

성인의 13가지 신체활동의 에너지 소비량 및 가속도계 정확성의 남녀비교*

최연정¹ · 주문정¹ · 박정혜¹ · 박종훈² · 김은경^{1†}

강릉원주대학교 식품영양학과¹, 고려대학교 체육교육과²

Energy expenditure of physical activity in Korean adults and assessment of accelerometer accuracy by gender*

Choi, Yeon-jung¹ · Ju, Mun-jeong¹ · Park, Jung-hye¹ · Park, Jong-hoon² · Kim, Eun-kyung^{1†}

¹Department of Food and Nutrition, Gangneung-Wonju National University, Gangneung 25457, Korea

²Department of Physical Education, Korea University, Seoul 02841, Korea

ABSTRACT

Purpose: The purpose of this study was to measure energy expenditure (EE) the metabolic equivalents (METs) of 13 common physical activities by using a portable telemetry gas exchange system (K4b²) and to assess the accuracy of the accelerometer (Actigraph GT3X⁺) by gender in Korean adults. **Methods:** A total of 109 adults (54 males, 55 females) with normal BMI (body mass index) participated in this study. EE and METs of 13 selected activities were simultaneously measured by the K4b² portable indirect calorimeter and predicted by the GT3X⁺ Actigraph accelerometer. The accuracy of the accelerometer was assessed by comparing the predicted with the measured EE and METs. **Results:** EE (kcal/kg/hr) and METs of treadmill walking (3.2 km/h, 4.8 km/h and 5.6 km/h) and running (6.4 km/h) were significantly higher in female than in male participants ($p < 0.05$). On the other hand, the accelerometer significantly underestimated the EE and METs for all activities except descending stairs, moderate walking, and fast walking in males as well as descending stairs in females. Low intensity activities had the highest rate of accurate classifications (88.3% in males and 91.3% females), whereas vigorous intensity activities had the lowest rate of accurate classifications (43.6% in males and 27.7% in females). Across all activities, the rate of accurate classification was significantly higher in males than in females (75.2% and 58.3% respectively, $p < 0.01$). Error between the accelerometer and K4b² was smaller in males than in females, and EE and METs were more accurately estimated during treadmill activities than other activities in both males and females. **Conclusion:** The accelerometer underestimated EE and METs across various activities in Korean adults. In addition, there appears to be a gender difference in the rate of accurate accelerometer classification of activities according to intensity. Our results indicate the need to develop new accelerometer equations for this population, and gender differences should be considered.

KEY WORDS: estimated energy requirements, physical activity, physical intensity, indirect calorimetry, accelerometer

서 론

국민영양관리법에 따라 보건복지부 주관 하에 제정된 2015 한국인 영양소 섭취기준 (Dietary Reference Intakes for Koreans, KDRIs) 중 에너지필요추정량 (estimated energy requirements, EER)은 에너지 균형을 이룬 상태에서 즉 에너지 섭취량과 소비량이 동일하다는 가정 하에, 에너지 소비량을 근거로 추정하고 있다.¹ 그러므로 한국인을 위한 에너지필요추정량을 설정하려면 에너지 소비량에 대한 평

가가 우선적으로 이루어져야 한다. 그러나 개인의 에너지 소비량을 측정하려면 고가의 비용과 전문적인 기술이 필요하므로, 일반적으로 연령, 신장 및 체중 등을 반영한 산출식을 이용하여 에너지필요량을 추정하고 있다.^{2,3} 미국과 일본 등에서는 에너지 소비량 측정방법 중 'Gold standard'로 알려진 이중표식수법 (double labeled water, DLW)을 이용하여 에너지 소비량을 측정한 후, 이를 근거로 자국민을 위한 에너지필요량 추정식을 개발하였다.⁴ 그러나 우리나라에서는 한국인을 대상으로 이중표식수법으로 에너지

Received: August 24, 2017 / Revised: September 26, 2017 / Accepted: November 30, 2017

* This study was supported by grants from Korea Centers for Disease Control and Prevention (2014-E35002-00).

† To whom correspondence should be addressed.

tel: +82-33-640-2336, e-mail: ekkim@gwnu.ac.kr,

© 2017 The Korean Nutrition Society

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

소비량을 측정하는 연구 자료가 매우 부족하므로 현재까지 미국에서 사용하고 있는 추정공식을 이용하여 한국인의 에너지필요추정량을 산출하고 있다.¹ 이러한 추정식에는 신장 및 체중 뿐 만 아니라, 신체활동단계별 계수 (physical activity coefficient, PA)를 대입하여야 한다. 이 때 PA값은 4개의 신체활동단계로 구분되어 있는 신체활동수준 (physical activity level, PAL)에 따라 성별 및 연령대에 맞는 PA값을 적용하도록 하고 있다. 따라서 한국인의 에너지필요추정량을 바르게 설정하려면 다양한 신체활동량 분석을 통한 신체활동수준의 정확한 평가가 필요하다.

신체활동에 소비되는 에너지의 상대적인 크기를 나타내는 대사당량 (metabolic equivalents, METs)은 1993년 Ainsworth 등⁵에 의해 발표되었으며 안정시 대사율 (resting metabolic rate, RMR)의 배수로 정량화 된다. 그러나 이 값은 외국 성인의 에너지 소비량을 토대로 개발된 것으로 인종 및 체조성이 다른 한국인에게 적용 시 오차가 발생하게 된다.⁶ 이와 관련하여 국내에서는 고등학생⁷과 대학생⁸을 대상으로 트레드밀과 복도 걷기활동의 에너지 소비량 및 METs 값이 보고된 바 있다. 또한 중년 성인을 대상으로 다양한 신체활동의 METs값을 측정하여 보고한 연구⁹도 있으나 전체 연구대상자는 총 48명으로 남자 10명과 여자 38명으로 구성되어 있어 측정값이 일반 성인 남녀의 신체활동량을 대표하기에는 어려움이 있다. 이처럼 지금까지 국내에서 수행된 관련 연구들은 주로 일부 연령대 또는 소수인원을 대상으로 몇 가지 신체활동의 에너지 소비량을 측정하여 보고하였기에⁷⁻⁹ 다양한 연령대의 한국인 성인 남녀를 대상으로 대표적 신체활동의 에너지 소비량을 측정하는 연구가 필요하다.

한편, 가속도계는 신체 움직임의 가속도를 여러 방향에서 측정하는 counts값을 개발된 추정식에 대입하여 에너지 소비량과 METs값을 추정하는 도구로, 데이터 저장 기간이 길어 장시간의 신체활동량을 평가할 때 유용하다.¹⁰ 실제로 미국에서는 2003년 National health and nutrition examination survey (NHANES)에서 신체활동량을 측정하는데 가속도계를 이용하였다.¹¹ 그러나 가속도계 측정값을 이용한 추정식을 활용함에 있어서 성별과 인종과 같은 변수는 신체활동 수준에 영향을 줄 뿐만 아니라 이에 따른 신장 및 다리길이 역시 가속도계에서 감지되는 수직 가속도 (vertical acceleration)에 영향을 미칠 수 있다.¹² 특별히 성별에 따른 차이는 가속도계에 영향을 미치는 변수 중 매우 중요한 요인임에도 불구하고 지금까지 가속도계의 정확성을 남녀별로 비교한 연구는 찾아보기 어렵다.

이에 본 연구에서는 성인 (20 ~ 64세) 100여명을 대상으로 첫째, 휴대용 호흡가스 분석기를 이용하여 13가지 대표

적 신체활동의 에너지소비량 및 METs값을 측정하고 둘째, 휴대용 호흡가스 분석기의 측정값을 기준으로 가속도계의 정확도를 성별에 따라 비교 분석하고자 하였다.

연구방법

연구대상자

본 연구는 인간을 대상으로 한 연구로 강릉원주대학교 대학교의 생명윤리심의위원회 (Institutional Review Board, IRB)의 승인 (승인번호 GWNUIRB-2014-3)을 받은 후 진행하였다. 본 연구는 대학교내 및 주변 지역주민센터 게시판의 연구대상자 안내를 통하여 대상자를 모집하였으며, 연구대상자 구성은 성별 및 연령대별로 포함되기 위해 할당 추출하여 20 ~ 64세의 성인 남녀 110명 (남자 55명, 여자 55명)으로 선정하였다 (Table 2). 연구대상자 선발기준으로는 일상적인 활동을 하는 정상체중 ($18.5 \leq \text{BMI} < 25$)인 자로, 운동선수 및 고강도 활동을 하는 자, 심장 및 호흡기 질환자, 비만치료자 및 보행에 어려움이 있는 자는 대상자 선정 시 제외되었다. 대표활동 측정 중 1명의 탈락자 (남자)가 발생하여 총 109명의 데이터를 본 연구에 사용하였다.

대표활동의 에너지 소비량 측정

본 연구에서는 국내외 문헌 분석^{13,14} 및 예비 실험, 그리고 관련 연구 전문가와의 자문회의 의견을 종합하여 기본 활동인 눕기와 강도별 활동을 포함하여 총 13가지 대표활동을 선정하였다. 각 강도별 활동은 저강도 (앉기, 서기, 설거지, 천천히 걷기, (진공)청소하기), 중강도 (보통 걷기, 계단 내려가기, 빠르게 걷기, 물건 옮기기)와 고강도 (천천히 달리기, 계단 올라가기, 보통 달리기)로 구성되었다. 대표활동 선정 시, 신체 활동 강도의 다양성 및 측정방법의 표준화 가능성을 고려함은 물론, 일상생활에서 빈도가 높은 활동들로 구성하였다. 선정된 대표 신체활동의 에너지 소비량 측정 조건은 Table 1과 같다. 정확한 측정을 위하여 본 실험 측정 3시간 이전에 식사 또는 간식의 섭취를 끝내도록 하였으며 측정 전 24시간 동안 고강도 운동을 하지 않도록 사전에 안내하였다.

신체계측 시 신장은 가벼운 옷차림을 한 상태에서 자동 신장계 (BSM 330, Biospace, Korea)를 이용하여 측정하였고, 체중 및 체지방량은 체성분분석기 (Inbody 720, Biospace, Korea)를 사용하여 측정하였다.

본 측정에 있어서 휴대용 호흡가스 분석기와 가속도계를 동시에 착용하고 13가지 대표활동을 수행하였다. 이 두 기기의 측정 시간대를 일치시키기 위하여 외부 초시계에

Table 1. Description of 13 physical activities investigated

Intensity ¹⁾	METs ²⁾	Activity	Description
Basic		Lying	Lying on bed
Light	1 ~ 2	Sitting	Sitting in an arm chair quietly
		Standing	Standing without moving and speaking
		Washing dishes	Washing different size dishes
		Slow walking	Walking on a treadmill at 3.2 km/h
		Vacuuming	Vacuuming a room (about 22m ²) at a self selected speed
Moderate	3 ~ 5	Moderate walking	Walking on a treadmill at 4.8 km/h
		Descending stairs	Going down the stairs from the 10 th floor to the 1 st floor at a self selected speed
		Fast walking	Walking on a treadmill at 5.6 km/h
		Moving a box	Moving a 2.5 kg box from left to right without movement of legs
Vigorous	6 ~	Slow running	Running on a treadmill at 6.4 km/h
		Ascending stairs	Going up the stairs to the 10 th floor at a self selected speed
		Moderate running	Running on a treadmill at 8 km/h

1) Classification of physical activity intensity by Compendium 2011²⁰ 2) METs: metabolic equivalents

시간을 맞춰 진행하였고, 매 활동마다 측정 및 종료시간을 초 단위까지 기록지에 작성하였다. 각 대표활동은 5분씩 실시하였으며, 활동 간의 영향을 최소화하기 위하여 휴대용 호흡가스 분석기의 호흡교환비 (R값)가 0.7~0.8이고 호흡수 (Rf값)가 15 이하일 때 호흡이 안정 된 상태로 회복된 것으로 보고 다음 활동을 시작하였다. 13가지 대표 신체활동은 저강도에서 고강도 활동의 순서로 수행하며 측정하였다. 대상자 1명에 대하여 총 13가지 대표활동의 측정 시 중간의 휴식시간을 포함하여 평균 약 4~6시간이 소요되었다.

신체활동량 측정도구

본 연구에서는 13가지 대표 신체활동에 따른 에너지 소비량과 METs값을 휴대용 호흡가스 분석기 및 가속도계를 이용하여 측정하였으며, 측정방법은 Kim 등⁸의 방법을 활용하였다.

휴대용 호흡가스 분석기

본 연구에서 준거도구로 사용된 휴대용 호흡가스 분석기 (Cosmed K4b², COSMED, Rome, Italy)는 매 호흡 시 실시간으로 측정한 산소섭취량 (VO₂)과 이산화탄소 (VCO₂) 생성량을 이용하여 신체활동량 (에너지 소비량, METs)을 산출하는 이동식 가스분석기이다.

휴대용 호흡가스 분석기는 측정 전 약 30분 이상 전원을 켜서 워밍업을 한 후 4단계의 눈금조정 (calibration)을 실시하였는데 4단계는 Room air, Gas, Delay 및 Turbine 순서로 구성된다. 1단계와 2단계인 Room air와 Gas 단계의 calibration에서는 산소, 이산화탄소와 질소를 대기압 기준 (O₂ 16%, CO₂ 5.2%와 N 78.8%)에 맞게 기기를 조정하였다. 3번째 단계인 Delay calibration 과정은 호흡하는 동안 샘플링라인을 통과하고 호흡분석에 필요한 시간을 조정하였고 마지막 단계인 Turbine calibration을 통해 호흡량 흡입기 (Syringe, Hans-Rudolph, Shawnee, KS)의 부피 (volume)를 기준치 (3.00 L)로 조정하였다¹⁵. 신체활동량 측정 시 장소가 변경될 때 마다 Room air calibration을 통해 휴대용 호흡가스 분석기를 재조정하였다. 휴대용 호흡가스 분석기는 전용 벨트 (harness)를 이용하여 대상자의 앞쪽 가슴에, 충전된 배터리는 등 쪽에 부착하였으며, 산소섭취량과 이산화탄소 생성량을 측정하기 위해 나일론 소재의 소독된 마스크를 착용한 후 헤드캡 (head cap)을 이용하여 고정시켰다. 이 때 마스크는 호흡이 새어나가지 않도록 마스크 고정 밴드 (head harness)를 이용하여 각 대상자의 얼굴에 맞게 조정하여 착용하도록 하였다. 모든 대상자는 기기를 착용한 후 안정적으로 호흡할 수 있도록 5~10분간 적응 시간을 가졌다.

플링라인을 통과하고 호흡분석에 필요한 시간을 조정하였고 마지막 단계인 Turbine calibration을 통해 호흡량 흡입기 (Syringe, Hans-Rudolph, Shawnee, KS)의 부피 (volume)를 기준치 (3.00 L)로 조정하였다¹⁵. 신체활동량 측정 시 장소가 변경될 때 마다 Room air calibration을 통해 휴대용 호흡가스 분석기를 재조정하였다. 휴대용 호흡가스 분석기는 전용 벨트 (harness)를 이용하여 대상자의 앞쪽 가슴에, 충전된 배터리는 등 쪽에 부착하였으며, 산소섭취량과 이산화탄소 생성량을 측정하기 위해 나일론 소재의 소독된 마스크를 착용한 후 헤드캡 (head cap)을 이용하여 고정시켰다. 이 때 마스크는 호흡이 새어나가지 않도록 마스크 고정 밴드 (head harness)를 이용하여 각 대상자의 얼굴에 맞게 조정하여 착용하도록 하였다. 모든 대상자는 기기를 착용한 후 안정적으로 호흡할 수 있도록 5~10분간 적응 시간을 가졌다.

가속도계

본 연구에서 사용한 가속도계는 3차원 중력 가속도계 (triaxial ActiGraph accelerometer, model GT3X⁺, Actigraph LLC, USA)로 신체 움직임의 가속도 변화를 3개의 방향 (수직, 전후, 좌우)에서 측정하고 설정한 자료요약주기 (epoch)에 따라 그 결과 (counts)값을 기록한다.¹⁶ 대상자의 기본정보 (신장, 체중, 연령)를 가속도계의 소프트웨어 프로그램 (ActiLife 6.9.0 program)을 통해 입력한 후, 탄성이 있는 벨트를 사용하여 대상자의 허리 왼쪽 (배꼽 1 cm 아래의 허리 왼쪽 허벅지 중앙선과 만나는 부분)에 가속도계를 착용하였다. 가속도계의 자료요약주기 (epoch)는 휴대용 호흡가스 분석기에서 초단위로 측정값 (산소섭취량, 이산화탄소 생성량)을 요약하는 것과 일치시키기 위해 10초로 설정하여 데이터를 기록하였다.

3개의 축에서 측정된 counts값을 데이터분석 소프트웨어 프로그램을 이용하여 다운로드 받고 Freedson combination equation¹³에 대입하여 에너지소비량을 산출하였는데 이 공식은 가속도계 측정값을 이용하여 에너지 소비량으로 환산해주는 최초로 개발된 공식으로 현재까지 가장 널리 사용되고 있다.¹⁷ Freedson Combination equation은 CPM (counts per minute)에 따라 2개의 공식을 이용하였다. 즉, CPM < 1951일 경우 Manufacturer's (Williams Work-Energy) equation을 이용하고, CPM > 1952이면 Freedson 등 (1998)¹³의 추정공식을 사용하도록 하고 있다. 한편 가속도계에서 산출된 METs는 대상자의 연령대를 고려하여 Freedson Adult (1998) 공식에 의하여 산출되었다. 그 내용을 정리 하면 다음과 같다. 또한 Freedson METs 공식은 CPM값이 50보다 작을 경우, 1MET값으로 추정하고 10분 이상 지속 될 경우 0.9MET로 추정한다¹⁵.

- 에너지 소비량 산출 공식
 - CPM < 1951 (Williams Work-Energy equation, 1998)
에너지 소비량 (kcal/min) = CPM × 0.0000191 × BW (kg)
 - CPM ≥ 1952 (Freedson, 1998)
에너지 소비량 (kcal/min)
= (0.00094 × CPM) + (0.1346 × BW) - 7.37418
- METs 산출 공식 (Freedson Adult, 1998)
METs = 1.439009 + (0.000795 × CPM)

자료분석방법

모든 측정 자료는 SPSS statistics 23.0 (IBM, USA)를 이용하여 통계처리 하였다. 계단 내려가기와 올라가기를 제외한 나머지 대표활동은 대상자의 산소섭취량이 안정되고 활동에 적응될 때까지 일정시간이 소요되므로 각 활동의 총 측정시간 (5분) 중 앞 (시작)부분의 2분 30초 data를 삭제하였다. 또한 트레드밀에서 수행한 활동은 종료 시 속도가 점차 줄어들면서 멈추므로 마지막 뒷부분의 15초도 삭제하여 2분 15초 정도의 data를 통계처리에 사용하였다. 계단활동은 다른 활동과 다르게 측정시간이 짧았고 시작 및 종료 시점에 속도가 점차 증가하거나 줄어드는 차이가 발생하는 것을 고려하여 종료시점부터 30초를 삭제한 후 가운데 1분간의 안정된 상태의 data를 통계처리에 사용하였다.^{18,19}

연구대상자의 성별에 따른 신체계측치의 비교는 independent t-test로, 휴대용 호흡가스 분석기와 가속도계로 측정된 값들 간의 차이는 paired t-test를 통해 유의성을 검증하였다. 또한 휴대용 호흡가스 분석기로 측정된 METs값을 토대로 Compendium 2011²⁰기준에 따라 강도를 구분하였고 일원분산분석법 (one way repeated measures ANOVA)을

이용하여 각 강도의 대표활동 간의 에너지 소비량 및 METs값을 비교하였다. 각 활동 별 차이는 저, 중강도 활동은 Tamhane's multiple comparison test를 이용하였고, 고강도 활동은 Scheffe를 이용하여 검증하였다 (p < 0.05). 신체활동 강도 분류의 정확성은 휴대용 호흡가스 분석기로 측정 또는 가속도계로 추정된 각각의 METs값을 토대로 Compendium 기준²⁰에 따라 신체활동 강도를 분류하였을 때, 두 값이 일치하는 비율 (agreement rate of physical activity intensity classifications)로 평가하였다. 또한 성별에 따른 일치율 분포는 교차분석을 통하여 빈도와 백분율을 구하였고 그 차이는 χ^2 -test로 검정하였다. 가속도계의 정확도를 분석하기 위하여 가속도계를 이용한 추정값과 준거도구 (휴대용 호흡가스 분석기, K4b²) 측정값과의 차이값 (mean difference), Bias (%), RMSE (root mean squared prediction error)를 구하였고, 가속도계가 정확하게 예측한 비율 즉, accurate prediction (%)을 계산하였다. Bias (%)는 휴대용 호흡가스 분석기 측정값과 가속도계 추정값 간의 차이 값을 백분율로 나타내는 값으로 오차 (individual errors)를 보완할 수 있기에 그룹 간 정확도의 척도를 평가할 때 사용 되는 방법이며 산출 공식은 다음과 같다.²¹

$$\text{Bias (\%)} = \left[\frac{\text{predicted by Actigraph} - \text{measured by K4b}^2}{\text{measured by K4b}^2} \right] \times 100$$

또한 RMSE값은 휴대용 호흡가스 분석기로 측정된 값을 기준으로 가속도계를 이용하여 추정된 값이 얼마나 일치하는지를 나타내며, 다음과 같은 공식에 의해 산출된다.²¹ 본 연구의 모든 자료는 유의수준 5% (p < 0.05)에서 유의성을 검증하였다.

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{\sum (\text{predicted by Actigraph} - \text{measured by K4b}^2)^2}{N}}$$

결 과

본 연구대상자의 신체계측 결과는 Table 2와 같다. 이들의 평균 연령은 남녀 각각 40.8 ± 12.7세와 40.2 ± 12.9세로

Table 2. Anthropometric measurements of the subjects

	Male (n = 54)	Female (n = 55)	Total (n = 109)
Age (years)	40.8 ± 12.7 ¹⁾	40.2 ± 12.9	40.5 ± 12.8
Height (cm)	171.0 ± 5.4 ^{**}	157.8 ± 5.0	164.4 ± 8.4
Body weight (kg)	71.1 ± 9.2 ^{**}	56.7 ± 8.3	63.8 ± 11.3
Body mass index (kg/m ²)	24.3 ± 2.6 [*]	22.7 ± 2.9	23.5 ± 2.8
Body fat (%) ²⁾	22.5 ± 5.7	31.6 ± 5.4 ^{**}	27.1 ± 7.2

1) Mean ± SD 2) Measured by Inbody 720

Significant difference between male and female was tested by independent t-test.

* p < 0.01, ** p < 0.001

Table 3. Oxygen consumption, carbon dioxide production, energy expenditure and METs measured by K4b²

Activities	VO ₂ ²⁾ (L/kg/hr)		VCO ₂ ³⁾ (L/kg/hr)		Energy Ex. ⁴⁾ (kcal/kg/hr)		METs ⁵⁾	
	Male	Female	Male	Female	Male	Female	Male	Female
Lying	0.22 ± 0.02 ¹⁾	0.24 ± 0.03*	0.19 ± 0.02	0.21 ± 0.03*	1.06 ± 0.11	1.18 ± 0.17*	1.03 ± 0.11	1.16 ± 0.16*
Sitting	0.25 ± 0.03	0.26 ± 0.04	0.21 ± 0.03	0.22 ± 0.04	1.19 ± 0.17	1.25 ± 0.20	1.18 ± 0.16	1.23 ± 0.20
Standing	0.24 ± 0.06	0.25 ± 0.05	0.20 ± 0.05	0.21 ± 0.04	1.14 ± 0.27	1.20 ± 0.22	1.13 ± .26	1.18 ± 0.23
Washing dishes	0.48 ± 0.08	0.49 ± 0.09	0.38 ± 0.07	0.39 ± 0.08	2.26 ± 0.40	2.34 ± 0.45	2.26 ± 0.40	2.35 ± 0.45
Moving boxes	0.55 ± 0.12	0.58 ± 0.14	0.46 ± 0.11	0.48 ± 0.12	2.62 ± .57	2.80 ± 0.67	2.59 ± 0.56	2.78 ± 0.66
Vacuuming	0.57 ± 0.11	0.67 ± 0.16***	0.46 ± 0.10	0.54 ± 0.13**	2.71 ± 0.55	3.20 ± 0.75***	2.69 ± 0.54	3.20 ± 0.75***
Slow walking at 3.2 km/h	0.62 ± 0.10	0.71 ± 0.13***	0.51 ± 0.10	0.58 ± 0.13**	2.96 ± 0.50	3.40 ± 0.66***	2.93 ± 0.48	3.38 ± 0.64***
Descending stairs	0.68 ± 0.14	0.72 ± 0.15	0.60 ± 0.11	0.59 ± 0.11	3.31 ± 0.67	3.45 ± 0.70	3.24 ± 0.68	3.43 ± 0.73
Moderate walking at 4.8 km/h	0.81 ± 0.11	0.97 ± 0.16***	0.69 ± 0.10	0.81 ± 0.16***	3.91 ± 0.54	4.66 ± 0.79***	3.86 ± 0.53	4.60 ± 0.76***
Fast walking at 5.6 km/h	1.01 ± 0.16	1.18 ± 0.19***	0.88 ± 0.16	1.04 ± 0.21***	4.89 ± 0.79	5.75 ± 0.97***	4.79 ± 0.75	5.62 ± 0.91***
Slow running at 6.4 km/h	1.34 ± 0.21	1.50 ± 0.18***	1.24 ± 0.23	1.38 ± 0.21**	6.60 ± 1.06	7.36 ± 0.91***	6.39 ± 0.99	7.12 ± 0.85***
Ascending stairs	1.78 ± 0.24	1.71 ± 0.23	1.67 ± 0.20	1.74 ± 0.25	8.78 ± 1.08	8.61 ± 1.10	8.47 ± 1.12	8.15 ± 1.10
Moderate running at 8 km/h	1.73 ± 0.20	1.77 ± 0.19	1.65 ± 0.19	1.76 ± 0.20**	8.57 ± 0.97	8.86 ± 0.90	8.22 ± 0.95	8.42 ± 0.89
Total	0.78 ± 0.53	0.84 ± 0.53*	0.70 ± 0.51	0.75 ± 0.54	4.15 ± 2.58	4.45 ± 2.61*	4.05 ± 2.47	4.34 ± 2.46*

1) Mean ± SD 2) VO₂: oxygen consumption 3) VCO₂: carbon dioxide production 4) Energy Ex.: energy expenditure 5) METs: metabolic equivalents 6) abc: Means with same superscripts are not significantly different at p < 0.05 by Tamhane's multiple comparison test (Light, Moderate activities) and Scheffe's multiple comparison test (Vigorous activities) by intensity (Light < 3METs, 3METs ≤ Moderate < 6METs, 6METs ≤ Vigorous).
Significantly different between male and female by independent t-test at * p < 0.05, ** p < 0.01 and *** p < 0.001

Table 4. Comparison of energy expenditure, METs and intensity for all activities measured by K4b² and estimated by equations using Actigraph

Activities	Energy expenditure (kcal/kg/hr)				METs ²⁾				Intensity ³⁾			
	Male		Female		Male		Female		Male		Female	
Lying	1.06 ± 0.11 ¹⁾ ***	0.00 ± 0.00	1.18 ± 0.17***	0.00 ± 0.00	1.03 ± 0.11***	1.00 ± 0.00	1.16 ± 0.16***	1.00 ± 0.00	L	L	L	
Sitting	1.19 ± 0.17***	0.00 ± 0.00	1.25 ± 0.20***	0.00 ± 0.00	1.18 ± 0.16*	1.00 ± 0.00	1.23 ± 0.20**	1.00 ± 0.00	L	L	L	
Standing	1.14 ± 0.27***	0.00 ± 0.00	1.20 ± 0.22***	0.00 ± 0.00	1.13 ± 0.26*	1.00 ± 0.00	1.18 ± 0.23**	1.00 ± 0.00	L	L	L	
Washing dishes	2.26 ± 0.40***	0.02 ± 0.05	2.34 ± 0.45***	0.02 ± 0.08	2.26 ± 0.40***	1.00 ± 0.00	2.35 ± 0.45***	1.00 ± 0.02	L	L	L	
Moving boxes	2.62 ± 0.57***	0.04 ± 0.08	2.80 ± 0.67***	0.11 ± 0.47	2.59 ± 0.56***	1.00 ± 0.01	2.78 ± 0.66***	1.05 ± 0.32	L	L	L	
Vacuuming	2.71 ± 0.55***	0.22 ± 0.29	3.20 ± 0.75***	0.22 ± 0.51	2.69 ± 0.54***	1.06 ± 0.13	3.20 ± 0.75***	1.07 ± 0.35	L	L	L	
Slow walking at 3.2 km/h	2.96 ± 0.50***	1.14 ± 0.47	3.40 ± 0.66***	1.01 ± 0.49	2.93 ± 0.48**	1.28 ± 0.29	3.38 ± 0.64***	1.21 ± 0.30	L	M	L	
Descending stairs	3.31 ± 0.67	4.70 ± 1.08***	3.45 ± 0.70	3.60 ± 1.03	3.24 ± 0.68	4.70 ± 1.08***	3.43 ± 0.73	3.58 ± 1.04	M	M	M	
Moderate walking at 4.8 km/h	3.91 ± 0.54	3.91 ± 0.95	4.66 ± 0.79***	2.98 ± 1.06	3.86 ± 0.53	3.92 ± 0.94	4.60 ± 0.76***	2.97 ± 1.06	M	M	L	
Fast walking at 5.6 km/h	4.89 ± 0.79	4.90 ± 0.73	5.76 ± 0.97***	3.81 ± 1.15	4.79 ± 0.75	4.89 ± 0.73	5.64 ± 0.92***	3.77 ± 1.17	M	M	M	
Slow running at 6.4 km/h	6.60 ± 1.06**	5.88 ± 1.22	7.36 ± 0.91***	4.89 ± 1.41	6.39 ± 0.99*	5.86 ± 1.21	7.12 ± 0.85***	4.86 ± 1.40	V	M	M	
Ascending stairs	8.78 ± 1.08***	3.97 ± 1.10	8.61 ± 1.10***	2.72 ± 0.79	8.47 ± 1.12***	3.98 ± 1.09	8.15 ± 1.10***	2.69 ± 0.76	V	M	L	
Moderate running at 8 km/h	8.57 ± 0.97***	7.11 ± 1.27	8.86 ± 0.90***	6.42 ± 1.29	8.22 ± 0.95***	7.08 ± 1.27	8.42 ± 0.89***	6.36 ± 1.29	V	V	V	

1) Mean ± SD 2) METs: metabolic equivalent 3) Classified by Compendium 2011 (L: Light < 3METs, 3METs ≤ M: Moderate < 6METs, 6METs ≤ V: Vigorous) 4) calculated from Freedson combination equation 5) calculated from Freedson adult (1998)
Significantly different between K4b² and Actigraph by independent t-test at * p < 0.05, ** p < 0.01 and *** p < 0.001

성별에 따른 유의한 차이를 보이지 않았다. 한편 이들의 평균 신장과 체중은 남자 (171.0±5.4 cm, 71.1±9.2 kg)가 여자 (157.8±5.0 cm, 56.7±8.3 kg)보다 유의하게 높았다 (p<0.001). 체질량지수 (body mass index, BMI)는 남녀 각각 24.3±2.6 kg/m²와 22.7±2.9 kg/m²로 정상 체중 범위 내에 포함되었고, 남자가 여자 보다 유의하고 높게 나타났다 (p<0.01). 한편 체지방량 (%)은 여자가 31.6±5.4%로 남자 (22.5±5.7%)보다 유의하게 높았다 (p<0.001).

휴대용 호흡가스 분석기의 측정결과 (Table 3)를 살펴보면, 눕기, 앉기, (진공)청소하기, 천천히 (3.2 km/h)걷기, 보통 (4.8 km/h)걷기, 빠르게 (5.6 km/h)걷기 및 천천히 (6.4 km/h)달리기 수행시의 단위 체중당 산소섭취량, 이산화탄소 생성량, 에너지 소비량 및 METs값에 있어서 여자가 남자 보다 유의하게 높았다.

13가지 대표활동의 에너지 소비량의 크기를 살펴보면, 남녀 모두 눕기, 앉기 및 서기의 3가지 활동의 에너지 소비량 (1.06~1.21 kcal/kg/hr)과 METs값 (1.05~1.19 METs) 간에 유의한 차이가 없었으며, 설거지 활동은 이들 보다 유의하게 높은 에너지 소비량 (남: 2.26, 여: 2.34 kcal/kg/hr)과 METs값 (남: 2.26, 여: 2.35 METs)을 보였다. 또한 물건 옮기기와 (진공)청소하기의 에너지 소비량 및 METs값은 앞의 활동들 보다 유의하게 높았으며 트레드밀 활동의 경우, 걷기 및 달리기 속도에 비례하여 에너지 소비량과 METs값 모두 유의하게 높아지는 것으로 나타났다. 남자는 계단 올라가기 (8.78 kcal/kg/hr, 8.47 METs)에서 여자는 보통 달리기 (8.86 kcal/kg/hr와 8.42 METs)에서 가장 높은 강도를 보였다.

휴대용 호흡가스 분석기의 측정값과 가속도계를 이용한 추정값을 성별에 따라 비교한 결과 (Table 4), 남자는 계단 내려가기, 보통 걷기와 빠르게 걷기를 제외한 모든 활동에서 가속도계 추정값이 휴대용 호흡가스 분석기에 의해 측정된 에너지 소비량 및 METs 값 보다 유의하게 낮게 나타났다 (p<0.001). 여자의 경우, 계단 내려가기를 제외한 모든 활동에서 가속도계를 이용하여 추정한 에너지 소비량 및 METs값이 휴대용 호흡가스 분석기 측정값 보다 유의하게 낮게 나타났다. 한편, 계단 내려가기는 남자에서 가속도계가 휴대용 호흡가스 분석기 보다 유의하게 높은 값을 보인 반면, 여자는 둘 간에 유의한 차이를 보이지 않았다.

본 연구에서 휴대용 호흡가스 분석기와 가속도계를 이용하여 측정 및 산출된 대표 신체활동의 METs 값을 Compendium 2011²⁰에서 제시한 기준 (저강도 < 3 METs, 3 METs ≤ 중강도 < 6 METs, 고강도 ≥ 6 METs)에 따라 강도를 분류해 보았다. 남자의 경우, 천천히 달리기와 계단

올라가기를 제외한 11가지 신체활동의 강도는 휴대용 호흡가스 분석기와 가속도계의 METs값으로 분류 시 모두 동일한 강도를 나타내었다. 반면, 여자에서는 8가지 활동에서만 두 기기로 측정 및 추정된 신체활동의 강도가 동일하였다. 두 기기가 측정한 강도의 차이는 모든 경우에서 가속도계가 실제 휴대용 호흡가스 분석기로 측정한 강도 보다 낮게 과소평가 하였다. 즉, 가속도계를 이용하여 신체활동의 강도 평가 시 남자에서는 고강도 활동인 천천히 달리기와 계단 올라가기가 중강도 활동으로, 여자에서는 중강도 활동인 진공 (청소하기), 천천히 걷기 및 보통 걷기가 저강도 활동으로 분류되었다. 또한 여자에서 고강도 활동인 천천히 달리기는 중강도 활동으로, 심지어 고강도 활동인 계단 올라가기가 저강도 활동으로 과소평가되어 분류되었다.

가속도계의 METs값으로 분류된 신체활동의 강도를 휴대용 호흡가스 분석기의 측정값을 근거로 한 강도를 기준으로 일치하는 정도를 나타내는 비율 (rate of accurate classifications, 일치도)을 비교하면 (Fig. 1), 남녀 모두 저강도에서 각각 88.3%와 91.3%로 일치하는 확률이 가장 높게 나타났고 고강도에서 각각 43.6%와 27.7%로 일치도가 가장 낮았다. 모든 강도를 합하여 전체적으로 비교하였을 때 남자에서의 일치도는 75.2%로 여자 (58.3%) 보다 유의하게 높게 나타났으며, Kappa coefficient는 남녀 각각 0.68과 0.06으로 남자가 여자보다 일치도가 높았다. 또한 χ^2 -test 결과, 성별과 agreement rate of physical activity intensity classifications에는 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다. 특히 남자는 중강도와 고강도에서 여자 보다 일치도가 높게 나타났다.

가속도계에서 산출된 예측값 (에너지 소비량, METs)의 정확도를 성별에 따라 비교한 결과는 Table 5 및 Table 6과 같다. 단위체중당 에너지 소비량과 METs값에 있어서

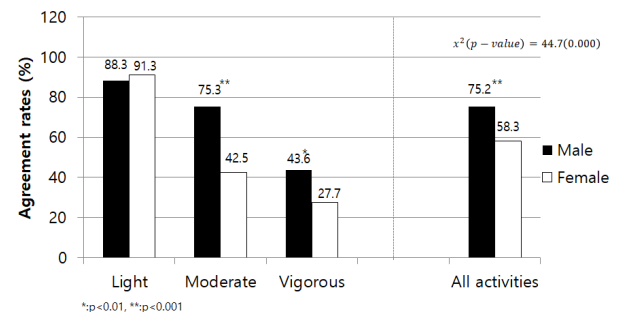


Fig 1. Agreement rate of physical activity intensity classifications between K4b² and accelerometer measurements in male and female. Activity intensity classification was described using agreement rate of physical activity intensity classification and Kappa statistics was used to describe the level of agreement rate between K4b² and accelerometer.

Table 5. Accuracy of Actigraph for energy expenditure measurement by gender

Activities	Difference ²⁾ (kcal/kg/m)		Bias ³⁾ (%)		RMSE ⁴⁾		Predictions (%)					
	Male	Female	Male	Female	Male	Female	Accurate ⁵⁾		Under ⁶⁾		Over ⁷⁾	
							Male	Female	Male	Female		
Lying	-1.11 ± 0.16	-1.21 ± 0.20**	-99.99 ± 0.10	-99.96 ± 0.16	1.12	1.23	0	0	100	100	0	0
Sitting	-1.06 ± 0.17	-1.15 ± 0.22*	-99.97 ± 0.21	-99.97 ± 0.15	1.07	1.17	0	0	100	100	0	0
Standing	-1.14 ± 0.27	-1.20 ± 0.22	-100.00 ± 0.00	-100.00 ± 0.00	1.17	1.22	0	0	100	100	0	0
Washing dishes	-2.24 ± 0.40	-2.32 ± 0.47	-98.99 ± 2.37	-98.95 ± 4.62	2.28	2.37	0	0	100	100	0	0
Moving boxes	-2.59 ± 0.55	-2.69 ± 0.81	-98.78 ± 2.40	-96.26 ± 16.38	2.64	2.81	0	0	100	98.2	0	1.8
Vacuuming	-2.49 ± 0.44	-2.98 ± 0.85***	-92.75 ± 7.91	-93.23 ± 16.16	2.53	3.10	0	0	100	98.2	0	1.8
Slow walking at 3.2 km/h	-1.82 ± 0.80	-2.39 ± 0.87**	-59.70 ± 18.79	-68.68 ± 17.46*	1.98	2.54	0	0	100	100	0	0
Descending stairs	1.39 ± 1.45***	0.15 ± 1.48	49.04 ± 47.70**	13.56 ± 59.90	1.99	1.47	3.7	12.7	11.1	43.6	85.2	43.6
Moderate walking at 4.8 km/h	0.00 ± 1.28	-1.68 ± 1.43***	2.69 ± 29.89	-33.50 ± 28.60***	1.27	2.20	25.9	7.3	29.6	83.6	44.4	9.1
Fast walking at 5.6 km/h	0.01 ± 1.17	-1.95 ± 1.57***	2.79 ± 22.29	-31.80 ± 24.66***	1.16	4.93	29.6	13.0	31.5	81.5	38.9	5.6
Slow running at 6.4 km/h	-0.72 ± 1.46	-2.47 ± 1.61***	-9.18 ± 20.22	-32.71 ± 20.56***	1.62	2.94	40.4	13.0	42.3	85.2	17.3	1.9
Ascending stairs	-4.82 ± 1.58	-5.89 ± 1.27***	-54.11 ± 13.72	-68.00 ± 9.52***	5.06	6.02	0	0	100	100	0	0
Moderate running at 8 km/h	-1.46 ± 1.55	-2.44 ± 1.62**	-16.14 ± 16.60	-26.74 ± 16.85**	2.12	2.92	32.0	17.4	62.0	82.6	6.0	0
Across all activities	-1.39 ± 1.78 ¹⁾	-2.17 ± 1.74***	-52.07 ± 53.67	-64.89 ± 42.99***	2.25	2.78	10.0	4.7	75.2	90.3	14.9	5.0
Treadmill activities	-0.79 ± 1.47	-2.18 ± 1.46***	-15.96 ± 32.05	-39.03 ± 26.85***	1.66	2.62	25.4	9.9	53.0	86.7	21.6	3.4

1) Mean ± SD 2) Difference = predicted by Actigraph - measured by K4b² 3) Bias: mean percentage error between Actigraph and K4b² 4) RMSE: root mean squared error 5) The percentage of subjects predicted by Actigraph within 10% of EE measured by K4b² 6) The percentage of subjects predicted by Actigraph < 10% of EE measured by K4b² 7) The percentage of subjects predicted by Actigraph > 10% of EE measured by K4b²
 Significantly different between K4b² and Actigraph by independent t-test at * p < 0.05, ** p < 0.01 and *** p < 0.001

Table 6. Accuracy of Actigraph for METs by gender

Activities	Difference ²⁾ (MEIs)		Bias ³⁾ (%)		RMSE ⁴⁾		Predictions (%)					
	Male	Female	Male	Female	Male	Female	Male	Female	Male	Female	Over ⁷⁾	
Lying	-0.08 ± 0.16 ²⁾	-0.19 ± 0.20 ^{**}	-5.99 ± 12.72	-13.83 ± 13.93 ^{**}	0.18	0.27	51.9	34.5	37.0	60.0	11.1	5.5
Sitting	-0.05 ± 0.17	-0.14 ± 0.22 [*]	-2.18 ± 15.43	-8.95 ± 17.18 [*]	0.17	0.26	38.9	34.5	38.9	50.9	22.2	14.5
Standing	-0.13 ± 0.26	-0.18 ± 0.23	-8.04 ± 16.03	-12.53 ± 16.41	0.29	0.29	51.9	30.9	35.2	60.0	13.0	9.1
Washing dishes	-1.26 ± 0.40	-1.34 ± 0.45	-54.46 ± 7.60	-55.44 ± 9.86	1.32	1.41	0	0	100	100	0	0
Moving boxes	-1.59 ± 0.55	-1.73 ± 0.72	-59.81 ± 7.71	-60.29 ± 13.77	1.68	1.87	0	0	100	98.2	0	1.8
Vacuuming	-1.63 ± 0.49	-2.14 ± 0.82 ^{***}	-59.44 ± 7.15	-64.95 ± 13.29 ^{**}	1.70	2.29	0	1.8	100	98.2	0	0
Slow walking at 3.2 km/h	-1.65 ± 0.64	-2.17 ± 0.75 ^{***}	-54.87 ± 13.87	-62.61 ± 12.85 ^{**}	1.76	2.29	0	0	100	100	0	0
Descending stairs	1.46 ± 1.46 ^{***}	0.14 ± 1.52	52.95 ± 49.77 ^{**}	13.95 ± 61.27	2.05	1.52	1.9	10.9	11.1	43.6	87.0	45.5
Moderate walking at 4.8 km/h	0.06 ± 1.26	-1.64 ± 1.40 ^{***}	4.29 ± 30.01	-33.07 ± 28.76 ^{***}	1.25	2.15	20.4	9.1	29.6	81.8	50.0	9.1
Fast walking at 5.6 km/h	0.11 ± 1.14	-1.87 ± 1.57 ^{***}	4.82 ± 22.37	-31.09 ± 25.30 ^{***}	1.13	2.43	31.5	11.1	29.6	83.3	38.9	5.6
Slow running at 6.4 km/h	-0.53 ± 1.42	-2.26 ± 1.60 ^{***}	-6.55 ± 20.53	-30.92 ± 21.20 ^{***}	1.50	2.76	42.3	16.7	36.5	81.5	21.2	1.9
Ascending stairs	-4.49 ± 1.59	-5.46 ± 1.27 ^{**}	-52.18 ± 14.37	-66.48 ± 9.95 ^{***}	4.76	5.60	1.9	0	98.1	100	0	0
Moderate running at 8 km/h	-1.14 ± 1.54	-2.06 ± 1.61 ^{**}	-12.90 ± 17.31	-23.59 ± 17.76 ^{**}	1.90	2.61	30.0	19.6	56.0	76.1	14.0	4.3
Across all activities	-0.84 ± 1.70 ¹⁾	-1.61 ± 1.77 ^{***}	-19.47 ± 39.08	-34.71 ± 34.42 ^{***}	1.89	2.40	20.8	12.9	59.3	79.5	19.9	7.5
Treadmill activities	-0.62 ± 1.40	-2.00 ± 1.43 ^{***}	-13.09 ± 30.88	-36.63 ± 25.75 ^{***}	1.53	2.45	24.6	11.0	50.4	84.8	25.0	4.2

1) Mean ± SD 2) Difference = predicted by Actigraph - measured by K4b² 3) Bias: mean percentage error between Actigraph and K4b² 4) RMSE: root mean squared error 5) The percentage of subjects predicted by Actigraph within 10% of EE measured by K4b² 6) The percentage of subjects predicted by Actigraph < 10% of EE measured by K4b² 7) The percentage of subjects predicted by Actigraph > 10% of EE measured by K4b²
 Significantly different between K4b² and Actigraph by independent t-test at * p < 0.05, ** p < 0.01 and *** p < 0.001

준거도구와 가속도계의 차이 (difference)는 서기, 설거지와 물건 옮기기를 제외한 모든 활동에서 성별 간에 유의한 차이를 나타내었는데 계단 내려가기는 남자가 유의하게 높은 반면에 나머지 활동에서는 여자가 유의하게 높은 것으로 나타났다. Bias는 에너지 소비량 및 METs값 평가 시 강도가 높은 활동에서 대부분 성별 간에 유의한 차이를 보였다. 천천히 걷기, 보통 걷기, 빠르게 걷기, 천천히 달리기, 계단 올라가기와 보통 달리기에서 에너지 소비량과 METs값은 여자가 남자보다 유의하게 높았고, 계단 내려가기에서는 남자가 여자보다 유의하게 높았다. RMSE 결과를 살펴보면 에너지 소비량과 METs값은 남자와 여자 모두 앉기에서 가장 낮은 값을 보였고 에너지 소비량 보다 METs값 산출 시 RMSE값이 낮은 것으로 나타났다. Difference와 bias를 통해 살펴볼 때 대부분의 활동에서 에너지 소비량 및 METs값 산출 시 가속도계가 휴대용 호흡가스 분석기에 비해 과소 추정하였지만, 예외적으로 남자에서는 계단 내려가기, 보통 걷기, 빠르게 걷기는 과대 추정되었고 여자에서는 계단 내려가기만 과대 추정되었다. 가속도계에서 산출되는 에너지 소비량과 METs값의 예측 비율 (적절, 과소, 과대)도 대부분의 활동에서 가속도계가 휴대용 호흡가스 분석기 보다 과소 추정하는 비율이 높았으나 계단 내려가기에서는 과대 추정하는 비율이 높았다. 트레드밀 활동 (treadmill activities)만을 구분하여 정확성을 검증한 결과 (Table 5, 6)는 모든 활동 (across all activities) 값을 합한 경우 보다 에너지 소비량과 METs값에 있어서 difference와 bias가 낮게 나타났다. 또한 성별에 따른 difference와 bias의 결과를 비교하면, 가속도계를 이용하여 신체활동량 추정 시 준거도구와의 오차가 여자 보다 남자에서 작은 것으로 나타났다.

고 찰

신체활동수준과 성별은 한국인의 에너지필요추정량 설정 시 영향을 미치는 중요한 요인이다. 먼저 신체활동수준의 경우, 2015 한국인 영양소 섭취 기준¹에 따르면 에너지 소비량은 성별, 연령 및 신체조성이 유사한 경우 신체활동량에 의해 크게 영향을 받는 것으로 보고되었다. 또한 성별의 중요성은 한국인 영양소 섭취기준에서 유아기 이후 영양소 섭취 기준 뿐만 아니라 신체활동별 계수를 성별에 따라 구분하여 제시하고 있음을 통해 알 수 있다.

한국인의 신체활동 수준을 평가하기 위해서 무엇보다도 먼저 다양한 종류의 신체활동에 대한 에너지소비량 및 METs값의 측정이 필요하다. 신체활동량 평가 시 가장 유용하게 쓰이는 방법은 신체활동량 측정 도구를 이용한 측

정값을 개발된 예측공식에 대입하여 에너지 소비량 및 METs값을 산출하는 것이다. 그러나 현재까지 남녀를 구분한 공식은 개발되어 있지 않을 뿐만 아니라 신체활동량 측정 도구의 정확성을 성별에 따라 평가한 연구 역시 찾아보기 어렵다. 이에 본 연구에서는 다양한 신체활동의 에너지 소비량을 휴대용 호흡가스 분석기로 측정하였고 신체활동 측정도구인 가속도계의 정확성을 성별에 따라 평가하였다.

특별히 본 연구대상자는 한국인 영양소 섭취 기준¹에서 적용하고 있는 성인기 연령 기준 (20 ~ 64세)에 따라 선정됨에 따라 청소년기가 지난 시점에서 노인기 전까지 성인 연령대를 모두 포함하고 있다. 또한 이들의 신체계측 결과를 살펴보면 (Table 2), 평균 신장과 체중 (남 171.0 ± 5.4 cm, 71.1 ± 9.2 kg, 여 157.8 ± 5.0 cm, 56.7 ± 8.3 kg) 모두 2015년 국민건강영양조사 (Korea National Health and Nutrition Examination Survey, KNHANES)²²에서 보고된 19세 이상 성인 (남 171.2 ± 0.18 cm, 71.9 ± 0.31 kg, 여 157.5 ± 0.15 cm, 57.8 ± 0.20 kg)과 비교 시 큰 차이를 보이지 않았다. 또한 체질량 지수 (BMI)를 2015국민건강영양조사²² 결과 (남자 24.3 ± 0.08 kg/m², 여자 23.3 ± 0.08 kg/m²)와 비교 시, 본 연구의 남자대상자는 국민건강영양조사 결과와 매우 유사한 값을 보였으며 여자 연구대상자는 국민건강영양조사 결과 보다 다소 낮은 값을 보였지만 모두 정상 체질량 지수 기준에 포함되는 것으로 나타났다. 따라서 본 연구대상자의 성별, 연령대별 분포 및 신장과 체중의 규격 등으로 미루어 볼 때, 본 연구대상자가 한국 성인을 대표하는 표본이 될 수 있을 것으로 사료된다.

한편, McLaughlin 등²³은 휴대용 호흡가스 분석기와 Douglas bag을 이용하여 자전거 운동 (cycle ergometry) 수행 시의 산소섭취량을 측정하고, 산소섭취량에 있어서 두 측정기 간에 유의한 차이를 없음을 확인함으로써 휴대용 호흡가스 분석기의 정확도를 입증하였다.

Table 3에 따르면 보통 달리기를 제외한 모든 트레드밀 활동에서 여자가 남자보다 단위체중당 산소섭취량, 이산화탄소 생성량, 에너지 소비량 및 METs값이 유의하게 높았다. 대학생을 대상으로 한 Kim 등⁸의 연구에서도 트레드밀 활동 (3.2 km/h, 4.8 km/h 및 5.6 km/h) 수행 시 산소섭취량 (ml/kg/min)과 METs값에 있어서 여자가 남자 보다 유의하게 높은 것으로 나타나 본 연구결과와 일치하였다.⁸ Spurr 등²⁴에 따르면 산소섭취량은 심박수와 양의 상관관계를 이루기 때문에 심박수를 이용하여 에너지 소비량을 측정하는 연구들이 진행되고 있다.²⁵ 특히 심박수와 에너지 소비량은 성별을 구분하였을 때 더 높은 상관관계를 보였다.²⁵ 즉, 심박수가 동일할지라도 성별에 따라 에너지 소비

량이 다르며, 동일한 운동에 있어서 여자가 남자 보다 높은 심박수를 나타내는 것으로 보고되었다.²⁵ 또한 최대산소섭취량은 심박수 이외에도 체중과 신체구성 및 근육의 산소이용률 등의 영향을 받는다.²⁶ 특히 남녀 간의 대표적 신체구성의 차이는 체지방량과 제지방 (또는 근육량)인데 본 연구에서 체중과 제지방량을 보정하여 산소섭취량을 비교한 결과, 남녀 간에 유의한 차이를 보이지 않았으므로 신체구성의 차이가 산소섭취량에 영향을 미치는 것을 알 수 있다.

휴대용 호흡가스 분석기를 이용하여 동일한 속도 (5.6 km/h)의 트레드밀 활동에 대하여 측정한 METs값을 연령대별로 비교하여 보면 고등학생을 대상으로 한 Kim 등⁷의 연구에서는 5.87 METs (남: 5.78 METs, 여: 5.95 METs), 대학생 대상의 (평균 23.4세) 연구⁸에서는 5.69 METs값, 본 연구(평균 40.5세)에서는 고등학생⁷과 대학생⁸의 연구 결과 보다 낮은 5.21 METs (남: 4.79 METs, 여: 5.62 METs)값으로 나타났다. 또한 평균 51.8세의 중년 성인 대상 연구⁹에서는 5.12 METs로 본 연구보다 낮게 나타났다. 평균 75세 노인을 대상으로 측정한 Hall 등²⁷의 연구에서는 5.6 km/h 트레드밀 활동의 강도를 5.1 METs로 보고하여 가장 낮은 결과를 보였다. 이러한 결과는 연령대가 높아질수록 METs값이 낮아짐을 보여주는데, 이는 노화현상에 따른 산소섭취량 감소와 관련이 있는 것으로 보인다. 휴대용 호흡가스 분석기에서 측정되는 1 MET는 성인에서 평균 산소섭취량 3.5 mL/kg/min에 해당하는데²⁸ 연령이 높아질수록 호흡 순환 능력이 떨어지고 근육의 무게가 감소하면서 근력이 약해져 심장에 보내지는 혈액의 양과 폐에 흡입되는 공기의 양도 줄어들기 때문으로 사료된다.²⁹ Hall 등²⁷의 연구를 살펴보면 5.6 km/h 속도의 트레드밀 활동에서의 산소섭취량이 본 연구 결과 (1.10 L/kg/hr) 보다 낮은 1.08 L/kg/hr로 나타나 연령대가 높아질수록 산소섭취량이 감소하는 것을 알 수 있었다.

Table 4에 따르면 가속도계를 이용하여 추정된 에너지 소비량 및 METs는 계단 내려가기를 제외하고 대부분의 활동에서 휴대용 호흡가스 분석기의 측정값 보다 유의하게 낮게 나타났다. 이러한 결과는 중년 성인을 대상으로 한 Lee 등⁹의 연구 및 대학생을 대상으로 한 Kim 등⁸의 결과와도 일치한다. 이와 같은 차이는 가속도계가 신체 움직임에 따른 가속도를 counts 값으로 제시할 뿐 실제로 소비되는 에너지 (산소섭취량 등)를 반영하여 추정된 것이 아니기 때문인 것으로 보인다. 특별히 대표적 상체활동인 설거지, 물건 옮기기, (진공)청소하기는 허리에 착용한 가속도계가 팔의 움직임을 감지하지 못하기 때문에 휴대용 호흡가스 분석기에서 측정된 에너지 소비량 및 METs값에

비하여 유의하게 매우 낮은 값을 보인 것으로 사료된다.³⁰ 특별히 움직임이 거의 없는 눕기, 앉기 및 서기 활동에 있어서 가속도계를 이용하여 추정된 에너지 소비량과 METs 값은 각각 0 kcal와 1 METs로 산출되었다. Lee 등¹⁴의 연구에서도 허리선 대퇴 중앙선 양쪽에 가속도계를 착용하여 앉기 활동 수행 시 양쪽 모두 counts값이 거의 0으로 측정된 바 있다. 이처럼 앉기와 같이 움직임이 거의 없는 활동의 경우, 가속도계로 측정 시 움직임이 거의 없는 것으로 나타나 실제로 소비되는 산소섭취량을 근거로 한 에너지 소비량과는 매우 큰 차이를 보인다.

본 연구에서는 휴대용 호흡가스 분석기와 가속도계를 이용하여 13가지 대표 신체활동의 강도를 평가한 후 그 결과를 비교하였다 (Table 4). 휴대용 호흡가스 분석기로 측정된 METs값은 Compendium 2011²⁰에 근거하여 신체활동 강도 (저, 중, 고)로 분류하였고, 가속도계는 Freedson Adult (1998)¹³공식에 의해 산출된 METs값을 통해 휴대용 호흡가스 분석기와 동일한 기준, 즉 Compendium 2011²⁰에 따라 강도를 분류하였다. 본 연구 결과에 따르면, 고강도 활동으로 분류된 천천히 달리기 (6.4 km/h)와 계단 올라가기의 경우, 가속도계는 이들 활동을 남녀 각각 중강도와 저강도로 분류하여 실제보다 낮은 강도로 과소평가하였다. 또한 여자의 경우, 중강도 활동으로 분류된 (진공)청소하기, 천천히 걷기 (3.2 km/h) 및 보통 걷기 (4.8 km/h) 활동의 경우, 가속도계를 이용 시에는 저강도로 분류되었다. 고등학생을 대상으로 트레드밀 활동의 에너지 소비량을 측정 한 Kim 등⁷의 연구에서도 허리에 착용한 가속도계는 트레드밀 활동의 강도를 휴대용 호흡가스 분석기 보다 유의하게 낮게 분류하였다.

Fig. 1에서는 휴대용 호흡가스 분석기와 가속도계를 이용하여 분류된 활동 강도가 일치하는 정도를 rate of accurate classifications로 나타내었는데 그 결과, 낮은 강도의 활동에서 일치하는 비율이 가장 높았다. 한편, 20~60대 남녀 277명을 대상으로 Freedson METs 공식¹³을 이용하여 산출된 METs값을 이용하여 강도를 분류한 후, 휴대용 호흡가스 분석기 측정값을 이용한 강도분류와 비교한 Lyden 등¹⁹에 따르면 저강도에서 misclassification rate (본 연구에서는 rate of accurate classifications)이 가장 낮았고, 고강도에서 높은 것으로 나타나 본 연구와 동일한 결과를 보였다. 본 연구에서 고강도 활동 세 가지를 살펴보면, 가장 높은 강도인 보통 달리기 (8 km/h)는 가속도계로도 고강도로 분류되었으나, 천천히 달리기 (8 km/h)는 가속도계로는 중강도로 분류되었으며 특히 계단 올라가기의 경우 가속도계는 에너지 소비량이 증가하는 것을 감지하지 못하고 단순히 움직임만을 감지하기 때문에 여자의 경우, 고강도 활

등인 계단 올라가기를 저강도 활동으로 분류하는 가속도계의 한계를 보였다. 또한 Freedson의 에너지 소비량 및 METs값 추정 공식¹³은 일상생활의 활동 뿐 만 아니라 고강도의 트레드밀 활동에서 과소평가 하는 경향을 보였는데, 이는 추정공식 개발 시 소수인원을 대상으로 하였을 뿐만 아니라 다양한 속도의 트레드밀 활동이 포함되지 않았기 때문으로 생각된다.

본 연구에서는 가속도계를 이용하여 산출한 에너지 소비량 및 METs값의 정확성을 difference, bias, RMSE 및 accurate prediction비율에 따라 평가하였다. Difference와 bias를 통해 가속도계는 대부분의 활동에서 남녀 모두 휴대용 호흡가스 분석기 보다 과소평가하는 것으로 나타났다. 한편 계단 내려가기는 남녀 모두 가속도계에 의해 과대평가 되었고 남자는 그 밖에도 보통 걷기 및 빠르게 걷기에서 과대평가 되었다. Accurate prediction 결과 역시 유사한 결과를 보였는데 트레드밀에서의 서로 다른 속도의 4가지 신체활동만이 30% 내외의 정확한 예측을 (실제값의 90~110%)을 보였고, 계단 내려가기를 제외한 나머지 활동들은 과소평가 (실제값의 110% 미만)한 비율이 50% 이상 또는 100%에 달하였다. Bassett 등³¹의 연구에서도 걷기, 달리기 활동을 토대로 개발된 가속도계 공식들은 걷기 활동에서는 휴대용 호흡가스 분석기 보다 과대평가 하고 그 외 활동에서는 과소평가하는 것으로 보고되었다.

성별에 따른 가속도계와 휴대용 호흡가스 분석기 측정값과의 차이를 살펴보면 difference와 bias를 통해 대부분 활동에서 남자가 여자보다 두 측정기간의 오차가 작은 것을 알 수 있다. 이와 같은 차이가 발생하는 이유는 남녀 간의 신장 차이 뿐 만 아니라 다리길이와 관련이 있을 수 있다¹². 특히 다리길이는 가속도계가 측정하는 수직방향의 가속도에 영향을 미칠 수 있는 것으로 사료된다.¹² Rowlands 등³²의 연구에 따르면 가속도계를 이용하여 트레드밀 활동을 측정하는 경우 어린이 (평균 연령 9.5 ± 0.8 세)가 성인 (평균 연령 20.7 ± 1.4 세) 보다 가속도계의 counts값과 산소섭취량 간에 상관관계가 높은 것으로 나타났다. 이는 다리 길이가 짧은 어린이는 성인에 비해 보수가 더 높은 반면 산소섭취량은 동일하게 나타난 것으로 나타나 신장의 차이가 영향이 큰 것으로 사료된다.³² 본 연구에서 전체 13가지 대표활동 중 트레드밀 활동 4가지만을 별도로 분류하여 분석한 결과, 다른 활동에 비하여 남녀 모두 오차 (difference, bias 및 RMSE)값이 작은 것으로 나타나 비교적 높은 정확성을 보였다. Lee⁹등은 다양한 가속도계의 METs값 추정공식에 대한 추정오차를 검증하였는데 Freedson 공식은 일상생활의 활동 보다 트레드밀에서의 신체활동량 추정 시 오차가 작은 것으로 나타났다. 또한

Lyden 등¹⁹에 따르면, Freedson의 에너지 소비량 및 METs 추정식은 일상생활 및 트레드밀 활동을 모두 포함하였을 때 보다 트레드밀 활동만 따로 분류한 결과 준거도구와의 차이가 작은 것으로 나타났다. 이는 추정식 개발 시 적용했던 프로토콜과 관련이 있는 것으로 사료된다. Freedson 공식은 20대 성인 50명을 대상으로 단축가속도계를 이용하여 트레드밀에서 걷기 또는 달리기와 같은 보행 활동만을 측정하여 개발되었기 때문에 트레드밀 활동 시 정확성이 더 높고 이외 다른 종류의 신체활동량을 평가 시 오차가 발생할 수 있다.¹⁹

본 연구의 제한점으로는 첫째, 본 연구 대상자는 일상생활의 환경이 아닌 통제된 실험실 공간에서 선정된 대표활동을 수행하였다. 실제 일상생활에서는 신체활동 수행 시 여러 가지 변수가 발생할 수 있으나 본 연구에서는 이를 반영하지 못하였다. 둘째, Freedson 공식¹³은 20대 성인을 대상으로 트레드밀 활동을 수행하여 개발된 추정식 이므로 다양한 연령대의 본 연구대상자에게 적용 시 정확성이 떨어 질 수 있다.

그럼에도 불구하고 본 연구는 20대부터 60대까지 다양한 연령대를 포함한 성인 남녀 100명 이상을 대상으로 대표적인 신체활동 수행시의 에너지 소비량을 측정하였음에 의의가 있으며 이와 같은 측정값은 한국인을 위한 신체활동분류표 개발 및 에너지 소비량 산출 시 활용될 수 있을 것이다. 또한 동일한 활동 수행 시 필요한 산소섭취량은 연령대에 따라 차이가 있는 것으로 나타났으므로 추후 한국인을 위한 신체활동량은 연령대에 맞게 제시할 필요가 있다. 이 뿐만 아니라 가속도계를 이용하여 추정된 13가지 신체활동의 에너지 소비량을 휴대용 호흡가스 분석기 측정값과 비교한 결과, 성별 및 신체활동 종류에 따라 서로 다른 유의한 차이가 있는 것으로 나타났으므로 Freedson 공식의 정확성에 대한 재검토가 요구된다. 그리고 많은 활동에서 가속도계와 휴대용 호흡가스 분석기 측정값 간의 차이가 성별에 따라 다름이 확인되었기에 가속도계를 이용하여 에너지 소비량 및 METs값을 산출하는 추정식은 남녀를 구분하여 개발할 필요가 있는 것으로 나타났다.

요 약

본 연구는 20~60대의 성인 109명 (남 54명, 여 55명)을 대상으로 13가지 대표적 신체활동에 대한 에너지 소비량 (EE) 및 신체활동 강도 (METs)를 휴대용 호흡가스 분석기 (K4b²)를 이용하여 측정하고 이를 기준으로 가속도계 (Actigraph GT3X⁺)의 정확성을 성별에 따라 평가하였다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 휴대용 호흡가스 분석기로 측정된 보통 달리기를 제외한 모든 트레드밀 활동의 단위체중당 에너지 소비량과 METs값은 여자가 남자 보다 유의하게 높았다. 13가지 대표 활동 중 눕기, 앉기 및 서기와 같은 움직임이 없는 활동은 에너지 소비량이 가장 낮은 것으로 나타났고, 남자는 계단 올라가기 (에너지 소비량 포함)에서 여자는 8 km/h 속도의 보통 달리기 (에너지 소비량 포함)에서 에너지가 많이 소비되는 고강도 활동으로 나타났다.

2. 가속도계 및 휴대용 호흡가스 분석기로 측정된 EE와 METs값을 비교한 결과, 남자는 계단 내려가기, 보통 걷기와 빠르게 걷기 활동에서 여자는 계단 내려가기를 제외한 모든 활동에서, 가속도계가 휴대용 호흡가스 분석기 보다 과소추정 하였다.

3. Compendium 2011 기준에 따라 강도를 분류하였을 때 가속도계와 휴대용 호흡가스 분석기는 저강도 활동에서 일치하는 비율이 가장 높은 (남자 88.3%, 여자 91.3%) 반면, 고강도 활동에서 가장 낮은 일치율을 보였고 여자 (58.3%) 보다는 남자 (75.2%)에서 일치율이 유의하게 높았다.

4. 가속도계를 이용하여 EE 및 METs값 추정 시 준거도 구와의 차이를 성별에 따라 비교하면, 계단 내려가기를 제외한 모든 활동에서 여자 보다 남자에서 오차가 작은 것으로 나타났다. 특히, 트레드밀 이외의 활동보다는 트레드밀 활동에서의 오차가 작은 것으로 나타났다.

본 연구는 다양한 연령대의 성인 남녀의 신체활동의 에너지 소비량 등을 휴대용 호흡가스 분석기로 측정하였는데 큰 의의가 있으며 이와 같은 측정값은 한국인을 위한 활동분류표 개발 및 에너지 소비량 산출 시 활용될 수 있을 것이다. 추후 연구에서는 현재까지 개발된 다양한 가속도계 추정식의 정확성이 검증되어야 하며 향후 가속도계를 이용하여 EE 및 METs값 산출 시 필요한 추정식은 적용하는 신체활동 종류뿐만 아니라 성별에 따라 개발되어야 할 것이다.

References

1. Ministry of Health and Welfare (KR); The Korean Nutrition Society. Dietary reference intakes for Koreans 2015. Sejong: Ministry of Health and Welfare; 2016.
2. Mifflin MD, St Jeor ST, Hill LA, Scott BJ, Daugherty SA, Koh YO. A new predictive equation for resting energy expenditure in healthy individuals. *Am J Clin Nutr* 1990; 51(2): 241-247.
3. Henry CJ. Basal metabolic rate studies in humans: measurement and development of new equations. *Public Health Nutr* 2005; 8(7A): 1133-1152.
4. Institute of Medicine Panel on Macronutrients (US). Dietary reference intakes for energy, carbohydrate, fiber, fat, fatty acids, cholesterol, protein, and amino acids. Washington, D.C.: National Academies Press; 2002.
5. Ainsworth BE, Haskell WL, Leon AS, Jacobs DR Jr, Montoye HJ, Sallis JF, Paffenbarger RS Jr. Compendium of physical activities: classification of energy costs of human physical activities. *Med Sci Sports Exerc* 1993; 25(1): 71-80.
6. Lee MY. Preparation in kinesmetrics to develop physical activity guidelines for Korean. *Korean Soc Meas Eval Phys Edu Sports Sci* 2011; 13(3): 17-31.
7. Kim YJ, An HS, Kim EK. Energy expenditure of eight walking activities in normal weight and obese high school students: using an indirect calorimeter and accelerometers worn on ankle and waist. *J Korean Diet Assoc* 2017; 23(1): 78-93.
8. Kim YJ, Wang CS, Kim EK. Measurement of energy expenditure through treadmill-based walking and self-selected hallway walking of college students: using indirect calorimeter and accelerometer. *Korean J Community Nutr* 2016; 21(6): 520-532.
9. Lee MY, Lee H, Choi JY. Error rates of prediction equations and cut-points of Actigraph GT3X+. *Korean Soc Meas Eval Phys Edu Sports Sci* 2016; 18(1): 17-29.
10. Ahn HJ, Lee MC, Lee DT. Validity and energy expenditure of physical activity estimated by accelerometer. *J Coaching Dev* 2006; 8(4): 69-77
11. Troiano RP, Berrigan D, Dodd KW, Mâsse LC, Tilert T, McDowell M. Physical activity in the United States measured by accelerometer. *Med Sci Sports Exerc* 2008; 40(1): 181-188.
12. Sirard JR, Trost SG, Pfeiffer KA, Dowda M, Pate RR. Calibration and evaluation of an objective measure of physical activity in preschool children. *J Phys Act Health* 2005; 2(3): 345-357.
13. Freedson PS, Melanson E, Sirard J. Calibration of the Computer Science and Applications, Inc. accelerometer. *Med Sci Sports Exerc* 1998; 30(5): 777-781.
14. Lee MY. Criterion and convergent validity evidences of an accelerometer and a pedometer. *Korean Soc Meas Eval Phys Edu Sports Sci* 2012; 14(2): 1-13.
15. Crouter SE, Churilla JR, Bassett DR Jr. Estimating energy expenditure using accelerometers. *Eur J Appl Physiol* 2006; 98(6): 601-612.
16. Sasaki JE, John D, Freedson PS. Validation and comparison of ActiGraph activity monitors. *J Sci Med Sport* 2011; 14(5): 411-416.
17. Kim DY, Jeon SH, Kang SY, Kim NH. Customized estimating algorithm of physical activities energy expenditure using a tri-axial accelerometer. *J Korea Contents Assoc* 2011; 11(12): 103-111.
18. Trost SG, Loprinzi PD, Moore R, Pfeiffer KA. Comparison of accelerometer cut points for predicting activity intensity in youth. *Med Sci Sports Exerc* 2011; 43(7): 1360-1368.
19. Lyden K, Kozey SL, Staudenmeyer JW, Freedson PS. A comprehensive evaluation of commonly used accelerometer energy expenditure and MET prediction equations. *Eur J Appl Physiol* 2011; 111(2): 187-201.
20. Ainsworth BE, Haskell WL, Herrmann SD, Meckes N, Bassett DR Jr, Tudor-Locke C, Greer JL, Vezina J, Whitt-Glover MC, Leon AS. 2011 compendium of physical activities: a second

- update of codes and MET values. *Med Sci Sports Exerc* 2011; 43(8): 1575-1581.
21. Kim MH, Kim JH, Kim EK. Accuracy of predictive equations for resting energy expenditure (REE) in non-obese and obese Korean children and adolescents. *Nutr Res Pract* 2012; 6(1): 51-60.
 22. Ministry of Health and Welfare, Korea Centers for Disease Control and Prevention. Korea Health Statistics 2015: Korea National Health and Nutrition Examination Survey (KNHANES VI-3). Sejong: Korea Centers for Disease Control and Prevention; 2016.
 23. McLaughlin JE, King GA, Howley ET, Bassett DR Jr, Ainsworth BE. Validation of the COSMED K4 b2 portable metabolic system. *Int J Sports Med* 2001; 22(4): 280-284.
 24. Spurr GB, Prentice AM, Murgatroyd PR, Goldberg GR, Reina JC, Christman NT. Energy expenditure from minute-by-minute heart-rate recording: comparison with indirect calorimetry. *Am J Clin Nutr* 1988; 48(3): 552-559.
 25. Park JY, Park ST, Jun TW, Eom WS, Lee DG, Park IR, Kang HJ. Prediction of energy expenditure during exercise through heart rate in young adult. *Exerc Sci* 2004; 13(3): 311-322.
 26. Pate RR, Kriska A. Physiological basis of the sex difference in cardiorespiratory endurance. *Sports Med* 1984; 1(2): 87-98.
 27. 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 Sports Exerc* 2013; 45(3): 574-582.
 28. Kim JH, Son HR, Choi JS, Kim EK. Energy expenditure measurement of various physical activity and correlation analysis of body weight and energy expenditure in elementary school children. *J Nutr Health* 2015; 48(2): 180-191.
 29. An JH. The model for the walking and running program for the health of the aged. *Korean J Phys Educ* 1996; 35(3): 299-308.
 30. Howe CA, Staudenmayer JW, Freedson PS. Accelerometer prediction of energy expenditure: vector magnitude versus vertical axis. *Med Sci Sports Exerc* 2009; 41(12): 2199-2206.
 31. Bassett DR Jr, Ainsworth BE, Swartz AM, Strath SJ, O'Brien WL, King GA. Validity of four motion sensors in measuring moderate intensity physical activity. *Med Sci Sports Exerc* 2000; 32(9 Suppl): S471-S480.
 32. Rowlands AV, Thomas PW, Eston RG, Topping R. Validation of the RT3 triaxial accelerometer for the assessment of physical activity. *Med Sci Sports Exerc* 2004; 36(3): 518-524.