

초등학교 운동선수를 대상으로 대표 신체활동의 에너지 소비량 및 활동 강도 추정을 위한 가속도계의 정확도 검증

최수지 · 안해선 · 이모란 · 이정숙 · 김은경[†]

강릉원주대학교 식품영양학과

Accuracy of Accelerometer for the Prediction of Energy Expenditure and Activity Intensity in Athletic Elementary School Children During Selected Activities

Su-Ji Choi, Hae-Sun An, Mo-Ran Lee, Jung-Sook Lee, Eun-Kyung Kim[†]

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

[†]Corresponding author

Eun-Kyung Kim
Department of Food and
Nutrition, Gangneung-Wonju
National University, Gangneung
25457, Korea.

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

Received: August 24, 2017
Revised: October 13, 2017
Accepted: October 13, 2017

ABSTRACT

Objectives: Accurate assessment of energy expenditure is important for estimation of energy requirements in athletic children. The objective of this study was to evaluate the accuracy of accelerometer for prediction of selected activities' energy expenditure and intensity in athletic elementary school children.

Methods: The present study involved 31 soccer players (16 males and 15 females) from an elementary school (9-12 years). During the measurements, children performed eight selected activities while simultaneously wearing the accelerometer and carrying the portable indirect calorimeter. Five equations (Freedson/Trost, Treuth, Pate, Puyau, Mattocks) were assessed for the prediction of energy expenditure from accelerometer counts, while Evenson equation was added for prediction of activity intensity, making six equations in total. The accuracy of accelerometer for energy prediction was assessed by comparing measured and predicted values, using the paired t-test. The intensity classification accuracy was evaluated with kappa statistics and ROC-Curve.

Results: For activities of lying down, television viewing and reading, Freedson/Trost, Treuth were accurate in predicting energy expenditure. Regarding Pate, it was accurate for vacuuming and slow treadmill walking energy prediction. Mattocks was accurate in treadmill running activities. Concerning activity intensity classification accuracy, Pate (kappa=0.72) had the best performance across the four intensities (sedentary, light, moderate, vigorous). In case of the sedentary activities, all equations had a good prediction accuracy, while with light activities and Vigorous activities, Pate had an excellent accuracy (ROC-AUC=0.91, 0.94). For Moderate activities, all equations showed a poor performance.

Conclusions: In conclusion, none of the assessed equations was accurate in predicting energy expenditure across all assessed activities in athletic children. For activity intensity classification, Pate had the best prediction accuracy.

Korean J Community Nutr 22(5): 413~425, 2017

KEY WORDS energy expenditure, accelerometer, children, athlete

서론

운동선수에게 있어서 바람직한 신체 구성과 면역기능 및 최상의 운동 능력을 유지하기 위해서는 에너지 평형을 이루는 것이 필수적이다[1]. 특별히 어린이 운동선수의 경우 올바른 성장과 성숙을 돕고, 고강도의 훈련을 견디기 위해서는 소비한 에너지만큼 충분히 에너지를 섭취해야 한다[1]. 그러나 최근 국내의 한 연구[2]에 따르면 청소년 운동선수에게 있어서 에너지와 철분의 섭취 부족 가능성이 지적된 바 있다. 또한 Loucks[3]에 따르면 지구력을 필요로 하는 운동선수에게서 만성적인 영양 결핍의 위험이 있다고 보고된 바 있다. 이와 같은 운동선수의 부적절한 에너지 섭취는 근육의 손실로 근력과 지구력이 감소하게 되고 만성적으로는 미량 영양소의 결핍 위험을 초래한다[1].

어린이 운동선수의 적절한 에너지 필요량은 성장 및 일상 활동을 위한 에너지 필요량에 운동으로 인하여 소비된 에너지를 추가하여 처방 및 권장되어야 한다[1, 4]. 이때 추가되는 에너지 소비량은 수행된 운동의 종류와 강도, 빈도 및 지속시간을 토대로 산출되므로 신체 활동량을 정확하게 측정하는 것이 중요하다[1]. 신체 활동량을 정확하게 측정하는 방법으로는 직접 열량 측정법과 간접 열량 측정법이 있는데 이들은 특수한 장소와 훈련된 전문가가 필요할 뿐만 아니라 고가의 시설과 도구가 필요하므로 실제 연구 현장에 적용하기에는 어려움이 있다[1]. 이러한 단점을 보완하기 위해서 사용되고 있는 가속도계는 수행된 신체활동의 빈도, 강도, 지속 시간 및 총 신체 활동량을 평가할 때 유용하다[5]. 뿐만 아니라 가속도계는 비침습적 방법으로 운동수행에 영향을 주지 않으므로 운동선수의 신체 활동량을 쉽게 그리고 비교적 정확하게 측정할 수 있는 도구로 평가되어왔다[6].

현재까지 개발된 다양한 가속도계 중에서 ActiGraph는 어린이와 청소년을 대상으로 한 연구에서 가장 널리 사용되는 모델 중 하나이다[7]. 이처럼 ActiGraph의 광범위한 사용에도 불구하고 출력 단위(counts per unit of time)를 energy expenditure(EE, 에너지 소비) 단위 또는 Metabolic equivalents(MET_s, 신체활동 강도)의 단위로 변환하는 방법에 대해서는 상당한 논란이 있다[8]. 이는 추정식 개발 시 준거도구로 측정된 산소 섭취량은 인종과 성숙도 및 연령대, 특별히 신체활동 강도에 따라 많은 영향을 받기 때문이다[9]. 실제로 운동선수와 일반인 간에 산소 섭취량의 유의한 차이가 있음이 보고된 바 있다[10]. 이에 외국에서는 엘리트 운동선수를 대상으로 가속도계 측정값을 토대로 신체 활동량 추정식을 개발하고 이를 검증하는 연구가

활발하게 진행되고 있다[6, 11]. 그러나 국내에서는 어린이, 더욱이 어린이 운동선수를 대상으로 가속도계 추정식의 유효성을 검증한 논문은 찾아보기 어렵다.

이에 본 연구에서는 초등학교 운동선수를 대상으로 첫째, 가속도계 추정식의 에너지 소비량 예측 수준을 평가하고자 하였다. 둘째, 가속도계의 추정식이 제안하는 신체활동 강도 분류 기준치의 정확도를 평가하고자 하였다.

연구대상 및 방법

1. 연구대상 및 기간

본 연구는 강릉시에 위치한 한 초등학교 내 축구부에 소속되어 있는 만 9~12세의 초등학교 총 31명(남아 16명, 여아 15명)을 대상으로 하였다. 본 연구 대상자는 에너지 소비량(EE, kcal/min)에 영향을 미치는 약물 및 호르몬제를 복용하지 않는 초등학교생으로 모집되었다. 본 연구는 강릉원주대학교의 생명윤리심의위원회의 승인(GWNUIRB-2016-24)을 받은 후 이에 따라 진행되었으며 연구 대상자가 미성년자임을 감안하여 이들의 보호자로부터 사전 동의서를 받았다. 연구 기간은 2016년 10월부터 12월까지로 약 3개월에 걸쳐 측정하였으며, 각 활동 시 대상자의 안전을 위하여 연구자 및 연구보조원이 동행하였다.

2. 신체계측

신체계측은 측정법에 대하여 사전에 교육받은 전문 연구원이 직접 측정하였다. 신장은 외투를 벗고 가벼운 차림으로 신장계에 직립한 자세로 자동 신장계(BSM330, Biospace, Korea)를 사용하여 측정되었다. 체중과 체지방량 및 근육량은 체성분 분석기(Inbody 620, Biospace, Korea)로 측정되었다.

3. 8가지 대표 신체활동의 에너지소비량 측정

1) 8가지 대표 신체활동 측정 프로토콜

연구 대상자는 측정 2~3시간 전부터 공복을 유지한 상태로 대표 신체활동을 수행하였다. 대표 신체활동 선정 시, 어린이 대상 신체활동 선행연구[12, 13]를 참고하되 저 강도부터 고강도 활동까지 그리고 좌식 활동과 일상생활 및 트레드밀을 이용한 걷기 활동 등이 다양하게 포함되도록 총 8가지의 활동을 선정하였다. 각 활동의 표준화된 측정을 위한 수행 방법은 Table 1과 같다. 연구 대상자는 준거도구인 휴대용 무선 호흡가스 분석기와 가속도계를 동시에 착용하고 Trost 등 [8] 연구를 참고하여 높기 활동(10분간 측정)을 제외한 나머지 7가지 활동 모두 5분간 수행하였다. 그리고

Table 1. Description of the eight activity trials

Activity type	Activity trial	Description of the activity trial	Duration (min)
Resting	Lying down (LD)	Lie on floor mat or cot in supine position, awake with arms at side. Instructed to minimize all bodily movements	10
Sitting	Reading (RE)	Sit down and read a book they liked	5
	Television viewing (TV)	Watch a video while sitting on a comfortable chair without getting up at any time	5
Lifestyle	Vacuuming (VA)	Clean the floor of 3.6 × 4.5 m by vacuum, subject's self-selected pace	5
	Stair climbing (SC)	Walking up and down a flight of stairs at a steady pace of 88 steps per minute	5
Treadmill walking	Slow walking (SW)	Walking on a treadmill at 4 kph (2.5 mph)	5
	Brisk walking (BW)	Brisk walking on a treadmill at 5.6 kph (3.5 mph)	5
	Running (RU)	Running on a treadmill at 8 kph (5 mph)	5

각 활동이 끝난 후 5~10분간 휴식을 취하도록 하여 다음 측정에 미치는 영향을 최소화하였다.

2) 휴대용 무선 호흡가스 분석기를 이용한 측정

기기를 이용한 측정 시 앞서 보고된 kim 등 [14]의 연구 방법을 참고하였다. 대표 신체활동 수행 중의 산소 섭취량 (VO_2) 및 이산화탄소 배출량 (VCO_2)은 간접 열량 측정계의 일종인 휴대용 무선 호흡가스분석기 (cosmed K4b², Rome, Italy)를 이용하여 초 단위로 측정하였으며, 이를 이용하여 에너지 소비량 및 MET_s 값을 산출하였다. 본 기기는 보행 환경에서 에너지 소비량을 측정하기 위해 특별히 설계된 도구로 무게가 925 g으로 가볍고, 이동 가능한 분석기 (analyser unit) 및 배터리, 마스크 (face mask) 및 샘플링 라인 (sampling line) 등으로 구성되어 있다.

측정 1시간 전에 본 기기를 30분간 워밍업 한 후, 제조사의 지침서에 의거하여 실내 공기 교정 (room air), 가스 (gas), delay, 유량계 (turbine) 순으로 초기화 조정 (calibration)을 진행하였다. 초기화 조정을 완료한 후 분석기에 대상자의 자료를 입력하였고 전용 장착 띠를 이용하여 대상자의 앞쪽 가슴에 부착하였다. 본 도구의 충전된 배터리는 연구 대상자의 등에 부착하였으며 마스크는 공기가 새나가지 않도록 마스크 고정 밴드 (head hardness)로 고정하였다. 마스크와 연결되어 있는 양방향 디지털 터빈 유량계 (turbine flowmeter)를 통하여 날숨의 O_2 와 CO_2 함량을 측정한다.

대상자는 기기에 익숙해지도록 약 5분간 평소와 같이 호흡해 보도록 연습한 후에 5~10분간 휴식을 취한 뒤 대표 신체활동을 차례로 수행하였다.

3) 가속도계를 이용한 측정

본 연구에 사용된 가속도계 (ActiGraph, model GT3X⁺, USA)는 3개의 진동편이 상하, 좌우 및 앞뒤로 직교되도록

구성되어있으며 크기가 작을 뿐만 아니라 (4.6 × 3.3 × 1.5 cm), 중량이 약 19 g으로 매우 가볍다. 본 연구에서 검증하고자 하는 추정식 6가지 [13, 15-19]가 모두 ActiGraph의 수직 축 (axis 1) counts 값을 기반으로 개발되었으므로 본 연구에서는 수직 축의 counts 값을 사용하였다.

측정 전 가속도계 전용 소프트웨어 프로그램 (ActiLife 6.9.4)에 휴대용 무선 호흡가스 분석기에 입력한 값과 동일한 대상자의 연령, 신장, 체중, 성별을 입력하였다. 이때 연구 대상자에게 부착한 휴대용 무선 호흡가스 분석기, 가속도계 및 무선 심박수 측정기의 무게를 고려하여 1 kg이 추가된 체중으로 입력하였다 [20]. 가속도계의 수직 축 자료는 30 Hz 마다 수집하였고, 자료 요약 주기는 Mattocks 등 [15]의 선행연구에 기초하여 10초로 설정하였다. 본 연구에서는 각 대상자의 엉덩이 장골릉 (iliac crest)에 한 개의 가속도계를 착용하였는데 이는 손목보다는 엉덩이 장골릉에 착용하는 것이 에너지 소비량을 평가하기에 더 적절하다는 Rosenberger 등 [21]의 연구 결과를 반영한 것이다. 측정 시 가속도계가 흘러내리거나 탈피되지 않도록 탄성밴드를 이용하여 고정시켰고, 연구자는 준거도구인 휴대용 무선 호흡가스 분석기와 가속도계 간의 측정 시간 (시작, 종료)을 맞추기 위하여 0.01 초 단위까지 기록하였다.

4. 자료처리방법

휴대용 무선 호흡가스 분석기와 가속도계에서 얻어진 자료는 각 전용 소프트웨어를 이용하여 다운받은 후 편집하기 위하여 엑셀로 호환하여 저장하였다. 10분간 측정 한 넓기 활동을 제외한 나머지 7가지 활동의 경우 대상자의 산소 섭취량이 안정되기까지의 소요시간을 참작하여 앞부분의 2분 30초간 데이터를 삭제하였다. 또한 측정 종료 시 트레드밀의 속도가 감소하면서 중지되기까지의 시간을 고려하여 7가지 활동 모두 뒷부분의 30초를 삭제하였다. 따라서 총 측정시간 5분 중 위와 같이 앞부분과 뒷부분을 삭제하고 남은 2분

Table 2. ActiGraph prediction models

Authors	Subjects		Activities	Equation	Cut Point of ActiGraph			
	Number (M, F)	Age Mean (year range)			SED ¹⁾	LPA ²⁾	MPA ³⁾	VPA ⁴⁾
Freedson et al. (2005)	80 (39, 41)	11.3 (6~18)	Treadmill walk and run	$MET_3 = 2.757 + (0.0015 \times \text{counts/min}) - (0.08957 \times \text{age(yr)}) - (0.000038 \times \text{counts/min} \times \text{age(yr)})$	≤100	>100	≥2220	≥4136
Treuth et al. (2004)	74 (0, 74)	14.1 (13~14)	Rest, watch TV, computer games, sweep floor, treadmill walk and run, aerobics, bicycling	$MET_3 = 2.01 + (0.00171 \times \text{counts/30 sec})$	≤100	>100	≥3000	≥5200
Pate et al. (2006)	29 (13, 16)	4.4 (3~5)	Rest, slow and brisk walk, jog	$VO_2 = 10.0714 + (0.02366 \times \text{counts/15 sec})$	-	<419 ⁵⁾	≥420 ⁵⁾	≥842 ⁵⁾
Puyau et al. (2002)	26 (14, 12)	10.7 (6~16)	Walk, run, computer games, playing with toys, aerobics, skipping, jump rope, soccer	$AEE = 0.0183 + (0.000010 \times \text{counts/min})$	<800	≥800	≥3200	≥8200
Mattocks et al. (2007)	163 (73, 90)	12.4	Lying, sitting, slow and brisk walk, jog, hopscotch	$PAEE = -0.933 + (0.000098 \times \text{counts/min}) + (0.091 \times \text{age(yr)}) - 0.04 (\text{sex})$ (M=0, F=1)	≤100	>100	≥3581	≥6130
Evenson et al. (2008)	33 (12, 21)	7.3 (5~9)	Rest, watch TV, coloring books, slow and brisk walk, stair climb, basketball, jumping jacks, run	ROC curve (no equation)	≤100	>100	≥2296	≥4012

1) SED : Sedentary activity

2) LPA : Light activity

3) MPA : Moderate activity

4) VPA : Vigorous activity

5) Per 15s, all other counts reported per minute

MET₃ : Metabolic equivalents, VO₂ : Volume of oxygen consumption (ml/kg/min), AEE : activity energy expenditure (kcal/kg/min), PAEE : physical activity energy expenditure (KJ/kg/min)

동안의 측정값을 통계처리에 사용하였다. 10분간 측정된 움직임 활동은 7~9분 사이에 기록된 데이터를 사용하였다[8].

1) 에너지 소비량 예측

ActiGraph을 이용하여 개발한 어린이 대상 추정식 중에서 본 연구 대상자의 연령을 고려하여 6가지의 추정식을 선정하였다(Table 2). 이 중에서 Evenson 등 [19]은 receiver operating characteristic(ROC) curve를 이용하여 신체 활동량의 강도 기준치(cut off point)만을 제안하였으므로 추정식에 대입하여 에너지 소비량을 산출하는 과정은 생략하였다. 본 연구에서 자료수집 주기가 10초로 요약된 가속도계의 counts 값은 각 추정식에 사용되는 변수 단위에 맞게 60초(counts/min) 또는 30초(counts/30 sec), 15(counts/15 sec)로 재통합한 후 이 값과 함께 각종 변수(신장, 체중, 나이 등)를 가속도계 추정식에 대입하여 에너지 소비량을 산출하였다.

ActiGraph 추정식으로 예측한 에너지 소비량과 휴대용 무선 호흡가스 분석기로 측정된 에너지 소비량을 비교하기 위하여, 휴대용 무선 호흡가스 분석기로 측정된 VO₂와 VCO₂는 다음과 같이 계산하여 단위를 통일시켰다. 첫째, MET_s 값은 각 활동에서 측정된 에너지 소비량을 Schofield's의 추정식(Schofield 1985)을 사용하여 예측된 rate energy expenditure(REE, kcal/min)로 나눈 값으로 계산되었다[22]. 이는 어린이에게 Standard 기준(1 MET=3.5 ml/kg/min)의 MET_s 값을 적용 시 에너지 소비량이 과소평가 될 가능성이 높다는 Pulsford 등 [23]의 연구 결과를 토대로 산출된 것이다. 둘째, VO₂는 1분당 단위체중당 산소섭취량인 VO₂(ml/kg/min)로 계산하였다. 셋째, activity energy expenditure(AEE, kcal/kg/min)는 대상자의 총 에너지 소비량에서 Schofield의 추정식을 사용하여 예측된 안정 시 에너지 소비량(REE)을 감산하여 계산하였다. 넷째, physical activity energy expenditure(PAEE, KJ/kg/min)는 EE(kcal/kg/min)에 4.184(1 kcal=4.184 KJ)를 곱하여 계산하였다.

2) 신체활동 강도의 예측

각 추정식이 제안하는 신체활동 강도 분류의 정확성을 평가하고자 가속도계의 counts cut point 값을 Table 2와 같이 sedentary activity(SED), light activity(LPA), moderate activity(MPA) 및 vigorous activity(VPA)로 분류하였다. 이어서 준거도구로 측정된 에너지 소비량 값을 Trost 등 [8]이 제안한 기준에 따라 Table 3과 같이 SED, LPA, MPA 및 VPA로 분류하였다.

Table 3. Cut off points of physical activity intensity by Trost (2011)

	MET _s ¹⁾	AEE (kcal/kg/min) ¹⁾	VO ₂ (ml/kg) ¹⁾
Sedentary activity	<1.5	<0.015	-
Light activity	1.5~3.9	0.015~0.04	>20
Moderate activity	4~5.9	0.05~0.09	20~29
Vigorous activity	≥6	≥0.10	≥30

1) Measured by Cosmed K4b²

5. 자료의 통계분석방법

본 연구의 모든 측정 자료는 SPSS Statistics 23.0 (IBM, USA) 통계 프로그램을 이용하여 분석하였다. 대상자의 연령, 신체계측, 각 활동별 산소 섭취량 및 ActiGraph Counts 값 등은 기술통계를 실시하여 평균과 표준편차(Mean ±SD)로 표시하였다. 본 연구 대상자 남녀 간의 신장, 체중 등 신체계측 자료의 평균값의 차이 검증 시 본 연구의 표본수가 남자 16명, 여자 15명으로 모집단에 대해 정규 분포함을 가정하기에는 한정적이므로 비모수적 검정(non-parametric test) 방법인 Mann-Whitney U test를 사용하였다.

휴대용 무선 호흡가스 분석기와 가속도계를 이용하여 측정된 VO₂, EE(kcal/min), MET_s 및 ActiGraph Counts의 크기를 8가지 대표 신체활동에 따라 비교하고자 One way Repeated Measures ANOVA 방법을 이용하여 유의성을 검증하였다. 한편, 8가지 대표 신체활동에 따른 휴대용 무선 호흡가스 분석기로 측정된 에너지 소비량과 가속도계 추정식으로부터 예측된 에너지 소비량 간의 차이는 paired t-test를 통해 유의성을 검증하였다.

가속도계 추정식의 활동 강도 분류의 정확도를 평가하기 위하여 kappa statistics, 민감도(sensitivity), 특이도(specificity) 및 ROC curve 방법을 사용하여 The area under an ROC curve(AUC)를 분석하였다. Kappa statistic은 명목 척도에서 평가자 간의 합의를 측정하는 통계이다(Kappa=실제 일치 비율-기대 일치 비율/1-기대 일치 비율). 민감도(Sensitivity)는 조건이 존재하면 그 검사가 양성일 것이라는 조건부 확률이고, 특이도(Specificity)란 조건이 부재하면 그 검사가 음성일 것이라는 조건부 확률이다. 민감도는 true positive(TP, 참 양성) 값을 TP 값과 false negative(FN, 위 음성) 값의 합으로 나눈 후 100을 곱한 값이다. 특이도는 true negative(TN, 참 음성) 값을 TN와 false positive(FP, 위 양성) 값의 합으로 나눈 후 100을 곱한 값이다. 이와 더불어 분류 기준치를 평가하는데 사용되는 ROC curve 방법은 특정 검사의 민감도와 특이도가 어떤 관계를 갖고 있는지를 표현한 그

래프이다. 이때 특정 검사의 정확도는 The area under an ROC curve(AUC)에 의해 측정될 수 있다.

이때 AUC의 면적 값이 1에 가까울수록 완벽한(perfect) 판정을 나타내지만 0.5에 가까울수록 우연에 의한 판정임을 의미한다. 따라서 AUC 값에 따라 0.90~1.0은 우수(excellent), 0.80~0.89는 정확(good), 0.70~0.79는 보통(fair), 0.70 미만이면 부정확(poor)으로 해석하였다 [24, 25]. Kappa statistics의 계수는 1에 가까울수록 완벽한 판정을 나타내는데 Landis & Koch [26]는 0.80 보다 크면 거의 완벽한(almost perfect) 일치, 0.61~0.80은 상당한(substantial) 크기의 일치, 0.41~0.60은 적당한(moderate) 크기의 일치, 0.21~0.40은 어느 정도(fair)의 일치, 0.0~0.20은 약간(slight)의 일치, 0 이하의 일치도 나쁨(poor)으로 해석하였다. 본 연구의 통계적 유의수준은 0.05로 설정하였으며 양측검정 방법으로 검정하였다.

결 과

1. 연구 대상자의 연령 및 신체계측 결과

본 연구 대상자의 연령 및 신체계측 결과는 Table 4와 같다. 체지방률(%)을 제외한 연령, 신장, 체중, Body Mass Index(BMI, 체질량지수), 체지방량 및 골격근량은 성별에 따라 유의한 차이를 보이지 않았다. 본 연구 대상자의 평균 연령은 10.9±1.0세였고, 평균 신장 및 체중은 각각 145.5±8.1 cm 및 41.9±8.0 kg이었다. 그리고 BMI는 19.7±2.9로 나타났으며 평균 체지방량과 골격근량은 각각 31.8±4.7 kg 및 16.8±2.7 kg으로 나타났다. 반면 여학생의 체지방률(%)은 27.5±7.5%로 남학생(18.9±5.3%)보다 유의하게 높게 나타났다.

2. 8가지 대표 신체활동에 따른 VO₂, EE, ActiGraph counts 및 측정된 MET₅ 값과 다양한 MET₅ 값과의 비교

대표 신체활동의 측정값 중에서 트레드밀을 이용한 running(5 mph) 활동의 ActiGraph counts 값을 제외한 나머지 모든 값에서 성별에 따른 유의한 차이를 보이지 않았으므로 본 연구 결과는 성별을 나누지 않고 전체 대상자에 대한 평균값으로 나타냈다(Table 5). 눕기 활동 시 VO₂, EE 및 MET₅는 각 5.88±0.97 ml/kg/min, 1.29±0.16 kcal/min 및 1.9±0.4 MET₅로 나타났으나 ActiGraph counts는 0.00±0.00 이었다.

각 신체활동의 VO₂, EE, MET₅ 및 ActiGraph counts 값의 크기를 비교하였을 때 눕기, TV 보기, 책 읽기의 크기는 서로 유의한 차이가 없었으며, 이들 값은 진공청소기로 청소하기보다 유의하게 낮았다. 또한 8가지 신체활동 중 트레드밀을 이용한 천천히 걷기(2.5 mph)와 빨리 걷기(3.5 mph)의 VO₂, EE 및 MET₅ 값은 서로 유의한 차이가 없었으나 ActiGraph counts 값은 서로 유의한 차이가 있었다.

본 연구에서 휴대용 무선 호흡가스 분석기를 이용하여 측정한 MET₅ 값을 FAO/WHO/UNU [27]에서 제시한 일반 어린이의 MET₅ 값 및 Ridley & Olds [28]의 연구에서 산출된 어린이의 MET₅ 값과 비교한 결과는 Table 5와 같다. 본 연구에서 대상자의 눕기(1.9)와 좌식 활동인 TV 보기(1.9)와 책 읽기(1.9)는 FAO/WHO/UNU [27]의 연구(1.5)와 Ridley & Olds [28]의 연구(1.2~1.3) 결과보다 높게 나타났다. 반면, 진공청소기로 청소하기 활동은 4.0 MET₅로 FAO/WHO/UNU [27]의 연구(2.2) 보다 높게 나왔지만 Ridley & Olds [28]의 연구(4.2)보다는 낮게 나타났다. 트레드밀을 이용한 천천히 걷기(2.5 mph, 5.1 MET₅), 빨리 걷기(3.5 mph, 7.0 MET₅) 및 달리기(5 mph, 11.1 MET₅)와 계단 오르내리기 활동(7.0)도 FAO/WHO/UNU [27]와 Ridley & Olds [28]의 연구 결과보

Table 4. Anthropometric measurements of subjects

	Male (N = 16)	Female (N = 15)	Total (N = 31)
Age (years)	10.8 ± 1.0 ¹⁾	11.0 ± 1.1	10.9 ± 1.0
Height (cm)	143.4 ± 7.9	147.8 ± 7.8	145.5 ± 8.1
Body weight (kg) ²⁾	39.4 ± 7.8	44.6 ± 7.5	41.9 ± 8.0
Body mass index (kg/m ²) ³⁾	19.0 ± 2.2	20.4 ± 3.4	19.7 ± 2.9
Fat free mass (kg) ⁴⁾	31.7 ± 5.5	32.0 ± 3.8	31.8 ± 4.7
Muscle mass (kg) ²⁾	16.8 ± 3.2	16.9 ± 2.3	16.8 ± 2.7
Body fat (%) ²⁾	18.9 ± 5.3	27.5 ± 7.5 ^{5)*}	23.1 ± 7.7

1) Mean ± SD

2) Measured by Inbody 620

3) Body weight (kg) / [Height (m)]²

4) Body weight (kg) - Fat mass (kg)

5) Significant difference between male and female was tested by Mann-Whitney test *: p<0.01

Table 5. Descriptive statistics for VO₂, EE and ActiGraph counts for eight activity trials. Comparison of measured MET_s with the values of FAO/WHO/UNU and Compendium child

Activity Trial	VO ₂ ¹⁾²⁾ (ml/kg/min)	EE ¹⁾³⁾ (kcal/min)	ActiGraph Counts (counts per minute)	MET _s		
				Measured in this study ¹⁾	FAO/WHO/UNU Child ⁴⁾	Compendium Child ⁵⁾
Lying down	5.88 ± 0.97 ^{6)abc)}	1.29 ± 0.16 ^a	0.00 ± 0.00 ^a	1.9 ± 0.4 ^c	1.5	1.2
Television viewing	5.84 ± 1.09 ^a	1.28 ± 0.21 ^a	0.27 ± 1.49 ^a	1.9 ± 0.4 ^c	1.5	1.2
Reading	6.00 ± 0.99 ^a	1.31 ± 0.20 ^a	0.28 ± 1.25 ^a	1.9 ± 0.4 ^c	1.5	1.3
Vacuuming	12.74 ± 2.28 ^b	2.76 ± 0.53 ^b	569.15 ± 487.96 ^b	4.0 ± 0.9 ^b	2.2	4.2
Slow walking ⁷⁾	16.38 ± 1.91 ^c	3.58 ± 0.38 ^c	1,120.82 ± 533.87 ^c	5.1 ± 0.9 ^c	3.1	3.6
Brisk walking ⁷⁾	21.98 ± 2.04 ^c	4.84 ± 0.52 ^c	2,506.30 ± 783.61 ^d	7.0 ± 1.1 ^c	–	5.6
Stair climbing	22.42 ± 2.06 ^d	4.98 ± 0.68 ^d	3,460.63 ± 644.86 ^e	7.1 ± 1.0 ^d	6.0	5.3
Running ⁷⁾	34.71 ± 3.54 ^e	7.80 ± 0.94 ^e	6,829.94 ± 858.00 ^f	11.1 ± 1.7 ^e	–	7.7

1) Measured by Cosmed K4b²
 2) VO₂: Oxygen consumption
 3) EE: Energy expenditure
 4) FAO/WHO/UNU (1985)
 5) Compendium Child MET_s by Ridley and Olds (2008)
 6) Mean ± SD
 7) Slow walking (2.5 mph), Brisk walking (3.5 mph), Running (5 mph)
 8) abc: Different superscripts indicate significant difference p<0.05 by Tukey's multiple comparison test

다 높은 MET_s 값을 보였다.

3. 가속도계의 다양한 추정식으로 예측한 에너지 소비량과 휴대용 무선 호흡가스 분석기로 측정한 에너지 소비량의 차이

본 연구에서 가속도계 추정식 (Freedson/Trost, Treuth, Pate, Puyau 및 Mattocks)을 이용하여 예측한 에너지 소비량과 휴대용 무선 호흡가스 분석기로 측정한 에너지 소비량의 차이는 Figure 1과 같다.

Freedson/Trost 등 [16]와 Treuth 등 [13]의 추정식의 경우 눕기, TV 보기, 책 읽기 활동을 수행하는 동안에 예측한 에너지 소비량은 무선 호흡가스 분석기로 측정한 에너지 소비량과 유의한 차이를 보이지 않았다. 그러나 진공청소기로 청소하기, 3가지 걷기 활동(2.5, 3.5, 5 mph) 및 계단 오르내리기는 예측치가 측정 에너지 소비량보다 유의하게 과소평가되었다(p<0.001).

Pate 등 [17]의 추정식의 정확도를 살펴보면 진공청소기로 청소하기와 트레드밀을 이용한 천천히 걷기(2.5 mph) 활동은 예측치와 측정 에너지 소비량 간에 유의한 차이를 나타내지 않았다. 그러나 눕기, TV 보기, 책 읽기, 트레드밀을 이용한 빨리 걷기(3.5 mph)와 달리기(5 mph) 및 계단 오르내리기는 예측치가 측정 에너지 소비량보다 유의하게 과대평가되었다(p<0.001).

Puyau 등 [18]의 추정식의 경우, 모든 활동에서 예측치가 측정 에너지 소비량과 유의한 차이를 나타냈다. 그중 눕기, TV 보기 및 책 읽기는 측정 에너지 소비량보다 유의하

게 과대평가되었으며 진공청소기로 청소하기, 트레드밀을 이용한 천천히 걷기(2.5 mph), 빨리 걷기(3.5 mph), 달리기(5 mph) 및 계단 오르내리기는 예측치가 측정치보다 유의하게 과소평가되었다(p<0.001).

Mattocks 등 [15]의 추정식은 트레드밀을 이용한 달리기(5 mph)를 제외한 7개 활동 모두에서 예측치가 측정치보다 유의하게 과소평가되었다(p<0.001).

4. 가속도계 추정식의 기준치에 따른 신체활동 강도 분류의 정확성

본 연구에서는 Freedson/Trost, Treuth, Pate, Puyau, Mattocks 및 Evenson 추정식의 기준치에 따른 신체활동 강도 분류의 정확성을 성별 또는 연령 집단(9~10세, 11~12세)에 따라 평가한 결과 유의한 차이가 없었다. 이에 본 연구에서는 SED, LPA, MPA 및 VPA에 대한 분류 정확도를 전체 표본에 대한 데이터로 사용하여 [8] 평가하였으며 그 결과는 Table 6에 제시하였다.

Sedentary activity (SED)의 분류 정확도는 5가지 추정식의 기준치가 모두 '정확(good)'하게 분류한다고 나타났다(ROC-AUC=0.83~0.89). 그중 Puyau의 ROC-AUC 값이 0.89로 가장 높았고, sensitivity(민감성, true-positive rate)는 100%로 나타났다.

Light activity (LPA)의 분류 정확도는 Pate의 ROC-AUC 값이 0.91로 '우수(excellent)'하게 분류한다고 나타났다. 반면에 Freedson/Trost, Treuth, Puyau, Mattocks 및 Evenson의 분류 기준치는 '부정확(poor)'하다고 나타

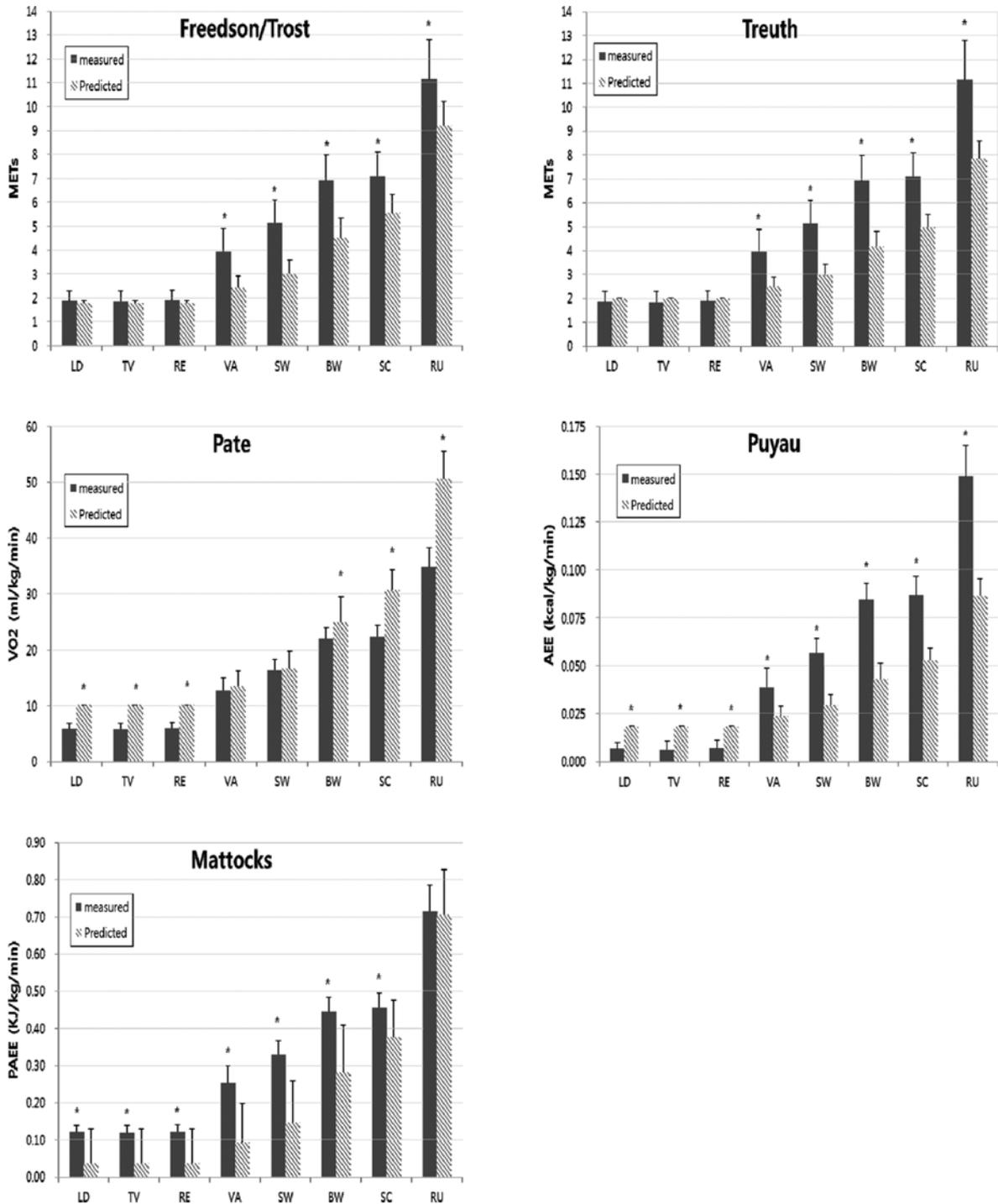


Figure 1. Comparison of predicted energy expenditure by ActiGraph with measured energy expenditure by K4b2.
 * Statistically significant ($p < 0.001$). (LD: Lying down, TV: Television viewing, RE: Reading, VA: Vacuuming, SW: Slow walking (2.5 mph), BW: Brisk walking (3.5 mph), SC: Stair climbing, RU: Running (5 mph)).

났다(ROC-VUC=0.32~0.52).

Moderate activity (MPA)의 분류 정확도는 6가지 추정 식 모두 '부정확(poor)'하게 분류한다고 나타났다(ROC-

AUC=0.47~0.68).

Vigorous activity (VPA)의 분류 정확도는 Pate의 ROC-AUC 값이 0.94로 우수(excellent)하게 분류한다

Table 6. Sensitivity, specificity, and area under the ROC curve (ROC^o@AUC) values for the classification of sedentary, light, moderate and vigorous activity

Equation	Sedentary activity			Light activity			Moderate activity			Vigorous activity			Moderate-Vigorous activity		
	Se ¹ %	Sp ² %	AUC (95%CI) ³	Se%	Sp%	AUC (95%CI)	Se%	Sp%	AUC (95%CI)	Se%	Sp%	AUC (95%CI)	Se%	Sp%	AUC (95%CI)
Freedson	100.0	66.2	0.83 (0.78-0.89)	17.8	67.1	0.42 (0.35-0.50)	26.5	83.9	0.55 (0.46-0.65)	41.9	100.0	0.71 (0.63-0.78)	60.0	100.0	0.80 (0.74-0.86)
Treuth	100.0	66.2	0.83 (0.78-0.89)	17.8	56.3	0.37 (0.30-0.44)	12.2	86.4	0.49 (0.40-0.58)	36.0	100.0	0.68 (0.60-0.76)	47.4	100.0	0.74 (0.68-0.80)
Pate	-	-	-	91.9	90.9	0.91 (0.87-0.96)	42.4	93.1	0.68 (0.59-0.76)	100.0	88.6	0.94 (0.92-0.97)	90.9	91.9	0.91 (0.87-0.96)
Puyau	100.0	78.8	0.89 (0.85-0.93)	28.6	75.1	0.52 (0.41-0.62)	30.2	80.2	0.55 (0.48-0.63)	5.7	100.0	0.53 (0.42-0.64)	49.6	100.0	0.75 (0.68-0.81)
Mattocks	100.0	66.2	0.83 (0.78-0.89)	17.8	46.8	0.32 (0.26-0.39)	4.1	88.9	0.47 (0.38-0.55)	29.1	100.0	0.65 (0.57-0.72)	36.3	100.0	0.68 (0.62-0.75)
Evenson	100.0	66.2	0.83 (0.78-0.89)	17.8	65.8	0.42 (0.35-0.49)	24.5	86.4	0.55 (0.46-0.65)	46.5	100.0	0.73 (0.66-0.81)	58.5	100.0	0.79 (0.74-0.85)

1) Se : Sensitivity

2) Sp : Specificity

3) AUC : area under curve, CI : confidence interval

고 나타났으며 6가지 추정식 중에서 유일하게 sensitivity (민감성, true-positive rate)가 100%로 나타났다. 그리고 Freedson/Trost 및 Evenson의 분류 기준치는 ‘보통 (Fair)’으로 나타났으며 Treuth, Puyau 및 Mattocks는 ‘부정확 (poor)’하게 분류한다고 나타났다(ROC-VUC=0.53~0.68).

Moderate-to-Vigorous activity(MVPA)의 분류 정확도를 살펴보면 Pate는 ROC-AUC값이 0.91로 Freedson/Trost, Treuth, Puyau, Evenson보다(ROC-AUC=0.74~0.80) ‘우수 (excellent)’하게 분류한다고 나타났다. 반면에 Mattocks의 기준치는 ‘부정확 (poor)’하게 분류한다고 나타났다(ROC-AUC=0.68).

Kappa statistics 분석 결과 Pate(0.72, 95% CI=0.70~0.74)의 기준치가 4가지 강도 수준 모두에 걸쳐 ‘상당한(substantial) 크기의 일치’로 나타났다. Puyau(0.37, 95% CI=0.35~0.39)의 기준치는 ‘어느 정도(fair)의 일치’로 나타났다. 반면 Freedson/Trost, Treuth 및 Evenson의 kappa 값은 각 0.12, 0.06 및 0.14로 ‘약간(slight)의 일치’로 나타났다.

고 찰

본 연구는 초등학교 운동선수를 대상으로 8가지 대표 신체활동의 에너지 소비량을 측정하고, 일반 어린이를 대상으로 개발된 가속도계 추정식을 이용하여 이들의 에너지 소비량 추정치와 각 추정식이 제안하는 신체활동 강도 기준치의 분류 정확도를 평가하고자 하였다.

지금까지 국내의 어린이 대상, 특히 운동선수의 에너지 소비량 관련 연구 결과의 부족으로 우리나라 어린이의 신체활동별 에너지 소비량 산출시, 외국의 측정 자료를 활용한다. 앞으로는 이와 같은 경우 본 연구에서 측정된 8가지 대표 신체활동의 에너지 소비량이 활용될 수 있을 것이다.

먼저, 본 연구 대상자의 8가지 대표 신체활동에 따른 MET_s 값과 타 연구에서의 MET_s 값을 비교하여 분석하였다. 본 연구 대상자의 MET_s 값이 FAO/WHO/UNU [27]에서 제시한 일반 어린이의 MET_s 값 및 Ridley & Olds [28]의 연구에서 산출된 어린이의 MET_s 값보다 진공청소기로 청소하기 활동을 제외한 나머지 7가지의 활동에서 모두 높게 나타났다. 특히 측정의 표준화가 가장 쉬운 놀기 활동은 1.9 MET_s로 FAO/WHO/UNU(1.5 MET_s) [27] 및 Ridley & Olds(1.2MET_s) [28]의 MET_s 값보다 높게 나타났다. 그러나 일반 어린이를 대상으로 한 Kim 등 [12]은 이들의 놀기 활동이 1.5 MET_s로 FAO/WHO/UNU [27]의

MET_s 값 (1.5)과 일치하는 결과를 보였다고 하였다. 이는 운동선수와 일반인 간에 산소 섭취량의 유의한 차이가 있음을 보고한 Yu & Lee [10]의 연구와 일치한 결과임을 알 수 있다. 따라서 일반 어린이를 대상으로 개발된 가속도계 추정식을 운동선수에게 적용 시 추정식의 정확성 검증이 이루어져야 한다.

가속도계를 이용하여 신체활동의 에너지 소비량과 강도를 예측하는 공식은 정확해야 한다. 따라서 가속도계의 추정식의 정확성을 검증하였을 때 Freedson/Trost, Treuth 추정식은 트레드밀을 기반으로 개발된 공식임에도 불구하고 트레드밀을 이용한 활동(2.5, 3.5, 5 mph)의 에너지 소비량을 정확하게 예측하지 못하였다. 또한 예술과 공예, TV 게임, 축구 및 공 게임 등 다양한 일상 활동을 포함하여 공식의 정확성을 높이고자 한 Puyau 추정식은 8가지 활동 모두에서 정확하게 예측하지 못하였다. 이는 Freedson/Trost, Treuth 및 Puyau의 추정식이 에너지 소비량을 예측 시 Schofield's의 추정식(Schofield 1985)을 사용하여 예측된 휴식대사량을 사용하였기 때문이라고 사료된다[8]. 휴식대사량은 신체 크기와 신체 조성에 의해 영향을 받으며 특히, 체지방량은 휴식대사량에 대하여 매우 큰 설명력(R² > 60%)을 보인다[29, 30]. 그럼에도 불구하고 본 연구에서 사용한 Schofield's 공식은 연령, 성별 및 체중을 고려한 것이므로 일반인에 비해 체지방량이 유의하게 높은 운동선수에게 적용 시 오차가 있을 것으로 사료된다[8]. 또한 국내의 운동군과 비운동군 고등학생의 예측 휴식대사량을 연구한 Kim 등 [4]의 연구에서는 운동군이 비운동군보다 체지방량이 유의하게 높음에도 불구하고 휴식대사량 추정식 대부분이 유의하게 높게 예측하지 못한다고 나타났다. 이를 토대로 추후 운동선수를 대상으로 신체활동의 에너지 소비량 및 활동 강도 추정을 위한 가속도계의 정확도 검증을 할 경우, 휴식대사량을 직접 측정하는 것이 보다 더 정확한 에너지 소비량을 산출할 수 있을 것으로 사료된다.

Pate 추정식은 고강도 활동에서 예측치가 유의하게 과대 평가되었는데 국내에서 10~13세 어린이를 대상으로 한 Lee [31] 연구에서도 고강도 활동 시 예측치가 과대평가된 바 있다. 앞서 Sirard 등 [32]은 연령과 신장 및 다리길이가 수직 가속도에 영향을 미칠 가능성이 있으며 이러한 물리적 특성이 가속도계에 미치는 영향에 대하여 추가 조사가 필요하다고 언급하였다. 이를 근거로 Pate 추정식이 3~5세 미취학 아동을 대상으로 개발됐고, 본 연구 대상자의 평균 신장(145.5 ± 8.1 cm)이 Pate 등 [17]의 연구 대상자의 평균 신장(105.4 ± 6.7 cm)보다 약 40 cm가 큰 것과 관련이 있을 수 있다. 그러나 8가지 대표 신체활동 중에서 일상 활동(진공청

소기로 청소하기, 계단 오르내리기)을 정확하게 예측한 유일한 공식이다.

이상의 결과들로 미루어 보건대 가속도계의 각 추정식이 8가지 대표 신체활동의 에너지 소비량을 허용 가능한 수준에서 정확하게 예측하고 있지 못함을 알 수 있었다. 또한, Puyau 추정식은 모든 활동에서 에너지 소비량을 정확하게 예측하지 못하였고, 모든 추정식이 트레드밀을 이용한 빨리 걷기(3.5 mph)와 계단 오르내리기 활동의 에너지 소비량을 정확하게 예측하지 못하였다. 따라서 가속도계 추정식을 이용하여 어린이 운동선수의 대표 신체활동 또는 일일 에너지 소비량을 예측하고자 하는 경우 대상자의 연령, 신체활동 유형 및 가속도계의 자료 수집 주기 등이 고려되어야 할 것이다.

한편, 운동선수의 적절한 에너지 섭취량을 제안하기 위해서는 정확한 에너지 소비량을 측정해야 하는데 이는 휴식대 사랑에 신체활동 수준(PAL)을 곱하여 계산된다. 따라서 정확한 신체활동 수준의 평가를 위하여 가속도계의 산출 단위인 counts를 적절한 신체활동 강도로 분류하는 것이 필요하다. 본 연구에서의 sedentary activity (SED) 분류 정확도는 모든 추정식의 기준치가 ‘정확(good)’ 또는 ‘우수(excellent)’하게 분류하는 것으로 나타났으며 이는 Trost 등 [8]의 연구결과와 일치한다. 그중 Puyau의 기준치(< 800 counts per minute)가 가장 높은 정확도를 보였다.

반면에 모든 가속도계 추정식의 기준치가 Moderate activity (MPA)에서는 낮은 분류 정확도를 나타냈고, Light activity (LPA), Vigorous activity (VPA) 및 Moderate to Vigorous activity (MVPA)에서는 오직 Pate의 기준치만이 ‘우수(excellent)’하게 분류하였다. LPA 강도에서 Pate를 제외한 나머지 추정식의 낮은 분류 정확도는 허리 장착 가속도계가 진공청소기로 청소하기와 같은 비유동성인 활동의 에너지 비용을 과소평가하는 경향을 반영한다[8]. 이러한 문제점은 허리 장착 가속도계와 다른 모니터 장치를 결합하는 방법 등을 통하여 보완해야 한다고 판단되며 이는 추후 어린이를 대상으로 한 연구를 통하여 타당성이 검증되어야 할 것이다.

본 연구에서는 Freedson/Trost가 Puyau의 기준치보다 VPA, MVPA에서 더 정확하게 신체활동 강도를 분류한다고 나타났으며 이는 Trost 등 [7]와 Trost 등 [8]의 연구결과와 일치하다. Trost 등 [7]은 어린이를 대상으로 4가지 속도의 걷기 활동(트레드밀)을 통한 가속도계 추정식의 정확도를 검증한 결과, 평균적으로 MVPA에서는 Freedson 추정식은 걸거나 달릴 때 예측한 에너지 소비량이 측정된 소비량보다 약 13% 정도 과대평가한다고 나타났고, 반면에 Puyau 추정식은 예측치가 측정치보다 33% 정도 과소평가

한다고 나타났다.

한편, SED, LPA, MVP 및 VPA를 kappa 분석한 결과 오직 Pate의 기준치가 4가지 강도 수준 모두에 걸쳐 ‘상당한(substantial) 크기의 일치’로 나타났다. Pate 등 [17]은 ActiGraph의 counts 값이 어린이의 VO_2 와 매우 밀접하게 관련되어 있다고 보고하였으며 또한 어린이가 자유로운 활동 시 측정된 VO_2 와 가속도계의 counts 값으로부터 예측한 강도의 분류가 정확하다고 하였다. 따라서 어린이 운동선수의 신체활동 강도를 분류할 때는 Pate 추정식의 기준치를 사용하는 것을 권장할 수 있다. 그러나 Pate 추정식이 제안하는 신체활동 기준치에는 SED의 기준치가 제시되지 않아 이 부분은 추후 연구를 통한 개발이 필요하다고 사료된다.

본 연구에는 몇 가지 제한점이 있다. 첫째는 측정된 활동의 수가 제한적이고, 비 구조화된 활동을 측정하지 못한 점이다. 연구 대상자는 표준화된 8가지 대표 신체활동을 수행하였는데 이러한 방법으로는 어린이 운동선수의 자유로운 활동을 정확하게 반영하기 어렵다. 실제로 가속도계를 이용한 어린이 추정식의 유효성을 검증한 Crouter 등 [33]은 약 2 시간에 걸쳐 자유 생활 중의 활동을 측정할 바 있다. 따라서 향후 자유로운 환경 속에서의 에너지 소비량 예측 추정식과 신체활동 강도 기준치의 정확성을 평가하는 추가적인 연구가 필요하다.

둘째로 본 연구에서 REE을 직접 측정하지 않고 Schofield's 공식을 이용하여 산출한 값을 사용하였다. Schofield's 공식은 Pulsford 등 [23]에 의해 이미 정확성이 검증되었고, Trost 등 [8]은 이를 사용하여 가속도계의 추정식을 검증한 바 있다. 이를 토대로 본 연구에서는 Schofield's 공식을 사용하여 어린이의 REE를 예측하여 자료로 사용하였다[22]. 그러나 이를 이용하여 산출된 에너지 소비량 단위(MET_s , AEE)에 오차가 있을 수 있다.

그럼에도 불구하고 본 연구는 첫째 국내에서 초등학교 운동선수를 대상으로 신체활동을 통한 에너지 소비량을 측정하고 이들을 대상으로 가속도계의 정확성을 검증한 거의 첫 번째 연구이다. 둘째로 개인의 신체활동에 소비되는 에너지 측정 시 휴대용 무선 호흡가스 분석기를 준거도구로 사용했다는 것이다. 이는 일부 유효성 연구에서 신체활동 강도와 기준치를 설정하고자 하는 경우 직접 관찰에 의존하고 있음을 고려할 때[34] 에너지 소비량의 정확한 추정을 결정하는 중요한 연구 설계이다.

결론적으로 일반 어린이를 대상으로 개발된 가속도계 추정식은 어린이 운동(축구) 선수의 8가지 대표 신체활동의 에너지 소비량을 정확하게 예측하지 못하였다. 그러나 Pate의 신체활동 강도 기준치는 LPA, VPA, MVPA를 우수하게 분

류하였으며, 유일하게 일상 활동(청소하기, 계단 오르내리기)의 에너지 소비량을 정확하게 예측하였다. 따라서 본 연구 결과를 토대로 국내 초등학교 운동선수의 신체활동 강도를 분류 시 Pate의 기준치를 사용하여 분류할 것을 권장한다.

또한 일반인과 운동선수의 에너지 소비량의 차이는 이미 알려진 바 있다. 따라서 앞으로 어린이 운동선수를 대상으로 한 가속도계 추정식 개발 및 추가 검증 연구가 필요할 것이며 본 연구 결과는 그에 대한 기초자료로 활용될 수 있을 것이다.

요약 및 결론

본 연구는 강릉시에 위치한 초등학교 내 축구부 운동선수 총 31명(남아 16명, 여아 15명)을 대상으로 준거도구인 휴대용 무선 호흡가스분석기와 가속도계를 이용하여 8가지 대표 신체 활동량을 측정하였다. 또한 가속도계를 이용한 다양한 추정식으로 예측한 에너지 소비량과 신체활동 강도 기준치(cut off point)의 정확성을 검증하고자 하였다.

1) 연구 대상자의 8가지 대표 신체활동에 따른 MET_s 값(휴대용 무선 호흡가스 분석기)을 FAO/WHO/UNU [27] 및 Ridley & Olds [28] 연구에서 제시한 외국의 일반 어린이 MET_s 값과 비교한 결과 ‘진공청소기로 청소하기’ 활동을 제외하 나머지 7가지의 활동에서 모두 높게 나타났다.

2) Puyau 추정식을 제외한 나머지 추정식은 적어도 한 개 이상의 활동에서 에너지 소비량을 정확하게 예측하였다. 그러나 가속도계 각 추정식으로 산출한 8가지 대표 신체활동의 에너지 소비량은 허용 가능한 수준의 정확도로 예측하지는 못하였다.

3) 가속도계 각 추정식이 제안하는 cut off point로 활동 강도 분류 시 정확도를 살펴보면 SED는 Puyau의 기준치(< 800 counts per minute)가 ‘우수(excellent)’하게 분류한다고 나타났고, MPA에서는 모든 가속도계의 기준치가 낮은 분류 정확도를 나타냈다. 반면, LPA, VPA, MVPA에서는 오직 Pate 추정식의 기준치만이 ‘우수(excellent)’하게 분류하였다.

4) SED, LPA, MVP 및 VPA를 kappa 분석한 결과, 오직 Pate의 기준치가 7가지 강도 수준 모두에 걸쳐 ‘상당한(substantial)크기의 일치’로 나타났다.

본 연구 결과를 토대로 외국에서 개발된 가속도계의 추정식 중에서 에너지 소비량 정확하게 예측한 공식은 없었으며, Pate 추정식이 국내 어린이 운동선수의 신체활동 강도 분류 시 적용 가능하다고 사료된다. 또한 향후 어린이 운동선수를 대상으로 적용 가능한 가속도계 추정식이 개발되어야 할 것이다.

References

1. American college of sports medicine, American dietetic association, Dietitians of Canada. Nutrition and athletic performance. *Med Sci Sports Exerc* 2000; 32(12): 2130-2145.
2. Ahn NY, Kim KJ. Effects of health education for the nutrient intakes and eating habits in youth athletes. *J Coaching Dev* 2011; 13(1): 277-282.
3. Loucks AB. Energy balance and body composition in sports and exercise. *J Sports Sci* 2004; 22(1): 1-14.
4. Kim EK, Kim GS, Park JS. Comparison of activity factor, predicted resting metabolic rate, and intakes of energy and nutrients between athletic and non-athletic high school students. *J Korean Diet Assoc* 2009; 15(1): 52-68.
5. Rowlands AV, Thomas PWM, 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.
6. Boyd LJ, Ball K, Aughey RJ. The reliability of MinimaxX accelerometers for measuring physical activity in Australian football. *Int J Sports Physiol Perform* 2011; 6(3): 311-321.
7. Trost SG, Way R, Okely AD. Predictive validity of three ActiGraph energy expenditure equations for children. *Med Sci Sports Exerc* 2006; 38(2): 380-387.
8. 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.
9. Kim DY. Reliability and validity of the Korean version of the multimedia activity recall for children and adolescents [dissertation]. Graduate School of Korea National Sport University; 2010.
10. Yu JH, Lee SM. The effects of regular resistive exercise on cardiopulmonary ability and cerebral blood flow velocity. *J Korean Soc Phys Med* 2010; 5(2): 255-264.
11. Wixted AJ, Thiel DV, Hahn AG, Gore CJ, Pyne DB, James DA. Measurement of energy expenditure in elite athletes using MEMS-based triaxial accelerometers. *IEEE Sens J* 2007; 7(4): 481-488.
12. 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.
13. Treuth MS, Schmitz K, Catellier DJ, McMurray RG, Murray DM, Almeida MJ et al. Defining accelerometer thresholds for activity intensities in adolescent girls. *Med Sci Sports Exerc* 2004; 36(7): 1259-1266.
14. 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.
15. Mattocks C, Leary S, Ness A, Deere K, Saunders J, Tilling K et al. Calibration of an accelerometer during free-living activities in children. *Pediatr Obes* 2007; 2(4): 218-226.
16. Freedson P, Pober D, Janz KF. Calibration of accelerometer output for children. *Med Sci Sports Exerc* 2005; 37(11): 523-

- 530.
17. Pate RR, Almeida MJ, McIver KL, Pfeiffer KA, Dowda M. Validation and calibration of an accelerometer in preschool children. *Obesity* 2006; 14(11):2000-2006.
 18. Puyau MR, Adolph AL, Vohra FA, Butte NF. Validation and calibration of physical activity monitors in children. *Obesity* 2002; 10(3): 150-157.
 19. Evenson KR, Catellier D, Gill K, Ondrak K, McMurray RG. Calibration of two objective measures of physical activity for children. *J Sports Sci* 2008; 26(14): 1557-1565.
 20. Strath SJ, Bassett Jr DR, Thompson DL, Swartz AM. Simultaneous heart rate-motion sensor technique to estimate energy expenditure. *Med Sci Sports Exerc* 2001; 33(12): 2118-2123.
 21. Rosenberger ME, Haskell WL, Albinali F, Mota S, Nawyn J, Intille S. Estimating activity and sedentary behavior from an accelerometer on the hip or wrist. *Med Sci Sports Exerc* 2013; 45(5):964-975.
 22. Schofield WN. Predicting basal metabolic rate, new standards and review of previous work. *Hum Nutr Clin Nutr* 1985; 39(1): 5-41.
 23. Pulsford RM, Cortina-Borja M, Rich C, Kinnafick FE, Dezateux C, Griffiths LJ. Actigraph accelerometer-defined boundaries for sedentary behaviour and physical activity intensities in 7 year old children. *PLoS ONE* 2011; 6(8): e21822.
 24. Metz CE. Basic principles of ROC analysis. *Semin Nucl Med* 1978; 8(4):283-298.
 25. Obuchowski NA. Receiver operating characteristic curves and their use in radiology. *Radiology* 2003; 229(1): 3-8.
 26. Landis JR, Koch GG. The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics* 1977; 33(1): 159-174.
 27. Energy and protein requirements. Report of a joint FAO/WHO/UNU expert consultation. *World Health Organ Tech Rep Ser* 1985; 724: 1-206.
 28. Ridley K, Olds TS. Assigning energy costs to activities in children: a review and synthesis. *Med Sci Sports Exerc* 2008; 40(8): 1439-1446.
 29. Weyer C, Snitker S, Rising R, Bogardus C, Ravussin E. Determinants of energy expenditure and fuel utilization in man: effects of body composition, age, sex, ethnicity and glucose tolerance in 916 subjects. *Int J Obes Relat Metab Disord* 1999; 23(7): 715-722.
 30. Bosy-Westphal A, Kossel E, Goele K, Later W, Hitze B, Settler U et al. Contribution of individual organ mass loss to weight loss-associated decline in resting energy expenditure. *Am J Clin Nutr* 2009; 90(4):993-1001.
 31. Lee MH. Accuracy of accelerometer cut-points for estimating physical activity intensity for children. *Korean J Meas Eval Phys Educ Sports Sci* 2014; 16(2): 13-26.
 32. 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.
 33. Croute SE, Horton M, Bassett DR. Validity of ActiGraph child-specific equations during various physical activities. *Med Sci Sports Exerc* 2013; 45(7): 1403-1409.
 34. Pfeiffer KA, Schmitz KH, McMurray RG, Treuth MS, Murray DM, Pate RR. Variability in energy expenditure of selected activities in adolescent girls. *Am J Prev Med* 2006; 31: 328-331.