0 METs, Moderate: 3.0 - 6.0 METs, Vigorous: >6.0 METs

*: $p < 0.05$, **: $p < 0.01$, ***: $p < 0.001$, significantly different between male and female by Mann-Whitney u test

(brisk)에서 산소섭취량과 METs값에 있어서는 성별에 따른 유의한 차이를 보이지 않았고 에너지소비량에 있어서는 남자가 각각 3.90 ± 0.85 kcal/min와 6.58 ± 1.53 kcal/min으로 여자(각각 2.85 ± 0.70 kcal/min와 4.67 ± 1.07 kcal/min)보다 유의하게 더 높았다. 한편, 복도활동 HWF (fast)에서는 트레드밀에서의 걷기활동에서와 마찬가지로 산소섭취량과 METs값에서 여자가 남자보다 유의하게 높았다.

휴대용 무선 호흡가스분석기로 측정한 8가지 걷기 활동의 METs값을 COMPENDIUM[22]에서 제시한 성인의 신체 활동 강도에 따른 METs 기준(저 강도: ~3METs, 중 강도: 3~6 METs, 고 강도: 6 METs~)에 따라 구분해보면 남자는 트레드밀에서의 TW2.4만이 '저강도' 활동으로 분류되고, 나머지 7가지 걷기 활동은 모두 '중강도' 활동으로 분류되었다. 그러나 여자의 경우는 '저강도' 수준은 없었으며 트레드밀에서의 TW5.6과 복도걷기 HWF (fast) 활동은 '고강도'로 분류되었으며 나머지는 모두 '중강도' 활동으로 분류되었다.

3. 신체 가속도계로 측정한 걷기 활동의 에너지 소비량

가속도계를 이용한 8가지 걷기 활동의 측정값들은 Table 4와 같다. 8가지 걷기 활동 모두에서 counts 값에 있어서 남녀 간의 유의한 차이는 보이지 않았다. 가속도계로 측정된 counts값을 가속도계 소프트웨어 프로그램 (actilife 6.9.4)

에 내장된 공식(Freedson 등 1998)에 대입하여 산출된 에너지소비량과 METs값은 트레드밀에서의 TW4.8와 TW5.6, 그리고 복도활동 HWB(brisk)와 HWF (fast)에서 모두 남자가 여자보다 유의하게 높은 값을 보였다. 또한 트레드밀에서의 TW4.0의 에너지소비량도 남자가 여자보다 유의하게 높았다.

가속도계로 측정한 8가지 걷기 활동의 METs값을 COMPENDIUM[22]에서 제시한 성인의 신체활동 강도에 따른 METs 기준에 따라 구분해보면 남자는 트레드밀에서의 TW2.4, TW3.2 및 TW4.0 활동, 복도걷기 HWL (leisurely) 활동이 '저강도' 활동으로 분류되고, 나머지 걷기 활동은 모두 '중강도' 활동으로 분류되었다. 그러나 여자의 경우는 트레드밀에서의 TW4.8 활동이 '저강도' 활동으로 분류되는 것 외에는 모두 남자와 동일하였다.

4. 휴대용 무선 호흡가스분석기와 가속도계로 측정한 에너지소비량의 비교

휴대용 무선호흡가스분석기로 측정한 에너지 소비량과 가속도계로 추정된 에너지소비량의 차이를 비교한 결과는 Table 5와 같다. 모든 걷기활동에서 가속도계를 이용하여 추정된 에너지소비량은 휴대용 무선 호흡가스분석기로 측정한 값에 비하여 유의하게 낮게 나타났다.

Table 4. VM (vector magnitude) and METs of walking activities measured by accelerometer

Walking activities	Speed	Sex	VM (CPM) ¹⁾	EE (kcal/min) ²⁾	METs ³⁾	Intensity ⁴⁾
Treadmill walking	TW2.4	Male	242.98 ± 88.91	0.44 ± 0.30	1.02 ± 0.08	Low
		Female	229.22 ± 75.45	0.30 ± 0.20	1.00 ± 0.00	Low
	TW3.2	Male	309.18 ± 82.89	1.29 ± 0.58	1.21 ± 0.27	Low
		Female	323.98 ± 97.72	1.00 ± 0.50	1.28 ± 0.32	Low
	TW4.0	Male	428.61 ± 93.36	3.24 ± 1.49**	2.59 ± 1.06	Low
		Female	465.10 ± 135.14	1.92 ± 0.91	2.15 ± 0.79	Low
TW4.8	Male	585.71 ± 104.00	5.28 ± 2.01***	4.09 ± 1.14**	Moderate	
	Female	584.87 ± 169.28	2.43 ± 1.36	2.70 ± 1.26	Low	
TW5.6	Male	726.04 ± 128.93	6.26 ± 1.93***	4.88 ± 1.05*	Moderate	
	Female	721.69 ± 223.35	3.23 ± 1.57	3.63 ± 1.49	Moderate	
Self-selected hallway walking	HWL (leisurely)	Male	358.72 ± 89.39	1.70 ± 1.32	1.61 ± 0.84	Low
		Female	354.19 ± 95.30	1.04 ± 0.89	1.38 ± 0.61	Low
	HWB (brisk)	Male	762.77 ± 146.86	6.57 ± 1.89***	5.08 ± 0.83**	Moderate
		Female	707.97 ± 188.12	3.08 ± 1.39	3.46 ± 1.29	Moderate
	HWF (fast)	Male	879.78 ± 190.27	7.13 ± 2.27***	5.49 ± 1.11**	Moderate
		Female	753.30 ± 237.62	3.32 ± 1.53	3.75 ± 1.55	Moderate

1) CPM: Counts per minute

2) EE: Energy expenditure

3) METs: Metabolic equivalents

4) Compendium of physical activities : METs intensities (Ainsworth BE et al 2000)

Low: <3.0 METs, Moderate: 3.0 - 6 METs, Vigorous: >6.0 METs

*: p < 0.05, **: p < 0.01, ***: p < 0.001, significantly different between male and female by Mann-Whitney test

Table 5. Comparison of energy expenditure by indirect calorimeter and accelerometer

Walking activities	Speed	Energy expenditure (kcal/min)	
		Indirect calorimeter	Accelerometer
Treadmill walking	TW2.4	3.31 ± 0.81*** ¹⁾	0.37 ± 0.26
	TW3.2	3.69 ± 0.90**	1.15 ± 0.55
	TW4.0	4.30 ± 1.10**	2.58 ± 1.39
	TW4.8	5.00 ± 0.96***	3.86 ± 2.23
	TW5.6	6.08 ± 1.11***	4.74 ± 2.32
Self-selected hallway walking	HWL (leisurely)	3.37 ± 0.94**	1.37 ± 1.16
	HWB (brisk)	5.62 ± 1.62***	4.82 ± 2.41
	HWF (fast)	7.19 ± 2.30**	5.22 ± 2.72

1) Mean ± SD

** : p < 0.01, *** : p < 0.001, significantly different between indirect calorimeter and accelerometer by paired t-test

Table 6. Correlation coefficients between energy expenditures measured by indirect calorimeter and accelerometer

Walking activities		Male (N=15)	Female (N=15)	Total (N=30)
Treadmill walking	TW2.4	-0.031	0.825**	0.338
	TW3.2	0.118	0.774**	0.430*
	TW4.0	0.161	0.550*	0.419**
	TW4.8	0.584*	0.517*	0.675**
	TW5.6	0.614*	0.573*	0.700**
Self-selected hallway walking	HWL (leisurely)	0.223	0.841**	0.513**
	HWB (brisk)	0.717**	0.745**	0.835**
	HWF (fast)	0.627*	0.173	0.510**

* : p < 0.05, ** : p < 0.01, significant correlation at by correlation

5. 휴대용 무선 호흡가스분석기와 가속도계로 측정한 에너지소비량 간의 상관관계

8가지 걷기 활동을 수행하는 동안 착용한 두 기기(휴대용 무선호흡가스분석기와 가속도계로부터 얻은 에너지소비량 값(kcal/min) 간의 상관관계를 활동별로 분석한 결과는 Table 6과 같다.

남자의 경우는 트레드밀에서의 TW4.8(r=0.584)와 TW5.6(r=0.614), 복도걷기 HWB(brisk)(r=0.717)와, 복도걷기 HWF(fast)(r=0.627)의 에너지소비량간에는 의미있는 양의 상관관계를 보였다. 반면, 여자의 경우 복도걷기 HWF(fast)를 제외한 모든 걷기활동에서 두 방법으로 측정한 에너지소비량간에 의미있는 양의 상관관계가 나타났다. 또한 전체 대상자에서의 상관관계를 살펴보면 트레드밀에서의 TW2.4 활동 수행 시 두 기기로부터 얻은 에너지소비량간에는 의미있는 상관관계를 나타내지 않았으나, TW3.2(r=0.430), TW4.0(r=0.419), TW4.8(r=0.675), TW5.6(r=0.700)활동에서는 유의한 양의 상관관계를 보였다. 복도에서 수행된 3가지 활동에서도 모두 의미있는 양의 상관관계가 나타났는데 특히 HWB(brisk) 활동에서 상대적으로 가장 높은 양의 상관관계(r=0.835)를 보였고, 나머지 두 활동(HWL(leisurely), HWF(fast))에서는 모두

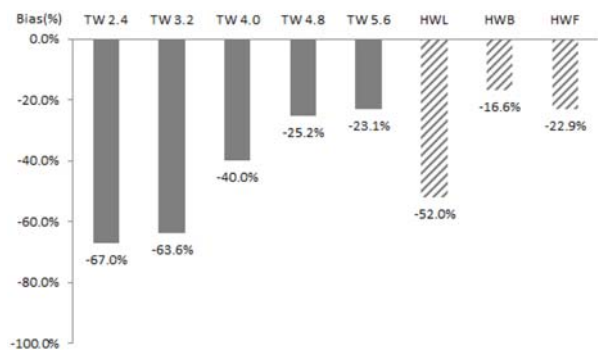


Fig. 1. Assessment of predicted METs by accelerometer based on bias
 Bias : [(predicted METs by accelerometer - measured METs by indirect calorimeter) / measured METs by indirect calorimeter] × 100

r=0.5 정도의 양의 상관관계를 보였다.

6. 휴대용 무선 호흡가스분석기와 가속도계로 측정한 METs 값의 차이

휴대용 무선 호흡가스분석기로 측정한 METs값을 기준으로 가속도계를 이용하여 추정된 METs값의 차이를 걷기 활동별에 따라 비교해보면 Fig. 1과 같다.

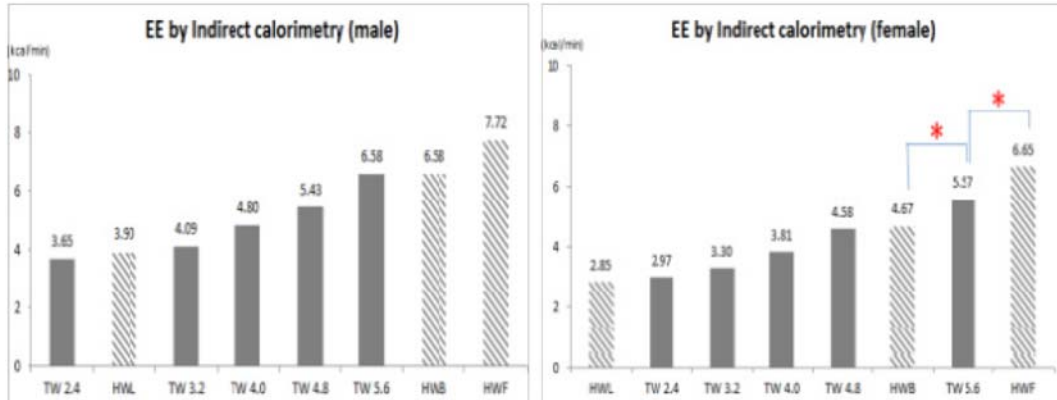


Fig. 2. Comparison of energy expenditure of treadmill walking and self-selected hallway walking
 *: $p < 0.05$, Significantly different between walking activities by One way repeated measures ANOVA

두 기기의 METs값의 걷기 활동별 차이(%)를 살펴보면 복도활동 HWB(brisk)에서 -16.6%로 과소평가된 비율이 가장 작은 것으로 보였고, 트레드밀에서의 걷기 활동의 속도가 빨라질수록 과소평가 된 비율이 낮은 경향을 보였다.

7. 트레드밀 걷기활동과 복도 걷기활동의 에너지 소비량 비교

8가지 걷기 활동을 수행하는 동안 휴대용 무선 호흡가스 분석기를 이용하여 측정한 에너지소비량 값(kcal/min)의 크기를 성별에 따라 비교해보면 Fig. 2과 같다.

남자의 복도걷기 HWL (leisurely) 활동의 에너지 소비량 (3.90 kcal/min)은 트레드밀에서의 걷기 활동 즉, TW2.4 (3.65 kcal/min)와 TW3.2(4.09 kcal/min)와는 유의한 차이를 보이지 않았다. 또한 복도걷기 HWB(brisk) 활동의 에너지 소비량(6.58 kcal/min)은 트레드밀 걷기활동 TW5.6 (6.58 kcal/min)과 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았으며, 복도걷기 HWF(fast) 활동의 에너지소비량(7.72 kcal/min)도 트레드밀에서의 TW5.6 활동과 유의한 차이를 보이지 않았다. 그 외 모든 활동 간에는 유의적인 차이가 나타났다.

여자의 경우 휴대용 무선 호흡가스분석기로 측정한 복도 걷기 HWL(leisurely) 활동의 에너지 소비량(2.85 kcal/min)은 트레드밀에서의 걷기 활동 TW2.4의 에너지소비량 (2.97 kcal/min)과 유의한 차이가 나타나지 않았다. 한편 복도걷기 HWB(brisk) 활동의 에너지소비량(4.67 kcal/min)은 트레드밀에서의 TW4.8의 값(4.58 kcal/min)과 유의한 차이가 없었고 트레드밀에서의 TW5.6의 에너지소비량(5.57 kcal/min) 보다는 유의하게 적었다. 복도걷기 HWF(fast)활동의 에너지 소비량 값(6.65 kcal/min)은 트레드밀에서의 TW5.6의 값(5.57 kcal/min)보다 유의하게

높아 8가지 걷기 활동 중 가장 높은 것으로 나타났다.

고 찰

최근 평균 수명의 연장과 함께 건강에 대한 관심이 높아짐에 따라 운동은 건강 유지 및 증진에 중요한 요소로 대두되고 있다[1]. 특히 일상생활에서 부담없이 할 수 있는 걷기운동은 건강인과 질환자를 위한 운동 처방 프로그램에서도 높은 빈도로 활용되고 있다[5].

하지만 걷기 운동과 관련된 그 동안의 연구 동향을 살펴보면 규칙적인 걷기운동이 중년여성의 정신 건강 상태에 미치는 영향[24], 걷기운동과 삶의 질의 관련성[1], 걷기 참여 형태에 따른 신체적 자기개념과 주관적 행복감의 관계[25], 비만자에 있어서 걷기 운동의 효율성[26] 등 걷기 운동이 정신건강에 미치는 영향에 관한 연구가 대부분이었다.

그 밖에 걷기 활동을 포함한 여러 가지 신체활동의 에너지 소비량을 측정 및 평가한 국내·외 연구들[13, 14, 27]이 있었으나 이들 연구에서의 걷기 활동은 주로 트레드밀(treadmill)을 이용하고 있다. 트레드밀에서의 걷기 활동은 모든 대상자들이 동일한 속도로 수행하기 때문에, 표준화된 속도에 따라 산소섭취량 및 에너지 소비량의 비교 분석이 용이하다는 장점이 있지만 다음과 같은 제한점이 있다. 첫째, 트레드밀 걷기 활동을 수행하기 위해서는 장비가 갖추어진 실험실 환경이 필요하므로 대규모 집단에 적용하는 데 어려움이 있다. 둘째, 트레드밀에 설정한 속도에 맞추어 자신의 걸음걸이, 보폭 및 빈도를 조절해야하기 때문에 본래 자신의 걸음걸이에 맞추어 걸었을 때 보다 산소섭취량이 의도적으로 증가되거나 때로는 감소될 수 있다는 한계점이 있다[3].

이를 보완 할 수 있는 다른 방법으로 대상자의 평상시 걸음걸이대로 보폭 및 빈도를 조절하는 등 대상자가 상황에 맞

게 스스로 속도를 조절 하는 걷기(Self-selected walking) 방법이 있다. 외국에서는 이와 같은 걷기 활동을 수행하면서 산소섭취량 및 에너지 소비량을 측정함과 동시에 개인의 신체활동별 활동량 및 운동 수행능력을 분석한 연구들이 [4, 17, 18] 보고되고 있으나, 국내에는 아직까지 이와 같은 연구가 부족한 실정이다.

Table 3에서 보듯이 트레드밀에서의 5가지 걷기활동 및 복도에서의 3가지 걷기 활동 모두에서, 여자보다 남자에서 단위체중당 산소섭취량(ml/kg/min)이 유의하게 더 높았다. 이와 같은 결과는 20대 남학생(17명)을 대상으로 한 Lee 등 [27]의 연구 및 20대 성인남녀 52명을 대상으로 한 Lee [13]의 연구결과와 일치한다.

이에 대한 가능한 이유로는 동일한 걷기 활동을 수행할 때 여자가 남자에 비해서 더 높은 활동 강도를 느끼는 것으로 보이며 [13], 이는 남녀 간의 근육 및 체지방량 함량의 차이와 성별에 따른 [16] 수행 가능한 운동 기능의 차이 및 남녀 간의 걸음걸이 보폭의 차이 [28]로 인해 발생된 것으로 사료된다.

본 연구 결과, 각 활동에 대한 단위체중당 산소섭취량(ml/kg/min)은 여자가 남자보다 유의하게 높았으나, 에너지소비량(kcal/min)은 남자가 여자보다 유의하게 높았는데 이는 남자가 여자보다 유의하게 높은 체중과 관련된다.

Lee 등 [27]은 본 연구에서 사용한 것과 동일한 휴대용 무선 호흡가스 분석기를 이용하여 20대 남학생(17명)을 대상으로 트레드밀에서의 3가지 다른 속도(4 km/h, 6 km/h, 8 km/h)의 걷기 활동 시의 에너지소비량을 측정하였다. 그들의 연구 결과를 살펴보면, 4 km/h의 걷기 활동 시의 산소소비량(VO_2)은 12.84 ± 1.56 ml/kg/min로 본 연구에서 남자의 트레드밀에서의 TW4.0 활동의 산소소비량(12.92 ± 1.36 ml/kg/min)과 비슷한 수준으로 나타났다.

또한 Lee [13]는 20대 성인 52명(남 23명, 여 19명)을 대상으로 휴대용 무선 호흡가스분석기를 이용하여 앉기, 서기 등의 일상생활 활동과 트레드밀에서의 걷기 및 달리기 등 총 11가지 활동의 에너지소비량을 측정하였다. 이들 결과 중 본 연구의 걷기 속도와 동일한 활동(트레드밀에서 3.2 km/h, 4.8 km/h 및 5.6 km/h로 걷기)의 강도(METs)값을 살펴보면 각각 3.27 ± 0.65 , 4.34 ± 0.72 및 5.22 ± 0.84 METs로 본 연구의 대상자 전체의 METs 값(3.46 ± 0.45 , 4.70 ± 0.59 및 5.69 ± 0.69)과 유사하였다.

61세부터 90세까지의 노인 총 20명(남 15명, 여 5명)을 대상으로 본 연구에서와 동일한 걷기활동 프로토콜을 실시한 Hall 등 [18]의 연구 결과를 살펴보면 트레드밀에서의 5가지 걷기 활동의 산소섭취량(VO_2)은 걷기 속도(TW2.4, TW3.2, TW4.0, TW4.8, TW5.6)에 따라 각각 $10.0 \pm$

0.5 , 11.6 ± 0.6 , 13.0 ± 0.5 , 15.3 ± 0.6 , 17.9 ± 0.8 ml/kg/min로 나타나 본 연구에서의 남녀 전체의 산소섭취량(10.78 ± 1.48 , 11.94 ± 1.58 , 13.89 ± 1.77 , 16.23 ± 2.07 , 19.66 ± 2.45 ml/kg/min)보다 적은 것으로 나타났다. 이와 관련하여 An [29]은 인간의 생리적 능력은 해마다 0.75~1%씩 감소하며, 노인의 신체 운동 능력이나 체력은 청년기에 비해 25~30% 정도 저하되는데, 이는 연령 증가에 따른 심혈관계 기능, 기초대사율 및 폐기능 등의 감소에 기인한다고 하였다.

과किन 질환과 뇌졸중 환자를 대상으로 한 연구 [30, 31]와 건강한 성인을 대상으로 상황에 맞게 스스로 걷기 속도를 조절 할 수 있는 self-selected hallway walking 방법을 적용한 국내외 연구는 아직 보고되지 않아 직접적인 비교가 어려웠다. 따라서 본 연구 대상자와 연령대(61~90세)는 다르지만 본 연구의 프로토콜과 동일한 Hall 등 [18]의 연구 결과와 비교 해보았다. HWL(leisurely) 활동시 남자와 여자의 산소섭취량은 각각 10.63 ± 2.19 ml/kg/min와 11.03 ± 1.94 ml/kg/min로 노인군의 10.6 ± 0.6 ml/kg/min과 비슷한 수준 [18]인 것으로 나타났다. 복도걷기 HWL(leisurely)는 “평소 친구와 대화하듯 천천히 걷기” 이므로 대상자 모두 자신의 상황에 맞게 천천히 걷기를 실행하였고 이에 연령대 별, 성별에 따른 큰 차이가 없는 것으로 판단된다.

그러나 HWB(brisk) 활동과 HWF(fast) 활동에서는 Hall 등의 [18] 산소섭취량값이 본 연구 결과 값에 비하여 모두 낮은 수준으로 나타났다. 이는 “깜빡이는 신호등을 건너듯 조금 빠르게 걷기(brisk)”, “뛰지는 않되 가장 빠르게 걷기(fast)”의 지침에 따라 대상자 자신이 걷기의 속도를 조절하며 빠르게 걷기를 수행함과 관련이 있다. 이러한 결과는 연령에 따른 호흡기능의 차이, 즉 연령이 증가함에 따라 발생하는 생리적 변화에 따른 차이로 사료된다 [3].

8가지 걷기 활동 모두에서 counts 값(VM)에 있어서 남녀 간의 유의한 차이는 보이지 않았으나 관련 공식(Freedson 등 1998)에 대입하여 산출된 에너지소비량과 활동 강도(METs)는 트레드밀에서 실시한 TW4.8 활동과 TW5.6 활동에서 그리고 복도 걷기 활동 중 HWB(brisk)와 HWF(fast) 활동에서 남자가 여자보다 유의하게 높게 나타났다.

20대 성인 52명(남23명, 여 19명)를 대상으로 가속도계(GT3X)를 이용하여 본 연구에서와 동일한 걷기 속도 즉, 트레드밀에서의 3.2 km/h, 4.8 km/h 및 5.6 km/h 걷기 활동의 counts값(190.32 ± 178.02 , 499.56 ± 211.93 , 656.41 ± 241.54)을 측정한 Lee [14]의 결과는 본 연구 결과보다 다소 낮거나 유사하였다.

한편 다양한 걷기 활동의 에너지 소비량을 측정하는 국내의 연구들을 살펴보면 [18-20] 휴대용 무선 호흡 가스 분석기 또는 가속도계를 이용하고 있으며 이 두 가지를 동시에 사용한 연구에서는 [11, 27, 29] 가속도계의 정확성을 평가하고 있다. 본 연구에서 휴대용 무선호흡가스분석기로 측정된 에너지 소비량과 가속도계로 측정된 counts 값을 이용하여 추정된 에너지 소비량 간에 걷기 활동에 따라 의미있는 양의 상관관계를 보인바 있다.

이러한 연구결과를 휴대용 무선호흡가스분석기(K4b²)와 가속도계(GT1M, GT3X)의 측정값간의 상관관계를 분석한 타 연구결과와 비교해보면 20대 남학생(17명)을 대상으로 한 Lee 등 [27]의 연구에서는 $r=0.653\sim 0.895$ 의 상관관계를 보였으며, 20대 성인 남녀(52명)를 대상으로 한 Lee [13]연구에서도 $r=0.781\sim 0.788$ 의 상관관계를 보여 본 연구와 비슷한 상관관계를 보였다.

휴대용 무선 호흡 가스 분석기는 신뢰도가 매우 높은 에너지 측정 장비 중 하나로 제안되고 있으나 [32], 높은 비용과 혼란된 측정 기술이 필요하다는 한계점이 있다 [33]. 반면에 가속도계는 크기가 작고 사용 방법이 간단할 뿐만 아니라 측정대상자에게도 부담이 적어 신체활동 평가 연구에서 보편적으로 사용되어 지고 있다.

Table 5에 따르면 모든 걷기 활동에서 가속도계로 추정된 에너지소비량이 휴대용 무선호흡가스분석기로 측정된 에너지소비량보다 유의하게 더 낮았다. 이러한 결과는 가속도계로 추정된 에너지소비량이 실제 에너지소비량을 과소평가하고 있음을 보여준다.

본 연구에서는 가속도계로 측정된 counts값(VM)을 Freedson(1998) 공식에 대입하여 에너지소비량을 추정하였다. 그러나 이 공식은 미국의 성인(N=50)을 대상으로 트레드밀에서의 세가지(4.8 km/h, 6.4 km/h 및 9.7 km/h) 걷기활동 측정 결과를 토대로 개발한 공식 [31]으로 본 연구대상자인 한국인에 적용 시 걷기 방법 및 속도에 따른 차이 뿐만 아니라 인종에 따른 차이 및 보폭의 크기가 미치는 영향 등으로 오차를 가져 올 수 있다.

에너지소비량은 산소섭취량을 근거로 산출되는 값으로 가속도계 측정값(counts)을 이용하여 추정된 에너지소비량은 어떠한 공식을 사용하는가에 따라 발생하는 오차가 매우 클 수 있다. 또한 Lee [12]의 연구에서도 가속도계를 이용한 에너지소비량 추정 시 오차를 증가시키는 요인으로 사용한 추정식(prediction equation), 신체활동 기준치(cut-off), 가속도계의 착용부위(wearing position)와 자료요약주기(epoch) 등을 제시한 바 있다.

이에 본 연구에서는 가속도계를 이용하여 측정된 신체 움

직임을 토대로 Freedson (1998)이 제안한 공식($METs = 1.439008 + (0.000795 \times \text{xcnts}/\text{min})$)에 적용하여 산출된 METs값과 휴대용 무선 호흡가스분석기로 측정된 METs값의 Bias(%)를 분석해보았다. 그 결과 모든 활동에서 가속도계의 값이 과소평가 되고 있는 것을 확인하였다.

따라서, 가속도계를 이용하여 에너지 소비량 및 활동 강도를 예측하고자 하는 경우, 적용하는 다양한 공식에 따른 차이, 그리고 정확성 검증을 위한 보다 폭넓은 통계적 방법이 적용되어야 할 것이다.

8가지 걷기 활동의 에너지소비량 값(kcal/min)의 크기를 성별에 따라 비교 해 본 결과 남자의 경우 3가지 복도 활동은 트레드밀 활동과 유의한 차이가 나타나지 않았다. 한편 여자의 경우 HWL(leisurely)은 트레드밀 활동과 유의한 차이가 나타나지 않았으나 HWB(brisk)와 HWF(fast) 활동은 트레드밀에서 TW5.6속도에 맞춰 걷는 것과 유의한 차이를 보였다.

한편 트레드밀에서의 걷기 활동에 따른 에너지소비량 값과 복도 걷기 활동에 따른 에너지소비량 값의 크기를 비교한 국내 연구는 찾아 볼 수 없었다. 따라서 연령대는 다르지만 본 연구와 동일한 프로토콜을 사용한 Hall 등 [18]이 제시한 에너지소비량을 살펴보면, 복도걷기 HWL(leisurely)는 트레드밀에서의 TW2.4와 TW3.2 수준이었으며, 복도걷기 HWB(brisk)는 트레드밀에서의 TW4.0와 TW4.8 수준이었고, 복도걷기 HWF(fast)는 트레드밀에서의 TW5.6의 에너지소비량과 유사하였다. 그러나 위의 연구 결과 [18]에서 복도걷기 활동과 트레드밀에서의 걷기 활동에 따른 에너지소비량의 유의성을 파악하는데에는 한계가 있었다.

휴대용 무선 호흡가스분석기로 측정된 8가지 걷기 활동의 METs값을 COMPENDIUM [22]에서 제시한 성인의 신체활동 강도에 따른 METs 기준(저 강도: ~3METs, 중 강도: 3~6 METs, 고 강도: 6 METs~)에 따라 구분해보면 남자는 트레드밀에서의 TW2.4만이 '저강도' 활동으로 분류되었고, 나머지 7가지 걷기 활동은 모두 '중강도' 활동으로 분류되었다. 그러나 여자의 경우는 '저강도' 수준은 없었으며 트레드밀에서의 TW5.6, 복도걷기 HWF(fast) 활동은 '고강도'로 분류되었으며 나머지는 모두 '중강도' 활동으로 분류되었다.

세계보건기구(WHO)의 신체활동 가이드라인 [35]을 바탕으로 2013년 보건복지부에서 제정한 한국 성인을 위한 신체활동 지침 [23]에 따르면 '중강도 활동을 일주일에 150분 이상' 혹은 '고강도 활동을 일주일에 75분 이상' 할 것을 권장하고 있다.

본 연구 결과를 토대로 위의 신체활동 지침을 실천하기 위

한 몇 가지 방법을 제시해보면 다음과 같다. 첫 번째 방법은 트레드밀 혹은 런닝머신을 이용하는 방법으로 남자는 TW3.2, TW4.0, TW4.8 및 TW5.6의 속도 중 하나를 선택하여 일주일동안 150분 이상의 걷기 운동을 하도록 권장하고, 여자는 TW2.4, TW3.2, TW4.0 및 TW4.8의 속도 중 하나를 선택하여 일주일동안 150분 이상의 걷기 운동을 할 것을 권장할 수 있다. 그러나 20대 청년에게 권장할 수 있는 신체활동 운동 지침 설정 시 트레드밀 활동만을 제시한다면 트레드밀이나 런닝머신 기기가 있는 환경이 조성되어야만 가능하기 때문에 일상생활에서 적용하는데 한계가 있을 것으로 보인다.

그러므로 이와 같은 신체활동 지침을 런닝머신과 같은 운동 시설 없이 일상생활에서 쉽게 실천하기 위해서 본 연구에서 수행한 복도에서의 다양한 걷기 활동의 에너지소비량 측정 결과 및 강도 분류를 참고하여 다음과 같이 제시할 수 있다. 즉 남자는 “친구와 대화하듯 천천히 걷기”, “깜박이는 신호등을 건너듯 조금 빠르게 걷기”, “뛰지는 않되 가장 빠르게 걷기” 중의 한 가지 이상 활동을 일주일동안 150분 이상 수행하도록 하고, 여자는 중강도에 해당되는 걷기 활동인 “친구와 대화하듯 천천히 걷기” 혹은 “깜박이는 신호등을 건너듯 빠르게 걷기”를 일주일동안 150분 이상 걷거나 고강도에 해당되는 “뛰지는 않되 가장 빠르게 걷기”를 일주일의 75분 정도씩 걷도록 권장할 수 있다.

그러나 본 연구에서는 휴대용 무선 호흡가스분석기로 측정한 METs값을 COMPENDIUM[22]의 신체활동 강도 기준에 따라 분류하였기 때문에, 8가지 걷기 활동의 속도와 방법이 다름에도 불구하고 대부분의 활동이 중강도 활동(3~6 METs)으로 분류되었다. 그러므로 위와 같은 신체활동의 지침은 건강한 성인을 대상으로 할 시에는 부족함이 없으나, 체중관리가 필요한 자와 재활이 필요한 질환자의 경우에는 에너지소비량(kcal/min)을 기준으로 세분화 하여 신체활동 지침을 제시할 필요가 있다.

한편 최신 국내외 신체활동 가이드라인을 요약 및 정리한 Park 등[36]에 따르면 유산소 신체활동의 경우 한번에 30분 이상 수행하거나 혹은 10분 이상씩 3회에 걸쳐 수행하여도 그 효과는 동일하다고 밝힌 바 있다. 이에 본 연구에서 제시한 방법을 토대로 신체활동을 실천 할 시, 주 1회 150분간 수행하거나 주 5회 30분씩 나누어 수행하여도 그 효과는 같을 것으로 사료된다.

본 연구의 제한점은 첫째 연구 대상자의 수가 30명에 불과하므로 가속도계의 정확성 검증 등은 실시하지 않았다. 따라서 앞으로 연구대상자의 수를 증가시킨 후속연구가 필요하다. 둘째 본 연구는 정상체중 집단만을 포함하였기에 신체

조성 또는 비만도(저체중, 정상체중, 과체중 및 비만)에 따른 차이를 고려하지 못하였다. 그러므로 다양한 신체조성을 가진 대상자를 포함하여 서로 다른 비만도에 따른 걷기 활동에 있어서의 에너지소비량을 평가하는 연구가 필요하다.

최근 스마트폰의 사용이 대중화됨에 따라 걷기 평가 어플리케이션이 널리 보급되어 활용되고 있다. 하지만 아직까지 스마트폰의 걷기 평가 어플리케이션에 대한 정확성 검증은 부족한 실정[37]이므로 향후 가속도계뿐만 아니라 스마트폰 어플리케이션을 이용한 걷기 활동의 정확성을 평가하는 추가적인 연구가 필요하다.

요약 및 결론

본 연구는 강릉시에 위치한 대학생 총 30명(남학생 15명, 여학생 15명)을 대상으로 트레드밀에 기초한 5가지 속도의 걷기 활동과 자유롭게 평상시 걷기 속도에 맞춰 걷는 3가지의 복도 걷기 활동(self-selected hallway walking)의 에너지 소비량을 측정하고 그 강도를 비교 분석하였다. 또한 이를 토대로 20대 청년들이 일상생활에서 쉽게 수행할 수 있는 구체적인 걷기 운동 방법 및 적정 시간 등을 제시해 줌으로써 건강증진 및 운동처방 프로그램을 구성하는데 기초 자료를 제공하고자 하였다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 휴대용 무선 호흡가스 분석기로 측정한 METs값을 COMPENDIUM기준[22]에 따라 분류 한 결과 남자의 경우 TW2.4 활동만 저강도로 분류되었고 나머지 7가지 활동은 모두 중강도로 분류되었다. 여자의 경우 TW5.6 활동과 HWF(fast) 활동은 고강도로 분류되었고 그 외 나머지 활동은 중강도로 분류되었다.

2) 가속도계로 측정한 METs값을 COMPENDIUM기준[22]에 따라 분류 한 결과 남자의 경우 TW2.4, TW3.2 및 TW4.0 활동은 저강도로 분류되었고 나머지 4가지 활동은 모두 중강도로 분류되었다. 여자의 경우 TW5.6, HWB(brisk) 및 HWF(fast) 활동은 중강도로 분류되었고 나머지 4가지 활동은 모두 저강도로 분류되었다.

3) 휴대용 무선 호흡가스 분석기와 가속도계로 측정한 에너지소비량과 METs값의 차이를 분석한 결과 모든 걷기활동에서 가속도계를 이용하여 추정된 값은 휴대용 무선 호흡가스분석기로 측정된 값에 비하여 유의하게 낮게 나타났다.

4) 그러나 휴대용 무선 호흡가스 분석기와 가속도계로 측정된 에너지소비량 값 간의 상관관계를 분석한 결과에서는 비교적 높은 상관관계가 나타났다.

5) 위의 결과를 토대로 한국 성인을 위한 신체활동 지침을 실천하기 위하여 남자는 TW2.4활동을 제외한 나머지 7가

지 활동 중 하나를 선택하여 일주일에 150분 이상 수행하고, 여자는 HWF(fast)활동만 일주일에 75분 이상, 그 외 7가지 활동 중 하나를 선택하여 일주일에 150분 이상 수행한다면 ‘중강도 활동을 일주일에 150분 이상’ 혹은 ‘고강도 활동을 일주일에 75분 이상’ 할 것을 권장하고 있는 신체활동 지침을 수행할 수 있다.

본 연구는 걷기 활동에 있어서 실험실에서만 수행 가능한 트레드밀 걷기 활동뿐만 아니라 일상생활에서 자유롭게 수행할 수 있는 self-selected hallway 걷기 활동을 포함하였다는 점에서 의의가 크다고 할 수 있다. 즉 이러한 결과를 토대로 일상생활에서 구체적으로 활용 할 수 있는 걷기 운동의 지침을 제안 할 수 있는 가능성을 제시한 연구로 그 가치가 있다고 볼 수 있다.

추후연구에서는 대규모 집단을 대상으로 가속도계의 추정식, 착용부위, 기준치, 자료요약주기 등을 포함한 가속도계 정확성 검증이 이루어져야 할 필요가 있다.

References

- Jang YH, Kim SH, Kim YS, Jung SH, Park J. The relationship between walking exercise and quality of life for Korean adults. *J Digit Policy Manag* 2013; 11(5): 325-334.
- Qiu S, Cai X, Schumann U, Velders M, Sun Z, Steinacker JM. Impact of walking on glycemic control and other cardiovascular risk factors in type 2 diabetes: a meta-analysis. *PLoS One* 2014; 9(10): e109767.
- Lee KY, Shin W, Ji MJ. Health promotion research and the development of a walking exercise program. *J Basic Sci* 2014; 31:93-106.
- Barnett A, Cerin E, Vandelanotte C, Matsumoto A, Jenkins D. Validity of treadmill- and track-based individual calibration methods for estimating free-living walking speed and VO_2 using the Actigraph accelerometer. *BMC Sport Sci Med Rehabil* 2015; 7(29): 1-11.
- Han SW, Kong SA. The effect of backward walking and forward walking on physical fitness in treadmill inclination for women. *J coach dev* 2006; 8(3): 269-276.
- Korea Centers for Disease Control and Prevention. Korea Health Statistics 2014: Korea National Health and Nutrition Examination Survey (KNHANES VI-2) [Internet]. Korea Centers for Disease Control and Prevention; 2015 [cited 2016 Dec 12]. Available from: <https://knhanes.cdc.go.kr/>.
- Choi HJ, Song JM, Kim EK. Assessment of daily steps, activity coefficient, body composition, resting energy expenditure and daily energy expenditure in female university students. *J Korean Diet Assoc* 2005; 11(2): 159-169.
- Kim SH. A survey on daily physical activity level, energy expenditure and dietary energy intake by university students in Chungnam province in Korea. *J Nutr Health* 2013; 46(4): 346-356.
- Part YJ, Kim JH. Assessment of physical activity pattern, activity coefficient, basal metabolic rate and daily energy expenditure in female university students. *Korean J Community Nutr* 2013; 18(1): 45-54.
- You JS, Chin JH, Kim MJ, Chang KJ. College students' dietary behavior, health-related lifestyles and nutrient intake status by physical activity levels using international physical activity questionnaire (IPAQ) in Incheon area. *Korean J Nutr* 2008; 41(8): 818-831.
- Park JY, Kim NH. Relationships between physical activity, health status, and quality of life of university students. *J Korean Public Health Nurs* 2013; 27(1): 153-165.
- Kang DW, Choi JS, Mun KR, Tack GR. Estimation of energy expenditure of walking and running based on triaxial accelerometer and physical information. *Korean J Sport Biomech* 2008; 18(4): 109-114.
- Lee MY. Criterion and convergent validity evidences of an Accelerometer and a Pedometer. *Korean J Meas Eval Phys Educ Sport Sci* 2012; 14(2): 1-13.
- Miller NE, Strath SJ, Swartz AM, Cashin SE. Estimating absolute and relative physical activity intensity across age via accelerometry in adults. *J Aging Phys Act* 2010; 18(2): 158-170.
- Lyden K, Kozey SL, Staudenmeyer JW, Freeson PS. A comprehensive evaluation of commonly used accelerometer energy expenditure and MET prediction equations. *Eur J Appl Physiol* 2011; 111(2): 187-201.
- Peterson NE, Sirard JR, Kulbok PA, Deboer MD, Erickson JM. Validation of accelerometer thresholds and inclinometry for measurement of sedentary behavior in young adult university students. *Res Nurs Health* 2015; 38(6): 492-499.
- Plotnik M, Azrad T, Bondi M, Bahat Y, Gimmon Y, Zeiling G et al. Self-selected gait speed-over ground versus self-paced treadmill walking, a solution for a paradox. *J Neuroeng Rehabil* 2015; 12(1): 1-20.
- Hall KS, Howe CA, Rana SR, Martin CL, Morey MC. METs and accelerometry of walking in older adults: standard versus measured energy cost. *Med Sci Sport Exerc* 2013; 45(3): 574-582.
- Schrack JA, Simonsick EM, Ferrucci L. Comparison of the Cosmed K4b2 portable metabolic system in measuring steady-state walking energy expenditure. *PLoS One* 2010; 5(2): e9292.
- Vanhelst J, Mikulovic J, Bui-Xuan G, Dieu O, Blondeau T, Fardy P et al. Comparison of two actigraph accelerometer generations in the assessment of physical activity in free living conditions. *BMC Res Notes* 2012; 5(1): 187.
- Actigraph Support Center. What is VM (Vector Magnitude)? [Internet]. Actigraph Support Center; 2016 [cited 2016 Nov 28]. Available from: <http://actigraphcorp.com>.
- Ainsworth BE, Haskell WL, Whitt MC, Irwin ML, Swartz AM, Strath SJ et al. Compendium of physical activities : an update of activity codes and MET intensities. *Med Sci Sport Exerc* 2000; 32(9): S498-S504.
- Ministry of Health and Welfare. The physical activity guide for Koreans. Ministry of Health and Welfare; 2013.
- Kang IW, Cho WJ. The influence on mental health status and health-related quality of life in middle-aged women by the

- regular walking exercise. *J Korea Soc Wellness* 2016; 11(1): 207-215.
25. Choi YY, Choi SB, Kim SG. The relationship between physical self-concept and subjective happiness according to walking exercise participation type. *Korean J Sports Med* 2011; 9(2): 1-12.
 26. Jeon JS. Walking efficiency by obesity. *Proceedings of The 8th Korea Walking Festival Seminar*; 2002 Oct 25; 94-107.
 27. Lee MH, Kim DY, Nam DH. Validation of the GT1M and GT3X Accelerometers for assessment of physical activity. *Korean J Meas Eval Phys Educ Sport Sci* 2012; 14(2): 61-71.
 28. Webb P. Energy expenditure and fat-free mass in men and women. *Am J Clin Nutr* 1981; 34(9): 1816-1826.
 29. An JH. The model for the walking and running program for the health of the aged. *J Korean Phys Soc* 1996; 35(3): 299-308.
 30. Hunnicutt JL, Aaron SE, Embry AE, Cence B, Morgan P, Bowden MG et al. The effects of power training in young and older adults after stroke. *Stroke Res Treat* 2016; doi: 10.1155/2016/7316250.
 31. Bayle N, Patel AS, Crisan D, Guo LJ, Hutin E, Weisz DJ et al. Contribution of step length to increase walking and turning speed as a marker of Parkinson's disease progression. *PLoS One* 2016; 11(4): e0152469.
 32. Seale JL, Rumlper WV. Synchronous direct gradient layer and indirect room calorimetry. *J Appl Physiol* 1997; 83(5): 1775-1781.
 33. Jeong SM, Kim TH, Park CH, Kim HG, Jekal YS. Review and introduction of physical activity assesment actigraph. *J Exerc Sport Sci* 2013; 19: 31-41.
 34. Freedson PS, Melanson E, Sirard J. Calibration of the computer science and applications, Inc. accelerometer. *Med Sci Sports Exerc* 1998; 30(5): 777-781.
 35. World Health Organization. Global Strategy on Diet, Physical Activity and Health [Internet]. World Health Organization; 2016 [cited 2016 Dec 12]. Available from: http://www.who.int/dietphysicalactivity/factsheet_adults/en/.
 36. Park DH, Kim CS, Kim KJ. Consideration about physical activity guideline and exercise intensity for adult. *Exerc Sci* 2015; 24(2): 100-107.
 37. Lee MY, Choi JY. Accuracy of wearable devices to estimate physical activity levels. *Korean J Meas Eval Phys Educ Sport Sci* 2015; 17(2): 49-60.