

단일 3축 가속도센서를 사용한 보행 시 대사에너지 예측

이희영¹ · 김승현¹ · 이동엽¹ · 박선우¹ · 김영호²

¹연세대학교 대학원 의공학과, 연세의료공학연구원, ²연세대학교 보건과학대학 의공학과, 연세의료공학연구원

Prediction of Energy Expenditure by Using a Tri-axial Accelerometer

Hee-Young Lee¹ · Seung-Hyeon Kim¹ · Dong-Yeop Lee¹ · Sun-Woo Park¹ · Young-Ho Kim²

¹Department of Biomedical Engineering & Institute of Medical Engineering, Graduate School of Yonsei University, Wonju, Korea

²Department of Biomedical Engineering & Institute of Medical Engineering, College of Health Sciences, Yonsei University, Wonju, Korea

Received 15 February 2011; Received in revised form 7 March 2011; Accepted 21 June 2011

ABSTRACT

The purpose of this study was to compare metabolic energy expenditure with the computed kinetic energy for different speeds of walking and running over the treadmill and to find the relevance for individual and group equation by performing a statistical analysis, Bland-Altman plot. Seven male subjects participated, and they were required to walk and run on the treadmill with the gas analyzer and triaxial accelerometer. Walking speeds were 3.0, 4.0, 5.0 and 6.0 km/h and running speeds were 7.0, 8.0 and 9.0 km/h respectively. Kinetic energy was calculated by the integration of acceleration data and compared with the metabolic energy measured by a gas analyzer. Correlation coefficients showed relatively good between the measured metabolic energy and the calculated kinetic energy. In addition, a dramatic increase in kinetic energy was also observed at the transition speed of walking and running, and two standard deviations in Bland-Altman plot, derived from the difference between measured and predicted values, were 1.14, 2.53, 2.93, 1.80, 2.80, 0.60 and 2.48 respectively. It was showed that there is no difference for methods of how to predict the kinetic energy expenditure for individual and group even though people had each different physical characteristic.

Keywords : Energy Expenditure, Walking, Running, Correlation Coefficient, Bland-Altman Plot

I. 서론

최근 우리나라 10대 이상 남녀의 30.5%가 체질량지수(body mass index, BMI)가 25.0이상인 비만으로 나타났으며(National Health Insurance Corporation, 2008), 비만은 당뇨, 고혈압, 고지혈증 등의 대사관련 질병의 발병 가능성을 높이는 가장 큰 원인으로 밝혀지고 있다(Anderssen & Hjermann, 2000). 잘못된 생활양식과 신체활동의 부족에 따른 비만이 대사관련 질병 등에 중

요한 영향을 미친다는 것이 알려짐에 따라 규칙적인 신체활동을 권장하고, 또한 신체활동이 중요한 요소로 인식되며 이에 관한 연구가 다양한 측면에서 수행되고 있다.

과학기술이 발달하면서 신체활동과 에너지 소모량을 용이하게 측정할 수 있는 도구가 개발되어왔다. 일반적으로 에너지 소모량을 측정하는 방법으로 호흡가스 분석기를 활용하여 심폐능력을 정밀하게 측정된 후 최대운동능력을 고려하여 트레드밀(treadmill)을 활용한 운동이 이루어지는데, 호흡가스 분석기는 고가이고 에너지 소모량을 측정할 때 마스크를 착용해야 하므로 휴대하기 어렵다는 단점을 가지고 있다. 따라서 크기가 작고 휴대 가능한 도구를 개발하기 위해 다양한 센서를 인간의 몸에 고정시켜 움직임을 감지하여 에너지 소모량을 측정하는 기술이 제안되고 있다(Song, 2005). 그 중 가속도 센서는 센서의 출력 값과 에너지 소모량 사이에 밀접한 관계가 증명된 것에

본 논문은 중소기업청(SMBA)의 기업부설연구소 설치 지원사업(00039631)과 지식경제부와 한국산업기술진흥원의 지역산업기술개발사업(70011192)으로 수행된 연구결과임.

Corresponding Author : Young-Ho Kim
R204 Medical Industry Techno Tower, Yonsei University,
234 Maeji, Heun-gup, Wonju, Korea
Tel : +82-33-760-2859 / Fax : +82-33-760-2806
E-mail : younghokim@yonsei.ac.kr

기반하여 운동량을 측정하기 위한 가장 적합한 센서로 알려져 있으며, 수 십 년 동안 움직임 연구하는데 사용되어 왔다.

에너지 소비량에 대한 연구들을 살펴보면 Kang, Choi, Mun과 Tack(2008)은 속도에 따른 걷기와 뛰기 시 측정되는 가속도 축 방향과 에너지 소비량 간의 상관관계에 대해, 모든 축 방향(x축, y축, z축, xy축, xz축, yz축, xyz축) 중에서 xyz축의 값(signal vector magnitude, SVM)이 에너지 소비량과의 상관관계가 가장 높고, 성별, BMI, SVM을 이용한 다중회귀식을 통해 에너지 소비량을 예측하는데 있어서 걷는 동작이 달리는 동작보다 높은 상관관계를 보인다고 보고하였다. 또한, Kang, Choi, Mun, Bang과 Tack(2009)은 가속도 센서의 부착위치에 따른 회귀식을 통하여 에너지 소비량의 예측에 있어서, 허리에 부착하는 것이 발등에 부착하는 것보다 상관관계가 높다고 보고하였다. Crouter, Clowers와 Bassett(2005)은 앉아서 하는 일부러 활발한 운동 등을 포함한 일상생활에서의 에너지 소모량을 예측하기 위해 10초당 변동계수(coefficient of variation, CV)에 따라 다양한 조건으로 METs를 예측하는 새로운 모델을 제시하였고, 기존에 연구되었던 Freedson, Swartz, Hendelman Lifestyle equation과 같은 단일 회귀식보다 에너지 소비량 예측이 정확하다고 결론을 내었다. Nilsson et al.(2008)는 가속도 성분의 피크 수를 측정하여 기존의 에너지 소모량을 추정하는 식들로부터 예측하는 에너지 소모량의 차이점을 비교 분석한 결과 에너지 소모량에 대한 유의한 차이는 없는 것으로 확인되었다. Chen과 Sun(1997)은 열량계(calorimeter)를 이용하여 측정한 에너지 소모량과 하나의 가속도 센서를 이용하여 선형 방정식과 비선형 방정식을 통한 에너지 소모량을 비교하는 연구하여 가속도 센서와 열량계의 에너지 소모량에 대해서 수면시간을 제외한 모든 행동에서 유의한 상관관계가 있음을 확인하였다. Leenders, Nelson과 Sherman(2002)은 accelerometer, motion detector, pedometer를 이용하여 1분당 counts에 따른 에너지 소모량을 예측하였고, 각 장비들의 에너지 소모량 예측의 오차 범위에 대해 Bland-Altman을 수행하여 차이가 없음을 확인하였다. 선행연구에서는 여러 가속도 센서를 이용하여 에너지 소모량을 추정하였으나, 이는 실용성보다는 정확성에 초점이 맞추어져 다양한 응용이 제한적이다. 특히, 가속도 센서의 위치가 멀리 떨어져 있는 경우 유선 처리 문제를 피할 수 없으므로 일상생활에서의 응용에는 적절하지 않을 수 있다.

따라서 본 연구에서는 간편한 에너지 모니터링 시스템 개발에 앞서 한 개의 3축 가속도 센서를 사용하여 보행 시 대사에너지를 예측하고자 하였다. 이를 위해 트레드밀 위에서 걷기와 뛰기 시 획득된 가속도 신호와 대사에너지의 비선형회귀분석을 수행하였고, 회귀방정식을 이용하여 예측된 대사에너지와 실험 시 획득한 대사에너지의 차이를 이용하여 개인별 추정식과 집단별 추정식을 Bland-Altman 도표 분석을 이용하여 판단하고자 하였다.

II. 연구 방법

1. 실험 대상

비정상적인 보행이나 나이차에 따른 에너지 소모량의 변화를 최소화하기 위해 질병이나 상해가 없고 정상적 보행을 하는 건강한 20대 남성 7명의 피검자를 선정하였다. 피검자들의 평균 연령은 25.4±0.8 year, 신장 170.9±5.6 cm, 체중 70.6±10.7 kg, BMI 24.0±3.4이다(Table 1).

Table 1. Subject parameters

Subject (n=7)	Age(years)	Height(cm)	Weight(kg)	BMI
A	25	173	60	20.1
B	25	176	73	23.9
C	25	173	75	23.6
D	25	177	82	26.3
E	26	162	53.6	20.4
F	25	170	68.9	23.8
G	27	165	82	30.1
<i>Mean</i>	25.4	170.9	70.6	24.0
<i>SD</i>	0.8	5.6	10.7	3.4

2. 실험 장비

외부 환경에 간섭을 받지 않도록 동작분석 실험실에서 실험을 시작하기 전에, 호흡가스 분석기의 사용 준비 과정에서 압력, 부피, 가스를 보정한 후 실험을 진행하였다. 3축 가속도센서(CXL02LF3, Crossbow Technologies, Canada)를 양측 후상장골극(posterior superior iliac spine, PSIS)의 중간 지점에 부착하고 호흡가스 분석기(Metamax 3X, Cortex Biophysik GmbH Co., Germany)를 착용한 후 트레드밀(Gaitway, HP Cosmos, Germany) 위에서 피검자의 보행을 진행하였다. 가속도 센서를 후상장골극에 부착한 것은 체중심의 움직임을 보고자 했다. 3축 가속도 센서는 ±25 g의 민감도를 가지는 것을 사용하였고, 데이터는 LabVIEW(National Instruments Inc., USA) 프로그램을 이용해서 50 Hz의 샘플링율(sampling rate)로 저장되었다(Figure 1).

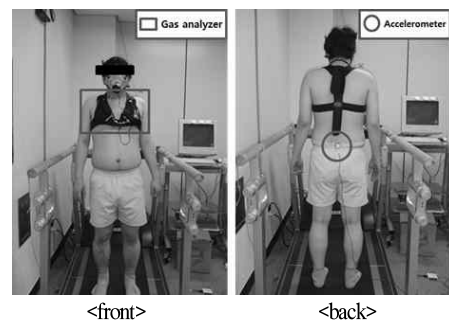


Figure 1. Experimental equipments

3. 실험 방법

실험 실시 30분 전, 피검자들에게 실험에 관한 설명과 함께 최대한 안정을 유지하도록 요구하였다. 이후, 실험 장비를 착용한 후 트레드밀 위에서 걷기와 뛰기 동작을 수행하였고, 피검자로 하여금 3 km/h, 4 km/h, 5 km/h, 6 km/h에서 걷고, 7 km/h, 8 km/h, 9 km/h에서 뛰도록 지시하였다. 운동의 누적효과를 줄이기 위해서 속도를 임의의 순서대로 선정하였고, 서로 다른 날에 각각 3회 수행하였다. 실험 순서는 보행 시작 전 1분의 워밍업 시간과 5분의 보행 시간과 보행 완료 후 1분의 쿨다운 시간으로 구성되었으며(Figure 2), 매 실험 트라이얼의 소요 시간인 7분 동안 호흡가스 분석기와 가속도 센서에서 동시에 신호를 받았다. 하나의 실험 트라이얼이 끝나면 충분한 휴식을 통해 심박 수가 안정되었음을 확인한 후에 다른 속도의 실험을 실시하였다(Kang, 2009).

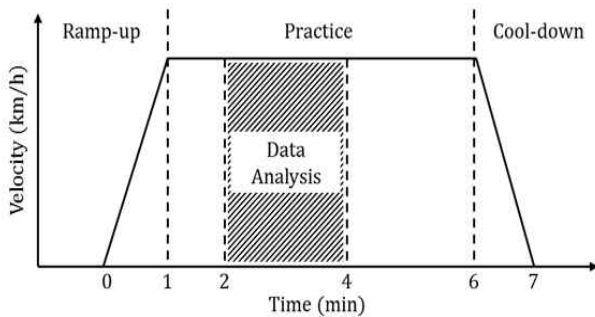


Figure 2. Procedure of experiment

4. 분석 방법

호흡가스 분석기를 데이터 획득 구간 중 5분 동안의 보행 시간을 추출하였고, 그 중 운동시작 후 불안정한 에너지 소모도 수치에 따른 오차를 줄이기 위해 VO_2 , VCO_2 가 정상상태(steady-state)인 구간 2분을 데이터 분석에 이용하였다(Traballesi, Porcaccia, Averna & Brunelli, 2008). 호흡가스 분석기에서 10초마다 하나의 값을 출력하는 일일 에너지 소모량(kcal/day) 값을 운동에너지와의 비교를 위해 kcal로 변환하였다. 가속도 센서에서 측정되는 원 데이터를 저역필터에 통과시키고 DC 성분을 0으로 오프셋 한 후, 3축의 가속도 성분을 합성벡터의 크기(signal vector magnitude, SVM)를 이용하여 하나의 가속도 성분으로 나타냈다(Choi, 2006). 이를 심프슨 공식(Simpson's rule)으로 적분을 해서 속도 성분을 얻었다. 적분 과정에서 발생하는 적분상수는 실험 시작 전 정적 상태에서 측정하였던 오프셋 값을 이용하여 고려하였다. 이렇게 얻은 시간에 따른 속도 성분은 피검자의 몸무게를 고려한 운동방정식을 통해 운동에너지(J)로 계산하였다. 마지막으로, 분석 구간으로 사용한 2분 동안의

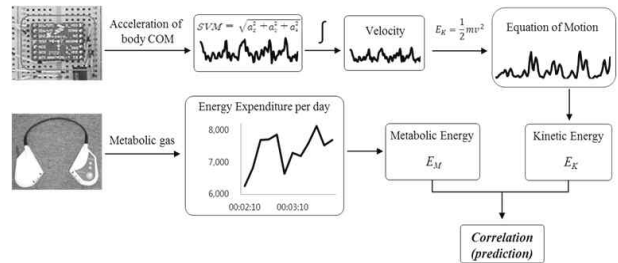


Figure 3. Process to predict the energy expenditure

시간에 따른 에너지 소모량을 모두 더하여 각각 3~9 km/h에 대한 값으로 나타내었다(Figure 3). 이를 이용하여 피검자의 특성을 고려한 개인별 회귀방정식과 고려하지 않은 집단별 회귀방정식을 도출하고, 두 에너지 소모량 간의 상관관계를 분석하였다. 또한 회귀방정식을 이용하여 예측된 대사에너지 소모량과 실험 시 획득한 대사에너지 소모량의 차이를 이용한 개인별 에너지 추정식(방법 1)과 집단별 에너지 추정식(방법 2)에 대해 Bland-Altman 도표를 이용하여 통계적으로 비교 분석하였다(Bland & Altman, 1986).

III. 결 과

1. 속도별 운동에너지와 대사에너지의 분포

운동에너지 소모량을 보면, 걷기에서는 3 km/h에서 0.29 ± 0.18 kcal, 4 km/h에서 0.42 ± 0.17 kcal, 5 km/h에서 0.64 ± 0.22 kcal, 6 km/h에서 1.16 ± 0.56 kcal로 계산되었고, 뛰기에서는 7 km/h에서 4.65 ± 1.18 kcal, 8 km/h에서 5.52 ± 1.58 kcal, 9 km/h에서 6.26 ± 1.27 kcal로 계산되었다. 이에 호흡가스 분석기에서 측정된 대사에너지 소모량을 보면, 걷기에서는 3 km/h에서 7.46 ± 1.36 kcal, 4 km/h에서 8.27 ± 1.70 kcal, 5 km/h에서 9.96 ± 1.85 kcal, 6 km/h에서

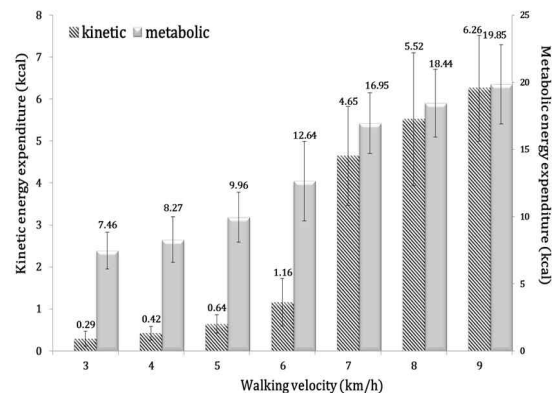


Figure 4. Comparison of energy expenditure in various speed with walking and running

12.64±2.97 kcal로 측정되었고, 뛰기에서는 7 km/h에서 16.95±2.26 kcal, 8 km/h에서 18.44±2.52 kcal, 9 km/h에서 19.85±2.95 kcal로 측정되었다(Figure 4). 측정된 대사에너지 소모량은 속도의 증가에 따른 변화량이 크지 않은 반면, 계산된 운동에너지 값은 걷기 동작인 3~6 km/h과 뛰기 동작인 7~9 km/h이 차이가 있을 수 있으며, 걷기(6 km/h)에서 뛰기(7 km/h)로 바뀌는 과도기에서 운동에너지 값이 급증하는 것을 보였다(Menier, 1968).

2. 개인별 및 집단별 운동에너지와 대사에너지의 상관관계

<Figure 5-(a)> 는 7명의 피검자 개인별 속도에 따른 운동에너지와 대사에너지의 상관관계를 나타내고 있다. 피검자 A(좌상)부터 피검자 G(우하)의 그래프에서 운동에너지와 대사에너지 사이의 회귀계수 및 상관계수를 보면, A는 약 3.084와 0.930, B는 약 5.177과 0.936, C는 약 3.115와 0.869, D는 약 2.860과 0.896, E는 약 4.465와 0.860, F는 약 3.463과 0.854, G는 약 1.364와 0.799를 보였다.

<Figure 5-(b)> 는 피검자의 구분 없이 속도에 따른 운동에너지와 대사에너지의 상관관계를 나타내고 있다. 운동에너지와 대사에너지 사이의 회귀계수 및 상관관계를 보면 약 3.489와 0.788을 보였다.

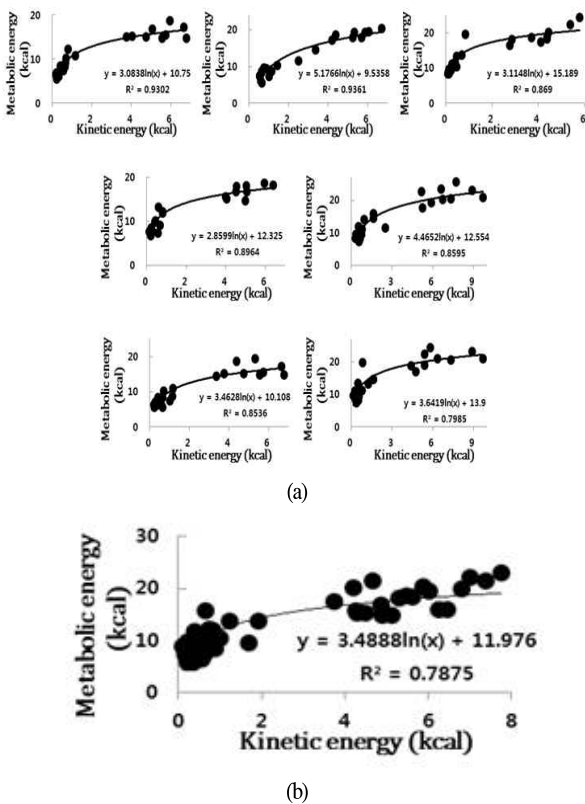


Figure 5. Correlation between the kinetic energy and metabolic energy with computed from (a) the individual's equations and (b) one equation included whole data

3. 개인별 및 집단별 에너지 추정 방법

앞에서 언급한 바와 같이 <Figure 5-(a)> 와 <Figure 5-(b)>는 가속도 센서로부터 계산된 운동에너지 소모량을 이용하여 대사 에너지 소모량을 추정하는 회귀식을 나타내고 있다. 각 피검자에 대해, 가속도 센서로부터 계산된 운동에너지 값을 개인별 에너지 소모량 추정식과 집단별 에너지 소모량 추정식에 대입하여 추정식에 의한 대사에너지 값을 구하였다. 이 값과 측정된 대사에너지와의 차이를 Bland-Altman 도표 분석에 쓰이는 값으로서 나타내었다(Table 2).

또한 <Table 2>와 같이 운동에너지에 대한 개인별 및 집단별 대사에너지 추정식의 차이 값을 이용한 개인별 에너지 소모량 추정식과 집단별 에너지 소모량 추정식의 방법 비교를 위해 Bland-Altman 도표 분석한 결과, 차이의 2 표준편차(mean difference±2SD)가 각각 1.14, 2.53, 2.93, 1.80, 2.80, 0.60, 2.48을 보였다(Figure 6).

Table 2. Difference from prediction equation about kinetic energy expenditure for individual and group

Subject	Range(kcal)			
	Difference with kinetic energy expenditure		Average (Individual + Group)/2	Difference (Individual - Group)
	Individual	Group		
A	0.02-1.21	0.61-2.76	0.32-1.81	(-1.98)-(-0.59)
B	0.06-2.75	0.44-4.31	0.25-3.53	(-3.38)-0.01
C	0.55-1.85	1.01-5.23	1.36-3.54	(-4.05)-0.70
D	0.00-1.42	0.10-1.79	0.33-1.35	(-1.52)-0.99
E	0.10-1.31	0.15-3.88	0.14-2.60	(-2.58)-0.00
F	0.15-0.69	1.47-2.60	0.93-1.65	(-1.86)-(-1.07)
G	0.80-2.05	0.26-3.31	0.86-2.20	(-2.22)-1.80

Note. The variables in the brackets indicate negative values

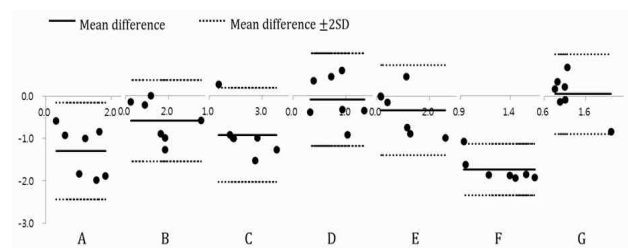


Figure 6. Bland-Altman plots to show the differences (kcal) between measured metabolic energy expenditure and predicted metabolic energy expenditure from calculated the kinetic energy expenditure

IV. 논의

기존의 선행연구에서는 가속도 센서의 영점 통과 수, 피크 수, 축의 벡터 합 성분을 데이터로 사용하여 칼로리미터에서 측정되는 에너지 소모량과 비교한 것에 반해, 본 연구에서는 가속도 센서에서 측정되는 가속도 성분 데이터 처리를 통해 호흡가스 분석기에서 나오는 에너지 소모량(kcal/day)과 비교 분석을 하였다.

이와 관련하여 속도별 운동에너지와 속도에너지의 분포를 나타냈는데, 걷기(6 km/h)에서 뛰기(7 km/h)로 바뀌는 과도기에서 운동에너지 값이 급증하는 것을 보였다. 이는 Meiner와 Pugh(1968)의 연구에서 언급한 8 km/h 시점에서 에너지 소비가 비선형적으로 증가한다는 부분과 다소 차이를 보이고 있다. 하지만 본 연구에서 일반인을 대상으로 실험을 진행한 것과는 달리, Meiner와 Pugh의 연구에서는 운동선수를 대상으로 얻은 실험 결과이기 때문에 신체적 조건의 차이에 따른 결과 반영이라고 사료된다. 또한, 선행연구에서는 최대 산소 소모량(VO₂max)에 따라 에너지 소모량이 비선형적으로 증가하는 구간을 8 km/h로 언급한 것에 비해 본 논문에서는 가속도 센서의 값에 따라 에너지 소모량이 걷기(6 km/h)에서 뛰기(7 km/h)로 동작이 바뀔 때 비선형적으로 증가하는 것을 확인하였으며, 이는 뛰기 동작에서 체중심이 수직 방향으로 움직이는 정도가 커지면서 가속도 센서에서 측정되는 값이 급증하기 때문에 반영된 결과라고 생각한다. 운동에너지와 대사에너지의 상관관계를 통해 개인별 및 집단별 에너지 소모량 추정식이 얻어졌고 이를 비선형 회귀식으로 표현하였는데, Chen과 Sun(1997)의 연구에서는 측정된 에너지 소모량과 계산된 에너지 소모량을 선형 회귀식과 비선형 회귀식으로 나타내어 비교하였다. 본 논문의 결과 값을 보면 걷기와 뛰기에서의 에너지 분포가 서로 경향이 다른 것을 확인하였고, 이는 앞서 기술한 선행연구에서 밝힌 선형 회귀식보다 비선형 회귀식의 정확도가 더 높다고 설명한 부분과 일치한다(Kang, 2008). 또한, 호흡가스 분석기에서 측정된 대사에너지 값과 운동에너지로부터 추정된 회귀식에 대입하여 나온 대사에너지 값을 비교하여, 운동에너지에 대한 개인별 및 집단별 대사에너지 추정식의 차이값을 나타내었고, 계산된 운동에너지로부터 만들어진 두 가지 에너지 소모량 추정식(방법 1, 방법 2)에 대해 Bland-Altman 도표 분석을 한 결과, 모든 데이터 값이 2 표준편차 내에 분포하여 에너지를 추정하는 두 방법(1, 2) 간의 차이가 없다는 것을 확인하였다. 이는, 비록 방법 1과 방법 2 중 계산된 운동에너지와의 차이가 작은 방법 1이 개인의 성향을 고려해줌으로써 에너지 소모량을 반영하는데 유리하겠으나, Bland-Altman 도표 분석 결과 유의하지 않았으므로 에너지 소모량을 추정하는데 있어 데이터 분석이 용이한 방법 2를 채택할 수 있음을 의미한다.

V. 결론

본 연구는 하나의 3축 가속도 센서만을 이용하여 일상생활에서 운동했을 때의 에너지 소모량을 쉽게 측정하고 운동 관리를 용이하게 지원하는 시스템을 개발하는 것에 초점을 맞춘 선행 연구로써, 트레드밀에서 다양한 보행속도에서의 실험을 수행하였을 때 호흡가스 분석기에서 측정된 대사에너지 소모량과 가속도 센서에서 얻은 데이터로부터 예측된 운동에너지 소모량의 상관관계를 통해 운동에너지로 대사에너지를 추정하고자 한 것이다.

비록 운동에너지와 대사에너지의 비율이 같을 수는 없으나 몸이 움직인다는 것은 근육들의 대사에너지 소모를 통해 COM의 위치가 변한다고 생각되고 이를 가속도 신호로부터 계산되는 값으로 추측할 수 있다고 사료된다. 본 연구의 실험 결과를 통해 계산된 운동에너지 소모량과 측정된 대사에너지 소모량의 값의 차이가 비슷한 것을 알 수 있었고, 이를 근거로 추가실험을 진행하여 에너지 소모량을 보다 정확하게 예측할 수 있다면, 향후 단일 3축 가속도 센서를 이용하여 간편하게 운동에너지 소모량 측정을 함으로써 운동 관리를 용이하게 지원해주는 시스템에 적용한다면, 가볍고 값이 싸며 사용이 간편한 모니터링 시스템이 될 것으로 판단된다.

참고문헌

- Anderssen, S. A., & Hjermann, I.(2000). Physical activity - a crucial factor in the prevention of cardiovascular diseases. *Tidsskr Nor Laegeforen*, 120(26), 3168-3172.
- Bland, J. M., & Altman, D. G.(1986). Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet*, 1(8476), 307-310.
- Chen, K. Y., & Sun, M.(1997). Improving energy expenditure estimation by using a triaxial accelerometer. *Journal of Applied Physiology*, 83, 2112-2122.
- Choi, J. H., Lee, J., Hwang, H. T., Kim, J. P., Park, J. C., & Shin, K.(2005). *Estimation of Activity Energy Expenditure: Accelerometer Approach* 27th Annual International Conference of the IEEE. Shanghai, China.
- Crouter, S. E., Clowers, K. G., & Bassett, D. R.(2006). A novel method for using accelerometer data to predict energy expenditure. *Journal of Applied Physiology*, 100, 1324-1331.
- Kang, D. W., Choi, J. S., Mun, K. R., Tack, G. R.(2008). Estimation of energy expenditure of walking and running based on triaxial accelerometer and physical information.

- Korean Journal of Sport Biomechanics*, 18(4), 109-114.
- Kang, D. W., Choi, J. S., Mun, K. R., Bang Y. H., Tack, G. R.(2009). A study on the estimation accuracy of energy expenditure by different attaching position of accelerometer. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 19(1), 179-186.
- Kim, H. J., Park, J. H., Kang, S. J.(2006). Comparison Between Movement Accelerometers and Activity Log by Record for Free-Living Physical Activity. *Korean Society for Measurement and Evaluation in Physical Education and Sports Science*, 8(1), 67-80.
- Leenders, N. Y., Nelson, T. E., Sherman, W. M.(2002). Ability of different physical activity monitors to detect movement during treadmill walking. *International Journal of Sports Medicine*, 24, 43-50.
- Marco Traballasi, Paolo Porcacchia, Tiziano Averna, Stefano Brunelli.(2008). Energy cost of walking measurements in subjects with lower limb amputations : A comparison study between floor and treadmill test. *Gait & Posture*, 26, 70-75.
- Meiner, D. R., Pugh L. G.(1968). The relationship of oxygen intake and velocity of walking and running in competition walkers. *Journal of Physiology*, 197, 717-721.
- National Health Insurance Corporation(2008), Research about obesity index
- Nilsson, A., Brage, S., Anderssen, S. A., Sardinha, L. B., Wedderkopp, N., Anderssen, L. B., & Ekelund, U.(2008). Comparison of equations for predicting energy expenditure from accelerometer counts in children. *Scandinavian Journal of Medicine in Sports*, 18, 643-650.
- Song, Y. M., Ku, H. J., Lee, M. C., Lee, S. B.(2005). Methods of Estimation of Physical Activity and Energy Expenditure. *Journal of Coaching Development*, 7(3), 159-168.