

운동 강도에 따른 일상생활에서의 에너지 소비량 예측

Prediction of energy consumption in a daily life according to exercise intensity

*강동원, 최진승, 문경률, 방윤환, #탁계래

*D. W. Kang, J. S. Choi, K. R. Mun, Y. H. Bang, #G. R. Tack(grtack@kku.ac.kr)

건국대학교 의료생명대학 의공학학부, 의공학 실용기술연구소

Key words : Prediction, Energy expenditure, Physical activity, Accelerometer

1. 서론

WHO 세계보건기구에서는 전 세계 사망률의 60%를 차지하는 심혈관 질환, 암, 당뇨, 기타 호흡기 질환의 위험인자로 낮은 신체활동을 꼽았다[1]. 이것은 고령 인구의 급격한 증가와 동시에 만성질환과 장애정도 또한 증가함으로써 신체활동의 중요성이 대두되고 있다. 신체활동의 대부분이 좌업생활인(sedentary life style) 경우에서 규칙적인 운동패턴으로 바뀔 경우, 심혈관 질환을 예방하고 치료하는 것 외에도 체중감소와 삶의 질의 개선 및 수명을 연장시킬 수 있다[2]. 이는 좌업생활이 많고 만성질환에 취약한 고령자들에게 있어서 일상생활에서의 패턴과 운동량의 측정이 더욱 중요하다고 할 수 있다. 또한 일상생활의 지속적인 모니터링을 통해 얻어진 신체활동의 강도, 빈도, 형태, 기간 등의 정보는 운동프로그램을 계획하는데 있어서 중요한 자료로 사용될 수 있다. 본 연구에 앞서 우리는 가속도계를 허리에 부착하여 12가지의 일상생활동작을 분류하는 실시간 일상생활 모니터링 시스템을 개발하였다[3]. 이 시스템은 실시간으로 낙상의 위급상황과 일상생활의 패턴을 측정할 수 있지만 신체활동량을 측정할 수 없다는 단점을 가지고 있다. 이에 본 연구에서는 개발된 일상생활 모니터링 시스템을 기반으로 신체활동의 형태뿐만 아니라 건강이득을 위해 필요한 신체활동의 강도 즉, 신체활동량에 대한 정보의 제공을 추가하였다. 또한 신체활동량의 보다 정확한 예측을 위해 센서의 부착위치를 허리뿐만 아니라 팔 동작을 고려하여 팔목에 센서를 추가하였으며 피험자의 정보만을 사용한 경우와 시스템이 제공하는 신체활동 형태의 정보를 이용하였을 경우의 예측 정확성도 비교 분석하였다.

2. 본론

2.1 실험장비

본 연구에서는 에너지 소비량 측정기기인 호흡가스분석기(Metamax 3B, Cortex Biophysik GmbH Co., Germany)와 3축 가속도 센서 모듈 2개, 트레드밀 (RX9200S, TOBEONE, Korea)을 사용하였다. 3축 가속도 센서모듈은 허리와 손목에 부착하였으며 가속도센서는 ±6g의 민감도를 가지는 Freescale사의 MMA 7260를 사용하였다. 가속도계로부터의 출력신호는 61HZ의 샘플링으로 저장되며 호흡가스분석기의 데이터와 비교 분석되었다. 그림 1은 호흡가스분석기와 가속도계의 착용모습을 나타낸다.



Fig.1 Experiment devices

2.2 실험 프로토콜

실험은 건강한 20대 피험자 20명(남성 : 10명, 여성 : 10명)을 대상으로 일상생활에서 수행되는 13가지의 동작들이 포함된 1시간의 순차적 수행 프로토콜을 수행하도록 하였다. 대부분의 동작은 3분 동안 수행되며 시간에 맞춰 동작을 수행할 수 있도록 실험자가 동작을 지시하였다. 표 1은 순차프로토콜에서의 각 동작이 수행되는 설명을 나타낸다. 운동 강도에 따라 동작은 휴식, 저강도, 중강도, 고강도의 신체활동으로 크게 4가지로 나눌 수 있다. 보행속도 5.0km/hr는 도심 속에서의 성인 평균보행속도를 나타내며(Wk1) Wk2는 산책로에서 편하게 걷는 성인 평균 보행속도로 설정하였다.

2.3 분석방법

순차 프로토콜을 통해 측정된 허리와 손목의 가속도 센서 데이터는 각각 1~12Hz대역의 Bandpass filter를 거쳐 1초 동안의 3축의 벡터 합인 iSVM(1sec Interval Signal Magnitude Vector) 값으로 계산하였다.

$$iSVM = \sum_0^t (\sqrt{x^2 + y^2 + z^2})$$

호흡가스분석기(Metamax 3B)의 데이터는 에너지 소비량을 신체활동 강도로 나타내는 지표로써 사용되는 METs (Metabolic Equivalent)를 이용하여 가속도 센서의 데이터와 비교하였다.

$$METs = 1Kcal/kg/hr$$

Table 1. Description of each movement performance

PAR	Activity Type	Key	Description
Rest	Rest	Ly = Lying	Condition of lying down with one's back on the bed.
		Si = Sitting	Condition of sitting on the chair with waist upright
		St=Standing	Standing condition
Light	Sedentary activity	Ty = Typing	Practice of typing in the condition of sitting on the chair
		Wr = Writing	Writing in the condition of sitting on the chair
		Ch = Chopsticks	Putting small things into the box by using chopsticks in the condition of sitting on the chair
		Re = Reading	Reading a book in the condition of sitting on the chair
Moderate	Standing activity	Cl1=Cleaning (Broom)	Cleaning the surroundings by using the broom
		Cl2=Cleaning (Hand mop)	Cleaning the upper side of desk by using the hand mop
		Fi = Filing	Putting papers into the box after arranging them in a standing condition
	Walking	Wk1=Walking(5.0km/hr)	Walking at the treadmill speed of 5.0km/hr
		Wk2=Walking(4.0km/hr)	Walking at the treadmill speed of 4.0km/hr
Vigorous	Running	Ru=Running(6.5km/hr)	Walking at the treadmill speed of 6.0km/hr

3. 결과

그림 2는 측정된 데이터의 예를 보여주며, 동작의 강도가 커질 수록 METs값이 그에 따라 상승한다는 것을 알 수 있다. 그러나 가속도센서의 데이터는 동작의 형태에 따라 손목, 허리의 iSVM 값의 크기가 저마다 다르다는 것을 알 수 있다.

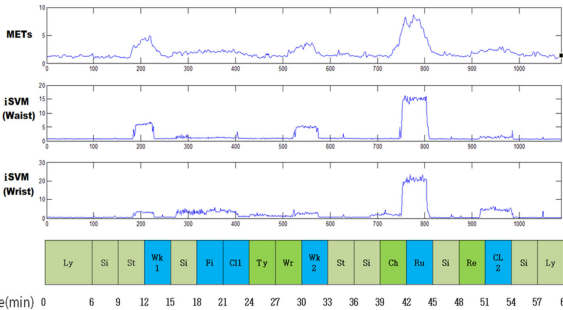


Fig.2 Data of respiratory gas analyzer and accelerometer according to perform sequential protocol

따라서 가속도계와 호흡가스분석기의 데이터를 앉은 상태의 동작, 서있는 상태의 동작 그리고 걷기와 뛰기로 나누어 상관관계를 살펴볼 필요가 있다. 표 2는 동작의 형태에 따른 허리(WSVM), 손목(RSVM) 가속도센서의 데이터와 METs와의 상관관계를 나타내었다.

Table 2. Correlation according to the type of movement

Activity Type	WSVM	RSVM
Sedentary Activity (Ty, Wr, Ch, Re)	0.384(*)	0.272(*)
Standing Activity (Fi, Cl1, Cl2)	0.343(*)	0.447(**)
Locomotion Activity (Wk1, Wk2, Ru)	0.861(**)	0.873(**)
All Activity (Rest exclusion)	0.889(**)	0.852(**)

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed)

* . Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed)

앉은 상태 활동위주의 동작인 Sedentary activity 에서는 허리 가속도센서의 상관관계가 손목보다 높게 나타났으며 서있는 상태의 Standing activity 에서는 반대로 손목이 더욱 높게 나타남을 알 수 있었다. 그 이유는 Sedentary activity일 경우에 글쓰기, 젓가락, 책 읽기 등의 손목 동작크기에 비해 비례적으로 METs 값이 상승하지 않는다는 것을 의미한다. 또한 Standing activity의 경우 서류정리, 청소 등은 손목작이 연속적으로 움직이는 반면에 허리의 동작이 각 피험자마다 빈도가 다르게 작용함으로써 손목 가속도계의 상관관계가 더욱 높게 나타났다. 그러나 휴식상태를 제외한 모든 동작에서의 상관관계는 허리 가속도센서의 상관관계가 더욱 높게 나타났다. 표 3는 허리, 손목의 가속도센서 부착위치에 따른 다중회귀식을 나타내었다.

Table 3. Multiple regression equation according to the attached location of accelerometer

Attached Location	Multiple regression equation	Correlation Coefficient
Waist+Wrist	$WSVM \times 0.027 + RSVM \times 0.102 + BMI \times (-0.148) + Weight \times 0.034 + Height \times (0.021) + Gender \times -0.21$	0.921
Waist	$WSVM \times 0.332 + BMI \times (-0.163) + Weight \times (0.039) + Height \times (-0.025) + Gender \times -0.21$	0.918

허리와 손목 가속도센서를 이용하여 신체활동 강도를 예측하는 것이 허리 가속도센서만을 사용한 것 보다 정확하지만 큰 차이를 나타내지 않았다. 따라서 허리의 가속도 센서만을 이용한 신체활동 강도의 예측이 더욱 유용하다고 할 수 있다. 그림 3은 표3의 허리에 부착된 가속도계를 이용한 다중회귀식을 사용하여 13가지의 동작에 따른 신체활동 강도의 예측을 나타낸다. 그림에서 동작을 분류하지 않고 하나의 다중회귀식을 사용하였을 경우, 휴식상태, 저중강도의 운동 강도를 예측하는데 있어서 오차가 커다는 것을 알 수 있다.

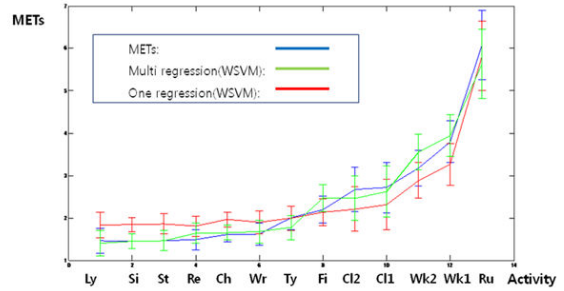


Fig 3. METs' prediction using one regression and multi regression equation

반면에 분류된 동작의 정보를 이용한 여러 개여 다중회귀식을 사용했을 경우에는 오차가 많이 줄어든 것을 확인할 수 있다. 따라서 개발된 시스템의 동작유형의 정보를 이용하여 휴식상태 (Lying, Standing, Sitting), 앉은 상태의 동작, 서있는 상태의 동작 그리고 걷기와 뛰기의 여러 개의 다중회귀식을 사용하였을 경우 더욱 정확한 신체활동량의 예측이 가능하다. 표 4는 동작의 종류에 따른 회귀식을 나타낸다.

Table 4. Regression equation according to the activity type

Activity type	Regression equation
Lying	1.3
Sitting	1.4
Standing	1.45
Sedentary activity	$WSVM \times 0.083 + BMI \times (-0.052) + Gender \times -0.218 + 2.855$
Standing activity	$WSVM \times 0.137 + BMI \times (-0.067) + Gender \times -0.523 + 3.865$
Walking & Running	$WSVM \times 0.083 + BMI \times (-0.045) + Gender \times -0.126 + 3.056$

4. 결론

본 연구는 3축 가속도계를 사용하여 동작의 유형과 피험자정보를 이용한 보다 정확한 신체활동량의 예측을 분석하였다. 센서의 부착위치에 따른 예측 정확도를 살펴본 결과, 두 개의 센서를 모두 사용했을 경우와 허리에 부착된 센서만을 사용했을 경우의 상관관계는 각각 0.921 0.918을 나타내었다. 또한 피험자의 정보와 가속도계 데이터만을 사용한 단일회귀식과 동작유형의 따른 여러 개의 회귀식을 이용한 예측 정확도를 살펴본 결과, 여러 개의 회귀식을 사용했을 때의 예측오차가 더 줄어든 것을 알 수 있었다. 그러나 현재의 연구결과가 동작유형과 센서의 부착위치에 따라 다른 결과를 나타낼 수 있으며 다중 회귀식은 20대 피험자의 실험을 통해 개발된 것으로 고령자나 장애인에 적용하여 정확한 신체활동량을 예측하기 어렵다. 이에 다양한 연령층과 장애의 정도를 가지는 피험자를 대상으로 하여 실험 데이터들을 회귀식에 포함한다면 더욱 정확한 신체활동 강도의 예측이 수행될 것이다. 또한 운동강도 예측 정확도의 개선을 위해 다양한 일상생활의 동작을 세분화할 필요가 있다.

후기

위 논문은 문화체육관광부의 스포츠산업기술개발사업에 의거 국민체육진흥공단의 국민체육진흥기금을 지원받아 연구되었습니다.

참고문헌

1. World Health Organization. "Reducing risks, promoting healthy life," In World Health Report 2002 Geneva: World Health Organization, 2002.
2. Petrella, R. J., "Exercise for older patients with chronic disease," Physician & Sportsmedicine, 27(11), 79-102, 1999.
3. Kang D. W., Choi, J. S., Lee, J. W., Chung, S. C., Park, S. J. and Tack, G. R., "Real-time elderly activity monitoring system based on a tri-axial accelerometer," Proceeding of Journal of Disability and rehabilitation : Assistive technology, 2010.