

■한동욱^{1*}

■¹신라대학교 물리치료학과

The Effect of Treadmill Slope and Knee Flexion Angle on Lung Function while Walking on the Treadmill

Dong-Wook Han PT, PhD^{1*}

¹Department of Physical Therapy, Silla University

Purpose : This study aims to examine the effect of treadmill slope and knee flexion angle on lung function while walking on the treadmill. **Methods** : A total of 15 healthy female students attending S university in B city were enrolled in this study. A gas analyzer (K4b2, COSMED, Italy) was used to measure the lung function. Using a knee brace that could limit movement, the knee flexion angles were set to 0°, 15°, 30°, and 45°. The treadmill slope (h/p/Cosmos, Proxomed, Germany) was set at 0%, 5%, and 10%. The items of lung functions included respiratory frequency (RF), tidal volume (VT), minute ventilation (VE), oxygen consumption (VO₂), and carbon dioxide output (VCO₂). The speed of treadmill was 4.3 km/h. The measurement time was 5 minutes for each session. However, only the values of measurement for 3 minutes excluding the first one minute and the last one minute during walking were used for analysis. **Results** : In this study, the results showed that RF increased as the treadmill slope increased at knee flexion of 0° ($p < 0.05$), 15° ($p < 0.05$), and 30° ($p < 0.05$). However, depending on the increase in knee flexion limitation at treadmill slopes of 0%, 5%, and 10%, VT, VE, VO₂, and VCO₂ were not changed. Also, based on the increase in knee flexion limitation at treadmill slopes of 0° ($p < 0.05$) and 5° ($p < 0.05$), RF increased. But there was no significant difference at 10% of slope. VT increased as the treadmill slope increased at knee flexion of 30° ($p < 0.05$) and 45° ($p < 0.05$). VE, VO₂, and VCO₂ increased as the treadmill slope increased at knee flexion of 0° ($p < 0.05$), 15° ($p < 0.05$), 30° ($p < 0.05$), and 45° ($p < 0.05$). **Conclusion** : In conclusion, the treadmill slope was found to have a greater effect on lung function than that of the knee flexion angle.

Key Words : Slope of treadmill, Knee flexion angle, lung function

Received : November 19, 2020 / **Revised** : December 15, 2020 / **Accepted** : December 17, 2020

I. 서론

걷기는 인간의 기본적인 움직임 중 하나로서 몸통과 다리의 여러 분절이 상호보완적으로 작용하여(Perry, 1992) 신체를 이 동시키는 동작이라고 할 수 있다. 걷기에 관여하는 다리의 관절에는 엉덩관절, 무릎관절 및 발목관절 등이 있다. 한 다리의 움직임을 기준으로 시작자세에서 다시 시작자세로 돌아오는 연속적인 주기를 보행주기(gait cycle)라고 하며, 입각기(stance phase)와 유각기(swing phase)로 구분할 수 있다. 입각기는 다시 초기접지기(initial contact), 체중부하기(loading response), 중간입각기(mid stance), 말기입각기(terminal stance)로 구분하고, 유각기는 전-유각기(pre-swing), 초기유각기(initial swing), 중간유각기(mid swing), 말기유각기(terminal swing)로 구분한다

(Perry, 1992). 일반적으로 입각기는 체중을 지지하기 위해 다리가 지지대 역할을 하는 단계로 엉덩관절과 무릎관절의 펌 동작이 우세한 시기라고 할 수 있다. 반면 유각기는 몸이 앞으로 나가기 위해 다리를 들어 옮기는 단계로 이때 엉덩관절과 무릎관절은 굽힘 동작이 우세해지게 된다. 따라서 엉덩관절과 무릎관절의 굽힘과 펌 동작이 원활해야 효율적인 걷기 동작이 일어나게 된다.

특히 무릎관절은 걷는 동안 발이 지면에 접촉할 때 발생하는 지면반발력에 의한 충격을 완화하는 기능과 발이 지면에 닿아있는 동안 다리의 안정성을 제공하는 중요한 역할을 한다(윤남식 등, 2000). 반면 지면에서 다리가 떨어지면 앞으로 나가는 동작에 방해해 주지 않도록 굽힘 동작을 만들어 기능적인 걷기 동작이 일어나도록 하는데 관여하는 중요한 관절이라고 할 수 있다(Norkin과 Levangie, 1992). 그러나 관절면의 구성이 단순하기

교신저자: 한동욱

주소: 46958 부산광역시 사상구 백양대로 700번길 140(괘법동), TEL: 051-999-5464, E-mail: dwihan@silla.ac.kr

때문에 특히 큰 가동성을 요할 때는 뺨(sprain)이나 어긋남(dislocation)이 일어나기 쉽다(Kapandji, 1982). 때로는 정형외과적 질환들로 인해 무릎관절에 구축이 발생되기도 하고, 위운동신경원의 손상으로 생긴 근육의 경직으로 무릎관절의 기능 저하가 나타나 비정상적인 보행패턴을 보이게 된다(Waters와 Lunsford, 1985). 특히 무릎이 굽혀진 상태로 구축이 발생되면 비정상적인 걷기 동작이 발생하고, 이러한 구조적 변화는 에너지를 최소화하려는 걷기 패턴에 기능 이상을 초래해 에너지 소모도를 증가시키는 문제를 야기하게 된다. 일반적으로 무릎의 움직임이 자유롭지 못하면 불필요하게 같은 쪽 골반이 거상하며(elevate the ipsilateral pelvis), 같은 쪽 엉덩관절의 휘돌림(circumduction of the ipsilateral hip)이 나타나 걷기 시 에너지 소비를 증가시키게 된다(Abdulhadi 등, 1996). 따라서 초기 연구에서는 걷기 동작 분석과 비정상적인 걷기 동작이 에너지 소모도에 미치는 영향에 대한 것들이 많았다(Waters와 Lunsford, 1985; Bleck, 1987; Gage, 1991; Waters, 1992; Abdulhadi 등, 1996). 보다 최근에는 걷기 속도와 경사도가 미치는 영향(한용빈 등, 2019; 조기선과 이대택, 2003; 이경옥과 김지연, 2001; 최정희 등, 1995)에 대한 연구들이 진행되었다.

우리가 일상적으로 걸어 다니는 환경은 평평하다고만 할 수 없으며, 다양한 경사가 존재한다(이경옥과 김지연, 2000). 그리고 경사에서의 걷기는 무릎관절의 움직임을 더 복잡하게 만들며(Kuster 등, 1995), 평지에서의 걷기보다 에너지 소비량이 증가하기(Kawamura 등, 1991) 때문에 경사도의 변화가 미치는 영향에 대한 연구는 바람직하다고 할 수 있다. 보통 에너지 소비가 증가한다는 것은 산소와 영양소를 이용한 에너지 대사과정이 증진된다는 것을 의미하며, 산소를 공급시키는 호흡기능 역시 걷기에 영향을 받는다는 것을 의미한다. 그럼에도 불구하고 경사도에서 걷는 동안 발생하는 호흡기능의 변화에 대해서는 여전히 연구가 부족한 상태이다. 특히 다양한 원인으로 무릎관절에 제한이 발생함에도 불구하고, 무릎관절각도 제한이 경사도 걷기 시 호흡기능에 미치는 영향에 대한 연구는 더욱 부족한 상황이다. 따라서 본 연구는 무릎관절 제한과 경사도 변화가 걷는 동안 호흡기능에 미치는 영향을 알아보고자 하였다.

II. 연구 방법

1. 연구 대상

본 연구는 부산지역의 S 대학교에 재학 중인 여자 대학생을 15명이었다. 모든 대상자는 본 연구의 목적에 대한 충분한 설명을 들은 후에 자발적으로 본 연구에 참여하겠다고 서면 동의하였다. 본 연구 대상자는 실험에 영향을 줄 수 있는 신경계, 근골격계, 심폐계에 대한 과거병력이 없었으며, 걷기에 이상이 없는 자

로 하였다. 본 실험을 위해 15명의 피검자를 트레드밀의 경사도(0%, 5%, 10%)와 무릎관절 굽힘 각도(0°, 15°, 30°, 45°)를 변화시켜 구성된 12가지 조건하에서 걷도록 하였다.

2. 실험 도구 및 방법

1) 무선가스분석기

본 연구에서 호흡기능을 분석하기 위하여 무선가스분석기(K4b2, COSMED, Italy)를 사용하였다. K4b2는 다양한 운동 강도에서 산소소모량을 측정하는데 적합한 무선가스분석기로서 호흡빈도수(respiratory frequency; RF), 1회호흡량(tidal volume; VT), 분당환기량(ventilation; VE), 산소소모량(oxygen consumption; VO_2), 이산화탄소생산량(carbon dioxide production; VCO_2)을 측정하는데 유용한 측정도구이다.

2) 무선 심박수 측정기

걷는 동안 심박수가 증가하는데, 운동의 효과가 없어지면 심박수가 안정상태로 돌아온다. 따라서 가슴에 무선심박수측정기(RS400, Polar, Finland)를 착용하여 걷는 동안 심박수를 측정하였고, 충분한 휴식을 하는 동안 걷기 전의 심박수로 돌아오는지를 확인하였다. 처음 심박수로 회복되면 다른 조건의 걷기를 시작하였다.

3) 무릎보조기

무릎관절 제한은 각도조절이 가능한 무릎관절보조기(Limited motion knee brace, Ismedi, Korea)를 사용하였다. Waters(1992)는 정상 걷기동작 보다 한 쪽 무릎을 고정하고 걸을 때 무릎 굽힘 각도가 증가될수록 산소소모량이 증가한다고 하였다. Duffy 등(1997)은 양쪽 무릎에 경첩 무릎 보조기(hinge knee brace)를 착용하여 0°, 15°, 30°, 45°로 고정하여 걷기를 시킨 결과 각도에 따라 산소소모량에 차이가 발생하였다고 보고하였다. 따라서 본 연구에서도 왼쪽 무릎에 무릎관절보조기를 착용하였으며, 굽힘 각도를 0°, 15°, 30°, 45°로 제한하였다. 굽힘각도는 무릎관절을 완전히 펴했을 때 0°라고 하였고, 완전 펴 상태에서 다리를 구부려 45° 되었을 때 45° 굽힘이라고 하였다.

4) 트레드밀

걷기 하는 동안 경사도에 따른 호흡기능의 변화를 알아보기 위하여 경사도 조절이 자유로운 트레드밀(h/p/Cosmos, Proxomed, Germany)을 사용하였다. 일반적인 걷기속도를 보면 남성은 약 4.7-5.4km/hour이고, 여성은 약 4.3km/hour라고 알려져 있다(Pearce 등, 1983; Workman과 Armstrong, 1963). 따라서 본 연구는 걷기 속도를 4.3km/hour로 정하였다. 트레드밀의 경사도와 관련하여 김지연(2001)은 골반회전각과 무릎 굽힘/펴 각도는 경사도 0%와 10% 사이에서 유의한 차이가 있었고,

엉덩관절 굽힘/뻗, 발목의 발바닥쪽 굽힘 각은 경사도 0%와 5% 및 10% 사이에서 유의미한 차이가 있다고 보고하였다. 따라서 본 연구에서도 트레드밀 경사도를 0%, 5%, 10%로 하였다.

3. 분석 방법

본 연구는 무릎관절각도와 트레드밀의 경사도가 호흡기능에 미치는 영향을 알아보기 위한 것이다. 호흡기능을 측정하기 위해 연구대상자들에게 무선심박수 측정기와 무선가스분석기를 착용 시킨 후 트레드밀 위에서 안정시심박수에 도달할 때까지 기다렸다가 안정시 심박수에 도달하면 5분 동안 걷게 하였다. 걷기가 끝나면 의자에 앉아 안정을 취하도록 하였고, 심박수가 안정시 상태로 회복되면 다른 조건에서 다시 5분을 걷도록 하였다. 5분 동안 측정한 후 걷기를 시작하여 3분이 지난 시점에서 종료시점인 5분까지 걸었던 측정값의 평균을 분석에 사용하였다. 연구대상자는 처음에 15명이었지만, 실험 전 안정시 호흡빈도가 20회 이상인 대상자 2명을 제외하였다. 따라서 총 13명의 실험값을 분석에 사용하였다. 각각의 트레드밀 경사도에서 무릎관절 제한에 따라 호흡기능이 변화되었는지를 알아보기 위하여 반복측정 분산분석(Repeated ANOVA test)을 실시하였다. 또한 각각의 관절각도에서 트레드밀의 경사도에 따라 호흡기능이 변화되었는지를 알아보기 위하여 역시 반복측정분산분석(Repeated measurement ANOVA test)을 실시하였다. 분석에 사용한 통계프로그램은 SPSSWIN(ver. 25.0)이었으며, 유의수준 $\alpha=0.05$ 이었다.

III. 연구결과

1. 연구대상자의 일반적 특성

연구대상자는 13명의 여자 대학생이었으며, 일반적인 특성을 보면 평균 연령은 20.08세, 평균 신장은 161.54cm, 평균 체중은 51.08kg이었다(표 1).

2. 무릎관절각도와 트레드밀 경사도가 호흡빈도(respiratory frequency)에 미치는 영향

트레드밀 경사도가 0%일 때 무릎관절 각도에 따른 호흡빈도에 차이가 있었으며($p<0.05$), 사후분석 결과 45° 각도에서 다른 각도보다 많았다. 경사도가 5%에서도 관절각도에 따른 호흡빈도

표 1. 연구대상자의 일반적인 특성

(단위)

변수	평균±표준편차
연령(세)	20.08±0.28
신장(cm)	161.54±4.43
체중(kg)	51.08±9.31

에 차이가 있었으며($p<0.05$), 사후분석 결과 45° 각도가 0°와 15° 보다 많았다. 반면 경사도 10%에서는 무릎관절 각도에 따른 차이가 없었다.

무릎관절각도 제한이 없는 0°에서는 트레드밀 경사도에 따라 호흡빈도가 차이가 있었으며($p<0.05$), 사후분석결과 경사도 10%가 경사도 0%보다 많았다. 무릎관절각도 15° 제한의 경우도 트레드밀 경사도에 따라 호흡빈도가 차이가 있었으며($p<0.05$), 사후분석결과 경사도 10%가 경사도 0%보다 많았다. 또한 무릎관절각도 30° 제한에서도 트레드밀 경사도에 따라 호흡빈도가 차이가 있었으며($p<0.05$), 사후분석결과 경사도 5%와 경사도 10%가 경사도 0%보다 많았다. 반면 무릎관절각도 45° 제한에서는 트레드밀 경사도에 따른 호흡빈도의 차이가 없었다(표 2).

3. 무릎관절각도와 트레드밀 경사도가 1회호흡량(tidal volume)에 미치는 영향

트레드밀 경사도 0%, 5%, 10% 모두에서 무릎관절 각도에 따른 1회호흡량은 통계적으로 유의미한 차이가 없었다.

무릎관절각도 제한이 없는 0°와 무릎관절각도 15° 제한에서 트레드밀 경사도에 따라 1회호흡량 역시 통계적인 차이가 없었다. 반면 무릎관절각도 30° 제한($p<0.05$)과 45° 제한($p<0.05$)에서는

표 2. 무릎관절각도와 트레드밀 경사도가 호흡빈도에 미치는 영향

(단위: 회)

	0%	5%	10%	F
0°	26.60±6.10a	30.79±7.89	33.30±6.46	4.248*
15°	27.58±6.28	31.72±7.50	33.50±4.98	6.120*
30°	28.70±3.01	32.05±4.46	33.59±6.98	7.458* ‡
45°	32.69±4.82	34.42±6.38	34.78±7.61	2.782
F	6.352*	4.074* †	0.361	

a평균±표준편차

|: 45° > 0° = 15° = 30°

†: 45° > 0° = 15°, 45° = 30°, 0° = 15° = 30°

||: 0% < 10%, 0% = 5%

‡: 0% < 5% = 10%

표 3. 무릎관절각도와 트레드밀 경사도가 1회호흡량에 미치는 영향

(단위: L)

	0%	5%	10%	F
0°	0.96±0.22a	0.98±0.42	1.04±0.24	0.338
15°	0.91±0.31	0.92±0.26	1.03±0.23	2.488
30°	0.88±0.26	0.90±0.21	1.03±0.23	10.998* ‡
45°	0.80±0.18	0.82±0.18	1.02±0.36	7.150* ‡
F	1.554	2.678	0.030	

a평균±표준편차

‡: 0% = 5% < 10%

경사도에 따른 1회호흡량이 차이가 있었다. 사후분석결과 두 각도 모두 경사도 10%가 경사도 0%, 경사도 5%보다 많았다(표 3).

4. 무릎관절각도와 트레드밀 경사도가 분당환기량(minute ventilation)에 미치는 영향

트레드밀 경사도 0%, 5%, 10% 모두에서 무릎관절 각도에 따른 분당환기량은 통계적으로 유의미한 차이가 없었다.

무릎관절각도 제한이 없는 0°에서 트레드밀 경사도에 따른 분당환기량에 차이가 있었다($p<0.05$). 사후분석 결과 경사도 10%에서의 분당환기량이 경사도 0%와 경사도 5%에서 보다 많았다. 무릎관절각도 15° 제한에서도 트레드밀 경사도에 따라 분당환기량이 통계적으로 차이가 있었으며($p<0.05$), 사후분석 결과 경사도 0%보다 경사도 5%에서 많았으며, 경사도 0%와 경사도 5% 보다는 경사도 10%에서 많았다. 무릎관절각도 30° 제한 역시 트레드밀 경사도에 따라 분당환기량이 통계적으로 차이가 있었으며($p<0.05$), 사후분석 결과 경사도 0%보다 경사도 5%에서 많았으며, 경사도 0%와 경사도 5% 보다는 경사도 10%에서 많았다. 또한 45° 제한에서도 트레드밀 경사도에 따라 분당환기량에 통계적인 차이가 있었으며($p<0.05$), 사후분석결과 경사도 10%가 경사도 0%, 경사도 5%보다 많았다(표 4)

5. 무릎관절각도와 트레드밀 경사도가 산소소모량(oxygen consumption; VO_2)에 미치는 영향

트레드밀 경사도 0%, 5%, 10% 모두에서 무릎관절 각도에 따른 산소소모량은 통계적으로 유의미한 차이가 없었다.

무릎관절각도 제한이 없는 0°에서 트레드밀 경사도에 따른 산소소모량에 차이가 있었다($p<0.05$). 사후분석 결과 경사도 10%에서의 산소소모량이 경사도 0%와 경사도 5%에서 보다 많았다. 무릎관절각도 15° 제한에서도 트레드밀 경사도에 따라 산소소모량이 통계적으로 차이가 있었으며($p<0.05$), 사후분석 결과 경사도 10%에서의 산소소모량이 경사도 0%와 경사도 5%에서 보다 많았다. 무릎관절각도 30° 제한 역시 트레드밀 경사도에 따라

표 4. 무릎관절각도와 트레드밀 경사도가 분당환기량에 미치는 영향
(단위: ℓ/min)

	0%	5%	10%	F
0°	24.07±3.82a	28.04±6.05	33.62±7.11	13.006* f
15°	23.60±5.65	27.75±4.40	33.94±6.65	29.329* ff
30°	24.55±4.93	27.97±4.40	33.67±6.97	42.738* ff
45°	25.56±5.29	27.29±3.93	34.05±8.38	14.022* f
F	0.857	0.304	0.049	

a평균±표준편차

f: 0% = 5% < 10%

ff: 0% < 5% < 10%

산소소모량이 통계적으로 차이가 있었으며($p<0.05$), 사후분석 결과 경사도 0%보다 경사도 5%에서 많았으며, 경사도 0%와 경사도 5% 보다는 경사도 10%에서 많았다. 또한 45° 제한에서도 트레드밀 경사도에 따라 산소소모량에 통계적인 차이가 있었으며($p<0.05$), 사후분석결과 경사도 10%가 경사도 0%, 경사도 5%보다 많았다(표 5)

6. 무릎관절각도와 트레드밀 경사도가 이산화탄소생성량(carbon dioxide production; VCO_2)에 미치는 영향

트레드밀 경사도 0%, 5%, 10% 모두에서 무릎관절 각도에 따른 이산화탄소생성량은 통계적으로 유의미한 차이가 없었다.

무릎관절각도 제한이 없는 0°에서 트레드밀 경사도에 따른 이산화탄소생성량에 차이가 있었다($p<0.05$). 사후분석 결과 경사도 10%에서의 이산화탄소생성량이 경사도 0%와 경사도 5%에서 보다 많았다. 무릎관절각도 15° 제한에서도 트레드밀 경사도에 따라 이산화탄소생성량이 통계적으로 차이가 있었으며($p<0.05$), 사후분석 결과 경사도 0%보다 경사도 5%에서 많았으며, 경사도 0%와 경사도 5% 보다는 경사도 10%에서 많았다. 무릎관절각도 30° 제한 역시 트레드밀 경사도에 따라 이산화탄소

표 5. 무릎관절각도와 트레드밀 경사도가 산소소모량에 미치는 영향
(단위: ml/min)

	0%	5%	10%	F
0°	975.63±133.17a	1086.87±241.74	1321.10±287.49	9.600* f
15°	929.94±231.53	1048.99±165.16	1356.34±287.79	26.648* f
30°	972.50±200.89	1067.35±172.66	1372.66±264.02	67.771* ff
45°	965.61±177.77	1033.20±177.38	1320.09±248.83	24.373* f
F	0.476	0.609	0.424	

a평균±표준편차

f: 0% = 5% < 10%

ff: 0% < 5% < 10%

표 6. 무릎관절각도와 트레드밀 경사도가 이산화탄소생성량에 미치는 영향
(단위: ml/min)

	0%	5%	10%	F
0°	832.88±142.65a	947.87±225.36	1150.11±243.37	9.846* f
15°	767.26±175.52	905.92±156.13	1154.84±225.93	42.098* ff
30°	791.72±173.16	916.61±175.51	1155.62±216.08	73.128* ff
45°	788.73±142.55	879.43±163.45	1133.02±250.39	23.571* f
F	0.864	1.295	0.123	

a평균±표준편차

f: 0% = 5% < 10%

ff: 0% < 5% < 10%

생성량이 통계적으로 차이가 있었으며($p<0.05$), 사후분석 결과 경사도 0%보다 경사도 5%에서 많았으며, 경사도 0%와 경사도 5%보다는 경사도 10%에서 많았다. 또한 45° 제한에서도 트레드밀 경사도에 따라 이산화탄소생성량에 통계적인 차이가 있었으며($p<0.05$), 사후분석결과 경사도 10%가 경사도 0%, 경사도 5%보다 많았다(표 4)

IV. 고 찰

일상생활동작에서 가장 많은 부분을 차지하는 이동은 포괄적인 의미로 보행뿐만 아니라 다른 모든 방법에 의한 위치변화를 통칭하며, 걷기는 모든 이동 방법 중에서 가장 흔히 사용되는 방법이다(김진호와 한태륜, 2004). 이러한 걷기는 체간의 안정성과 균형을 유지하기 위해 다리와 머리, 몸통, 팔이 서로 상호 보완적으로 작용하여 이동하는 동작을 의미한다(Galley와 Foster, 1987). 걷기는 공간 사이로 몸을 부드럽게 전진시키는 동작으로 오른쪽과 왼쪽의 대칭성을 유지하여 반복적으로 이루어지는 동작이기 때문에 역학적으로 가능한 에너지소모를 줄일 수 있는 효율적인 동작을 취하게 된다(정진우 등, 2009). Saunders 등(1953)은 에너지 소모를 최소화할 수 있는 걷기요소로서 골반돌림(pelvis rotation), 골반경사(Pelvic tilt), 입각 기에서의 무릎 굽힘(Knee flexion in the stance phase), 발과 무릎의 상호작용(foot and knee mechanisms), 골반의 가측변위(lateral displacement of the pelvis)를 언급하였다. 효율적인 걷기 동작을 위해서 무릎 굽힘이라는 요소가 포함된다는 것을 알 수 있다. 결과적으로 효율적인 걷기를 위해서는 무릎관절의 움직임이 정상이어야 한다는 것을 알 수 있다. 하지만 무릎관절은 근골격계 질환 또는 신경계 질환 등 다양한 원인에 의해 제한을 받을 수 있다. 흔하게 발생하는 무릎 굽힘 제한은 걷기 동작에서 에너지 소모를 증가시키는 원인이 된다. 이와 일치하게 Ralston(1964)은 무릎이 45°로 고정된 상태에서 산소 소모가 증가하였다고 보고하였고, Inman 등(1984)은 무릎을 고정하고 걷기를 시킨 결과 에너지 소모가 18% 증가하였다고 보고하였다. Mattsson과 Broström(1990)도 무릎을 고정하였더니 에너지 소모가 23% 증가하였음을 확인하였다. 또한 Waters(1992)는 무릎 굽힘 각도가 증가할수록 산소소모가 높아졌고, 보행 속도는 느려졌다고 하였다. 그리고 Duffy 등(1997)은 경첩 무릎 보조기(hinge knee brace)를 착용했을 때, 걷는 속도가 느려지면 이로 인해 산소 소모가 증가했다고 하였다. 이렇듯 대부분의 연구에서는 무릎관절의 각도가 에너지 소모에 영향을 미친다고 보고하였다. 또한 박제상 등(1996)는 슬관절 굴곡각도 제한에 따라 산소소모가 증가하였다고 보고하였다. 하지만 본 연구 결과를 보면 이전의 선행 연구들과는 다소 차이를 보이고 있었다. 즉 본 연구에서는 트레드

밀 경사도 0%, 5%, 10%일 때 무릎관절 각도를 0°, 15°, 30°, 45°로 고정하여 걷기를 시킨 결과 무릎관절에 따른 1회호흡량(TV), 분당환기량(VE), 산소소모량(VO_2), 이산화탄소생성량(VCO_2)에 차이가 없었다. 반면 호흡빈도수는 경사도 0%와 5%에서 관절제한 각도가 증가할수록 증가하였다. 일반적으로 안정 시폐활량(slow vital capacity)을 보면 호흡빈도가 증가하면 1회 호흡량이 감소하게 되며, 해부학적 무효공간(dead space) 때문에 들숨할 때 신선한 공기량이 줄어들게 된다(대한호흡물리치료학회, 2019). 그리고 신선한 공기량이 체내에서 요구되는 산소요구도보다 적을 때는 의지적으로 호흡량을 늘리기 위해서 호흡을 깊게 하는 경향을 보이게 된다. 반면 호흡빈도수가 증가하고 1회 호흡량이 감소하더라도 체내에서 요구되는 산소요구도를 초과하지 않는다면 노력성 호흡은 발생하지 않을 것으로 추리할 수 있다. 본 연구에서 호흡빈도수가 통계적으로 유의미하게 증가함에 따라 비록 통계적인 유의성은 없지만 1회호흡량이 줄어드는 경향을 볼 수 있었다. 따라서 폐기능의 하위항목들이 무릎관절 제한에 따라 변화가 없었던 것은 본 연구대상자가 20대의 젊은 여자 대학생이었기 때문에 무릎관절 제한 상태에서 트레드밀에서의 보행이 체내에서 요구하는 산소요구량을 초과할 정도의 운동강도는 되지 않았기 때문이라고 사료된다. 다시 말해서 젊은 성인의 경우는 무릎관절 제한이 호흡기능에 영향을 주지 못한다고 할 수 있다. 다만 본 연구는 일반적인 보행속도에서 진행된 것이기 때문에 빠른 속도에서의 변화를 예측할 수 없어 본 연구 결과를 모든 보행으로 확대해석하기에는 어려움이 있다. 따라서 차후에는 빠른 보행속도에서의 무릎관절 제한 보행이 호흡기능에 미치는 영향에 대해 알아보는 연구가 진행되어야 할 것으로 사료된다.

반면 본 연구 결과를 보면 트레드밀의 경사도가 증가함에 따라 모든 관절각도 제한에서 분당환기량(VE), 산소소모량(VO_2), 이산화탄소생성량(VCO_2)이 유의미하게 증가하였다. 반면 호흡빈도는 관절각도 45°에서는 경사도에 따른 변화가 없었고, 1회호흡량(TV)은 0°, 15°에서 경사도가 증가함에도 불구하고 유의미한 변화가 없었다. 이러한 결과는 관절각도가 45° 이상으로 굽힘 제한은 호흡빈도에 영향을 줄수 있고, 1회호흡량은 30° 이상 굽힘되어야 영향을 준다는 것을 알려주는 것이다. 반면 분당환기량(VE), 산소소모량(VO_2), 이산화탄소생성량(VCO_2)은 경사도에 영향을 받았다는 것을 알 수 있다. 이러한 결과는 무릎관절 각도 보다는 트레드밀의 경사도가 호흡기능 변화에 영향요인이라는 것을 시사하는 것이다. 이와 일치하게 Kawamura 등(1991)의 연구를 보면 동일한 속도로 걸었을 때 평지에서 걷기보다 경사가 있는 곳에서의 걷기에서 에너지소비량이 더 컸다고 하였다. Anjos 등(2007)도 속도가 일정한 트레드밀을 걸을 때 경사도 0% 보다 2.5%에서 신체 활동비율과 에너지소비가 증가하였다고 보고하였다. 또한 경사도가 성별과 연령에 따른 심박수와 산소 섭취량의 변화에 미치는 영향을 알아본 진수정(2008)의 연구에

서도 평지보다 약 6.94° 오르막길에서 젊은 그룹의 남녀 모두 산소섭취량이 유의미하게 증가하였다고 보고하였다. 일반적으로 경사가 있는 언덕을 올라갈 때는 체중과 중력을 이기고 신체를 위로 들어 올려야 하기 때문에 다리 근육 특히 대퇴사두근이 많이 동원되어야 한다. 이 점과 관련하여 조현정(2008)은 경사도가 다리 근력 및 근활성도에 미치는 영향을 조사한 결과, 무릎 펌근력과 넙다리두갈래근 및 넙다리곧은근의 근활성도가 증가하였다고 보고하였다. 결과적으로 관절각도와 관계없이 경사도를 오를 때는 넙다리네갈래근과 같은 다리 근육들이 많이 동원되기 때문에 에너지소모도가 증가하게 되고, 에너지소모도의 증가는 산소소모량의 증가를 요구하며, 산소소모량이 많은 만큼 에너지생성시 발생하는 이산화탄소 생성량 역시 증가하게 된다. 따라서 본 연구결과와 같이 경사도가 증가할수록 폐기능의 하위항목들이 증가되었다고 할 수 있다. 하지만 본 연구는 트레드밀에서 일정한 속도를 맞춰놓고 피험자의 의지와 관계없이 걷기를 시킨 것이기 때문에 경사도 걷기시 피험자가 의지적으로 속도를 줄일 수 없었다는 단점이 있었다. 즉 다리가 불편할 경우 오르막 길을 걸을 때 속도를 줄여 심폐기능에 부담을 줄이려고 할 수 있으며, 이러한 조건에서의 변화를 확인하지 못하였기 때문에 모든 상황의 경사도 보행이 폐기능을 변화시킨다고 확대해석하기에는 어려움이 있다. 또한 본 연구는 5분 보행의 결과를 근거로 분석한 것이기 때문에 보다 긴 시간의 보행에서의 변화를 설명하기에는 제한점이 있다. 따라서 차후에는 본인의 의지적인 걷기 속도를 고려한 연구가 진행되어야 할 것으로 사료된다.

V. 결론

본 연구는 트레드밀의 경사도와 무릎관절의 각도가 폐기능에 미치는 영향을 알아보고자 한 것으로 젊은 성인여성 13명을 대상으로 실험한 결과 관절각도는 젊은 성인 여성의 폐기능에 영향을 미치지 못하는 반면 경사도는 영향 요인이라는 것을 알 수 있었다.

참고문헌

- 김지연. 경사도와 속도에 따른 트레드밀 보행의 운동역학적 분석. 이화여자대학교 대학원, 박사학위논문. 2001.
- 김진호, 한태균. 재활의학. 2nd ed. 서울, 군자출판사, 2004.
- 대한심장호흡물리치료학회. 심장호흡계 물리치료학. 범문에듀케이션, 2019.
- 박제상, 강봉구, 송옥평. 슬관절 굴곡각도 제한에 따른 산소소모율 변화에 대한 연구. 대한재활의학학회지, 20(4);1019-1022, 1996.
- 윤남식, 이경옥, 김지연, 등. 트레드밀 보행시 경사도에 따른 하지 관절의 각도 변화 양상과 동적 운동 범위의 변화. 한국체육학회지, 39(1);569-579, 2000.
- 이경옥, 김지연. 경사도와 속도에 따른 트레드밀 보행의 운동역학적 분석. 한국체육학회지, 40(3);911-922, 2001.
- 이경옥, 김지연. 트레드밀 걷기시 경사도에 따른 무릎관절의 운동학적 변화비교. 한국유산소운동과학회지, 4(1);41-51, 2000.
- 정진우 외 23인. 보조기·의지학. 대학서림, 2009.
- 조기선, 이대택. 경사도에 따른 앞으로 걷기와 뒤로 걷기의 대사비용과 심혈관계 반응. 체육과학연구, 14(4);36-43, 2003.
- 조현정. 경사도에 따른 전·후방 보행훈련이 하지근력 및 근활성도에 미치는 영향. 고려대학교 대학원, 석사학위논문, 2008.
- 진수정. 길의 경사도에 따른 보행패턴의 변화가 에너지소비량에 미치는 영향. 국민대학교 대학원, 석사학위논문, 2008.
- 최정희, 김형진, 양은경, 등. 운동선수 및 비선수에서 treadmill 속도 및 경사도에 따른 산소섭취량. Korean Circulation Journal, 25(6);1175-1182, 1995.
- 한용빈, 윤소미, 정민기, 등. 오르막 걷기시 경사도와 등산스틱 사용에 따른 성인남성의 에너지소비량 비교. 한국웰니스학회, 14(3);465-472, 2019.
- Abdulhadi HM, Kerrigan DC, LaRaia PJ. Contralateral shoe-lift: effect on oxygen cost of walking with an immobilized knee. Archives of physical medicine and rehabilitation, 77(7);670-672, 1996.
- Anjos LA, Wahrlich V, Bossan FM, et al. Energy expenditure of walking at different intensities in Brazilian college women. Clinical Nutrition, 27(1);121-125, 2008.
- Bleck EE. Orthopaedic management in cerebral palsy. Clinics In Developmental Medicine. London, Mac Keith Press, 1987.
- Daffy CM, Hill AE, Graham HK. The influence of flexed-knee gait on the energy cost of walking in children. Developmental Medicine & Child Neurology, 39(4);234-238, 1997.
- Gage. Gait analysis in cerebral palsy. Clinics In Developmental Medicine. London, Mac Keith Press, 1991.
- Galley PM, Foster AL. Human movement. Churchill Livingstone, 1987.
- Inman VT, Ralston HJ, Todd F. Human Walking. Baltimore: Williams and Wilkins, 1984.

- Kapandji IA. The physiology of the joint. NY: Churchill Livingstone, 1982.
- Kawamura K, Tokuhiro A, Takechi H. Gait analysis of slope walking: a study on step length, stride width, time factors and deviation in the center of pressure. *Acta Medica Okayama*, 45(3);179-184, 1991.
- Kuster M, Sakurai S, Wood GA. Kinematic and kinetic comparison of downhill and level walking. *Clinical Biomechanics*, 10(2);79-84, 1995.
- Mattsson E, Broström LA. The increase in energy cost of walking with an immobilized knee or an unstable ankle. *Scandinavian journal of rehabilitation medicine*, 22(1);51-53, 1990.
- Norkin CC, Levangie PK. Joint structure & function, a comprehensive analysis, 2nd ed. FA Davis Co, 1992.
- Pearce ME, Cunningham DA, Donner AP, et al. Energy cost of treadmill and floor walking at self-selected paces. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, 52(1);115-119, 1983.
- Perry J. Gait analysis: normal and pathological function. Thorofare. NJ: Slack Inc, 1992.
- Ralston HJ. Effects of immobilization of various body segments on the energy cost locomotion. *Ergonomics. Suppl. Proceedings Second International Congress on Ergonomics*, 1964.
- Inman VT, Eberhart HD. The major determinants in normal and pathological gait. *JBJS*, 35(3);543-558, 1953.
- Waters RL, Lunsford BR. Energy expenditure of normal and pathological gait: application to orthotic prescription. In: *Atlas of Orthotics*. St. Louis: C.V. Mosby Co., 1985.
- Waters RL. Energy expenditure. In Perry J (Ed): *Gait Analysis: Normal and Pathological Function*. Thorofare, NJ: Slack, 1992.
- Workman, JM, Armstrong BW. Oxygen cost of treadmill walking. *J Appl Physiol*, 18;798-803, 1963.