



20° 경사로 앞·뒤 보행 동작 시 지면반력의 형태 비교 분석

Ground Reaction Force Characteristics During Forward and Backward Walking Over 20 Degree Ramp

채원식*(경북대학교)

Chae, Woen-Sik*(Kyungpook National University)

국문요약

본 연구의 목적은 20° 경사로에서 앞·뒤 보행 동작 시 지면반력 형태를 비교 분석하고자 한다. 본 연구를 위해 서 두 대의 지면 반력기를 통해 전·후, 좌·우, 수직 지면반력값, 최대값, 최소값, 평균값, 압력 중심 변위, 부하율 과 감소율을 측정하였다. BD 보행 시 RTO 시점에서 수직 지면반력값이 FU 보행에 비해 유의하게 높은 수치를 보 인 반면, RHC₂ 시점에서는 더 낮은 수치를 보였다. 이는 보행 동작의 차이와 보행 시 발목과 무릎의 위치 변화, 무 계 중심의 변화가 지면 반력의 형태에 직접적인 영향을 미치는 것으로 판단되어진다. 전·후 압력중심변위는 하향 보행 시 상향 보행에 비해 낮은 변화를 보였는데 이는 하향 시 생기는 불안정성을 상쇄하기 위해 더 강한 제동력 이 발생되어 진 것으로 사료되어 진다. BD 보행 시 부하율이 다른 보행에 비해 낮은 것을 알 수 있는데 이러한 결 과를 통해 등산로에서 후방 보행 동작이 하지 근골격계에 지속적인 스트레스를 감소시켜 상해를 예방할 수 있는 방법으로 제시될 수 있을 것이다.

ABSTRACT

W. S. CHAE, Ground Reaction Force Characteristics During Forward and Backward Walking Over 20 Degree Ramp. Korean Journal of Sport Biomechanics, Vol. 18, No. 3, pp. 71-82, 2008. The purpose of this study was to compare GRF characteristics during forward and backward walking over 20 degree ramp. Temporal parameters, GRFs, displacement of center of pressure (DCP), and loading and decay rates were determined for each trial. The results showed that the vertical GRF in BD during RTO was significantly greater than those found in FU. This results indicated that GRF patterns may be changed by different walking conditions and altering position of ankle, knee, and center of mass throughout the walking cycle. The DCP during RHC₂-LHC in antero-posterior direction for downward was smaller than the corresponding value for upward condition. It seems that the ankle and knee joints are locked in an awkward fashion at the toe contact to compensate for imbalance. Reducing the magnitude of loading rate can be achieved by walking in the backward direction. Accordingly, the results can be a benefit if one is suffering from an impact-type injury.

KEYWORDS : UP- AND DOWNHILL WALKING, FORWARD AND BACKWARD WALKING, RAMPS OF DIFFERENT SLOPES, GROUND REACTION FORCE

I. 서론

인간의 가장 기본적 운동인 걷기는 가장 안전하면서 간단하여 모두가 즐길 수 있는 유산소 운동이다. 걷기 운동은 같은 거리를 운동했을 경우 조깅과 거의 같은 양의 에너지가 소비되어 체중조절에 매우 유리하여 운동 중 상해의 위험이 거의 없는 안전한 운동으로 산소 섭취량 증대, 심장기능 강화, 신진대사 촉진, 병에 대한 저항력 증가 등 다양한 효과를 얻을 수 있다.

최근 웰빙 바람에 의해 조깅 인구가 폭넓게 증가하고 있지만 걷기 운동에 비해 조깅 운동은 하지 근골격계에 가해지는 충격이 상당히 크다. 조깅 시 수직방향의 지면 반력은 체중의 2~3배의 힘이 발생되어지며(Mann, 1980), 이에 반해 걷기 동작은 체중의 1.5배 정도의 충격이 발생되어진다. 이와 같은 큰 힘이 하지에 곧바로 전달되면 관절, 인대 등에 적지않은 부하를 초래하게 된다. 조깅 시 한발을 내딛는데 약 0.5초가 걸리는데 이를 1시간 동안 지속한다면 7200회의 반복을 하게 되고, 보통 조깅 시 한 발에 걸리는 수직 부하가 1BW라고 할 때 60 kg의 사람이 1시간 동안 받는 수직 부하는 7200BW이 되기 때문에 과이용 증후군(overuse syndrome)을 유발할 수 있다(Cavanagh 등, 1980).

이에 비해 걷기운동은 일상생활의 연장선상에 있는 운동이기 때문에 걷기 운동으로 인해 유발되어지는 장애는 거의 없으며 같은 유산소 운동이라 하더라도 조깅 운동보다 더 장시간 지속 할 수 있어 운동 효과 면에서도 뛰어나다고 볼 수 있다. 하지만 하지 근골격계에 문제가 있는 사람은 걷기 운동조차 쉽게 이행하기가 어려울 수 있다. 이들은 보통 속도로 걸을 때도 평지를 골라 걸어야 하며 충격 완화 신발을 신고 아스팔트처럼 딱딱한 길을 피해야 하는 등 제약이 많다. 또 상당시간 걷기 운동을 하고 나면 통증이 오히려 더 심해질 위험도 있다. 이런 사람들에게 대안이 될 수 있는 것이 바로 뒤로 걷기 운동이다.

뒤로 걷기 운동은 주로 재활 목적의 운동 프로그램으로 사용될 수 있으며, 이 운동의 장점은 무엇보다 발가락 부분이 먼저 지면에 닿기 때문에 발목과 무릎 관절에 가해지는 부하가 타 근육에 분산됨으로써 발목과

무릎에 무리가 가지 않는 것이다. 또한 일상적으로 사용되지 않는 신체 부위를 활용함으로써 특정 근육 부위를 강화시켜 미용 효과를 높일 수 있으며, 주로 정면으로 쏠려 있는 몸의 무게 중심을 뒤 쪽으로 이동시켜 신체 균형을 높일 수 있다.

Flynn 등(1993)은 뒤로 걷기 운동이 슬개골건의 구심성 부하를 감소시키면서, 대퇴슬개골관절의 부하를 감소시킨다고 제시하였다. 또한 이를 통해 대퇴슬개골관절 증후군 환자에게 효과를 가져다 줄 수 있다고 보고하였다. Chaloupka 등(1997)과 Clarkson 등(1997)은 후방 보행이 슬대퇴 관절에 작용하는 압축력을 현저히 감소시킨다고 보고하였다. 특히 전방십자인대의 과신전을 억제하기 때문에 슬대퇴 관절통 증후군(patello-femoral pain syndrome) 치료와 전방십자인대 부상 시 재활 치료에 활용되어 질 수 있다고 밝혔다.

전·후방 보행과 관련된 생체 역학적 접근을 한 선행연구를 살펴보면 Bates와 McCaw(1986), Bates 등(1986)은 전방 달리기 시 착지 순간과 후방 달리기 시 구간 사이에 매우 유사한 운동학적 변인들을 보여 준다고 보고하였다. 또한 후방 달리기 시 고관절의 가동 범위가 줄어들고, 무릎관절의 신장성 굴곡 정도가 없어지기 때문에 무릎관절에 가해지는 부하가 줄어든다고 밝혔다. 하지만 Arata(1999)는 후방 달리기 시 해부적으로 하지의 굴곡 신전 동작의 제한이 약 20% 효율성을 감소하는 결과를 뜻한다고 보고하였다. 즉, 같은 속도로 전·후방 달리기 시 전방 달리기보다 보폭은 증가하는데 비해 후방 달리기보다 보폭 빈도가 증가하기 때문이다. 한편 Grasso 등(1998)은 전·후방 보행 시 슬관절의 전단력 방향이 전방 보행 시는 후방으로, 후방 보행 시는 전방으로 전환된다고 보고하였다. 또한 수직 지면 반력값에 있어 전방 보행 시에는 착지 시와 이지 전과 유사한 값을 보이지만, 후방 보행 시에는 착지 시가 이지 전보다 큰 값이 발생되어진다고 밝혔다.

경사로에서의 전·후방 보행 동작시 근육활동의 정도를 비교 분석한 선행연구(Cipriani et al., 1995, Dean et al., 2005; Sarah et al., 2005)를 살펴보면 후방 보행이 전방 보행보다 근육활동이 유의하게 증가하며 근육활동의 형태는 보행의 방향에 따라 다양하게 나타났음을 보고하고 있다. Cipriani 등(1995)은 0%, 5%, 10%의

경사로에서 후방 보행 시 대퇴직근, 슬건근, 비복근, 전 경골근의 근육활동을 비교 분석하였다. 그들은 모든 근육의 평균 근전도치가 기울기 각에 비례하여 증가되어 지며 이는 경사로에서 후방 보행이 보다 많은 근육활동을 요구한다고 보고하였다. 또한 Sarah 등(2005)은 기울기 각이 다른 트레드밀에서 전·후방 보행 시 후방 보행에서 내·외측광근, 대퇴이두근, 반건양근의 근육활동이 급격히 증가되었음을 보고하였다.

따라서 선행 연구의 결과를 통해 후방 보행 운동은 하지 근골격계에 긍정적인 영향을 줄 수 있는 것으로 사료된다. 특히 기존의 연구관점에서 벗어나 20° 경사로 상의 전·후방 보행 시 나타나는 지면반력 패턴을 통해 특정 근육이나 관절에 발생되어지는 부하가 어떻게 변화되어지는가를 밝혀낼 수 있다면, 등산과 같은 경사로 운동 시 후방 보행 동작의 상해의 위험을 줄일 수 있는 방법을 제시할 수 있을 것이다. 또한 하지 근골격계 부상 후 재활 훈련방법으로 후방 보행 동작을 채택하여 활용 시 본 연구의 결과를 유용하게 사용할 수 있을 것으로 생각된다. 이에 본 연구의 목적은 20°경사로 위에서 전·후 보행 운동 시 국면별 지면반력값, 부하율과 감소율, 압력중심 변위 및 구간별 지면반력의 최대값, 최소값, 평균값에 어떠한 영향을 미치는가를 분석하는데 있다.

본 실험 간 특정 순간(critical event)을 구분하기 위해 디지털 캠코더(Sony DCR-HC48, 60 field/s, 1/750 sec)가 약 10m 거리에 60°로 상향되어 각각 6대 설치되었다. 하지에 작용하는 지면반력을 측정하기 위하여 지면반력기(AMTI, OR6-5) 2대가 사용되었으며 데이터는 200 Hz의 샘플링 속도로 KwonGRF 2.0 program(Visol Inc, Korea)을 사용하여 수집하였다.

디지털 캠코더와 지면 반력기의 동조를 위해 실제 자료수집 시 3볼트의 신호를 2대의 LED(a light-emitting diode)에 보내고 동시에 지면반력 측정기와 연결된 A/D board에 외부신호가 전달되는 동조 유닛(Visol Inc, Korea)을 사용하였다. 신호 동조기 작동을 자동으로 실행하기 위해 2대의 포토셀과 포토셀 반사기가 사용되었다. 또한 보행 속도에 따른 운동학적·운동역학적 변인들의 변화를 통제하기 위해 포토셀 사이 거리 설정과 동조 채널에서 얻어진 시간 값을 통해 보행 속도를 1.2±0.1 m/s로 제어하였다.

경사로 설정을 위해 철골 구조물과 합판을 사용하여 길이 5.5 m, 너비 1.2 m, 기울기각 20°의 경사로를 제작하여 설치하였다. 두 대의 지면 반력기는 상판의 중간 부분에 설치하였으며, 상판과 지면 반력기의 흔들림 방지를 위해 철골 지지대가 상판과 바닥판 사이에 설치되었다(그림 1).

II. 연구 방법

1. 연구 대상자

본 연구를 위해 근골격계에 이상이 없는 남자 대학생 11명을 무작위로 선택(random sampling)하였으며, 피험자는 실험에 앞서 피로를 유발시킬 수 있는 강도 높은 신체 활동은 실험 4주전부터 금지하였다. 이들의 평균 연령은 24.3±4.0 yrs, 신장 175.9±6.6 cm, 체중 73.1±82.0 N이다.

2. 실험 장비

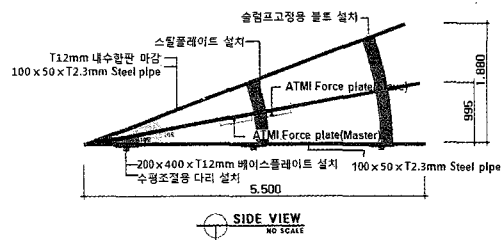
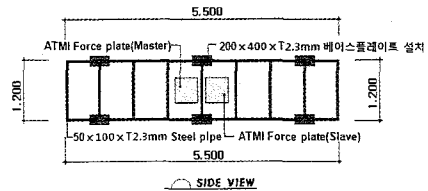


그림 1. 경사로의 도면

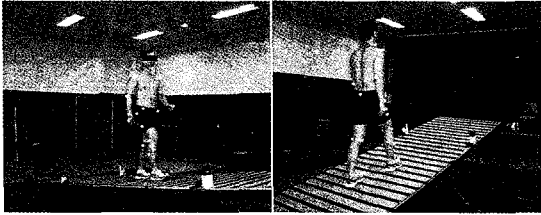


그림 2. 실험 장면

3. 실험 절차

모든 피험자는 데이터 수집 전 5분 동안 가볍게 몸을 풀고 피로유발 운동을 제한시켰다. 피험자는 동일한 운동화를 착용한 상태에서 경사로(20°) 위를 전·후 방향으로 보행(Forward Up(FU): 전방 방향으로 상행, Forward Down(FD): 전방 방향으로 하행, Backward Up(BU): 후방 방향으로 상행, Backward Down(BD): 후방 방향으로 하행)하였으며 실험 순서는 무작위 선정 방법을 통해 결정하였다. 피험자는 자연스럽게 보행을 실시하며 연구자에 의해 각 조건에서 3번의 자료수집이 각 5초간 실시되었다(그림 2).

4. 자료 분석

1) 중요 순간 및 국면 설정

촬영되어진 보행 동작은 카메라 분석을 통하여 다섯 개의 특정 순간(critical instants), 즉 이벤트를 밝혔다(그림 3). 주요 이벤트는 오른발이 지면에 닿는 순간(RHC1), 왼발이 지면에서 떨어지는 순간(LTO), 왼발이 지면에 닿는 순간(LHC), 오른발이 지면에서 떨어지는 순간(RTO), 다시 오른발이 지면에 닿는 순간(RHC2)이다. 본 연구에서는 첫 번째와 두 번째 이벤트 사이를 초기 양발 지지구간(IDLS), 두 번째와 세 번째 이벤트 사이를 초기 한발 지지구간(ISLS), 세 번째와 네 번째 이벤트 사이를 후기 양발 지지구간(TDLS), 네 번째와 다섯 번째 이벤트를 사이를 후기 한발 지지구간(TSLS)으로 분류하였다(그림 3).

2) 지면반력 분석

지면반력 데이터 분석은 KwonGRF 2.0 program

(Visol Inc, Korea)를 사용하여 전·후, 좌·우, 수직 지면 반력 값을 측정하였으며, 수집된 지면 반력 데이터는 20 Hz 지역 통과 필터(Matlab 6.5)를 사용하며 잡음을 제거하였다. 각 보행 동작 시 수집된 지면 반력 값은 피험자의 체중을 통해 표준화되었다. 또한 구간별 수집된 전·후, 좌·우 지면반력값의 최대값, 최소값, 평균값 및 수직 지면반력값의 최대값, 평균값을 계산하였다.

좌·우측 발의 부하율(loading rate)과 부하 감소율(decay rate)은 아래와 같은 방식으로 계산하였다(Munro, Miller, & Fuglevand, 1987).

$$\text{부하율(loading rate)} = (P_1 - F_{50+}) / (T_1 - T_{50+})$$

P_1 은 발이 지면 착지 시 발생하는 최대 수직 반력 값(impact peak, N), F_{50+} 은 P_1 발생 전 수직 지면 반력이 50 N의 값을 넘어선 최초의 수직 지면 반력 값, T_1 은 P_1 발생하는 시점(impact peak time, sec), T_{50+} 은 F_{50+} 이 발생하는 시점이다.

$$\text{부하 감소율(decay rate)} = (F_{50-} - P_2) / (T_{50-} - T_2)$$

P_2 는 발이 지면 반력기에서 떨어지기 전 추진 시 발생하는 최대 수직 반력 값(propulsion peak, N), F_{50-} 은 P_2 발생 후 수직 지면 반력이 50 N의 값보다 적게 나타나는 최초의 수직 지면 반력 값, T_2 은 P_2 발생하는 시점(propulsion peak time, sec), T_{50-} 은 F_{50-} 이 발생하는 시점이다.

5. 통계처리

각 이벤트 및 국면별 동작 구간에 대한 시간 변인, 전·후, 좌·우, 수직 지면반력값, 전·후, 좌·우, 지면반력값의 최대값, 최소값 및 평균값, 수직 지면반력값의 최대값 및 평균값, 압력 중심 변위, 좌·우측 발의 부하율(loading rate)과 부하 감소율(decay rate)의 평균과 표준편차를 계산하였다. 통계적 유의성을 검증하기 위해 SPSS 10.0을 이용하였으며, 반복 측정을 통한 일원 분산분석(one-way analysis of variance(ANOVA) with repeated measures)을 실시하여 전·후 방향의 보행(FU, FD, BU, BD)에 따른 변인들의 차를 비교 분석

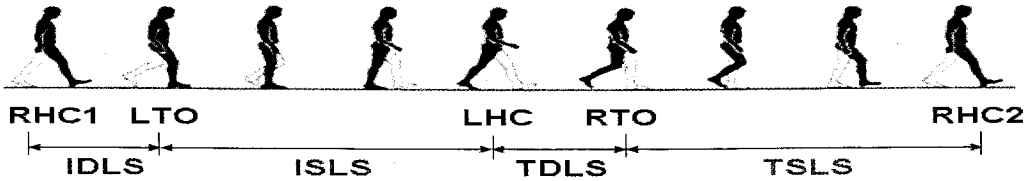


그림 3. 5개의 중요 이벤트와 4개의 구간 설정(채원식, 2006).

하였으며 사후분석은 contrast를 사용하여 보행 패턴 사이의 통계적 유의성을 검증하였다. 이때 유의성 수준은 $p < .05$ 에서 검증하였다.

내(-)외(+)-축 방향, F_y 값은 전(+)-후(-)방향, F_z 값은 수직(+)-방향 값이다.

III. 결과

1. 동작 구간에 대한 시간 변인

보행 방법에 따른 각 구간별 소요 시간은 통계적으로 유의한 차이가 발견되지 않았다(표 1). 따라서 경사도 보행에 있어서 전·후방 보행 방법은 보행 시간에 심각한 영향을 미치지 않음을 알 수 있다. 하지만 FU 보행 동작과 BU 보행 동작 간의 소요시간의 차이가 구간 별로 상이한 반면, BD 보행 동작이 FD 보행 동작에 비해 전 구간에서 소요시간이 크게 나타났다.

2. 지면 반력

지면 반력 자료는 주요 동작 시점에 발현되어지는 지면반력의 크기와 방향을 통해 비교되었다. F_x 값은

1) 주요 동작 시점 시 오른발에 의해 발현되어지는 지면반력

오른발이 지면에 착지할 때 오른발에 발생되어지는 지면반력의 크기와 방향은 좌·우 지면반력 값에서 FU와 BU, FD와 BD, BU와 BD 보행 사이 시 통계적으로 유의한 차이가 발생되었다(표 2). 또한 BU 보행에서만 내측방향으로 지면 반력기를 밀어내는 패턴을 보이고 나머지 다른 보행에서는 외측으로 지면 반력기를 밀어내는 패턴을 보인 것을 알 수 있다.

왼발이 지면에서 떨어질 때 오른발에 발생되어지는 지면반력의 크기와 방향은 좌·우 지면반력값에서 FU와 BU, FD와 BU, FD와 BD, BU와 BD 보행 시 유의한 차이를 보였다(표 3). 좌·우 지면반력값에서 BD 보행만 지면 반력기를 내측으로 밀어내는 현상을 보였다.

표 1. 보행 시 주요 구간에 대한 시간(sec)

	FU	FD	BU	BD
IDLS	0.279 (0.262)	0.104 (0.029)	0.194 (0.042)	0.188 (0.052)
ISLS	0.377 (0.037)	0.432 (0.048)	0.443 (0.080)	0.488 (0.157)
TDLS	0.185 (0.141)	0.141 (0.041)	0.192 (0.036)	0.187 (0.141)
TSLS	0.381 (0.050)	0.395 (0.032)	0.454 (0.141)	0.448 (0.061)

Note. initial double limb stance (IDLS), initial single limb stance (ISLS), terminal double limb stance (TDLS), terminal single limb stance (TSLS).

표 2. 오른발 지면 착지 순간(RHC1) 발현되어지는 지면반력 크기와 방향(\times BW)

	FU	FD	BU	BD
F_x	-0.016 ^a (0.013)	-0.0001 ^b (0.012)	0.010 ^{a, c} (0.014)	-0.0206 ^d (0.016)
F_y	-0.040 (0.024)	-0.016 (0.025)	-0.026 (0.020)	-0.027 (0.029)
F_z	0.029 (0.014)	0.023 (0.009)	0.022 (0.004)	0.027 (0.012)

Note. ^a significant difference between FU and BU, ^b Significant difference between FD and BD, ^c Significant difference between BU and BD.

표 3. 왼발 지면에서 떨어질 때(LTO) 오른발에 발현되어지는 지면반력 크기와 방향(×BW)

	FU	FD	BU	BD
Fx	-0.020 ^α (0.029)	-0.056 ^{βδ} (0.059)	-0.127 ^{αβδ} (0.07)	0.0046 ^δ (0.038)
Fy	0.213 (0.084)	0.311 [#] (0.167)	0.139 ^{#δ} (0.103)	0.329 ^δ (0.134)
Fz	0.980 (0.097)	1.045 (0.464)	1.013 (0.119)	1.118 (0.487)

Note. ^α Significant difference between FU and BU, [#] Significant difference between FD and BU, ^δ Significant difference between FD and BD, ^β Significant difference between BU and BD.

표 4. 왼발 지면 착지 순간(LHC) 오른발에 발현되어지는 지면반력 크기와 방향(×BW)

	FU	FD	BU	BD
Fx	-0.012 ^α (0.039)	-0.026 [#] (0.054)	-0.102 ^{αβδ} (0.071)	0.002 ^δ (0.014)
Fy	0.424 [§] (0.150)	0.077 ^{*#} (0.079)	0.329 ^{#δ} (0.156)	0.101 ^{§δ} (0.037)
Fz	1.036 [§] (0.126)	0.822 (0.217)	0.931 ^δ (0.133)	0.695 ^{§δ} (0.081)

Note. ^{*} Significant difference between FU and FD, ^α Significant difference between FU and BU, [§] Significant difference between FU and BD, [#] Significant difference between FD and BU, ^β Significant difference between BU and BD.

왼발이 지면에 착지하는 순간 오른발에 발생되어지는 지면반력의 크기와 방향은 좌·우 지면반력값에서 FU와 BU, FD와 BU, BU와 BD 보행에서 유의한 차이가 나타났다(표 4). 특히 BU 보행이 외측으로 가장 강하게 지면 반력기를 밀어내는 결과를 보였다. 전·후방 지면반력값에서는 FU와 FD, FU와 BD, FD와 BU, BU와 BD 보행에서 통계적으로 유의한 차이를 보였으며, 특히 FU와 BU 보행에서 높은 값을 보이는 것으로 보아 상향 보행 시 강한 추진력(propulsion)을 나타낸 것으로 볼 수 있다. 수직 지면반력값에서는 FU와 BD, BU와 BD 보행에서 유의한 차이를 보였으며, FU 보다 FD가, BU 보다 BD가 수직 지면반력값이 줄어드는 것을 볼 수 있다.

2) 주요 동작 시점 시 왼발에 의해 발현되어지는 지면반력

왼발이 지면에 착지하는 순간 왼발에 발생되어지는 지면반력 크기와 방향은 좌·우 지면반력값에서 FD와

표 5. 왼발 지면 착지 순간(LHC) 발현되어지는 지면반력 크기와 방향(×BW)

	FU	FD	BU	BD
Fx	-0.009 (0.010)	0.004 ^δ (0.015)	-0.005 (0.009)	-0.014 ^δ (0.012)
Fy	-0.092 [§] (0.045)	0.055 [#] (0.055)	-0.068 ^{#δ} (0.038)	0.049 ^{§δ} (0.028)
Fz	0.026 (0.009)	0.042 (0.029)	0.026 (0.015)	0.036 (0.026)

Note. ^{*} Significant difference between FU and FD, [§] Significant difference between FU and BD, [#] Significant difference between FD and BU, ^δ Significant difference between FD and BD, ^β Significant difference between BU and BD.

표 6. 오른발 지면에서 떨어질 때(RTO) 왼발에 발현되어지는 지면반력 크기와 방향(×BW)

	FU	FD	BU	BD
Fx	-0.044 [§] (0.022)	-0.056 ^{βδ} (0.050)	0.017 ^{#δ} (0.026)	-0.253 ^{βδ} (0.102)
Fy	0.208 (0.084)	0.348 (0.242)	0.192 (0.127)	0.297 (0.251)
Fz	1.036 [§] (0.090)	1.239 (0.251)	1.089 (0.135)	1.330 [§] (0.322)

Note. [§] Significant difference between FU and BD, [#] Significant difference between FD and BU, ^β Significant difference between FD and BD, ^δ Significant difference between BU and BD.

BD 보행에서 유의한 차이를 보였다(표 5). 하지만 오른발이 지면에 착지하는 순간 오른발에 발생되어지는 좌·우 지면반력값과는 반대로 BU 보행에서 외측으로 지면 반력기를 밀어내고 FD에서는 내측으로 지면 반력기를 밀어내는 형태를 보였다. 전·후 지면반력값에서는 FU와 FD, FU와 BD, FD와 BD, BU와 BD 보행에서 통계적으로 유의한 차이를 보였다. 또한 FU와 BU에서는 제동력이 발생되었고 FD와 BD에서는 추진력이 발생되었음을 알 수 있다.

오른발이 지면에서 떨어질 때 왼발에 발생되어지는 지면반력의 크기와 방향은 좌·우 지면반력값에서 FU와 BD, FD와 BU, FD와 BD, BU와 BD 보행에서 통계적으로 유의한 차이를 보였다(표 6). 수직 지면반력값에서는 FU와 BD에서 유의한 차이를 보였고 BD 보행 값이 높은 값을 나타냈다.

오른발이 지면에 착지하는 순간 왼발에 발생되어지는 지면반력의 크기와 방향은 좌·우 지면반력값에서 FU와 BU, FU와 BD, FD와 BD, BU와 BD 보행에서 통

표 7. 오른발 지면 착지 순간(RHC2) 원발에 발현되어지는 지면반력 크기와 방향(×BW)

	FU	FD	BU	BD
Fx	-0.040 ^{ns} (0.019)	-0.031 ^o (0.034)	0.007 ^{2o} (0.039)	-0.098 ^{8ov} (0.042)
Fy	0.407 ^{*s} (0.056)	0.034 ^{*#} (0.103)	0.370 ^{#o} (0.112)	0.061 ^{§o} (0.051)
Fz	1.014 ^{*s} (0.130)	0.649 ^{*#} (0.292)	1.050 ^{#o} (0.329)	0.671 ^{§o} (0.183)

Note. ^{*} Significant difference between FU and FD, ^{ns} Significant difference between FU and BU, ^s Significant difference between FU and BD, [#] Significant difference between FD and BU, ^o Significant difference between FD and BD, ^{ov} Significant difference between BU and BD.

계적으로 유의한 차이를 보였다. 특히 BD 보행이 외측으로 가장 강하게 지면 반력기를 밀어내는 결과를 보였다. 전·후 지면반력값에서는 FU와 FD, FU와 BD, FD와 BU, BU와 BD 보행에서 유의한 차이를 보였는데 FU와 BU 보행이 FD와 BD에 비해 전방으로 나가려는 힘이 더욱 강하게 작용한 것을 알 수 있다. 수직 지면 반력값에서는 FU와 FD, FU와 BD, FD와 BU, BU와 BD 보행에서 통계적으로 유의한 차이를 보였는데 이를 통해 FD와 BD 보행이 FU와 BU보다 수직 지면반력값이 유의하게 감소되었음을 알 수 있다.

3) 주요 구간 시 지면반력의 최대값 최소값 및 평균값

IDLS 구간 시 좌·우 방향 지면반력값의 평균값에서는 각 보행패턴 별로 유의한 차이를 보였다. 특히 FD, BD 보행은 FU, BU보다 평균값이 유의하게 크게 나타났다(표 8). 이는 최초 양발 지지기 동안에 하향

보행의 경우가 상향 보행보다 추진력보다는 자세의 안정성을 추구하기 위하여 발의 내반이 더욱 이루어진 결과로 사료되어 진다. 최대값의 경우에는 FD가 BD보다 유의하게 큰 결과를 나타내었다.

ISLS 구간의 평균값에서는 BU가 FU보다 유의하게 작게 나타났다. 특히 BU가 가장 낮은 값을 보였는데, 이는 상향 보행 시 후방 보행의 경우 한발 지지기에서 후방으로 치우쳐진 신체 무게 중심을 상대적으로 전방으로 가져가기 위하여 발의 외반이 강하게 일어난 것으로 사료되어 진다. 마찬가지로 BU의 최대값 최소값이 보행 패턴 중 가장 낮은 값을 나타내었으며, 불안한 신체 중심으로 빨리 이동시키기 위한 것으로 생각된다.

TDLs 구간 시 좌·우 방향 지면반력값의 평균값 최대값 최소값에서 보행 패턴 별 유의한 차이를 보였다. 특히 IDLS 구간과 마찬가지로 FD는 최대값 평균값에서 BD보다 유의하게 크게 나타났다. TSLs 구간 시 좌·우 방향 지면반력값의 평균값에서 각 보행패턴 별로 유의한 차이를 보였다. 특히 FU가 BU에 비해 통계적으로 작게 나타났는데 이는 상향 보행 시 전방 보행이 후방 보행에 비해 외반이 강하게 일어난 것으로 사료되어진다.

전·후 방향 지면반력값에서는 IDLS를 제외한 전 구간에 걸쳐 평균값에서 각 보행패턴 별로 유의한 차이를 보였으며 최대값 및 최소값의 경우에도 유사한 결과를 나타내었다(표 9). 특히 전 구간에서 FU와 BU가 FD와 BD에 비해 유의하게 크게 나타났으며, 이는 상향 보행이 하향 보행에 비해 더욱 강한 추진력을 필요로 하기

표 8. 보행형태에 따른 구간별 좌·우 지면반력값의 최대값, 최소값 및 평균값(×BW)

	IDLS			ISLS			TDLs			TSLs		
	Max	Min	Ave	Max	Min	Ave	Max	Min	Ave	Max	Min	Ave
FU	-0.002 [§] (0.019)	-0.046 ^{ns} (0.025)	-0.025 ^{ns} (0.018)	0.008 ^{ns} (0.032)	-0.042 ^{ns} (0.040)	-0.015 ^{ns} (0.031)	0.006 ^{ns} (0.027)	-0.050 ^{ns} (0.019)	-0.020 ^{ns} (0.024)	-0.018 ^{ns} (0.018)	-0.050 ^{ns} (0.028)	-0.031 ^{ns} (0.019)
FD	0.079 ^{*#s} (0.020)	-0.006 ^{*#} (0.013)	0.038 ^{*#s} (0.009)	0.055 ^{*#} (0.020)	-0.010 ^{*#} (0.016)	0.011 [#] (0.014)	0.032 ^{*#s} (0.006)	-0.014 [#] (0.011)	0.012 ^{*#s} (0.007)	0.071 ^{*#} (0.033)	0.003 ^o (0.023)	0.034 ^{*#s} (0.021)
BU	0.010 ^{#o} (0.015)	-0.163 ^{2#o} (0.062)	-0.090 ^{2#o} (0.044)	-0.060 ^{2#o} (0.035)	-0.163 ^{2#o} (0.067)	-0.104 ^{2#o} (0.043)	-0.005 ^{#o} (0.019)	-0.167 ^{2#o} (0.094)	-0.096 ^{2#o} (0.065)	0.036 ^{2#o} (0.028)	-0.013 ^o (0.028)	0.012 ^{2#o} (0.023)
BD	0.033 ^{§s} (0.020)	-0.027 ^o (0.041)	0.004 ^{§s} (0.025)	0.034 ^o (0.024)	-0.021 ^o (0.023)	0.009 ^o (0.017)	0.010 ^o (0.009)	-0.015 ^o (0.013)	-0.001 ^{§s} (0.010)	0.096 ^{§o} (0.005)	0.063 ^{§o} (0.034)	0.086 ^{§o} (0.019)

Note. ^{*} Significant difference between FU and FD, ^{ns} Significant difference between FU and BU, ^s Significant difference between FU and BD, [#] Significant difference between FD and BU, ^o Significant difference between FD and BD, ^{ov} Significant difference between BU and BD.

때문인 것으로 생각된다. TDLS 구간의 FD와 BD의 평균값에서 보행 동작의 진행 방향으로 추진력이 발생되었다. 이는 하향 보행이 진행 중인 상태의 양발 지지기에서는 최소한의 제동력이 발생되며, 평균적으로 진행 방향으로의 추진력이 발생되어진 것으로 사료되어진다.

수직 지면반력값에 있어 TDLS 구간을 제외한 모든 구간에서 하향 보행이 상향 보행보다 높은 수직 지면반력값이 발생되어졌다. ISLS 구간의 수직 지면반력 최대값은 BD가 FU, BU보다 통계적으로 높은 값을 나타내었다(표 10). 이는 초기 한발 지지기에서 후방 하향 보행 시 시각적 제한 및 하향 경사각으로 인한 불안정으로 인해 더욱 강하게 지면을 디딘 것으로 판단되어진다. TDLS 구간에서는 수직 지면반력값의 최대값 및 평균값이 하향 보행 시 상향 방향의 보행 시 보다 통계적으로 유의하게 감소되어졌다.

4) 압력 중심 변위

압력 중심 변위는 오른발이 지면에 착지 할 때를 압력 중심 원점으로 계산하여 왼발이 지면에서 떨어질 때, 왼발이 지면에 착지할 때와 왼발이 지면에 착지 할 때를 압력 중심 원점으로 계산하여 오른발이 지면에서 떨어질 때, 오른발이 지면에 착지할 때 압력중심 변위 값을 비교 분석하였다.

좌·우 압력 중심 변화에서는 LTO-RHC1 동작 시점의 FU와 BD, RHC2-LHC 동작 시점의 FD와 BD 동작에서 유의한 차이가 나타났다(표 11). 특히 FU와 FD 동작에서는 외측 방향으로 압력 중심이 변화되었지만, BU와 BD 보행에서는 내측 방향으로 압력 중심 변화가 발생하였다.

전·후 압력 중심 변화에서는 LHC-RHC1, RTO-LHC, RHC2-LHC 동작 시점의 FU와 FD, FU와 BD, FD와 BU, BU와 BD 동작에서 통계적으로 유의한 차이를 보였다(표 12). 특히, FU와 BU 동작이 LHC-RHC1, RHC2-LHC 동작 시점에서 월등히 높은

표 9. 보행형태에 따른 구간별 전·후 지면반력값의 최대값, 최소값 및 평균값(×BW)

	IDLS			ISLS			TDLS			TSLs		
	Max	Min	Ave	Max	Min	Ave	Max	Min	Ave	Max	Min	Ave
FU	0.199 [§] (0.094)	-0.055 [§] (0.029)	0.073 [§] (0.043)	0.418 [§] (0.145)	0.191 [§] (0.100)	0.256 [§] (0.094)	0.498 [§] (0.173)	0.103 [§] (0.045)	0.360 [§] (0.125)	0.402 [§] (0.060)	0.206 [§] (0.030)	0.264 [§] (0.032)
FD	0.044 [#] (0.027)	-0.410 [#] (0.092)	-0.185 [#] (0.062)	-0.062 [#] (0.044)	-0.430 [#] (0.084)	-0.213 [#] (0.020)	0.149 ^{#6} (0.056)	-0.053 ^{#6} (0.050)	0.076 ^{#6} (0.047)	-0.057 [#] (0.074)	-0.490 [#] (0.179)	-0.223 ^{#6} (0.079)
BU	0.126 ^{#δ} (0.108)	-0.038 ^{#δ} (0.026)	0.033 ^{#δ} (0.043)	0.354 ^{#δ} (0.139)	0.102 ^{#δ} (0.066)	0.213 ^{#δ} (0.080)	0.576 ^{#δ} (0.224)	0.102 ^{#δ} (0.052)	0.387 ^{#δ} (0.148)	0.385 ^{#δ} (0.098)	0.129 ^{#δ} (0.041)	0.228 ^{#δ} (0.035)
BD	0.037 ^{§δ} (0.026)	-0.390 ^{§δ} (0.134)	-0.180 ^{§δ} (0.072)	-0.090 ^{§δ} (0.054)	-0.418 ^{§δ} (0.065)	-0.209 ^{§δ} (0.044)	0.079 ^{§δ} (0.032)	-0.105 ^{§δ} (0.037)	0.003 ^{§δ} (0.037)	-0.073 ^{§δ} (0.049)	-0.420 ^{§δ} (0.184)	-0.190 ^{§δ} (0.073)

Note. * Significant difference between FU and FD, # Significant difference between FU and BU, § Significant difference between FU and BD, # Significant difference between FD and BU, δ Significant difference between FD and BD, δ Significant difference between BU and BD.

표 10. 보행형태에 따른 구간별 수직 지면반력값의 최대값, 평균값(×BW)

	IDLS		ISLS		TDLS		TSLs	
	Max	Ave	Max	Ave	Max	Ave	Max	Ave
FU	0.937 [§] (0.281)	0.464 [§] (0.149)	1.128 [§] (0.109)	0.840 (0.061)	1.090 [§] (0.122)	0.659 [§] (0.076)	1.148 [§] (0.125)	0.861 (0.053)
FD	1.334 [#] (0.336)	0.709 [#] (0.175)	1.408 [#] (0.238)	0.872 (0.043)	0.881 ^{#6} (0.149)	0.527 [#] (0.085)	1.349 [#] (0.164)	0.838 (0.057)
BU	1.058 [#] (0.150)	0.554 [#] (0.151)	1.141 ^{#δ} (0.114)	0.831 (0.082)	1.204 ^{#δ} (0.201)	0.730 ^{#δ} (0.170)	1.251 (0.134)	0.835 (0.086)
BD	1.266 (0.482)	0.607 (0.229)	1.420 ^{§δ} (0.286)	0.703 (0.534)	0.735 ^{§δ} (0.077)	0.376 ^{§δ} (0.286)	1.466 [§] (0.334)	0.866 (0.059)

Note. * Significant difference between FU and FD, # Significant difference between FU and BU, § Significant difference between FU and BD, # Significant difference between FD and BU, § Significant difference between FD and BD, δ Significant difference between BU and BD.

표 11. 주요 동작 시행 시 발생되어지는 좌·우 압력 중심 변화(cm)

	FU	FD	BU	BD
LTO-RHC1	-2.248 [§] (3.571)	-0.174 (3.084)	0.779 (5.116)	3.442 [§] (3.65)
LHC-RHC1	-0.57 (4.047)	-0.266 (3.303)	0.8119 (4.558)	3.758 (3.284)
RTO-LHC	2.753 (1.547)	-1.634 (7.62)	2.434 (1.833)	3.038 (4.566)
RHC2-LHC	2.79 (1.568)	-1.547 [§] (7.492)	2.443 (1.819)	4.475 [§] (4.609)

Note. [§] Significant difference between FU and BD, ^δ Significant difference between FD and BD.

표 12 주요 동작 시행 시 발생되어지는 전·후 압력 중심 변화(cm)

	FU	FD	BU	BD
LTO-RHC1	5.901 (5.351)	3.093 (4.062)	6.615 (4.828)	3.476 (3.721)
LHC-RHC1	15.544 [§] (6.811)	1.975 [#] (4.023)	14.653 ^δ (4.097)	2.965 [§] (3.443)
RTO-LHC	13.839 [§] (5.633)	-8.305 [#] (13.736)	13.502 ^δ (5.365)	-16.781 [§] (4.6)
RHC2-LHC	14.671 [§] (5.642)	-21.47 [#] (13.556)	14.417 ^δ (5.539)	-27.039 [§] (5.729)

Note. ^{*} Significant difference between FU and FD, [§] Significant difference between FU and BD, [#] Significant difference between FD and BU, ^δ Significant difference between BU and BD.

값을 보였으며, 특히 BD 보행 시 압력 중심 변화가 가장 크게 나타났다.

5) 부하율(loading rate)과 감소율(decay rate)

오른발과 왼발에 발생되어지는 부하율은 FU와 FD, FD와 BU에서 통계적으로 유의한 차이를 보였으며 특히 FD와 BD에서 현저히 높은 값이 나타났다. 또한 오른발과 왼발에 발생되어지는 감소율은 BD가 상대적으로 낮으며 BU가 높은 수치를 나타내었다(표 13).

IV. 논의

보행 방법에 따른 각 구간별 소요 시간에서 FU 보행 동작과 BU 보행 동작 간의 소요시간의 차이가 구간 별로 상이한 반면, BD 보행 동작이 FD 보행 동작에 비해 전 구간에서 소요시간이 크게 나타난 것은 보

표 13. 보행 동작 시의 부하율과 감소율(N/sec)

	FU	FD	BU	BD
Loading rate (R. foot)	3997.4 [*] (1228.4)	8487.6 [#] (4747.6)	3757.8 [#] (1487.0)	5650.1 (2993.2)
Decay rate (R. foot)	-4867 [§] (1108.9)	-4563.6 ^δ (1646.9)	-6352.1 ^δ (2379.4)	-2203.0 ^{§δ} (730.9)
Loading rate (L. foot)	4145.3 (1234.8)	8868.0 [#] (4546.2)	4018.3 [#] (1083.1)	5908.9 (1896.9)
Decay rate (L. foot)	-4706.3 [§] (1211.2)	-4538.0 [#] (1611.3)	-6873.5 ^{#δ} (2489.2)	-2638.3 [§] (967.0)

Note. ^{*} Significant difference between FU and FD, [#] Significant difference between FU and BU, [§] Significant difference between FU and BD, ^δ Significant difference between FD and BU, ^δ Significant difference between BU and BD.

행 시 피험자의 시야에 보행 주로가 확보되지 않고 하향 경사로를 후방 보행하는 동작이 보다 더 원활하게 이루어지지 않았음을 알 수 있다.

왼발이 지면에서 떨어질 때 오른발에 발생되어지는 지면반력의 크기와 방향은 좌·우 지면반력값에서 BD 보행만 지면 반력기를 내측으로 밀어내는 현상을 보였다. 이는 BD 보행의 경우 ISLS 구간 시 보행 경로가 시야에 보이지 않고 하향함으로 가장 불안정한 자세를 취하기 때문에 무게 중심을 낮추어 안정된 자세를 유지하기 위해 몸을 기울인 것으로 사료되어 진다. 또한 전·후 지면반력값에서 BU 보행 시 전·후 지면반력값이 가장 낮은 것으로 보아 다른 보행 형태에 비해 상대적으로 높은 제동력(braking force)을 보인 것으로 사료되어 진다.

왼발이 지면에 착지하는 순간 오른발에 발생되어지는 지면반력의 크기와 방향은 수직 지면반력값에서 FU 보다 FD가, BU 보다 BD가 수직 지면반력값이 줄어드는 것을 볼 수 있다. 이는 상향 보행 시 더욱 강한 추진력을 필요로 함으로 강하게 지면을 밟았기 때문인 것으로 사료되어 진다. Robin과 Waked(1997)는 신체 균형과 수직 지면반력 사이에 매우 밀접한 관계가 있다고 보고하였다. 즉, 신체 균형을 잡기 위해 하지 관절을 고정시킨 후 왼발을 착지하여 강한 수직지면반력이 발생된 것으로 사료되어 진다. 또한 중력의 작용에 의해 전방방향 무게 중심 이동이 수동적으로 이루어져 무게 중심 이동에 필요 되어지는 수직 지면반력값의 감소가 발생되어진 것으로 판단된다.

오른발이 지면에서 떨어질 때 왼발에 발생되어지는 지면반력의 크기와 방향은 좌·우 지면반력값에서 BD 보행에서 좌·우 지면반력값이 가장 낮은 것으로 보아 왼발이 지면 반력기를 가장 외측으로 밀어내었다. 이는 하향 보행 시 오른발이 공중기로 접어들 때 증가되는 인체의 무게 중심 이동 속도를 줄이기 위함 때문인 것으로 사료되어 진다. 수직 지면반력값에서는 FU와 BD에서 BD 보행값이 유의하게 높은 것으로 보아 전방으로 상향 보행보다 후방으로 하향 보행이 무게중심을 낮게 하여 안정성을 높이고 미끄러짐을 방지하기 위해서 인 것으로 판단되어 진다.

좌·우 지면반력값에서 IDLS, TDLS 구간 시 FD의 최대값 평균값이 BD보다 유의하게 크게 나타났다. 이는 하향 보행 시 후방 보행이 전방 보행에 비해 발의 최대 내반이 적게 일어난 것으로, 보행 간 발의 내반으로 인하여 관절에 부하를 적게 줄 수 있을 것으로 사료되어 진다.

전·후 지면반력값의 평균값은 TDLS 구간을 제외한 전 구간에서 FD는 BD에 비하여 통계적인 유의차는 없었으나 상대적으로 더욱 강한 제동력이 발생되었다. 이러한 현상은 FD 동작 시 중력의 작용에 따른 인체의 무게 중심을 안정적으로 이동시키기 위해 신체 무게 중심의 앞쪽에 위치한 왼발에 보다 강한 제동력을 발생시켜 신체를 제어시킬 필요성이 있는 것으로 판단되어 진다. 또한 이러한 강한 제동력은 하지 관절에 더욱 큰 부하를 줄 수 있을 것으로 사료되어 진다.

수직 지면반력값에 있어 추진력을 발생시키는 TDLS 구간을 제외하고 모든 구간에서 하향 보행이 상향 보행보다 높은 수직 지면반력값이 발생되어졌다. 이러한 현상은 상방향의 보행 시 슬관절 신전과 발목의 족저 굴곡을 통해 발을 지면에서 밀어냄으로써 신체 무게 중심을 이동 시켰지만 하방향의 보행 이동 시에는 중력의 영향이 포함되어져 하방향의 보행 시 수직 지면 반력값의 증가가 발생되어진 것으로 사료되어 진다.

신체의 무게 중심이 오른발 앞쪽으로 이동하여 오른 발에 의해 추진력이 발생하는 TDLS 구간에서는 수직 지면반력값의 최대값 및 평균값이 하향 보행 시 상향 방향의 보행 시 보다 통계적으로 유의하게 감소되어졌다. 이는 상향 방향의 보행 시 오르막을 오르기 위해 무

게 중심을 낮춰 지면을 강하게 디딤으로서 나타난 결과로 사료되어진다. 또한 하향 방향의 보행 시에는 능동적인 근육 수축을 통해 발이 지면을 밀어 추진력을 발생 시켰다가 보다는 중력의 작용에 의해 수동적으로 무게 중심이 이동되어졌기 때문인 것으로 판단되어진다.

좌·우 압력 중심 변화에서 전방 보행 동작의 경우 외측 방향으로 압력 중심이 변화된 것에 반해 후방 보행 동작에서는 내측 방향으로 압력 중심 변화가 발생하였다. 이는 정상적인 보행 패턴에서는 오른발 착지 시 발목이 내반되었다가 무게 중심의 이동과 더불어 외반 되어져야 한다. 그러나 후방 보행 동작에서는 내측 방향으로 압력 중심 변화가 진행되는 것으로 보아 후방 보행 동작이 정상적인 보행 패턴과는 다른 압력 중심 이동을 발생시키는 것으로 사료되어 진다.

전·후 압력 중심 변화에서는 FU와 BU 동작이 LHC-RHC1, RHC2-LHC 동작 시점에서 높은 값을 보였는데 이는 추진력을 얻기 위해 압력 중심 변화가 크게 이루어 졌음을 알 수 있다. 또한 RHC2-LHC 동작 시점에서 BD 보행 시 압력 중심 변화가 가장 크게 나타났다. 이는 후방 하향 보행 시 더 강한 제동력이 발생되기 때문으로 사료되어 진다.

오른발과 왼발에 발생되어지는 부하율은 FD와 BD에서 현저히 높은 값이 나타났는데 이는 하향 보행 시 미끄러짐을 방지하게 위해 하지 근육의 긴장성 수축이 유발되어지고, 하퇴 삼두근의 수축을 통해 발로 지면을 능동적으로 밀어내는 형태를 취함으로써 급속한 수직 지면반력값을 유발한 것으로 사료되어 진다.

감소율은 보행 속도와 정적인 관련성이 있는데 최대 수직 지면반력값이 발생한 뒤, 수직 지면 반력값이 서서히 떨어지게 되면 감소 기간이 길어지게 된다. 이는 추진 시 수직 지면반력값이 적게 발생하는 결과를 유발하고 결국 지면에서 미끄러짐이 발생할 수 있는 가능성이 커지는 것이다. 오른발과 왼발에 발생되어지는 감소율은 BD가 상대적으로 낮으며 BU가 높은 수치를 나타내었다. 이는 후방 하향 보행 시 보행 속도가 상대적으로 느렸기 때문인 것으로 미세한 미끄러짐을 동반하여 추진력이 발생된 것으로 판단된다.

V. 결론 및 제언

본 연구의 결과 20° 경사로 위에서 전·후 보행 시 지면반력의 발생 형태에 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다. 이러한 지면반력의 형태 변화는 보행 시 신체의 균형 유지를 위해 필요 되어지는 발목, 무릎관절의 위치 변화와 무게 중심의 변화에 의한 것으로 판단된다. 또한 BD 보행 시 다른 보행 동작에 비해 감소율이 낮아진 것으로 나타났으며 이러한 결과는 하향 후방 보행 시 이동 속도의 감소에 의해 발생되어진 것으로 판단되어진다. 따라서 걷기 운동에서 보폭에 따른 보행 속도의 감소는 관절 부하를 감소시키는 작용을 함으로써 운동 상해의 위험을 낮출 수 있기 때문에 하향 후방 보행 동작이 운동 상해의 예방에 긍정적인 작용을 할 것으로 생각된다.

본 연구의 결과를 종합해 볼 때 향후 경사가 심한 등산로에서 하지 근골격계에 지속적으로 작용될 수 있는 스트레스를 감소시켜 상해를 예방할 수 있는 방법으로 후방 보행 방법이 제시될 수 있다. 차후 경사로에서의 보행 시 발생될 수 있는 문제에 대해 보다 의미 있는 결론을 도출하기 위해서는 운동학적 분석과 근전도 분석이 이루어져야 할 것으로 생각된다.

참고문헌

- 채원식(2006). 롤러 신발과 조깅 슈즈 신발 착용 후 보행 시 지면반력의 형태 비교 분석. *한국운동역학회지*, 16, 101-108.
- Arata, A.W.(1999). *Kinematic and kinetic evaluation of high speed backward running*. Unpublished doctoral dissertation, University of Oregon, Oregon.
- Bates, B. T. & McCaw, S. T.(1986). A comparison between forward and backward locomotion. *Human Locomotion IV, Proceedings of the Biennial Conference of the Canadian Society for Biomechanics*, Montreal, Quebec, Canada: 307-308.
- Bates, B. T., Morrison, E. & Hamill, J.(1986). Differences between forward and backward running. M. Adrian and H. Deutsch(Eds.). *Proceedings of the 1984 Olympic Scientific Congress*, Eugene, Oregon: University of Oregon Microform Publications:127-135.
- Cavanagh, P. R. & Lafortune, M. A.(1980). Ground reaction force in distance running. *Journal of Biomechanics*, 11, 487-491.
- Chaloupka, E. C., Kang, J., Mastrangelo, M. A., & Donnelly, M. S.(1997). Cardiorespiratory and metabolic response during forward and backward walking. *The Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 25(5), 302-306.
- Cipriani, D. J., Armstrong, C. W., & Gaul, S.(1995). Backward walking at three levels of treadmill inclination: an electromyographic and kinematic analysis. *The Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 22(3), 95-102.
- Clarkson, E., Cameron, S., Osmon, P., McGraw, C., Smutok, M., Stetts, D., & Underwood, F.(1997). Oxygen consumption, heart rate, and rating of perceived exertion in young adult women during backward walking at different speeds. *The Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 25(2), 113-118.
- Dean, Y., Thomas, M., Annette, P., & John, F. An EMG study of quadriceps and hamstrings activity during forward and backward walking. Retrieved Feb 28, 2005, from <http://www.med.und.nodak.edu/depts/pt/research/WalkNormal/posterwalk.htm>.
- Flynn, T. W. & Soutas-Little, R. W.(1993). Mechanical power and muscle action during forward and backward running. *Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, 17, 108-112.
- Grasso, R., Bianchi, L. & Lacquaniti, F.(1998). Motor

- patterns for human gait: Backward versus forward locomotion. *Journal of Human Physiology*, 80, 1868-1885.
- Mann, R. A.(1980). *Biomechanics of Running*. In Symposium on the Foot and Leg in Running Sport, R. P. Mack(ed). St. Louis: The C. V. Mosby Co. 1-29.
- Munro, C. F., Miller, D. I., & Fuglevand, A. J.(1987). Ground reaction force in running: a reexamination. *Journal of Biomechanics*, 20(2), 147-155.
- Robbins, S. & Waked, E.(1997). Balance and vertical impact in sports: role of shoe sole materials. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 78(5), 463-467.
- Sarah B., Lori, G., Kerry, H, Glenda, S., & Thomas, M. Electromyographic and motion analysis of forward and backward walking. Retrieved Feb 28, 2005, from <http://www.med.und.nodak.edu/depts/pt/research/EMG%20walking/Electromyographic.htm>.

투 고 일 : 7월 31일
심 사 일 : 8월 7일
심사완료일 : 9월 12일