

Treadmill에서의 보행 및 주행 시의 수직 지면반발력

양 길태, 김 영호, 임 송학
재활공학연구센터

Vertical ground reaction force in the treadmill walking and running

G.T. Yang, Y.H. Kim, and S.H. Lim

Research Center of Orthopaedics and Rehabilitation Engineering

ABSTRACT

Vertical ground reaction forces on a treadmill were measured at different walking speeds using two tandem force plates. Comparing vertical ground reaction forces in treadmill walking with those in ground free walking, treadmill walking overestimated the first and second peak forces. With the increase of the walking speed, this phenomenon becomes more significant. In treadmill running, the first peak force reached 210-280% of the body weight. However, the instrumented treadmill showed a great potential to investigate the kinetics for multiple foot-strike measurements.

서론

인간은 달릴 때 양하지지지기(double-limb support period)가 사라지고 속도가 증가함에 따라 발이 지면에서 떨어져 있는 기간이 길어진다. 또한 정상보행에 비해서 쉴 때에는 일반적으로 균형과 근육의 강도 및 운동범위(range of motion)가 증가된다 [1]. 국민의 건강과 복지가 증진됨에 따라 현재 treadmill은 보행훈련 및 스포츠 활동을 위해 매우 널리 사용되고 있다. 따라서 최근 treadmill 보행에 관한 관심이 고조되고 있으며 그 특성에 관한 연구가 시작되고 있다.

지면반발력(ground reaction force)은 보행을 분석함에 있어서 매우 중요한 역학적 인자이고, 일반적으로 힘측정판(force plate)을 이용하여 측정된다 [2]. 또한 운동학적 데이터에 지면반발력을 입력시

키면 각 관절에 작용하는 모멘트 및 일률 등을 추정할 수 있다. 그러나 Treadmill에서의 보행에 관한 구체적인 역학적 연구는 매우 미진한 상태이다. 본 연구에서는 동일한 속도에서, treadmill 위에서의 보행과 지면에서의 정상보행을 비교하고, 속도의 변화에 따른 수직 지면반발력의 주요인자들을 조사하고자 한다.

방법

본 연구를 위해서 표 1과 같이 정상의 보행특성을 소유한 21명의 피검자가 선발되었다. 지면 자유보행 시 지면반발력을 측정하기 위해서 압전식(piezoelectric) 힘측정판 2개를 사용하였다. 각 피시험자에 대해서 5차례의 지면반발력 데이터를 통계 처리하였다. 각 피시험자의 평균 지면자유보행속도를 treadmill 속도로 설정하여 피시험자가 treadmill 위에서 보행하도록 하였다. 본 연구에 사용된 treadmill은 가로, 세로가 각각 140cm, 50cm로 2개의 압전식 힘측정판 [3]을 앞뒤로 설치하고 속도에 따라 5초 동안 각 발의 수직 지면반발력을 측정하였다. 좌우측 발을 판별하기 위해서, treadmill의 우측에 광전 센서(photoelectric sensor)를 부착하였고 피검자의 우측발 외측에 작은 반사테이프를 부착하였다. Treadmill 속도에 따른 지면반발력의 변화를 알기 위하여 0.89에서 3.58m/sec의 8가지 속도에서 지면반발력을 측정하였다. 피검자가 treadmill 위에서 자유롭게 쉴 수 있었던 속도는 2.68m/sec 이상이었으며, 피검자가 각각의 treadmill 속도에 적응할 수 있도록 최소 3분 동안의 적응시간을 가진 후 5초 동안 데이터를 수집하였다.

결과 및 고찰

지면반발력을 분석하기 위해서 지면반발력의 인자들을 그림 1과 같이 정의하였다. 제 1, 2절정력은 시간-힘 그래프에서의 전후기의 최대 지면반발력이며 중간지지력은 제 1, 2 절정력 사이에서의 최소치이다.

일반적으로 제 1절정력은 발뒤축접지기의 후기에 하중을 수용하는 시기에 해당되는 지면반발력으로 전체 보행주기의 약 10-15%에 형성되며 자유보행시 체중의 약 110% 정도가 보통이다 [4]. 중간지지력은 중간입각기 (mid-stance), 즉 발바닥접지기 (foot-flat)와 발뒤축들림기 (heel-off) 사이의 시기에 유각기의 다리가 입각기의 다리를 지나고 두 발이 서로 옆에 놓일 때 작용하는 힘으로 전체 보행주기의 30%에 해당하며 체중의 약 70-80% 정도이다 [4]. 제 2절정력은 전체 보행주기의 약 45-50%의 발뒤축들림기의 시작으로 인해 가속도가 아래쪽으로 향함에 의해 형성되는 힘으로 크기는 제 1 절정력과 유사하다 [5].

그림 2는 동일한 속도에서의 지면 자유보행과 신발유무에 따른 treadmill 보행의 지면반발력을 비교하고 있으며 지면자유보행과 treadmill에서의 보행은 역학적으로 차이가 있음을 알 수 있다. Treadmill 위에서 맨발로 보행할 때, 지면반발력이 지면 자유보행과 매우 유사함을 보였으나, 제1절정력과 제2절정력이 다소 증가함을 알 수 있었으며, 이러한 힘들이 주요역할을 하는 시기인 하중수용기가 빨리 나타나고 발뒤축들림기가 늦게 나타남을 발견하였다. 신발을 신고 treadmill 위에서 보행할 때, 지면자유보행에 비해 제 1 절정력이 약 8.2% 증가하였고 중간지지력이 나타나는 중간입각기가 다소 지연됨을 알 수 있었다. 보행속도가 증가할수록 이러한 현상은 더욱 현저하게 나타났다.

그림 3은 동일한 피검자가 0.89, 1.34, 2.68, 3.58m/sec의 속도로 treadmill 위에서 맨발로 걸거나 썰 때의 지면반발력을 보여주고 있다. 반발력은 각 피검자의 체중으로 무차원화하였고, 시간은 한 보행 주기로 무차원화시켜 표시하였다. 좌우측 발의 지면 반발력은 거의 동일하게 나타났다. Treadmill 보행 시에는 제 1, 2 절정력과 중간지지력이 현저하게 눈에 띄었다. 보행속도가 증가함에 따라 발뒤축과 지면과의 충격이 증가하게 되고 제 1절정력이 현저하게 증가하는 반면, 중간지지력은 현저하게 감소함을 알 수 있었다. 이는 보행속도가 증가함에 따라 중간입각기의 기간이 짧아지고 이에 따른 수직반발력이 감소하기 때문인 것으로 사료된다.

표 2에서는 treadmill 위에서 신발을 신고 보행 또는 주행할 때의 지면반발력의 주요인자들을 비교하고 있다. 저속(0.89m/sec)으로 보행할 때, 제 1, 제 2절정력은 각각 체중의 112, 102%이었으며 중간지지력은 체중의 81%였다. 그러나 빠른 속도

(1.79m/sec)의 보행에서는 하중수용기 (weight acceptance period) 동안의 제1절정력이 169%로 현저히 증가된 반면 제2 절정력은 체중의 96%로 작은 감소를 보였다. 한편 중간지지력은 47%로 현저한 감소를 보였다. 속도가 증가되어 treadmill에서 썰 때, 양하지지지기가 사라지고 보행패턴이 크게 변화한다. 일반적으로 보행시의 입각기는 한 보행주기의 60-65%를 차지하는데 비해서 썰 때에는 30-35% 정도로 나타났다. Treadmill에서의 자유보행시 제1절정력은 체중의 120% 정도를 넘지 않는 반면, 썰 때에는 210-280%에 달했으며 그 시기는 전체보행주기의 약 14-16%에 해당했다. 또한 중간지지력은 예상했던 대로 사라짐을 알 수 있었다.

수직 지면반발력에 있어서 Treadmill에서의 보행이 지면자유보행과 다소 상이한 원인과 treadmill 속도에 의한 영향을 확실히 규명하기 위해서는 비디오 시스템을 적용한 운동형상학적 연구가 병행되어야 할 것으로 예상되며, 현재 이에 관한 연구가 진행 중이다.

결론

본 연구를 통해서 지면자유보행과 treadmill에서의 보행을 비교하고 속도에 따른 treadmill 보행의 수직 지면반발력을 측정하였다. 보행속도가 증가함에 따라 제 1 절정력은 현저하게 증가하는 반면 중간지지력은 현저하게 감소함을 알 수 있었다. Treadmill에서의 보행은 지면자유보행과는 역학적으로 상이한 점이 발견되었다. 특히 하중수용기가 빨리 진전되고 발뒤축들림기가 늦게 나타났으며, 이에 따라 제 1절정력과 제 2절정력이 다소 증가함을 보였다. Treadmill에서 썰 때 중간지지력과 제2절정력은 사라졌으나 제1절정력은 체중의 약 280%에 달했다.

참고문헌

1. Mann RA: Biomechanics of running. In D'Ambrosia RD and Drez eds: Prevention and treatment of running injuries, 2nd ed. Slack, New Jersey, 1989.
2. Whittle M: Gait analysis: An introduction, 1992.
3. Kistler Inc.: Gaitway manual, 1995.
4. Norkin CC and Levangie PK: Gait in Joint structure and function: A comprehensive analysis., 2nd ed, 1992.
5. Nuber GW: Biomechanics of the foot and ankle during gait. Clin Orthop 102:18, 1974.

Treadmill에서 보행 및 주행 시의 수직 지면 반발력

표 1. 본 연구의 피검사 현황

집단	피검사수	나이(세)	키(cm)	체중(kg)
30 - 39 (Male)	6	31.3 (30.3-33.9)	169 (163-175)	66 (53-89)
9 - 10 (Male)	6	9.4 (9.1-9.9)	138 (129-148)	38 (28-67)
9 - 10 (Female)	9	9.1 (7.1-10.1)	131 (113-139)	28 (20-34)

표 2. 신발을 신고 treadmill에서 보행 또는 주행할 때의 지면반발력의 주요인자

속도 (m/sec)	제1절정력 평균/편차	제2절정력 평균/편차	중간지지력 평균/편차	비고
0.89	1.12/0.06	1.02/0.05	0.81/0.06	보행
1.12	1.22/0.09	1.02/0.07	0.73/0.08	보행
1.34	1.36/0.10	1.03/0.08	0.63/0.07	보행
1.56	1.48/0.11	1.02/0.09	0.53/0.09	보행
1.79	1.69/0.21	0.96/0.15	0.47/0.12	보행
2.24	2.15/0.25	-	-	뛰
2.68	2.44/0.16	-	-	뛰
3.13	2.51/0.16	-	-	뛰
3.58	2.74/0.15	-	-	뛰

지면반발력은 체중으로 무차원화된 수치임.

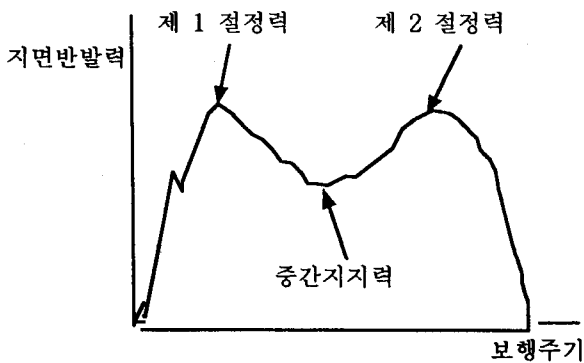


그림 1. 지면반발력의 주요인자에 관한 정의

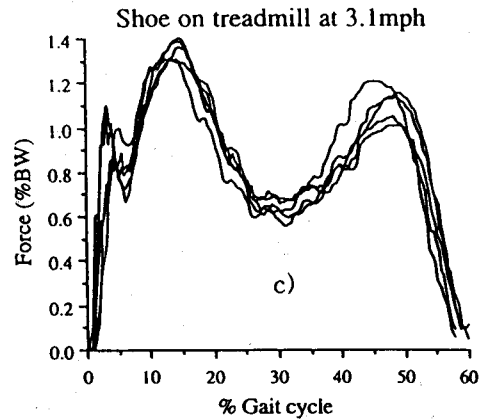
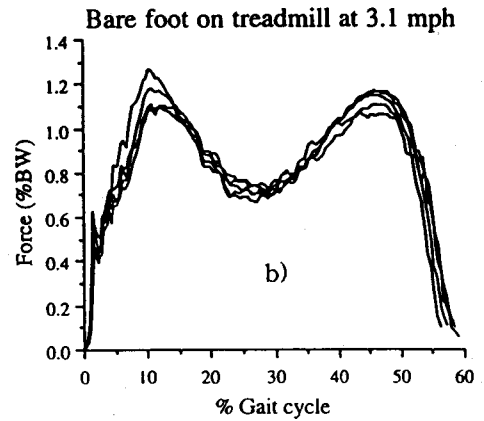
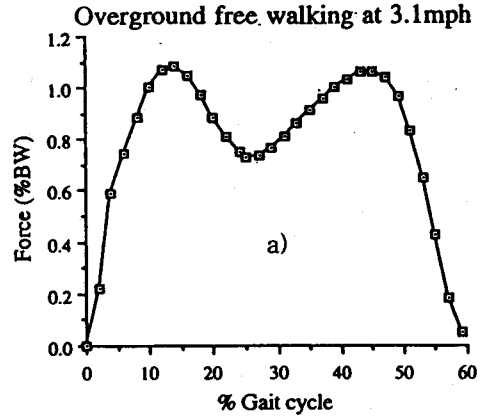


그림 2. 지면자유보행과 신발착용 유무에 따른 treadmill 보행과의 비교
a) 지면자유보행
b) 맨발의 treadmill 보행
c) 신발을 신은 treadmill 보행

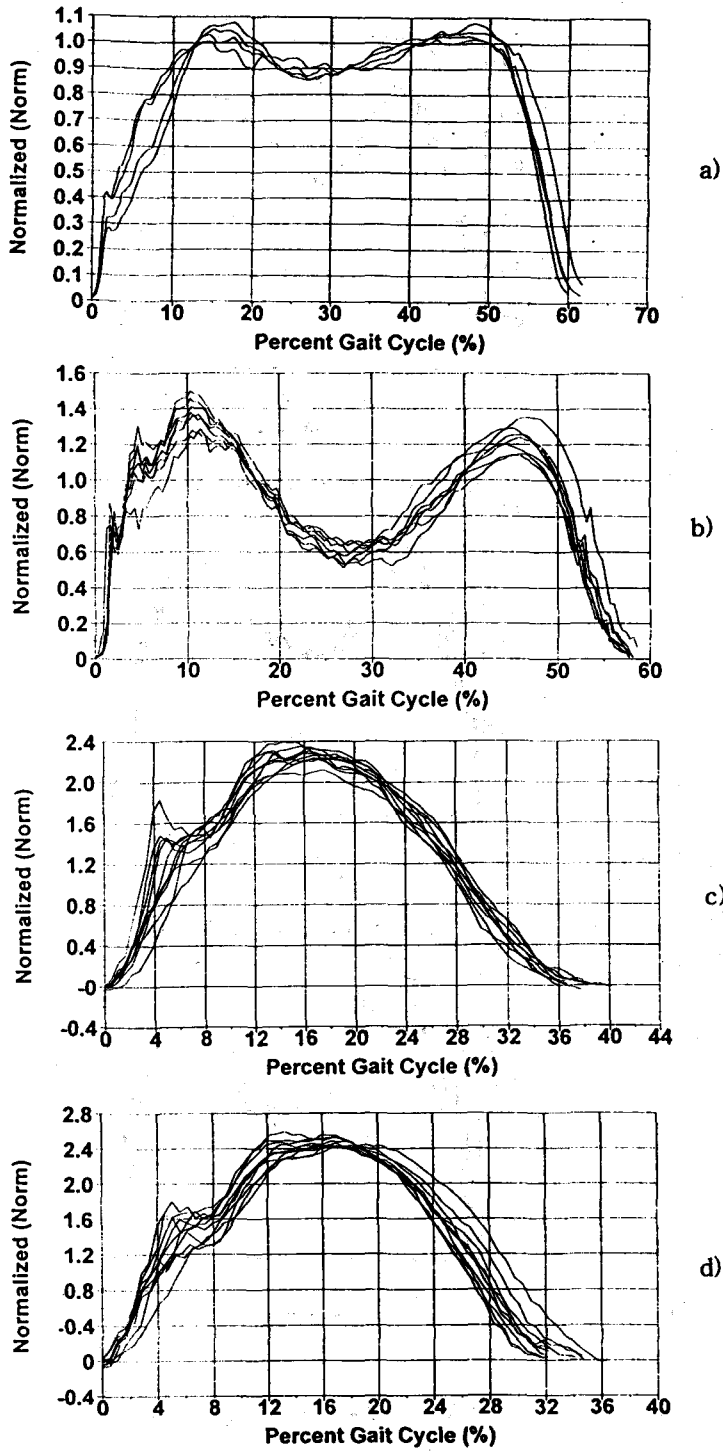


그림 3. Treadmill 속도에 따른 수직 지면반발력

(a) Treadmill 속도 (0.89m/sec)

(b) Treadmill 속도 (1.34m/sec)

(c) Treadmill 속도 (2.68m/sec)

(d) Treadmill 속도 (3.58m/sec)