

# 트레드밀과 평지보행에서의 운동분석 및 에너지 소모도 비교

## Comparison of Motion Analysis and Energy Expenditures between Treadmill and Overground Walking

\*손량희<sup>1</sup>, 한성민<sup>2</sup>, 이병천<sup>2</sup>, #김영호<sup>3</sup>

\*R. H. Sohn<sup>1</sup>, S. M. Han<sup>2</sup>, B. C. Lee<sup>2</sup>, Y. H. Kim<sup>3</sup>(younghokim@yonsei.ac.kr)

<sup>1</sup>연세대학교 대학원 의공학과, <sup>2</sup>연세대학교 의공학부, <sup>3</sup>연세대학교 의공학과

Key words : Energy expenditure, Motion analysis, Treadmill and Overground walking

### 1. 서론

오래전부터 걷기는 건강유지를 위한 하나의 운동수단으로 이용되고 있다[1]. 이는 단순성과 안정성 그리고 다양한 생리적 효과 등이 보고 되면서 점차 보편화되어 선호되는 운동형태가 되었다[2]. 그러나 최근에는 바쁜 일상생활과 제한된 운동공간으로 인하여 야외활동 보다 실내운동 특히 트레드밀 운동이 점차 증가되고 있는 상황이다. 현재 트레드밀과 평지보행의 보행특성을 비교, 분석 그리고 트레드밀에서 계산되는 에너지 소모량과 실제 운동시 소모되어지는 에너지 소모량과의 차이에 대한 연구를 많이 진행되고 있다. 보행시 인체의 에너지 소모도 곡선은 1.39m/s ~ 2.22m/s 까지는 비선형적인 증가곡선을 보이며, 그 이상의 속도(2.22m/s이상)에서는 선형적인 증가곡선을 보인다 [3]. 또한 Menier[4]는 에너지 소비가 비선형적으로 증가하는 시점은 6Km/hr이며, 달리기보다 에너지 소비량이 크게 나타나는 걷기 속도의 시점은 8Km/hr라고 하였다. 그러나 트레드밀에서 에너지 소모도 계산은 이러한 신체적 특성을 고려하지 못하고 있다.

그래서 본 논문에서는 동일조건에서 두 운동간에 운동학적 차이점이 에너지 소모에 영향을 미칠 수 있다는 점을 연구를 통해 확인하고, 트레드밀에서의 에너지 소모도와 호흡가스에서의 에너지 소모도 사이에 차이가 있을 것 이라는 점에 착안, 두 실험을 정량적으로 비교 분석하고 상호연관성을 찾아 이를 보정할 수 있는 방법을 찾고자한다.

### 2. 연구방법

#### 2.1 연구 대상

본 연구는 특별한 질병이나 상해가 없는 정상적 보행특성을 소유한 20대 남학생을 피검자로 선정하였다[Table 1].

Table 1 Subject parameters (n=11)

Characteristics	Age (years)	Weight (kg)	Height (cm)
mean	25.5	72.5	173.1
SD	0.9	10.6	6.0

#### 2.2 실험방법

먼저 각 피검자들은 실험 실시 30분 전 실험에 대한 설명을 듣고, 심박수와 호흡을 최대한 안정화하도록 하였다.

보행분석을 하기 위해서, Helen-Hayes marker set[5]에 입각하여 14mm의 구형반사마커 16개를 해부학적 위치에 부착하고 6대의 적외선 카메라를 사용한 삼차원 동작분석시스템(VICON Motion Systems Ltd., UK)과 4개의 힘측정판(AMTI, USA)을 연동하여 120Hz의 샘플링으로 삼차원 운동학적 데이터를 측정하였다.

보행속도는 피검자가 편안하다고 느끼는 속도(1.5m/s)로 실시하였고, 평지보행시 속도는 디지털 메트로놈(Matrix MDM-40)을 이용하여 맞추었다.

에너지 소모도 분석을 하기 위해서 힘측정판(Kistler Inc, SUI)이 내장된 트레드밀(H-P Cosmos, GER)위에 호흡가스 분석기(Cortex, GER)를 착용한 후 각 속도별 (1.0m/s, 1.5m/s, 2.0m/s) 5분 측정하여 3회 반복하였다[Fig.1]. 데이터 획득 구간은 HR(Polar, HUN), VO2,

VCO2의 Steady-state한 구간의 2분으로 설정하였다[6].



Fig. 1 Treadmill & Metamax3x

호흡가스 분석기에서의 에너지 소모량은 Weir Method[3]를 이용하여 계산되었고, 트레드밀에서의 에너지 소모 계산량은 Margaria fomular[7]를 이용하여 계산하였다.

Protocol은 [Fig.2]와 같이 실시하여 실험간 충분한 휴식을 고려하여 각 속도별 실험에 대한 영향을 미치지 않도록 하였다[8].

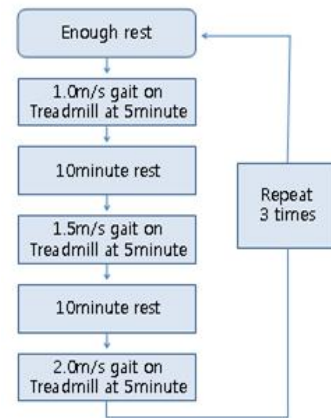


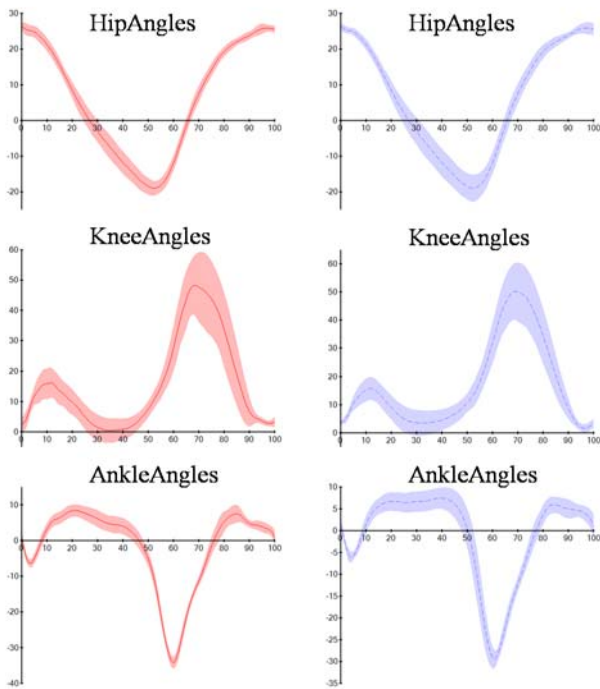
Fig. 2 Experimental protocol

### 3. 결과

#### 3.1 트레드밀과 평지에서의 보행비교

Fig.3은 실험자가 편안하다고 느끼는 속도(1.5m/s)에서의 평지 보행과 트레드밀 보행으로 한 보행주기 동안 각 관절의 변화를 나타낸 것으로, 각 관절의 움직임은 거의 유사함을 보였다. Hip의 경우에는 최대굴곡은 2.3°(±0.19)과 최대신전시 1.9°(±1.71)정도의 차이를 보였다. 이것은 트레드밀의 활보장이 더 크다는 것으로 stride length의 확인으로 알 수 있었다. Knee의 경우 최대신전의 경우에는 트레드밀이 약 3°(±0.46)정도 작고 최대굴곡시 2°(±0.47) 작다. Ankle의 경우 Plantar flexion이 트레드밀에서 더 빨리 일어나며 약 4.8°(±0.26) 더 낮았다. 이러한 차이는 트레드밀 벨트의 밀림으로 안정적인 걸음을 위해 Initial-contact시

평균보다 더 멀리 내딛고 Foot-off시 뒤로 더 밀림으로 인한 것이다.



(a) Treadmill (b)Overground  
Fig. 3 Kinematic data treadmill and overground

3.2 트레드밀과 평지에서 에너지 소모 비교

Table2는 평지보행과 트레드밀 보행에서의 에너지 소모도를 비교하고 있다. 실험결과 트레드밀 보행이 평지보행보다 더 큰 에너지 소모를 요구하였다.(P<0.05) 트레드밀 보행에서 산소섭취량은 12.9%, 에너지 소모도는 27.9% 증가하였다.

이는 트레드밀 보행이 평지보행보다 각 관절의 움직임이 크게 나타나고 벨트의 움직임에 따른 인위적인 보행을 함으로 인하여 보행에 대한 몸의 스트레스가 증가하기 때문이다.

Table 2. Energy Expenditure in Treadmill vs Overground

Walking Cnditions	Treadmill	Overground
Heart Rate [1/min]	*106.67±3.92	*95.12±4.23
Rel. O <sub>2</sub> Uptake [ml/min/kg]	*19.05±2.54	*16.87±3.09
Energy Expenditure [kcal/min]	*6.68±1.20	*5.22±0.66

\*represents significant difference (P<0.05)

3.3 트레드밀과 호흡가스 분석기의 에너지비교

Fig4는 트레드밀과 호흡가스 분석기를 통하여 측정된 피검자의 에너지 소모도 그래프이다. 1.0m/s에서는 트레드밀이 호흡가스 분석기 보다 6.3%, 큰 소모를 보였지만 통계적으로 두 집단 간 유의성이 나타나지 않았다. 그러나 1.5m/s, 2.0m/s의 보행에서는 트레드밀이 호흡가스 분석기보다 10.5%, 2.0m/s의 보행에서는 호흡가스 분석기가 트레드밀보다 11.7% 큰 에너지 소모를 나타냈다. (p<0.05) 이는 보행시 1.5m/s, 2.0m/s의 속도에서 인체의 비선형적인 에너지 소모 증가특성[3][4]을 반영하지 못하였기 때문이다.

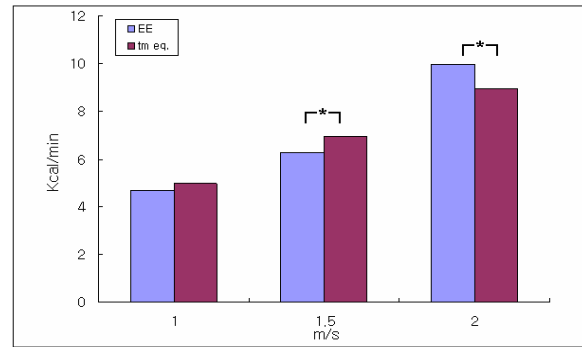


Fig.4 Energy expenditure Treadmill vs Metamax3x  
\*represents significant difference (P<0.05)

4. 결론 및 고찰

본 연구에서는 편한 속도(1.5m/s)에서의 평지보행과 트레드밀 보행의 운동학적인 차이와 에너지 소모를 측정하여 평지보행과 트레드밀 보행의 차이를 정량적으로 비교 분석 하였고, 트레드밀과 호흡가스 분석기를 통하여 측정된 속도별 에너지 소모도를 비교하였다. 트레드밀 보행과 평지보행에서 Joint Angles은 유사성을 보였지만 최대, 최소값은 약 3°정도의 차이를 나타냈다. 트레드밀 보행에서 벨트의 움직임이 부자연스러운 보행을 만들고 전반적인 보행 스트레스를 증가시켜 에너지 소모도가 증가하는 결과를 나타냈다. 호흡가스 분석기와의 에너지 소모도 비교에서는 2.0m/s의 경우 차이를 보였는데, 이것은 빠른 속도에서 신체의 에너지 소모가 비선형적으로 증가하는 것을 반영하지 못한 결과이다. 앞으로 이러한 것을 반영하는 연구가 더 이루어져야 할 것이다.

후기

본 연구는 보건복지부 보건의료기술진흥사업(02-PJ3-PG6-EV03-0004)의 지원에 의한 것임.

참고문헌

- Morris JN, Hardman AE. Walking to health. Sports Med, 23(5):306-32, 1997
- 김승희, 윤진환, 이희혁, “트레드밀 걷기시 속도와 보폭길이에 따른 에너지소비 분석”, J Kor Sports Med, 23(3):293-299, 2005
- McArdle, Katch "Essential of exercise physiology", 2001
- Menier DR, Pugh LG. The relationship of oxygen intake and velocity of walking and running in competition walkers. J Physiology, 197:717, 1968
- M. Kadaba, H. Ramakrishnan, and M. Wootten, "Measurement of lower extremity kinematics during level walking", Journal of orthop. Res., Vol.10, pp.383-392, 1990
- Marco Traballesì 외3명, Energy cost of walking measurements in subjects with lower limb amputation, ScienceDirect, GAIPOS-2397, 2007
- MARARIA R.: Biomechanics and energetics of muscular exercise. Clarendon Press, Oxford, 1976
- Dick H. Thijssen 외4명, Decreased Energy Cost and Improved Gait Pattern Using a New Orthosis in Persons with Long-Term Stroke, Arch Phys Med Rehabil, Vol88, 2007