

## Research Article



# 한국 성인과 노인을 대상으로 이중표식수법을 이용한 신체활동분류표 타당도 평가

한혜지 <sup>1</sup>, 전하연 <sup>1</sup>, 박종훈 <sup>2</sup>, Kazuko Ishikawa-Takata <sup>3</sup>, 김은경 <sup>1</sup>

<sup>1</sup>강릉원주대학교 식품영양학과

<sup>2</sup>고려대학교 체육교육학과

<sup>3</sup>일본동경농업대학 영양과학과

## OPEN ACCESS

Received: Jul 5, 2023

Revised: Aug 7, 2023

Accepted: Aug 8, 2023

Published online: Aug 17, 2023

### Correspondence to

Eun-Kyung Kim

Department of Food and Nutrition,

Gangneung-Wonju National University, 7

Jukheon-gil, Gangneung 25457, Korea.

Tel: +82-33-640-2336

Email: [ekkim@gwnu.ac.kr](mailto:ekkim@gwnu.ac.kr)

© 2023 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.

### ORCID iDs

Hye-Ji Han <sup>1</sup>

<https://orcid.org/0009-0001-3699-7450>

Ha-Yeon Jun <sup>1</sup>

<https://orcid.org/0000-0002-8531-8493>

Jonghoon Park <sup>2</sup>

<https://orcid.org/0000-0002-5994-399X>

Kazuko Ishikawa-Takata <sup>3</sup>

<https://orcid.org/0000-0003-2995-2956>

Eun-Kyung Kim <sup>1</sup>

<https://orcid.org/0000-0003-1292-7586>

### Funding

This work was supported by grants from the National Research Foundation of Korea (2019R1F1A1057685).

### Conflict of Interest

There are no financial or other issues that might lead to conflict of interest.

<https://e-jnh.org>

## Validation of a physical activity classification table in Korean adults and elderly using a doubly labeled water method

Hye-Ji Han <sup>1</sup>, Ha-Yeon Jun <sup>1</sup>, Jonghoon Park <sup>2</sup>, Kazuko Ishikawa-Takata <sup>3</sup>, and Eun-Kyung Kim <sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Food and Nutrition, Gangneung-Wonju National University, Gangneung 25457, Korea

<sup>2</sup>Department of Physical Education, Korea University, Seoul 02841, Korea

<sup>3</sup>Faculty of Applied Bioscience, Tokyo University of Agriculture, Tokyo 156-8502, Japan

## ABSTRACT

**Purpose:** This study evaluated the validity of a physical activity classification table (PACT) based on total energy expenditure (TEE) and physical activity level (PAL) measured using the doubly labeled water (DLW) method in Korean adults and the elderly.

**Methods:** A total of 141 (male 70, female 71) adults and elderly were included. The reference standards TEE<sub>DLW</sub>, PAL<sub>DLW</sub> were measured over a 14-day period using DLW. A 24-hour physical activity diary was kept for three days (two days during the week and one day on the weekend). PAL<sub>PACT</sub> was calculated by classifying the activity type and intensity using the PACT. PAL<sub>PACT</sub> was multiplied by resting energy expenditure measured by indirect calorimetry to estimate TEE<sub>PACT</sub>.

**Results:** The mean age of the study participants was 50.5 ± 18.8 years, and the mean body mass index was 23.4 ± 3.3 kg/m<sup>2</sup>. A comparison of TEE<sub>DLW</sub> and TEE<sub>PACT</sub> by sex and age showed no significant differences. The bias, the difference between TEE<sub>DLW</sub> and TEE<sub>PACT</sub>, was male 17.3 kcal/day and female -4.5 kcal/day. The percentage of accurate predictions (values within ± 10% of the TEE<sub>DLW</sub>) of TEE<sub>PACT</sub> was 58.6% in males and 54.9% in females, with the highest prediction values in the age group 40–64 years (70.9%) in males and over 65 years (73.9%) in females. The spearman correlation coefficient (r) between TEE<sub>PACT</sub> and TEE<sub>DLW</sub> was 0.769, indicating a significant positive correlation (p < 0.001).

**Conclusion:** In this study, the use of a new PACT for calculating TEE and PAL was evaluated

as valid. A web version of the software program and a smartphone application need to be developed using PACT to make it easier to apply for research purposes.

**Keywords:** adults; elderly; physical activity; energy expenditure

## 서론

우리나라 성인의 비만 유병률은 2009년 29.7%에서 2020년에는 39.4%로 지속적으로 증가하고 있으며, 특히 남자의 비만 유병률이 크게 증가하고 있다 [1]. 비만은 당뇨병, 이상지질혈증, 천식, 압, 근골격계 질환의 발생 위험을 증가시킬 뿐만 아니라 여러 가지 합병증을 동반하여 그로 인한 사망률을 증가시키므로, 비만은 예방하고 치료해야 하는 ‘질병’이다 [2]. 이러한 비만의 예방을 위해서는, 에너지소비량과 에너지섭취량의 균형을 이루는 것이 중요하다.

이에 2005년에 도입한 한국인 영양소 섭취기준 (Dietary Reference Intakes for Korean)에서는 2020년에 이르기까지 에너지소비량과 균형을 이루는 에너지섭취량을 에너지필요추정량으로 제시하여 왔다. 각 성별 및 연령대에 따른 에너지필요추정량 산출공식에는 체중, 신장 및 신체활동단계별 계수 (physical activity, PA)가 변수로 포함된다. 이 계수 (PA)는 신체활동평가방법을 통해 산출된 신체활동수준 (physical activity level, PAL)의 범주에 따라 값이 정해진다 [3].

따라서 한국인을 위한 에너지필요추정량을 정확하게 산정하기 위해서는 타당도 높은 신체활동평가방법을 통한 PAL의 측정이 필요하다. 신체활동을 평가하는 방법 (도구) 중 객관적이며 정확도가 높은 가속도계는 신체활동으로 인해 발생하는 가속도를 전기신호로 저장하는 장치로 [4], 내장된 보정 방정식에 기초하여 신체활동의 강도, 빈도, 기간 및 에너지 소비량까지도 제공 가능하나, 가속도계의 구입 비용 및 가속도계 탈부착의 불편함으로 인해 많은 수의 대상자에게 적용하기에는 어려움이 있다. 반면, 신체활동 일기 또는 신체활동설문지를 이용한 자가기록법 (self-report method)은 대상자가 지난 기간을 회상하여 작성하기 때문에 신뢰도에 문제가 있을 수 있으나 [5], 비용과 시간이 적게 들어 데이터 수집이 용이하다는 장점이 있다. 이러한 이유로 2014년부터 우리나라는 국민건강영양조사의 신체활동량 평가시, 자가기록 설문지인 Global Physical Activity Questionnaire를 이용하고 있다.

한편 신체활동일기는 설문지법보다 작성에 소요되는 시간과 대상자의 부담이 크지만, 24시간 동안 수행한 모든 신체활동을 직접 기록하기 때문에 비교적 정확한 신체활동의 유형 및 강도를 조사할 수 있다는 장점이 있다. 이에 국내 연구에서 신체활동량 및 PAL을 평가하기 위해 신체활동일기를 사용해왔다 [6,7]. 그동안 신체활동일기의 분석에 사용된 신체활동분류표는 일본인 영양소요량 5차 자료를 토대로 재구성한 18단계 신체활동분류표 [8]로, 활동내용이 한정적이며, 활동에 대한 강도를 고려하지 않아 정확한 PAL을 산출하는데 한계가 있었다. 이에 Kim 등 [9]은 미국의 신체활동목록 [10]을 토대로 한국인을 대상으로 수행한 신체활동별 에너지소비량 연구결과들 [11-14]을 포함하는 한국인을 위한 새로운 신체활동분류표 (physical activity classification table, PACT)를 보고하였다.

한편 성인과 15세 미만의 소아청소년이 동일한 신체활동을 수행한다고 할지라도 에너지소

비량 간의 차이가 있음이 보고되었다 [15]. 이에 Kim 등 [16]은 소아청소년을 대상으로 한 미국의 자료와 국내의 일부 자료를 토대로 4단계 연령대 (6-9세, 10-12세, 13-15세 및 16-18세)에 따라 서로 다른 에너지당량을 제시하는 한국 소아청소년을 위한 신체활동분류표를 보고하였다.

새롭게 보고된 한국인을 위한 신체활동분류표를 이용하여 신체활동일기를 분석하면, 각각의 신체활동에 따른 에너지소비량 값 (대사당량, metabolic equivalents, METs)을 통해 PAL을 산출할 수 있다. 또한 산출된 PAL에 휴식대사량 (resting energy expenditure, REE) 값을 곱하여 총에너지소비량 (total energy expenditure, TEE)의 산출도 가능하다. 그러나 새로 개발된 신체활동분류표를 실제 현장 및 연구에 적용하려면, 이를 이용하여 산출한 PAL 및 TEE에 대한 타당도 평가가 선행되어야 한다. 타당도 평가는 에너지소비량을 평가하는 gold standard로 알려져 있는 [5] 이중표식수법 (doubly labeled water, DLW)을 이용해야 하는데 이 방법은 비용이 많이 들며 고가의 장비가 필요하므로 국내는 물론 외국에서도 수행하는 데 제한이 많다. 그럼에도 불구하고 소아청소년을 위한 신체활동분류표의 타당도는 Gwak 등 [17]의 연구에서 이중표식수법을 이용하여 이미 확인된 바 있다. 한편 국민의 건강 증진을 위한 신체활동의 필요성은 소아청소년은 물론 다양한 질환의 위험에 노출되어 있는 성인 및 노인기에 더욱 중요하다.

이에 본 연구에서는 한국인 성인과 노인을 대상으로 이중표식수법으로 산출한 총 에너지소비량을 토대로 새로운 신체활동분류표의 타당도를 평가하고자 하였다.

## 연구방법

### 연구대상자

이중표식수법을 이용하여 한국인을 위한 신체활동분류표의 타당도 평가를 하고자, 본 실험실에서 이중표식수법을 이용하여 수행된 연구 자료들 중, 신체활동일기를 작성한 연구자료를 이용하였다. 20-49세 성인을 대상으로 한 연구 (GWNUIRB-2012-2, GWNUIRB-2013-3), 50-64세 중장년 성인을 대상으로 한 연구 (GWNUIRB-2021-28), 그리고 65세 이상 노인을 대상으로 한 연구 (GWNUIRB-2016-26-1, GWNUIRB-2016-26-2)의 자료를 pooling하였다.

이중표식수법을 이용하여 연구 수행 시, 연구대상자의 제외 조건으로는 1) 에너지 및 수분대사와 관련된 약물복용자, 2) 체중조절 약물 복용 및 체중조절 중인 자, 3) 과도한 신체적 활동 및 고강도 직업에 종사하는 자, 4) 기억회상 및 문해 능력에 문제가 있는 자, 5) 보조기구 도움 없이 보행이 불편한 자로 하였다. 모든 연구 시작 전 연구대상자들에게 연구 내용 및 과정을 상세히 설명한 후, 본인에게 연구 참여 동의를 받아 진행하였다.

### 신체계측

신체계측의 측정오차를 최소화하기 위해 사전에 교육받은 연구보조원이 신체계측을 진행하였다. 가벼운 옷차림으로 자동신장계 (BSM 330; InBody, Seoul, Korea)와 체성분분석기 (Inbody 620; InBody)를 이용하여 연구대상자의 신장, 체중 및 체성분을 측정하였다. 체질량지수 (body mass index, BMI)는 측정된 신장과 체중으로부터 계산되었다.

### 휴식대사량 측정

REE는 동일한 온도와 습도 조건을 갖춘 공간에서 간접열량측정법인 가스호흡분석기 (TrueOne2400; Parvo Medics, Salt Lake City, UT, USA)를 사용하여 측정되었다. 연구대상자들은 측정 전날 격렬한 신체활동을 삼가도록 사전에 안내받았으며, 측정 전 최소 12시간 이상 금식하고 기상 직후 실험실을 방문하도록 하였다. 실험실에 도착한 연구대상자는 최소 10분 이상 앉아서 휴식을 취하였다. 대상자가 침대에 편하게 누운 상태로 가스분석기와 연결된 캐노피 (canopy)를 머리 위에 덮은 상태에서 REE를 측정하였다. 측정을 위한 소요 시간은 최소 20분 이상으로, 시작 후 5분을 제외한 안정상태 (약 15분)에서 측정된 데이터를 사용하였다. 간접열량계로 측정 및 분석된 산소 소비량 ( $VO_2$ )과 이산화탄소 생성량 ( $VCO_2$ )을 다음과 같이 Weir의 공식 [18]에 대입하여 REE를 산출하였다.

$$REE \text{ (kcal/day)} = (3.941 \times VO_2 \text{ [L/min]} + 1.106 \times VCO_2 \text{ [L/min]}) \times 1,440$$

### 이중표식수법을 이용한 총에너지소비량 측정

#### 이중표식수 제조 및 섭취

2주동안 이중표식수법을 사용하여 TEE를 측정하였다. 각연구과제별로 연구대상자들의 체중 (kg)을 합산한 뒤, 대상자의 체중 1 kg당  $^2H_2O$  (99.9% enriched; Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA) 0.07 g과  $H_2^{18}O$  (10% enriched; Taiyo Nippon Sanso, Tokyo, Japan)를 1.1 g의 비율로 혼합하여 이중표식수를 제조하였다. 제조된 이중표식수의 각 대상자별 섭취용량은 체중 1 kg당 1.1 g으로, 해당되는 이중표식수를 컵에 담아 빨대를 사용하여 경구 섭취하였다. 연구대상자에게 추가로 100 mL 생수를 제공하여 컵과 입안을 헹구어 남아있는 이중표식수가 없이 섭취할 수 있도록 하였다.

#### 소변 샘플 채취 및 분석

대상자는 이중표식수 연구 시작 당일에 기상 직후의 첫 소변은 버린 후, 공복상태로 실험실을 방문하였다. 베이스라인 (baseline) 소변샘플은 이중표식수 섭취 전에 실험실에서 채취하였고, 섭취 후 1일, 2일, 13일 및 14일에 해당되는 날의 소변을 추가로 수집하였다. 연구대상자 개별적으로 자택에서 소변 샘플을 수집할 수 있도록, 실험실에서 연구보조원과 함께 소변 수집 방법에 대하여 훈련을 진행하였다. 이와 더불어 수집 시간은 기상 후 편한시간으로 정해지, 가능한 일정한 시간에 수집하도록 하였다. 또한 소변을 수집하기 30분 전에는 과도한 양의 액체 섭취를 자제하고, 기상 직후의 첫 소변은 수집하지 않도록 안내하였다. 대상자로부터 수집된 소변 샘플은  $-20^\circ C$  이하로 냉동보관 후, 동위원소 질량분석기 (Finnigan Delta Plus; Thermo Fisher Scientific, Waltham, MA, USA)를 이용하여 분석되었다.

#### 총에너지소비량 산출

이중표식수 섭취 이전의 베이스라인 소변 샘플과 섭취 후 4차례에 걸쳐 수집된 소변샘플을 분석하여, 경구 투여된 이중표식수 중의 수소 ( $^2H$ )와 산소 ( $^{18}O$ )가 체내에서 배출되는 비율 (각각  $k_i$ ,  $k_o$ )을 동위원소 질량분석기를 이용하여 측정하였다. 그리고 분석 결과값 ( $k_i$ ,  $k_o$ )을 다음 식에 대입하여 이산화탄소 생성율 (rate of  $CO_2$  production,  $rCO_2$ )을 산출하였다. 이때 총 체수분량 (total body water, TBW)은 체중의 60%로 가정하여 계산하였다 [19].

$$rCO_2 \text{ (mol/day)} = 0.4554 \times TBW \times (1.007k_o - 1.041k_i)$$

또한 총에너지소비량 산출에 필요한 식사 계수 (food quotient, FQ) 값은 3일간의 24시간 회상법으로 조사된 평균 식사섭취량으로부터 산출되었다 [20]. 이중표식수법에 의한 총에너지 소비량 (total energy expenditure measured by DLW method,  $TEE_{DLW}$ )은 Weir의 공식을 사용하여 아래와 같이 계산하였다 [21].

$$TEE_{DLW} \text{ (kcal/day)} = 1.1 \times rCO_2 + 3.9 \times (rCO_2/FQ)$$

### 신체활동분류표를 이용한 총에너지소비량 측정

#### 신체활동일기

연구대상자는 이중표식수법을 이용한 연구 기간 14일 중 총 3일간 (주중 2일, 주말 1일), 하루 (24시간)동안의 시간의 흐름에 따른 신체활동 내용과 소요시간 및 주관적인 활동강도 (예: 전혀 힘들지 않음, 조금 힘들, 힘에 부치는 편, 매우 힘들)를 작성하였다. 또한 신체활동일기에 대한 이해도 및 작성 자료의 정확도를 높이기 위해, 작성 예시를 이용하여 작성방법을 충분히 설명하였다. 3일간 작성된 신체활동일기는 연구대상자 및 훈련된 조사원과의 개별면담을 통하여 검토 및 보완되었다.

#### 신체활동분류표를 이용한 자료분석

신체활동일기에 기록된 각각의 활동은 한국인을 위한 신체활동분류표 [9]에 준하여 19개의 활동유형 및 강도 (비활동, 좌식활동, 저강도, 중강도, 고강도)에 따라 분류되었다. 활동유형 및 강도별로 분류된 각각의 신체활동에 대해 24시간 동안 소요된 시간을 산출하였고, 이를 신체활동분류표에서 제시한 각각의 METs 값을 적용하여 하루 평균 PAL을 계산하였다.

$$\text{신체활동수준 (PAL)} = \frac{\sum[\text{각활동별에너지소비량 (METs)} \times \text{소요시간 (minutes)}]}{1,440 \text{ (minutes)}}$$

본 연구에서는 신체활동일기와 신체활동분류표를 적용하여 총에너지소비량 (total energy expenditure calculated by PACT,  $TEE_{PACT}$ )을 산출하기 위해, 세계보건기구 (World Health Organization)가 채택한 방식인, 간접열량계로 측정된 REE에 신체활동일기와 신체활동분류표를 이용하여 산출한 PAL을 곱하는 방법을 사용하였다.

$$TEE_{PACT} \text{ (kcal/day)} = \text{신체활동수준 (PAL)} \times \text{휴식대사량 (REE, kcal/day)}$$

### 통계분석

본 연구의 모든 자료의 통계분석은 IBM SPSS Statistics, version 25.0 (IBM Corp., Armonk, NY, USA)을 사용하였다. 수집된 변수의 정규성 여부는 Kolmogorov-Smirnov test로 검정하였으며, 모든 값은 평균과 표준편차 (mean  $\pm$  standard deviation)로 표시하였다. 연구대상자의 일반적 특성, TEE 및 PAL에 대한 성별간 비교는 Mann-Whitney U test를 사용하였고, 연령대 (group)별 비교를 위하여 성별을 보정한 공분산분석 (analysis of covariance)을 실시하였다. 이중표식수 및 신체활동분류표를 이용하여 측정된 TEE와 PAL 간의 유의성은 Wilcoxon's signed-ranks test를 사용하여 성별 및 연령대별로 검정하였다. 또한  $TEE_{DLW}$  와  $TEE_{PACT}$  간의 bias, root mean square error (RMSE), mean absolute percentage error (MAPE), accurate prediction (%), under prediction (%), over prediction (%)을 계산하여 신체활동분류표의 정확도를 평가하였다.

MAPE는 예측 값과 실제 값의 차이를 실제 값으로 나눈 후, 절대값을 백분율로 나타낸 값으로 계산식은 다음과 같다.

$$MAPE = \frac{100}{n} \sum_{t=1}^n \left| \frac{TEE_{DLW} - TEE_{PACT}}{TEE_{DLW}} \right|$$

Accurate prediction (%)은 전체 연구대상자 중 산출된  $TEE_{PACT}$  값이  $TEE_{DLW}$  값의 90~110%에 포함되는 대상자의 비율이며,  $TEE_{PACT}$  값이  $TEE_{DLW}$ 의 110% 이상에 해당하는 비율을 과대평가 (over prediction, %), 90% 이하에 해당된 비율을 과소평가 (under prediction, %)로 나타내었다.  $TEE_{PACT}$ 와  $TEE_{DLW}$ 의 상관관계는 스피어만 상관관계수 (Spearman correlation coefficients)로 평가하였으며, 타당도와 신뢰도를 평가하기 위하여 Bland-Altman plot을 이용하여 분석하였다. 모든 통계검정은 양측으로 수행되었으며 유의 수준은  $\alpha = 0.05$ 을 기준으로 하였다.

## 결과

### 연구대상자의 일반적 특성

본 연구대상자의 일반적 특성은 **Table 1**과 같다. 연구대상자의 평균연령은 남녀 각각  $51.2 \pm 19.4$ 세와  $49.7 \pm 18.3$ 세로 성별에 따른 유의한 차이가 없었으며, 체중과 신장은 남자 ( $67.9 \pm 7.4$  kg,  $169.5 \pm 6.5$  cm)가 여자 ( $55.7 \pm 7.4$  kg,  $156.9 \pm 6.2$  cm)보다 유의하게 높게 나타났다 ( $p < 0.05$ ). 신장과 체중으로 계산된 BMI도 남자 ( $24.0 \pm 3.6$  kg/m<sup>2</sup>)가 여자 ( $22.7 \pm 2.8$  kg/m<sup>2</sup>)보다 유의하게 높았으며, 성별에 따른 BMI 분포 (category)를 살펴보면, 성별에 따른 유의한 차이를 보여 남자의 과체중 비율이 58.6%로 여자 (39.4%)보다 높게 나타났다. 전체 연구대상자를 연령대 (20~39세, 40~64세, 65~85세)별로 구분하였을 때, 이들 연령대에서 여자가 차지하는 비율은 각각 49.0%, 58.5% 및 45.1%로 연령대별 성별 분포에 있어 유의한 차이를 보이지 않았다 ( $p = 0.443$ ). BMI와 체지방률은 20~39세 ( $21.8 \pm 0.4$  kg/m<sup>2</sup>,  $13.7 \pm 0.6\%$ )가 40~64세 ( $23.8 \pm 0.5$  kg/m<sup>2</sup>,  $17.5 \pm 0.7\%$ )와 65세 이상 ( $24.4 \pm 0.4$  kg/m<sup>2</sup>,  $17.9 \pm 0.6\%$ )보다 유의하게 낮게 나타났다. 또한 BMI 분류 (category)에서 20~39세에서는 과체중으로 분류된 대상자 비율이 28.6%로 40~64세 (61.0%)와 65세 이상 (58.8%)의 과체중 비율보다 낮게 나타났다.

### 간접열량계 및 이중표식수법으로 측정된 에너지소비량

간접열량계와 이중표식수법을 이용하여 측정된 연구대상자의 REE, TEE 및 PAL을 성별 및 연령대별로 비교하면 **Table 1**과 같다. REE (남자  $1,620.1 \pm 159.9$  kcal/day, 여자  $1,290.3 \pm 164.2$  kcal/day) 및  $TEE_{DLW}$  (남자  $2,668.3 \pm 414.6$  kcal/day, 여자  $2,046.1 \pm 274.7$  kcal/day) 모두 남자가 여자보다 유의하게 높았다. 반면,  $TEE_{DLW}$ 와 REE를 이용하여 계산 ( $PAL_{DLW} = TEE_{DLW}/REE$ )된  $PAL_{DLW}$ 는 남녀 각각  $1.63 \pm 0.24$ 와  $1.57 \pm 0.20$ 로 성별에 따른 유의한 차이를 보이지 않았다.  $TEE_{DLW}$ 를 연령대 (20~39세, 40~64세, 65세 이상)별로 비교하면, 각각  $2,342.2 \pm 50.5$  kcal/day,  $2,363.4 \pm 55.4$  kcal/day,  $2,360.4 \pm 49.6$  kcal/day로 유의한 차이를 보이지 않았으나,  $PAL_{DLW}$ 는 20~39세 ( $1.49 \pm 0.03$ )가 65세 이상 ( $1.70 \pm 0.03$ )에 비해 유의하게 낮게 나타났다.

**Table 1.** Demographic and anthropometric characteristics (n = 141)

| Variables                                 | Total (n = 141) | Sex group       |                 |                       | Age group (yrs)             |                              |                             | p-value <sup>2)</sup> |
|---|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------------|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------|-----------------------|
|   |                 | Male (n = 70)   | Female (n = 71) | p-value <sup>1)</sup> | 20-39 (n = 49)              | 40-64 (n = 41)               | ≥ 65 (n = 51)               |                       |
| Mean age (yrs)                            | 50.5 ± 18.8     | 51.2 ± 19.4     | 49.7 ± 18.3     | 0.054                 | 28.8 ± 0.9 <sup>a</sup>     | 50.9 ± 1.0 <sup>b</sup>      | 70.9 ± 0.9 <sup>c</sup>     | < 0.050               |
| Female (%) <sup>3)</sup>                  |                 |                 |                 |                       | 49.0                        | 58.5                         | 45.1                        | 0.443                 |
| Weight (kg)                               | 61.8 ± 9.6      | 67.9 ± 7.4      | 55.7 ± 7.4      | < 0.050               | 60.6 ± 1.0 <sup>a</sup>     | 64.4 ± 1.1 <sup>b</sup>      | 60.9 ± 1.0 <sup>ab</sup>    | < 0.050               |
| Height (cm)                               | 163.1 ± 9.0     | 169.5 ± 6.5     | 156.9 ± 6.2     | < 0.050               | 166.2 ± 0.8 <sup>a</sup>    | 164.1 ± 0.9 <sup>a</sup>     | 159.4 ± 0.8 <sup>b</sup>    | < 0.050               |
| BMI (kg/m <sup>2</sup> )                  | 23.4 ± 3.3      | 24.0 ± 3.6      | 22.7 ± 2.8      | < 0.050               | 21.8 ± 0.4 <sup>a</sup>     | 23.8 ± 0.5 <sup>b</sup>      | 24.4 ± 0.4 <sup>b</sup>     | < 0.050               |
| BMI category (kg/m <sup>2</sup> )         |                 |                 |                 | < 0.050               |                             |                              |                             | < 0.050               |
| < 23                                      | 72 (51.1)       | 29 (41.4)       | 43 (60.6)       |                       | 35 (71.4)                   | 16 (39.0)                    | 21 (41.2)                   |                       |
| ≥ 23                                      | 69 (48.9)       | 41 (58.6)       | 28 (39.4)       |                       | 14 (28.6)                   | 25 (61.0)                    | 30 (58.8)                   |                       |
| Fat mass (%)                              | 16.3 ± 5.0      | 14.8 ± 4.9      | 17.9 ± 5.0      | < 0.050               | 13.7 ± 0.6 <sup>a</sup>     | 17.5 ± 0.7 <sup>b</sup>      | 17.9 ± 0.6 <sup>b</sup>     | < 0.050               |
| REE (kcal/day)                            | 1,454.1 ± 231.2 | 1,620.1 ± 159.9 | 1,290.3 ± 164.2 | < 0.050               | 1,517.1 ± 22.0 <sup>a</sup> | 1,458.8 ± 24.1 <sup>ab</sup> | 1,389.7 ± 21.6 <sup>b</sup> | < 0.050               |
| TEE <sub>DLW</sub> (kcal/day)             | 2,355.0 ± 468.9 | 2,668.3 ± 414.6 | 2,046.1 ± 274.7 | < 0.050               | 2,342.2 ± 50.5              | 2,363.4 ± 55.4               | 2,360.4 ± 49.6              | 0.952                 |
| PAL <sub>DLW</sub> <sup>4)</sup>          | 1.60 ± 0.22     | 1.63 ± 0.24     | 1.57 ± 0.20     | 0.205                 | 1.49 ± 0.03 <sup>a</sup>    | 1.60 ± 0.03 <sup>ab</sup>    | 1.70 ± 0.03 <sup>b</sup>    | < 0.050               |
| PAL <sub>DLW</sub> category <sup>5)</sup> |                 |                 |                 | 0.677                 |                             |                              |                             | < 0.050               |
| < 1.60 (low active)                       | 73 (51.8)       | 35 (50.0)       | 38 (53.5)       |                       | 35 (71.4)                   | 19 (46.3)                    | 19 (37.3)                   |                       |
| ≥ 1.60 (active)                           | 68 (48.2)       | 35 (50.0)       | 33 (46.5)       |                       | 14 (28.6)                   | 22 (53.7)                    | 32 (62.7)                   |                       |

Values are expressed as mean ± standard deviation or numbers of participants (percentage distribution).

BMI, body mass index; REE, resting energy expenditure; TEE<sub>DLW</sub>, total energy expenditure measured by the doubly labeled water method; PAL<sub>DLW</sub>, physical activity level by doubly labeled water method.

<sup>1)</sup>The p-value was obtained from Mann-Whitney U test for continuous variables and  $\chi^2$  test for categorical variable.

<sup>2)</sup>The p-value was obtained from analysis of covariance adjusted by sex for continuous variables and  $\chi^2$  test for categorical variable.

<sup>3)</sup>Percentage of female subjects by age group.

<sup>4)</sup>PAL<sub>DLW</sub> = TEE<sub>DLW</sub> (kcal/day)/REE (kcal/day).

<sup>5)</sup>PAL category from the table cited on page 161, chapter 5 in the 2005 Institute of Medicine report.

<sup>a,b,c)</sup>With same superscripts are not significantly different at p < 0.05 by Bonferroni test.

### 신체활동분류표의 타당도 평가

이중표식수법을 이용한 측정값 (TEE<sub>DLW</sub>와 PAL<sub>DLW</sub>)을 기준으로 한국인을 위한 신체활동분류표를 이용한 산출 값 (TEE<sub>PACT</sub>와 PAL<sub>PACT</sub>)을 비교하여 보았다 (Table 2). TEE<sub>PACT</sub>는 남녀 모두 각 연령대에서 TEE<sub>DLW</sub>와 유의한 차이를 보이지 않았다. PAL<sub>PACT</sub>와 PAL<sub>DLW</sub>를 비교하여 보면, 40-64세 남자에서 각각 1.65 ± 0.20과 1.56 ± 0.14로 PAL<sub>PACT</sub>가 유의하게 높게 나타났으며, 그 외에 성별 및 연령대에서는 유의한 차이를 보이지 않았다.

Table 3은 한국인을 위한 신체활동분류표의 타당도 평가를 위하여, 이중표식수법을 이용하여 측정한 TEE<sub>DLW</sub>를 기준으로 신체활동분류표를 이용하여 산출한 TEE<sub>PACT</sub>를 비교하였다.

**Table 2.** Comparison of TEE<sub>PACT</sub> and PAL<sub>PACT</sub> with TEE<sub>DLW</sub>

| Sex    | Age (yrs) | TEE <sub>DLW</sub> (kcal/day) | TEE <sub>PACT</sub> <sup>1)</sup> (kcal/day) | p-value <sup>2)</sup> | PAL <sub>DLW</sub> <sup>3)</sup> | PAL <sub>PACT</sub> <sup>4)</sup> | p-value <sup>2)</sup> |
|--------|-----------|-------------------------------|--|-----------------------|----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------|
| Male   | 20-39     | 2,653.3 ± 437.8               | 2,570.6 ± 483.7                              | 0.200                 | 1.54 ± 0.20                      | 1.51 ± 0.20                       | 0.367                 |
|        | 40-64     | 2,629.7 ± 419.7               | 2,649.5 ± 443.8                              | 0.678                 | 1.56 ± 0.14                      | 1.65 ± 0.20                       | 0.035                 |
|        | ≥ 65      | 2,705.0 ± 402.3               | 2,723.5 ± 388.7                              | 0.920                 | 1.75 ± 0.27                      | 1.77 ± 0.23                       | 0.831                 |
|        | Total     | 2,668.3 ± 414.6               | 2,650.9 ± 436.6                              | 0.467                 | 1.63 ± 0.24                      | 1.65 ± 0.24                       | 0.862                 |
| Female | 20-39     | 2,035.6 ± 267.0               | 1,978.8 ± 324.4                              | 0.264                 | 1.52 ± 0.19                      | 1.47 ± 0.15                       | 0.663                 |
|        | 40-64     | 2,087.7 ± 310.9               | 2,145.9 ± 565.3                              | 0.944                 | 1.44 ± 0.15                      | 1.65 ± 0.18                       | 0.812                 |
|        | ≥ 65      | 2,013.5 ± 247.6               | 2,026.1 ± 264.7                              | 0.941                 | 1.62 ± 0.20                      | 1.65 ± 0.13                       | 0.988                 |
|        | Total     | 2,046.1 ± 274.7               | 2,050.6 ± 408.2                              | 0.485                 | 1.64 ± 0.20                      | 1.59 ± 0.17                       | 0.735                 |

Values are expressed as mean ± standard deviation.

TEE<sub>DLW</sub>, total energy expenditure measured by doubly labeled water method; TEE<sub>PACT</sub>, total energy expenditure estimated by physical activity classification table for Korean; PAL<sub>DLW</sub>, physical activity level by doubly labeled water method; PAL<sub>PACT</sub>, physical activity level estimated by physical activity classification table for Korean; REE, resting energy expenditure.

<sup>1)</sup>TEE<sub>PACT</sub> = PAL<sub>PACT</sub> × REE (kcal/day).

<sup>2)</sup>The p-value was obtained from Wilcoxon's signed-ranks test.

<sup>3)</sup>PAL<sub>DLW</sub> = TEE<sub>DLW</sub> (kcal/day)/REE (kcal/day).

<sup>4)</sup>PAL<sub>PACT</sub> = [Σ{METs × time spent (minutes)}]/1,440 (minutes).

**Table 3.** Accuracy of physical activity classification table for estimating TEE based on bias, RMSE, MAPE and prediction values by sex and age group

| Sex             | Age (yrs) | Bias <sup>1)</sup> (kcal/day) | RMSE (kcal/day) | MAPE (%) | Accurate prediction <sup>2)</sup> (%) | Under prediction <sup>3)</sup> (%) | Over prediction <sup>4)</sup> (%) |
|-----------------|-----------|-------------------------------|-----------------|----------|---------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|
| Male (n = 70)   | 20-39     | 82.7 ± 496.7                  | 497.5           | 15.3     | 40.0                                  | 40.0                               | 20.0                              |
|                 | 40-64     | -19.8 ± 320.9                 | 312.0           | 9.0      | 70.6                                  | 17.6                               | 11.8                              |
|                 | ≥ 65      | -18.5 ± 375.6                 | 369.3           | 10.4     | 67.9                                  | 14.3                               | 17.9                              |
|                 | Total     | 17.3 ± 410.7                  | 408.1           | 11.8     | 58.6                                  | 24.3                               | 17.1                              |
| Female (n = 71) | 20-39     | -56.8 ± 323.2                 | 321.4           | 12.4     | 41.7                                  | 33.3                               | 25.0                              |
|                 | 40-64     | -58.2 ± 430.1                 | 425.1           | 12.4     | 50.0                                  | 20.8                               | 29.2                              |
|                 | ≥ 65      | -12.6 ± 206.1                 | 202.0           | 8.1      | 73.9                                  | 13.0                               | 13.0                              |
|                 | Total     | -4.5 ± 332.8                  | 330.5           | 11.0     | 54.9                                  | 22.5                               | 22.5                              |

TEE, total energy expenditure; RMSE, root mean square error; MAPE, mean absolute percentage error; TEE<sub>DLW</sub>, total energy expenditure measured by doubly labeled water method; TEE<sub>PACT</sub>, total energy expenditure estimated by physical activity classification table for Korean.

<sup>1)</sup>Mean of difference between predicted and measured TEE.

<sup>2)</sup>Percentage of subjects by TEE<sub>PACT</sub> within 90% to 110% of the TEE<sub>DLW</sub>.

<sup>3)</sup>Percentage of subjects by TEE<sub>PACT</sub> < 90% of the TEE<sub>DLW</sub>.

<sup>4)</sup>Percentage of subjects by TEE<sub>PACT</sub> > 110% of the TEE<sub>DLW</sub>.

TEE<sub>DLW</sub>와 TEE<sub>PACT</sub>의 차이 (TEE<sub>DLW</sub> - TEE<sub>PACT</sub>), 즉 오차 (bias)는 남녀 각각 17.3 ± 410.7 kcal/day와 -4.5 ± 332.8 kcal/day로 나타났다. TEE<sub>DLW</sub>와 TEE<sub>PACT</sub>의 차이를 제공한 값에 평균을 구하여 루트를 취한 값인 RMSE는 남자 408.1 kcal/day와 여자 330.5 kcal/day이며, TEE<sub>DLW</sub>와 TEE<sub>PACT</sub>의 차이를 절대값으로 변환한 뒤 평균값을 백분율 (%)로 나타낸 MAPE는 남자에서는 11.8%, 여자에서는 11.0%로 계산되었다. 이와 더불어 신체활동분류표를 이용하여 산출된 TEE<sub>PACT</sub>가 이중표식수법으로 측정된 TEE<sub>DLW</sub>를 정확하게 예측한 비율 (90% to 110% of the TEE<sub>DLW</sub>)은 남녀 각각 58.6%와 54.9%으로, 과소평가비율 (남자 24.3%, 여자 22.5%) 및 과대평가비율 (남자 17.1%, 여자 22.5%)보다 높게 나타났다. 남녀에서 TEE<sub>PACT</sub>가 TEE<sub>DLW</sub>를 정확하게 예측한 비율을 연령대별로 살펴보면, 남자에서는 40-64세 그룹이 70.6%로 가장 높았고, 여자에서는 65세 이상 그룹에서 73.9%로 가장 높았다.

신체활동분류표로 산출된 TEE<sub>PACT</sub>와 이중표식수법으로 측정된 TEE<sub>DLW</sub> 간의 스피어만 상관관계를 살펴보면 (Fig. 1), 남녀 전체에서 r = 0.769의 유의한 높은 양의 상관관계를 보였으며 (p < 0.001), 특히 65세 이상에서 r = 0.862의 높은 의미 있는 양의 상관관계를 보였다 (p < 0.001).

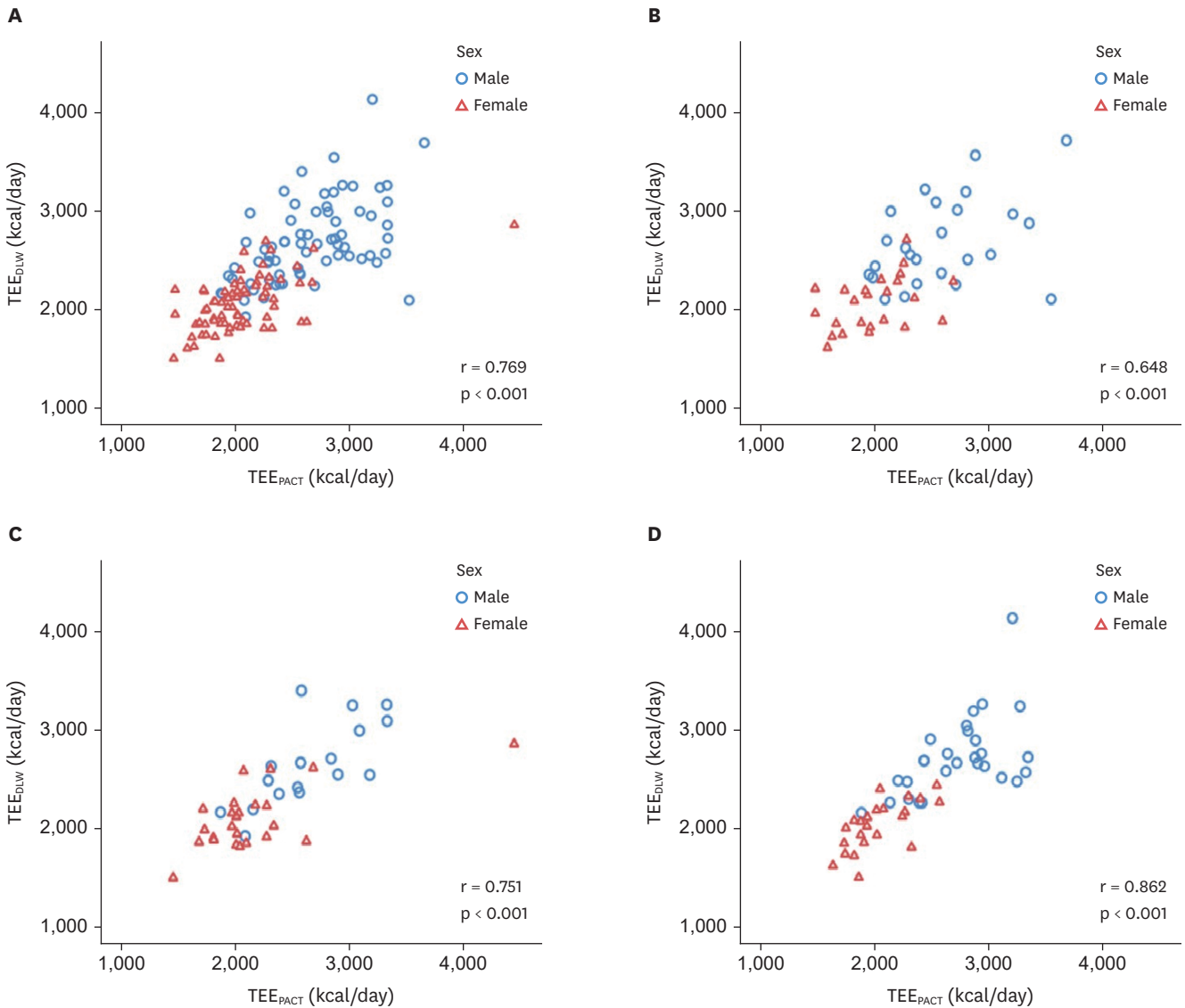
Bland-Altman plot을 이용하여 두 측정값 (TEE<sub>PACT</sub>, TEE<sub>DLW</sub>)의 일치도를 평가한 결과 (Fig. 2), TEE<sub>PACT</sub>와 TEE<sub>DLW</sub> 차이의 평균은 -6.3 kcal/day로 나타났으며, ±95% 일치한계 범위 (-1,404.0 kcal/day에서 1,391.4 kcal/day) 밖의 대상자 수는 141명 중 2명이었다.

## 고찰

본 연구에서는 신체활동분류표의 타당도를 평가를 위하여, 한국 성인과 노인을 대상 (141명)으로, 이중표식수법으로 측정된 TEE<sub>DLW</sub> 및 PAL<sub>DLW</sub>을 기준으로 신체활동일기 자료를 토대로 신체활동분류표를 이용하여 산출된 값 (TEE<sub>PACT</sub>, PAL<sub>PACT</sub>)을 비교하였다.

본 연구대상자의 평균연령은 50.5 ± 18.8세였으며, 이들의 평균 신장과 체중은 2020년 건강검진통계연보 [1]에서 보고한 성인과 노인 전체의 평균 신장 및 체중과 유사한 수준이었다. 또한 Ndahimana 등 [22]이 20-64세의 한국인 성인 (평균 연령 40.3 ± 12.9세)을 대상 (109명)으로 한 연구에서 보고한 REE (1,579 ± 310 kcal/day)와 본 연구의 20-39세 (1,517.1 ± 22.0 kcal/day)





**Fig. 1. Correlation between the TEE<sub>PACT</sub> and TEE<sub>DLW</sub>.**

(A) Spearman rho correlation between TEE<sub>PACT</sub> and TEE<sub>DLW</sub> in all subjects (n = 141). (B) Spearman rho correlation between TEE<sub>PACT</sub> and TEE<sub>DLW</sub> in subjects aged 20–39 years (n = 49). (C) Spearman rho correlation between TEE<sub>PACT</sub> and TEE<sub>DLW</sub> in subjects aged 40–64 years (n = 41). (D) Spearman rho correlation between TEE<sub>PACT</sub> and TEE<sub>DLW</sub> in subjects aged ≥ 65 (n = 51).

TEE<sub>PACT</sub>, total energy expenditure measured by physical activity classification table for Korean; TEE<sub>DLW</sub>, total energy expenditure measured by doubly labeled water method.

와 40–64세 ( $1,458.8 \pm 24.1$  kcal/day)의 REE는 유사한 수준이었다. 한편, Siervo 등 [23]이 보고한 백인 노인 (평균연령  $74.4 \pm 9.3$ 세)의 REE ( $1,297.9 \pm 264.2$  kcal/day)는 본 연구의 65세 이상의 REE ( $1,389.7 \pm 21.6$  kcal/day)보다 다소 낮게 나타났다. 이는 Siervo 등 [23]의 대상자 중 여자 노인 비율 (80.9%)이 높은 것과 관련이 있다고 사료된다.

Tooze 등 [24]이 보고한 40–69세 미국인 백인 (남자 244명, 여자 206명)의 TEE<sub>DLW</sub>는 남녀 각각  $2,626 \pm 45$  kcal/day,  $2,118 \pm 36$  kcal/day로 본 연구 대상자의 TEE<sub>DLW</sub> (남자  $2,629.7 \pm 419.7$  kcal/day, 여자  $2,087.7 \pm 310.9$  kcal/day)와 유사하였다 (Table 2).

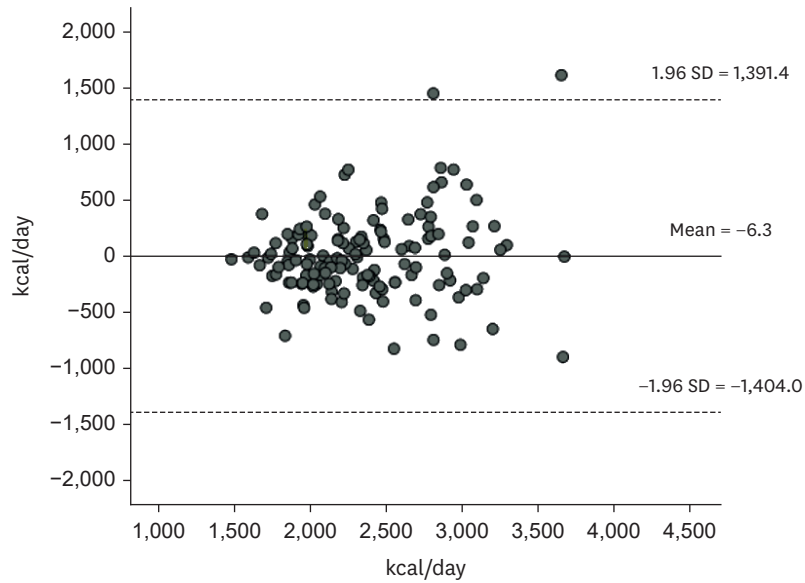


Fig. 2. Bland-Altman plot for the TEE<sub>PACT</sub> and TEE<sub>DLW</sub> (n = 141).

TEE<sub>PACT</sub>, total energy expenditure measured by physical activity classification table for Korean; TEE<sub>DLW</sub>, total energy expenditure measured by doubly labeled water method; SD, standard deviation.

또한 본 연구 대상자 중 노인 (65세 이상)의 TEE<sub>DLW</sub> (2,360.4 ± 49.6 kcal/day) 와 PAL<sub>DLW</sub> (1.70 ± 0.03)는 Bastone 등 [25]이 이중표식수법으로 측정하여 보고한 노인의 TEE (2,495.8 kcal/day) 및 PAL (1.9)보다 다소 낮았는데, PAL에 따른 이들의 신체활동단계 [3]를 살펴보면, Bastone 등 [25]의 연구대상자는 매우 활동적 (1.90-2.50)에 해당되는 반면, 본 연구 대상자는 활동적 (1.60-1.89)에 해당하였다.

본 연구에서 이중표식수법으로 측정된 TEE<sub>DLW</sub> 및 PAL<sub>DLW</sub>와 신체활동일기를 기반으로 신체활동분류표를 이용하여 산출된 TEE<sub>PACT</sub> 및 PAL<sub>PACT</sub>와의 차이를 살펴본 결과 (Table 2), 40-64세 남자에서만 PAL<sub>PACT</sub>가 PAL<sub>DLW</sub>보다 유의하게 높았다. 이러한 결과는 본 연구에서 40-64세 남자 (19명)에서 과체중 비율 (13명, 76.5%)이 다른 군에 비하여 높음과 Buchowski 등 [26]의 연구결과, 즉 신체활동 자가보고 (self-report)시 체지방률이 높은 사람은 그렇지 않은 사람에 비해 중등도와 고강도 신체활동의 지속 시간 및 강도를 과대평가한다는 결과와 관련이 있는 것으로 보인다.

본 연구에서는 성별 및 연령대별로 모두 TEE<sub>DLW</sub>와 TEE<sub>PACT</sub> 간에 유의한 차이를 보이지 않은 반면, 중국 남성 (평균 연령 23 ± 1세) 16명을 대상으로 이중표식수법과 신체활동기록법을 이용하여 에너지소비량을 비교한 Zhuo 등 [27]의 연구에서는, TEE<sub>DLW</sub> (2,258 ± 180 kcal/day)보다 신체활동기록 (physical record)을 통한 TEE (2,582 ± 136 kcal/day)가 유의하게 높게 나타났다. 이러한 결과는 중국인을 대상으로 한 연구 [27]에서, 미국의 신체활동목록 [10]에서 제시한 신체활동별 에너지소비량을 그대로 적용함과 관련이 있을 것으로 사료된다.

한편 일본의 성인을 대상으로 이중표식수법을 이용하여 객관적 신체활동측정기인 가속도계의 타당도를 검증한 연구 [28]에서는, 가속도계를 이용한 측정값과 TEE<sub>DLW</sub>와의 상관계수

가  $r = 0.41$  ( $p = 0.45$ )로 의미 있는 상관관계를 보이지 않았다. 또한 이중표식수법과 가속도계 산출 값 간의 상관관계는 미국 성인 (남자  $r = 0.61$ , 여자  $r = 0.41$ ) [29]과 미국 노인여성 ( $r = 0.413$ ) [30]에서 중간 정도의 상관성이 있는 것으로 보고되었다. 한편 본 연구에서 새로운 신체활동분류표 산출 값 ( $TEE_{PACT}$ )과  $TEE_{DLW}$ 와의 상관관계 (0.648–0.862)는 앞서 연구 [28-30]에서 보고된 가속도계 측정값과의 상관관계보다 높은 값을 보였다.

한국인을 위한 신체활동분류표를 이용하여 산출한 총에너지소비량의 정확도, 즉  $TEE_{PACT}$ 가  $TEE_{DLW}$ 를 정확하게 (90–110%) 예측한 비율을 살펴보면, 남녀 각각 58.6%와 54.9%으로 비교적 높은 값을 보였으므로, 신체활동분류표를 이용하여 총에너지소비량 (TEE) 및 신체활동수준 (PAL)을 예측하는 것이 가능하다고 할 수 있다. 또한 소아청소년을 대상으로 본 연구와 같은 방법인, 이중표식수법을 이용하여 신체활동분류표의 타당도를 평가한 Gwak 등 [17]의 연구결과를 살펴보면, 남녀 각각 33.3%와 40.0%의 정확예측비율 (90–110%)을 보였다.

본 연구는 연구실에서 수행된 이중표식수 연구과제들의 결과를 pooling하여 사용하였는데, 이때 신체활동일기를 작성한 시기가 새로운 신체활동분류표가 보고되기 이전 또는 이후로 신체활동일기 작성 지침의 내용이 다소 다를 수 있었음이 본 연구의 제한점이 될 수 있다.

그럼에도 불구하고 본 연구는 이중표식수를 이용한 국내연구로는 성인에서 노인에 이르기까지 가장 많은 인원 (141명)을 대상으로 하였으며, 한국인을 위한 신체활동분류표를 이용하여 성인과 노인에서 TEE 및 PAL의 산출이 타당함을 보여주었다.

2025년이 되면 65세 이상 노인 인구가 총인구의 20%를 넘어서는 초고령사회로 접어들 것으로 예측 [31]되는 우리나라의 경우, 성인기부터 만성질환의 예방 및 관리를 위하여 신체활동의 필요성이 강조되고 있다. 따라서 본 연구에서 적절한 타당도를 보인 신체활동분류표를 이용하여 이들의 신체활동량을 평가하고 이를 이용한 신체활동지침의 개발이 가능할 것으로 생각된다.

특히 신체활동분류표를 이용하여 산출된 PAL은 2025 한국인 영양소 섭취기준에서 에너지필요추정량 산출식에 필요한 신체활동단계별 계수 (PA)를 결정하는데 유용한 자료가 될 것으로 기대된다. 아울러 일대일 맞춤형 영양상담 등에서 에너지 소비량과의 평형을 유지하기 위한 에너지 필요량을 산출하여 제안할 때 활용 가능하다.

신체활동일기 작성시 대상자와 조사자와의 일대일 면담을 통하여 정확도를 높이고자 노력하였으나, 신체활동일기 작성은 식사조사를 위한 24시간 회상법과 마찬가지로 대상자의 기억력에 근거할 뿐만 아니라, 조사자에 따른 오류가 발생할 가능성이 있다. 따라서 새로운 신체활동분류표를 사용하고자 하는 경우, 신체활동일기 작성 방법에 대한 세부적인 사항을 담은 표준화된 매뉴얼이 필요하다. 또한 24시간 회상법의 기록 (섭취한 식품의 종류와 중량 등)이 소프트웨어 프로그램 (예, Can-Pro)에 입력되면 에너지섭취량이 산출되듯, 새로운 신체활동분류표를 일상생활에서 쉽게 편리하게 적용할 수 있고, 연구 목적으로도 사용할 수 있려면, 신체활동분류표를 이용한 웹 버전의 소프트웨어 프로그램 및 스마트폰 어플리케이션의 개발이 필요하다.

## 요약

그동안 국내 연구에서 PAL을 산출하기 위해 사용해온 18단계 신체활동분류표로 신체활동을 평가하는 데 한계가 있었기에 새롭게 한국인을 위한 신체활동분류표가 보고되었다. 이에 본 연구에서 총에너지소비량을 측정하는 gold standard인 이중표식수법을 이용하여 새로 보고된 신체활동분류표의 타당도를 평가한 결과, TEE<sub>DLW</sub>와 TEE<sub>PACT</sub> 간의 유의한 차이가 없었으며 TEE<sub>DLW</sub>와 TEE<sub>PACT</sub> 간의 스피어만 상관관계 ( $r = 0.769$ )는 유의한 높은 양의 상관성을 보였다. 즉, 본 연구에서 TEE 및 PAL 산출을 위해 새로운 신체활동분류표의 사용이 타당한 것으로 평가되었으며, 앞으로 이와 관련된 연구 결과는 2025 한국인 영양소 섭취기준에서 에너지필요 추정량 산출식에 필요한 신체활동단계별 계수 (PA)를 결정하는데 유용한 자료가 될 것으로 기대된다. 또한 개인별 및 연구 목적으로도 쉽게 사용하기 위해서, 신체활동분류표를 이용한 웹 버전의 소프트웨어 프로그램 및 스마트폰 어플리케이션의 개발이 필요하다.

## REFERENCES

1. National Health Insurance Service (KR). 2020 National Health Insurance Statistical Yearbook. Wonju: National Health Insurance Service; 2021.
2. Korean Society for the Study of Obesity. 2021 Obesity Fact Sheet. Seoul: Korean Society for the Study of Obesity; 2021.
3. Ministry of Health and Welfare (KR). Dietary Reference Intakes for Koreans 2020. Sejong: Ministry of Health and Welfare; 2020.
4. Lee H, Lee M, Choi JY, Oh K, Kim Y, Kim S. KNHANES Actigraph raw data processing. Korean J Meas Eval Phys Educ Sport Sci 2018; 20(2): 83-94.  
**CROSSREF**
5. Frank H. 10. Assessment of physical activity in nutritional epidemiology. In: Willett W, editor. Nutritional Epidemiology. 3rd ed. Oxford: Oxford University Press; 2012. p.241-249.
6. An HS, Choi SJ, Lee MR, Lee JS, Kim EK. Comparison of physical activity level, physical activity pattern and energy expenditure in male and female elementary school soccer players using accelerometer and physical activity diary. Korean J Community Nutr 2017; 22(6): 529-542.  
**CROSSREF**
7. Go NY, Ndahimana D, Kim EK. Amounts of physical activity and sedentary behavior patterns in older adults: using an accelerometer and a physical activity diary. J Nutr Health 2019; 52(1): 36-46.  
**CROSSREF**
8. Yoon JS, Kim GJ, Kim JH, Park YS, Gu JO. A Study to Determine the Recommended Dietary Allowance of Energy and to Develop Practical Dietary Education Program for Korean Adults. Sejong: Ministry of Health and Welfare; 2002.
9. Kim EK, Jun HY, Gwak JY, Fenyi JO. Development of physical activity classification table for Koreans: using the compendium of physical activities in the United States. J Nutr Health 2021; 54(2): 129-138.  
**CROSSREF**
10. Ainsworth BE, Haskell WL, Leon AS, Jacobs DR Jr, Montoye HJ, Sallis JE, et al. Compendium of physical activities: classification of energy costs of human physical activities. Med Sci Sports Exerc 1993; 25(1): 71-80.  
**PUBMED | CROSSREF**
11. Cho KH, Song W, Kim J, Jung EJ, Jang J, Im SH, et al. Energy expenditures for activities of daily living in Korean young adults: a preliminary study. Ann Rehabil Med 2016; 40(4): 725-733.  
**PUBMED | CROSSREF**
12. Choi YJ, Ju MJ, Park JH, Park JH, Kim EK. Energy expenditure of physical activity in Korean adults and assessment of accelerometer accuracy by gender. J Nutr Health 2017; 50(6): 552-564.  
**CROSSREF**
13. Lee M. Criterion and convergent validity evidence of an accelerometer and a pedometer. Korean J Meas Eval Phys Educ Sport Sci 2012; 14(2): 1-13.  
**CROSSREF**

14. Park SJ, Lee MH. Validation of physical activity measured by accelerometers worn on waist and wrist. *Korean J Phys Educ* 2017; 56(4): 563-573.  
[CROSSREF](#)
15. Ridley K, Olds TS. Assigning energy costs to activities in children: a review and synthesis. *Med Sci Sports Exerc* 2008; 40(8): 1439-1446.  
[PUBMED](#) | [CROSSREF](#)
16. Kim EK, Gwak JY, Jun HY. Physical activity classification table for Korean youth: using the Youth Compendium of Physical Activities in the United States. *J Nutr Health* 2022; 55(5): 533-542.  
[CROSSREF](#)
17. Gwak JY, Kim MH, Park J, Ishikawa-Takata K, Kim EK. Validation of the physical activity classification table for Korean youth and assessment of total energy expenditure, estimated energy requirement and physical activity in Korean children and adolescents. *J Nutr Health* 2023; 56(1): 35-53.  
[CROSSREF](#)
18. Weir JB. New methods for calculating metabolic rate with special reference to protein metabolism. *J Physiol* 1949; 109(1-2): 1-9.  
[PUBMED](#) | [CROSSREF](#)
19. Park J, Kazuko IT, Kim E, Kim J, Yoon J. Estimating free-living human energy expenditure: practical aspects of the doubly labeled water method and its applications. *Nutr Res Pract* 2014; 8(3): 241-248.  
[PUBMED](#) | [CROSSREF](#)
20. Jeon JH, Go NY, Lee MR, Ndahimana D, Kim EK. Accuracy of 24-hour diet recalls for estimating energy intake in elderly men using the doubly labeled water method. *Korean J Community Nutr* 2018; 23(6): 516-524.  
[CROSSREF](#)
21. Black AE, Prentice AM, Coward WA. Use of food quotients to predict respiratory quotients for the doubly-labelled water method of measuring energy expenditure. *Hum Nutr Clin Nutr* 1986; 40(5): 381-391.  
[PUBMED](#)
22. Ndahimana D, Choi YJ, Park JH, Ju MJ, Kim EK. Validity of predictive equations for resting energy expenditure in Korean non-obese adults. *Nutr Res Pract* 2018; 12(4): 283-290.  
[PUBMED](#) | [CROSSREF](#)
23. Siervo M, Bertoli S, Battezzati A, Wells JC, Lara J, Ferraris C, et al. Accuracy of predictive equations for the measurement of resting energy expenditure in older subjects. *Clin Nutr* 2014; 33(4): 613-619.  
[PUBMED](#) | [CROSSREF](#)
24. Toozé JA, Schoeller DA, Subar AF, Kipnis V, Schatzkin A, Troiano RP. Total daily energy expenditure among middle-aged men and women: the OPEN Study. *Am J Clin Nutr* 2007; 86(2): 382-387.  
[PUBMED](#) | [CROSSREF](#)
25. Bastone AC, Ferrioli E, Pfrimer K, Moreira BS, Diz JB, Dias JM, et al. Energy expenditure in older adults who are frail: a doubly labeled water study. *J Geriatr Phys Ther* 2019; 42(3): E135-E141.  
[PUBMED](#) | [CROSSREF](#)
26. Buchowski MS, Townsend KM, Chen KY, Acra SA, Sun M. Energy expenditure determined by self-reported physical activity is related to body fatness. *Obes Res* 1999; 7(1): 23-33.  
[PUBMED](#) | [CROSSREF](#)
27. Zhuo Q, Sun R, Gou LY, Piao JH, Liu JM, Tian Y, et al. Total energy expenditure of 16 Chinese young men measured by the doubly labeled water method. *Biomed Environ Sci* 2013; 26(6): 413-420.  
[PUBMED](#) | [CROSSREF](#)
28. Murakami H, Kawakami R, Nakae S, Yamada Y, Nakata Y, Ohkawara K, et al. Accuracy of 12 wearable devices for estimating physical activity energy expenditure using a metabolic chamber and the doubly labeled water method: validation study. *JMIR Mhealth Uhealth* 2019; 7(8): e13938.  
[PUBMED](#) | [CROSSREF](#)
29. Chomistek AK, Yuan C, Matthews CE, Troiano RP, Bowles HR, Rood J, et al. Physical activity assessment with the ActiGraph GT3X and doubly labeled water. *Med Sci Sports Exerc* 2017; 49(9): 1935-1944.  
[PUBMED](#) | [CROSSREF](#)
30. Smith MT, Kishman EE, Weaver RG, O'Neill JR, Wang X. Measurement of physical activity with wrist-worn ActiGraph GT3X+ in older women. *Int J Exerc Sci* 2022; 15(7): 1538-1553.  
[PUBMED](#)
31. Ministry of Health and Welfare (KR). Korea Health Statistics 2020: Korea National Health and Nutrition Examination Survey (KNHANES VIII-2). Cheongju: Korea Disease Control and Prevention Agency; 2022.