

# 보행속도에 따른 지면보행과 Treadmill 보행의 비교: 운동분석 및 에너지 소모

손량희<sup>1</sup>, 최희석<sup>1</sup>, 손종상<sup>1</sup>, 황성재<sup>1</sup>, 김영호<sup>1,2</sup>  
<sup>1</sup>연세대학교 대학원 의공학과, <sup>2</sup>연세의료공학연구원

## The Comparison of Overground Walking and Treadmill Walking According to the Walking Speed: Motion Analysis and Energy Consumption

R. H. Sohn<sup>1</sup>, H. S. Choi<sup>1</sup>, J. S. Son<sup>1</sup>, S. J. Hwang<sup>1</sup>, Y. H. Kim<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Dept of Biomed. Eng., Graduate School, Yonsei Univ.,

<sup>2</sup>Institute of Medical Eng., Yonsei Univ.

(Received January 6, 2009. Accepted May 18, 2009)

### Abstract

In this study, treadmill walking and overground walking were compared at the same condition based on kinematics and energy expenditures(EE). In addition, we compared the actual energy expenditure and calculated EE by treadmill. The kinematics of treadmill and overground walking were very similar. The values at each joint were significantly different( $P<0.05$ ), but magnitude of the difference was generally less than  $4^\circ$ . In the EE using cardiopulmonary exercise, EE of treadmill walking was significantly greater when measured on the overground. It seemed to be the increased stress during the gait by the continuous movement of the belt. As the velocity increased, there was significant difference between actual EE and calculated EE by treadmill due to EE curve increasing exponentially. Therefore the further study would be required to find the correlation of the two methods and calibrate the values from them.

Key words : Energy Expenditures, Treadmill Walking, Overground Walking

### 1. 서론

재활운동을 위한 장비로 개발되어진 treadmill은 운동 강도를 조절할 수 있는 편리성으로 인하여 운동 검사나 연구의 도구로 사용되어 왔으며[1], 현재 건강한 사람 뿐 아니라 편마비 환자의 보행 재활훈련과 노인의 운동 및 재활치료, 심폐능력 측정과 고혈압 및 비만 환자들의 운동처방에 널리 활용되고 있다[2-6].

재활 치료에 있어서 피로와 에너지 소모를 최소화한 방법으로 재활치료 방법 및 공간 계획이 이루어진다[7]. 운동처방에 따른 운동시 일반적으로 호흡가스 분석기를 활용하여 심폐능력의 정밀 측정 후 최대운동능력을 고려하여 treadmill을 활용한 운동이 이

루어지는데, 이때 treadmill에서 산출되는 칼로리 소모량에 따라 운동시간 및 강도가 조절되고 있다[8]. 걷기운동시 인체의 에너지 소모도 곡선은 1.39m/s이하의 속도에서 선형적인 증가를 보이지만 1.39m/s~2.22m/s 사이에서는 비선형적인 증가곡선이 나타난다[9]. 또한 Menier[10]는 에너지 소비가 비선형적으로 증가하는 시점은 1.66m/s이며, 달리기보다 에너지 소비량이 크게 나타나는 걷기 속도의 시점은 2.228m/s라고 하였다. 이러한 이유로 기울기, 속도, 시간, 몸무게의 인자만으로 계산되어지는 treadmill에서의 에너지 소모도 산출값은 신체적 특성을 고려하지 못하고 있어 정확한 에너지 소모도를 확인할 수 없을 것으로 판단된다. 따라서 호흡가스 분석기에 비해 정확한 칼로리 소모도를 산출하지 못하는 treadmill에서 에너지 소모도에 대한 오차가 발생할 것이며, 호흡가스 분석장치를 통해 산출된 에너지 소모도를 반영하여 계획된 운동처방이 정확하게 수행되지 않을 것으로 판단된다.

이러한 이유로 treadmill을 이용한 운동 및 보행훈련 재활치료에 있어서 효과적인 훈련계획에 정확한 에너지 소모도 산출에 대

Corresponding Author : 김영호

(220-710) 강원도 원주시 용업면 매지리 234

연세대학교 첨단 의료기기 테크노타워 204호

Tel : +82-33-760-2859 / Fax : +82-33-760-2859

E-mail : younghokim@yonsei.ac.kr

본 연구는 문화체육관광부의 스포츠산업기술개발사업에 의해 국민체육진흥공단  
단의 국민체육진흥기금을 지원받아 연구되었고, 교육과학기술부와 한국산업  
기술재단의 지역혁신 인력양성사업으로 수행된 연구 결과입니다.

표 1. 피검자 선정

Table 1. Subject parameters (n=22)

Characteristics	Age (years)	Weight (kg)	Height (cm)	BMI
mean	25.5	72.5	173.1	23.9
SD	0.9	10.6	6.0	3.7

한 고찰이 요구된다.

현재 treadmill과 지면보행의 보행특성을 운동학적으로 비교분석한 연구들이 진행되고 있으며, treadmill을 이용한 걷기운동시 에너지 소모도와 지면에서 걷기운동시 소모되어지는 에너지 소모도 차이에 대한 연구가 많이 진행되고 있다. Patrick O등은 treadmill을 이용한 걷기 운동과 지면에서의 걷기운동을 비교하였을 때 피검자가 편안한 속도로 걸을 경우 treadmill과 지면에서의 걷기운동은 운동학적(kinematic)으로 매우 유사하였으며, 시상면에서 살펴본 발목 모멘트(moment)도 통계적으로 다르지 않다고 했다[11].

Treadmill에서의 걷기 운동이 지면에서의 걷기 운동과 운동학적으로 서로 유사했던 반면 에너지 소모도를 비교한 연구에서는 서로 다른 결과를 보였다. 호흡가스 분석을 이용한 에너지 소모도 비교에서 treadmill에서의 걷기운동이 지면에서의 걷기운동보다 에너지 소모도가 더 크다는 연구결과가 있는 반면[12], 지면에서 걷기운동시 에너지 소모도가 treadmill에서의 걷기운동보다 더 높은 연구결과도 있었다[13].

본 논문에서는 실험환경을 통제하고 동일한 환경을 구성하였으며 호흡가스 분석을 통해 treadmill과 지면에서 보통 속도와 빠른 속도의 걷기운동을 수행하였을 때 보행 속도에 따라 두 운동간의 생체역학적인 차이점과 에너지 소모도 차이를 비교 분석하였다. 생체역학적인 차이점을 살펴보기 위해 보행시 시상면에서 하지 관절의 움직임과 지면반발력을 통계적으로 비교하였고, 에너지 소모도 산출방법에 따라 에너지 소모도를 비교 분석하였다.

II. 연구방법

A. 실험환경 및 피검자 선정

외부 환경에 간섭을 받지 않도록 3차원 동작분석 실험실 환경을 구성하였으며, 온도와 습도가 동일한 상태에서 실험을 진행하였다. 또한 비정상적인 보행이나 많은 나이 차이가 에너지 소모량에 영향을 주지 않도록 특별한 질병이나 상해가 없고 정상적 보행특성을 소유한 20대 남성 22명을 피검자로 선정하였다. 피검자들의 평균 나이, 체중, 신장은 각각 25.5세(±0.9), 72.5kg(±10.6), 173.1cm(±3.7)이었다(표 1).

B. 실험 방법

1) 피검자 제어 및 실험환경 구성

먼저 각 피검자들은 실험 실시 30분 전 실험에 대한 설명을 듣고, 심박수와 호흡을 최대한 안정화하도록 하였다. 보행분석을 하기 위해서, Helen-Hayes marker set[14]에 입각하여 14mm의 구형반사마커 16개를 해부학적 위치에 부착하고 6대의 적외선 카메라를 사용한 삼차원 동작분석시스템(VICON Motion Systems Ltd., UK)과 4개의 힘측정판(OR6-6, AMTI, USA 2EA & Kistler, Switz 2EA)을 연동하여 120Hz의 샘플링으로 삼차원 운동학적 데이터를 측정하였다(그림 1). 속도에 따른 treadmill 보행과 지면보행의 에너지 소모도 차이를 비교하기 위해 보통 속도(약1.5m/s)의 보행은 피검자가 편안하다고 느끼는 속도로 자유보행을 실시하였으며, 빠른 속도(약2m/s)의 보행에서는 디지털 매트르놈(Matrix MDM-40)을 이용하여 빠른 보행 속도를 유도하였다.

본 연구에서 지면보행은 삼차원 동작분석 실험실 내에 가로 4m,

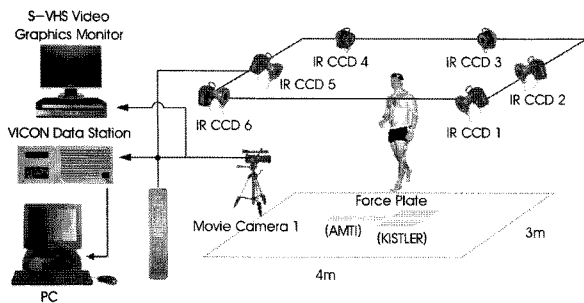


그림 1. 3차원 동작 분석 시스템  
Fig. 1. 3D Motion analysis system

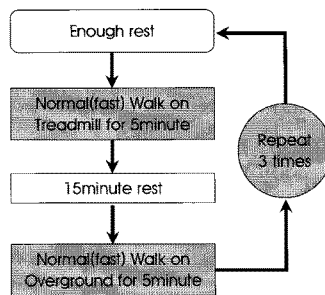


그림 2. 실험 절차  
Fig. 2. Experimental procedure

세로 3m의 직사각형 기준선을 그리고 기준선을 따라 원운동 보행을 실시하였고, treadmill보행은 2개의 힘측정판(Piezoelectric Force Plates)이 내장된 treadmill(HP Cosmos Gateway II, GER)을 사용하였다. 앞에 있는 힘측정판에서는 발뒤축 접지(heel strike)를 감지하고 뒤에 있는 힘측정판에서는 발가락 들림(toe-off)을 감지하였으며 100Hz 샘플링으로 지면반발력 및 시공간변수 데이터를 획득 하였다. Treadmill과 지면에서의 걷기운동에서의 보행속도 차이를 줄이기 위해 지면보행에서의 보행속도의 평균값에 해당하는 속도로 treadmill의 속도를 설정하였다. 지면 반발력 및 시공간 변수 비교에 있어서 동작 분석 시스템과 treadmill에서 각기 다른 샘플링 레이트로 측정된 데이터는 동기화 하여 비교 하였다.

Treadmill보행과 지면보행시 호흡가스분석장치(Meta Max 3X, GER)를 착용하였으며 Mixing chamber방식으로 호흡가스 정보를 계속하여 무선으로 신호를 PC로 전송하여 보행중의 에너지 소모를 측정하였다.

실험 절차는 그림2와 같이 실시하였으며 실험간 충분한 휴식을 고려하여 각 실험에 대한 영향을 미치지 않도록 하였다[15]. 5분 동안의 보행 실험에서 호흡가스 분석기의 데이터 획득 구간 중 비교 구간은 운동시작 후 불안정한 에너지 소모도 수치에 따른 오차를 줄이기 위해 HR(Polar, HUN), VO<sub>2</sub>, VCO<sub>2</sub>의 정상상태(Steady-state)인 구간 2분으로 설정하였다[12].

2) 운동학적 분석

에너지 소모도 비교 실험에 있어서 treadmill보행과 지면보행의 운동학적 차이를 비교하기위해 삼차원 동작분석 실험에 의한 운동학적 데이터를 획득하였다. 피검자가 편안하다고 느끼는 속도와 빠른 보행속도에서 지면과 treadmill에서 각각 보행을 실시한 후 시공간 변수(Temporal Spatial Parameters)와 시상면 관절각도(Joint Angle), 수직 지면반발력(Ground Reaction Force)을 분석 하였다. 이때 수직 지면 반발력은 힘측정판에 대하여 수직인 힘을 의미하며 반발력은 각 피검자의 체중으로 무차원화 하였고, 시간은 한 보행주기로 무차원화 시켜 표시하였다.

3) 에너지 소모량 측정

실험에서 사용한 treadmill에서 에너지 소모도는 내부적으로 식

(1)의 Margaria fomular를 이용하여 산출되었다[9].

$$KJ = [2.67 + (10.9 + 0.654 \times V_{IN} \%) \times (S_{IN} m/sec)] \times 0.0211 kJ/ml O_2 \times T_{IN} min \times W_{IN} kg \tag{1}$$

여기서 [2.67+(10.9+0.654 × Vin%) × (Sin m/sec)]는 상대적 산소흡입량(VO<sub>2</sub>) 값에 해당하며, V는 treadmill의 기울기, S는 속도, T는 시간, W는 몸무게를 나타낸다. 1Kcal는 4.2KJ에 해당하므로 treadmill에서 산출된 에너지 소모도는 Kcal값으로 환산하여 호흡가스분석장치에서 산출된 에너지 소모도와 비교하였으며, 실험에서 사용한 호흡가스분석장치에서의 에너지 산출은 식(2)의 Weir Method를 이용하여 산출되었다. 여기서 RER(Respiratory Exchange Ratio)은 CO<sub>2</sub>와 O<sub>2</sub>의 교환 비율을 나타낸다. [16].

$$Kcal/min = [(1.1 \times RER) + 3.9] \times VO_2 \tag{2}$$

4) 통계처리

운동학적 데이터와 에너지 소모도 비교에 있어서 통계적인 차이가 있는지를 검정하기 위해 SPSS(12.0) 통계 프로그램을 이용하여 비모수적 방법(Wilcoxon signed rank test)으로 대응표본 T 검정을 수행하였으며, 유의 수준은 P<0.05로 설정하였다.

III. 결과 및 고찰

A. 운동학적 분석

지면보행의 평균속도에 맞추어 treadmill의 속도를 설정하여 실험을 수행한 결과 시공간 변수에서 두 운동간의 보폭수(cadence), 보행속도(walking speed), 활보장(stride length)은 유사한 결과를 보였다(표 2).

삼차원 동작분석에 의한 운동학적 데이터에서는 보통 속도에서 지면 보행과 treadmill 보행은 고관절(Hip Joint)의 경우 최대굴곡(Flexion)은 각각 30.29°(±4.37), 25.83°(±4.72)로 유의한 차이를 보였으며, 최대신전시(Extension) 12.49°(±7.43), 16.77°(±5.97)로 유의한 차이를 보였다. 또한 무릎관절(Knee Joint)의 경우 유각

표 2. 시공간 변수  
Table 2. Temporal spatial parameters

speed	Treadmill		Overground	
	normal	fast	normal	fast
Cadence(steps/min) (S.D)	122 ± 10.58	139 ± 6.68	122 ± 3.09	137 ± 3.71
Walking speed(m/s) (S.D)	1.41 ± 0.13	1.99 ± 0.05	1.44 ± 0.08	1.85 ± 0.11
Stride Length(m) (S.D)	1.39 ± 3.49	1.58 ± 4.78	1.41 ± 0.07	1.62 ± 0.11

\*represents significant difference (P < 0.05)

기(Swing phase)시 최대신전의 경우에는 각각  $1.56^\circ (\pm 2.29)$ ,  $3.49^\circ (\pm 3.21)$ 로 유의한 차이를 보이지 않았으며, 최대 굴곡은 각각  $58.22^\circ (\pm 9.2)$ ,  $66.38^\circ (\pm 5.29)$ 로 유의한 차이를 보였다. 발목관절(Ankle Joint)의 경우 배굴(Dorsiflexion)시 각각  $9.39^\circ (\pm 3.08)$ ,  $8.67^\circ (\pm 2.34)$ 를 보였으며, 저굴(Plantarflexion)시 각각  $18.44^\circ (\pm 8.97)$ ,  $19.62^\circ (\pm 4.99)$ 로 모두 유의한 차이는 보이지 않았다. 빠른 속도에서는 고관절의 경우 최대굴곡은 각각  $31.46^\circ (\pm 5.91)$ ,  $29.04^\circ (\pm 4.24)$ 를 유의한 차이를 보였으며, 최대신전시 각각  $16.25^\circ (\pm 6.59)$ ,  $19.90^\circ (\pm 5.28)$ 로 유의한 차이는 보이지 않았다. 무릎관절에서는 유각기시 최대신전의 경우 각각  $1.11^\circ (\pm 3.07)$ ,  $3.64^\circ (\pm 2.75)$ 로 유의한 차이를 보였으며, 최대굴곡의 경우 각각  $58.19^\circ (\pm 7.65)$ ,  $57.56^\circ (\pm 12.85)$ 로 유의한 차이는 보이지 않았다. 발목관

절의 경우는 배굴시 각각  $7.14^\circ (\pm 3.52)$ ,  $3.10^\circ (\pm 3.20)$ 을 보였으며, 저굴시  $20.68^\circ (\pm 7.62)$ ,  $27.15^\circ (\pm 3.20)$ 으로 모두 유의한 차이를 보였다. 이때 treadmill 보행시 저굴이 더 빨리 발생하였으며 지면보행보다 약  $6.46^\circ (\pm 4.42)$  더 낮았다(표 3).

그림 3은 treadmill과 지면보행을 하는 동안 고관절, 슬관절, 족관절의 운동을 한 보행 주기를 기준으로 도시화 한 것이며, 그림에서 실선은 treadmill 보행을 점선은 지면보행을 나타내고 있다. 한 보행주기 동안 하지관절의 변화를 확인한 결과 각 관절의 운동범위(Range of Motion)는 거의 유사함을 보였다. Treadmill 보행과 지면보행의 유의성 비교에서는 보통 속도의 보행에서 고관절의 최대 굴곡과 신전, 무릎관절의 최대 굴곡에서 통계적으로 유의함을 보였고 빠른 속도의 보행에서는 엉덩관절의 최대 굴곡, 무릎 관절

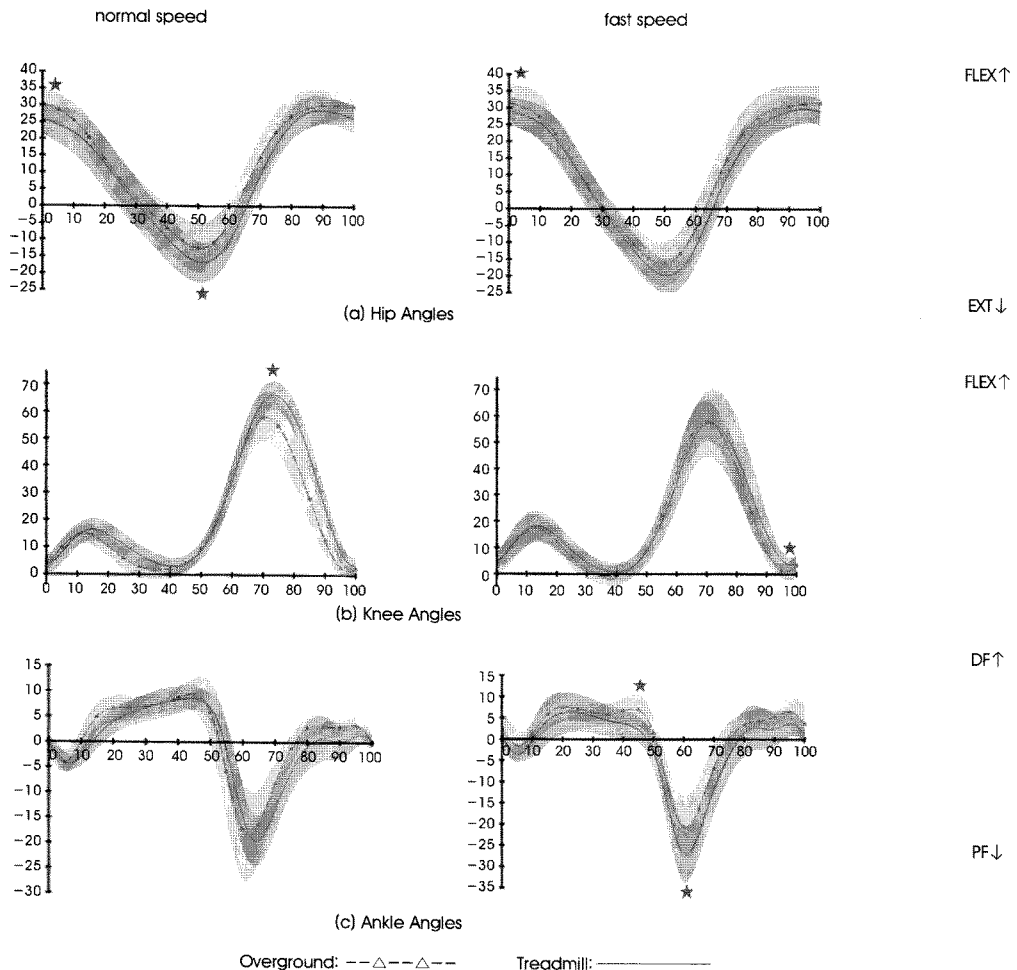


그림 3. Treadmill과 지면보행시 시상면 운동학적 데이터  
 Fig. 3. Kinematic Data of Treadmill and Overground on Sagittal Plane  
 \*represents significant difference (P < 0.05)

표 3. 관절각(°)  
Table 3. Joint angles(°)

		normal speed					fast speed				
		Mean difference	SD	t-Test	ROM(SD)		Mean difference	SD	t-Test	ROM(SD)	
					OG	TM				OG	TM
Hip	Flexion	4.46	0.34	0.00			2.42	1.66	0.03		
	Extension	-4.28	0.01	0.01	42.78	42.59	-3.65	1.31	0.07	47.70	48.94
Knee	Flexion(stance)	1.44	0.33	0.33	13.19	13.34	0.81	0.53	0.38	13.31	13.40
	Extension(stance)	-1.29	0.16	0.21			-1.49	0.39	0.08		
	Flexion(swing)	8.15	3.89	0.00	56.66	62.88	0.63	5.20	0.48	54.14	52.80
	Extension(swing)	-1.93	0.92	0.05			-2.53	0.31	0.01		
Ankle	Dorsiflexion	0.71	0.73	0.19	27.83	28.29	4.04	0.32	0.00	27.83	30.24
	Plantarflexion	-1.18	3.97	0.45			6.46	4.42	0.00		

의 최대 신전, 발목관절의 최대 저굴과 배굴에서 통계적으로 유의성을 보였다( $P < 0.05$ ). 빠른 보행의 발목 관절에서는 유각기시 treadmill 보행이 지면보행보다 빠른 저굴을 보였다. 이러한 차이는 treadmill 보행시 벨트의 밀림으로 안정적인 걸음을 위해 초기 접지(Initial-contact)시 지면보행보다 더 멀리 내딛고 발들림(Foot-off)시 뒤로 더 밀림으로 인한 것으로 판단된다.

그림 4는 지면보행과 treadmill 보행의 수직 지면반발력을 비교 분석하기 위해서, 첫 번째 절정력과 두 번째 절정력 그리고 중간지 지력을 비교한 그림을 보여주고 있다. 일반적으로 첫 번째 절정력은 발뒤축접지기(heel contact) 이후 하중을 수용하는 시기에 형성되는 수직 지면반발력이다. 중간지지력은 중간입각기(mid-stance), 즉 발바닥접지기(foot-flat)와 발뒤축들림기(heel-off) 중간에 유각축 다리가 입각축 다리를 지날 때 나타나는 최소 수직 지면반발력이다. 두 번째 절정력은 입각기의 70~80% 시기인 발뒤축들림

기에 push-off에 의해서 나타나며 그 크기는 첫 번째 절정력과 유사하다[17]. 보통 속도의 지면보행에서는 treadmill 보행보다 첫 번째 절정력은 6.6%감소, 중간지지력은 13.5%증가, 두 번째 절정력은 3.4%증가 하였고, 빠른 속도의 지면보행에서는 treadmill 보행보다 첫 번째 절정력은 13.5%감소, 중간지지력은 12.4%증가, 두 번째 절정력은 13.9%증가 하였으며, 통계적으로 모두 유의한 값을 보였다( $P < 0.05$ ).

**B. 에너지 소모 비교**

1) 호흡가스분석에 의한 treadmill 보행과 지면보행시 에너지 소모량 비교

표4는 treadmill과 지면보행시 호흡가스분석에 의한 에너지 소모도와 심박수를 비교하고 있다. 실험결과 피검자가 보통 속도와 빠른 속도의 보행 모두 treadmill 보행이 지면보행보다 더 높은 심

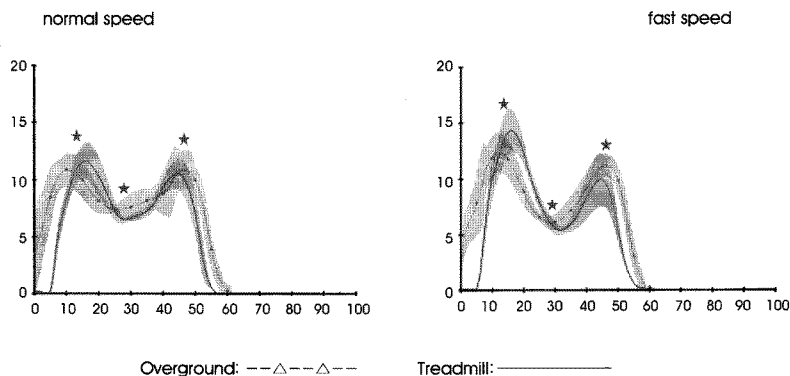


그림 4. Treadmill과 지면보행시 지면 반발력  
Fig. 4. Ground reaction forces of Treadmill and Overground walking  
\*represents significant difference ( $P < 0.05$ )

표 4. Treadmill 보행과 지면보행에서의 에너지 소모  
Table 4. Energy Expenditure in Treadmill and Overground Walking

Walking Conditions	Overground		Treadmill	
	normal	fast	normal	fast
*Heart Rate [1/min]	95.6(±2.0)	118.4(±1.6)	111.6(±2.0)	133.6(±2.6)
*Rel. O <sub>2</sub> Uptake [ml/min/kg]	17.0(±0.6)	19.4(±0.6)	19.0(±1.0)	28.8(±1.0)
*Energy Expenditure [kcal/d/kg]	107.6(±4.9)	146.1(±5.3)	128.9(±4.7)	197.6(±5.4)

\*represents significant difference (P < 0.05)

박수를 요구하였다. 또한 treadmill 보행에서 산소섭취량은 12.9%, 에너지 소모도는 27.9% 증가하였다(P < 0.05).

그림 5는 보행속도에 따라 treadmill 보행과 지면보행시 호흡가스분석에 의한 에너지 소모도와 treadmill에서의 에너지 소모도를 비교하고 있다. 실험결과 treadmill 보행이 지면보행보다 각각 호흡가스분석에 의한 에너지 소모도 수치가 보통 속도에서 9.79 ± 0.13, 빠른 속도에서 23.15 ± 1.64로 treadmill 보행이 지면보행보다 높은 에너지 소모를 나타냈으며, 속도에 따라 두 운동 모두 통계적으로 유의성을 보였다(P < 0.05).

Treadmill 보행시 에너지 소모도 분석 방법에 따라라도 차이를 보였다. 호흡률을 반영한 weir method에 의해 산출된 에너지 소모도는 편안한 속도에서 빠른 속도로 보행할 경우 비선형적으로 증가하는 특징을 보인 반면 treadmill에서 사용되는 margaria fomular 방법으로 산출된 에너지 소모도는 선형적인 증가 곡선을 나타냈으며 통계적으로 유의성을 보였다(P < 0.05).

#### IV. 토 의

실험을 통해 treadmill 보행과 지면보행은 Patrick O 등[11]의

지면과 treadmill의 수행 자유보행에 관한 연구 결과들과 유사하게 운동학적으로 비슷하다는 것을 확인할 수 있었다. 가장 중요한 역학적 보행인자인 수직 지면 반발력 또한 treadmill 보행이 지면 보행보다 높은 수치를 나타냈다. 이는 treadmill의 이동속도에 따라, 하중수용기가 빨리 나타나고 발뒤축들림기가 지연됨에 의해서 제 1 절정력과 제 2 절정력이 다소 증가되며 보행속도가 증가될수록 더욱 현저하게 나타난다는 기존 연구와 상응했다[18].

호흡가스 분석을 통한 에너지 소모도 비교실험에서는 treadmill 보행이 지면보행보다 더 큰 에너지 소모를 요구한다는 것을 확인할 수 있었다. 이는 treadmill 보행이 지면보행보다 각 관절의 움직임이 크게 나타나고 벨트의 움직임에 따라 중심을 잡기 위한 인위적인 보행을 함으로 인하여 보행에 대한 몸의 스트레스가 증가한 것으로 판단된다. 또한 동일 조건에서 treadmill 보행을 하였을 때 속도변화에 따른 에너지 소모도 비교에서는 호흡가스분석기와 treadmill에서의 산출값이 차이를 보였다. 이는 호흡가스 분석기와 treadmill에서 심폐능력(VO<sub>2</sub>)을 계산할 때 실제 피검자마다의 측정이 이루어져 실험값에 적용되는 호흡가스 분석기와 달리 공식에 의해 수치적으로 적용된 treadmill에서는 기율기와 속도만이 다른 변수이므로 동일한 기율기와 속도에서는 같은 값으로 적용되

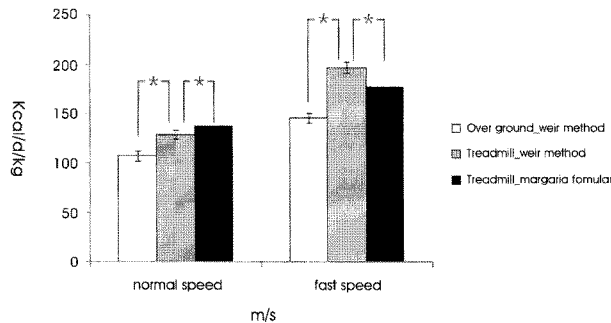


그림 5. Treadmill과 지면보행의 에너지 소모 비교  
Fig. 5. Energy expenditure of treadmill and overground walking  
\*represents significant difference (P < 0.05)

어 Menier등[10]의 속도에 따른 에너지 소모도에 관한 연구결과인 1.66m/s 시점에서 에너지 소비가 비선형적으로 증가하는 특징을 반영하지 못한 것으로 판단된다.

하지만 본 실험에서는 지면보행시 삼차원 동작 분석을 위해 직선운동이 아닌 원운동 보행을 하여 이에 따른 오차가 예상되며 추후 treadmill 보행과 같은 직선 지면보행과의 비교 연구를 계속 진행할 예정이다. 본 연구 결과를 바탕으로 편마비 환자의 보행 재활 훈련과 노인의 운동 및 재활치료, 고혈압 및 비만 환자의 운동처방에 피로와 에너지 소모를 최소화한 방법으로 재활치료 방법 및 공간 계획이 이루어져야 하겠다.

### V. 결론

본 연구에서는 보통 속도와 빠른 속도에서의 지면보행과 treadmill 보행의 운동학적 차이와 에너지 소모도 차이를 정량적으로 비교 분석 하였다. 보통 속도의 보행에서 treadmill 보행과 지면보행에서 하지관절의 움직임은 유사성을 보였지만 유각기시 무릎 관절의 8.15°(±3.98)정도의 비교적 큰 차이를 나타냈다. 빠른 속도의 보행에서는 발목 관절의 배굴(dorsiflexion)시 4.04°(±0.32)의 차이를 보였으며, Treadmill 보행시 저굴이 더 빨리 일어나며 약 6.46°(±4.42) 더 낮았다.

수직 지면반발력 비교에서는 첫 번째 절정력과 두 번째 절정력 모두 treadmill 보행이 지면보행보다 높은 수치를 보였다. Treadmill 보행에서 벨트의 움직임이 부자연스러운 보행을 만들고 전반적인 보행 스트레스를 증가시킬 수 있었다. 즉 동일한 시간의 심폐운동(cardiopulmonary exercise)시 지면보행보다 treadmill 보행시 기계적인 운동이 더 크게 나타남을 알 수 있었으며 이러한 이유로 호흡률 및 심박수의 증가를 초래하여 결과적으로 높은 에너지 소모도를 요구함을 알 수 있었다.

Treadmill 표시 값과 호흡가스 분석기와의 에너지 소모도 산출 값 비교에서는 빠른 보행 속도의 경우 많은 차이를 보였는데, 이것은 빠른 속도에서 신체의 에너지 소모가 비선형적으로 증가하는 것을 treadmill 표시 값에서는 반영하지 못한 결과임을 알 수 있다.

### 참고문헌

[1] Dal Monte, A, Fucci, S & Manoni, A. "The treadmill used as a training and simulator instrument in middle and long-distance running" *Medicine and Sport, 8, Biomechanics III, Basel: Karger.* pp. 359-363, 1973.

[2] Neil J. Postans, Jon P. Hasler, Malcolm H. Granat, Douglas J. Maxwell, "Functional Electric Stimulation to Augment Partial Weight-Bearing Supported Treadmill Training for Patients With Acute Incomplete Spinal Cord Injury: A Pilot Study", *Arch Phys Med Rehabil*, vol 85, pp. 604-610, 2004.

[3] Xuemei Sui, Michael J. LaMonte, James N. Laditka, James W. Hardin, Nancy Chase, Steven P. Hooker, Steven N. Blair,

"Cardiorespiratory Fitness and Adiposity as Mortality Predictors in Older Adults", *JAMA*, vol 298, No. 21, pp. 2507-2515, 2007.

[4] Ming Wei, James B. Kampert, Carolyn E. Barlow, Milton Z. Nichaman, Larry W. Gibbons, Ralph S. Paffenbarger, Jr, Steven N. Blair, "Relationship Between Low Cardiorespiratory Fitness and Mortality in Normal-Weight, Overweight, and Obese Men", *JAMA*, vol 282, No. 16, pp. 1547-1553, 1999.

[5] Mohammad Ali Kizilbash, Mercedes R. Carnethon, Cheeling Chan, David R. Jacobs, Stephen Sidney, and Kiang Liu, "The temporal relationship between heart rate recovery immediately after exercise and the metabolic syndrome: the CARDIA study". *Eur Heart J.* vol. 27, pp. 1592-6. 2006.

[6] Ahmed F. Osman, MD, Mandeep R. Mehra, MD, FACC, Carl J. Lavie, MD, FACC, Eduardo Nunez, MD, Richard V. Milani, MD, FACC, "The incremental prognostic importance of body fat adjusted peak oxygen consumption in chronic heart failure". *Journal of the American College of Cardiology*, vol. 36, pp. 2126-2131, 2000.

[7] Manley S: The rehabilitation team. In Grabois M, et al: *Physical Medicine and Rehabilitation: The Complete Approach.*, pp26-32, Blackwell Science, Inc., 2000.

[8] American College of Sports Medicine, "ACSM's Resources for the Personal Trainer", pp. 404-430, 2007.

[9] MARARIA R.: *Biomechanics and energetics of muscular exercise.* Clarendon Press, Oxford, 1976.

[10] Menier DR, Pugh LG. "The relationship of oxygen intake and velocity of walking and running in competition walkers". *J Physiology*, vol. 197, pp. 717-721, 1968.

[11] Patrick O. Riley, Gabriele Paolini, Ugo Della Croce, Kate W. Paylo, D. Casey Kerrigan, "A Kinematic and Kinetic comparison of overground and treadmill walking in health subjects", *Gait & Posture*, vol. 26, pp. 17-24, 2007.

[12] Marco Traballes, Paolo Porcacchia, Tiziano Averna, Stefano Brunelli, "Energy cost of walking measurements in subjects with lower limb amputations: A comparison study between floor and treadmill test", *Gait & Posture*, vol. 27, pp. 70-75, 2008.

[13] M. E. Pearce, D. A. Cunningham, A. P. Donner, P. A. Rechner, G. M. Fullerton, J. H. Howard, "Energy Cost of Treadmill and Floor Walking at Self-selected Paces", *Eur J Appl Physiol*, vol. 52, pp. 115-119, 1983.

[14] 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.

[15] Dick H. Thijssen, Rebecca Paulus, Caro J. van Uden, Jan G. Kooloos, Maria T. Hopman, "Decreased Energy Cost and Improved Gait Pattern Using a New Orthosis in Persons With Long-Term Stroke", *Arch Phys Med Rehabil*, vol. 88, pp. 181-186, 2007.

[16] McAride WD, Katch FI, Latch VL. "Essentials of exercise physiology, 2th ed", Baltimore, *Williams & Wilkins*, 2000

[17] C.C. Norkin, P.K. Levangie, "Gait in Joint structure and function: A comprehensive analysis", 2nd ed, 1992.

[18] H. J. Yack, C. Tucker and W. H. Collins, "Comparison of overground and treadmill vertical ground reaction forces" *Gait and Posture* vol. 3, no. 2, pp,86, 1995.