

효율적인 재활운동 프로그램을 위한 뒤로 걷기의 운동역학적 분석

Biomechanical Analysis of Backward-walking for an efficient Motor Rehabilitation Program

전소현(서울 본브릿지병원 물리치료사) · 윤석훈*(한국체육대학교 교수)

So Hyun Jeon *Seoul Bonebridge Hospital* · Sukhoon Yoon* *Korea National Sport University*

요약

본 연구의 목적은 앞으로 걷기와 비교를 통하여 재활훈련으로서의 뒤로걷기를 규명하는데 있다. 최근 6개월동안 근골격계의 상해가 없는 총 20명의 젊은 성인들이 연구대상자로서 본 연구에 참여하였다. 본 연구의 실험대상자는 10m 길이의 보행로에서 앞으로 걷기 20회, 뒤로 걷기 20회를 실시하였으며 앞으로 걷기와 뒤로 걷기의 운동학 및 운동역학적 차이를 확인하기 위하여 8대의 적외선 카메라, 6채널의 무선 근전도 측정 장비를 샘플링 율을 각각 100 Hz와 1,000 Hz로 설정하여 사용하였으며 선속도 측정을 위한 구간속도 측정기도 사용되었다. 앞으로 걷기와 뒤로 걷기 시 하지관절의 운동역학적 차이를 검증하기 위하여 paired t-test를 실시하였으며, 통계적 유의수준은 $\alpha=.05$ 로 설정하였다. 본 연구를 수행한 결과 앞으로 걷기와 뒤로 걷기 시 선속도는 뒤로 걷기가 느리게 나타났고, 시공간적 보행변인 중 디딤기 시간과 흔들기 시간은 뒤로 걷기가 느리게 나타났으며, 확보장은 뒤로 걷기가 짧게 나타났다. 또한, 앞으로 걷기와 뒤로 걷기 시 디딤기와 흔들기의 엉덩관절과 무릎관절의 관절가동범위, 최대 굴곡각도와 최대 신전각도에서 뒤로 걷기가 작게 나타났다. 앞으로 걷기와 뒤로 걷기 시 디딤기와 흔들기의 발목관절의 최대 발등쪽 굴곡각도에서 뒤로 걷기가 크게 나타났다. 마지막으로 앞으로 걷기와 뒤로 걷기 시 디딤기의 가쪽넓은근, 안쪽넓은근, 그리고 안쪽 장딴지근에서 뒤로 걷기가 크게 나타났다. 앞으로 걷기와 뒤로 걷기 시 흔들기의 큰볼기근, 가쪽넓은근, 안쪽넓은근, 넙다리두갈래근, 그리고 앞정강근에서 뒤로 걷기가 크게 나타났다. 결론적으로 뒤로걷기는 전방 보행에 비해 불편하고 시야 확보의 어려움으로 인해 하지 관절의 움직임이 작았지만 근육 활성도가 높은 것으로 나타났다. 그러므로 하지관절의 근육들을 강화시켜야 하는 하지 근골격계 질환의 재활프로그램으로 뒤로 걷기를 적용할 필요가 있다고 판단된다.

Abstract

The purpose of this study was to verify the effect of backward walking as a rehabilitation exercise by comparing with forward walking. Total of 20 healthy male adults who had no experience of musculoskeletal injuries on lower extremities in the last six months participated in this study. The participants performed 20 times for forward and backward walking at a 10m distance. A three dimensional motion analysis with eight infrared cameras and 6 channel EMG was performed to determine the kinematic and kinetic differences between forward and backward walking. A paired t-test was performed with the significance level set at $\alpha=.05$. It was found that preferred speed, stance time, and swing time of backward walking were slower than forward walking. Also, the stride length of backward walking was shorter than forward walking. For the lower extremity joints, the range of motion, maximum flexion angle, and maximum extension angle of the hip and knee joints in the stance and swing phase were lower in backward walking than forward walking. In addition, the maximum dorsal-flexion angle of the ankle joint in perspective and swing phase was higher in backward walking than forward walking. Finally, muscle activation of vastus lateralis, vastus medialis, and medial gastrocnemius in the stance phase were higher in backward walking than forward walking. Moreover, muscle activation of gluteus maximus, vastus lateralis, vastus medialis, biceps femoris, and tibialis anterior in the swing phase were higher in backward walking than in the forward walking. In conclusion, although backward walking showed smaller lower extremity joint's movement than that of forward walking due to the inconvenient and difficult to secure the field of view, the higher muscle activation was revealed. Therefore, it is necessary to apply backward walking as a rehabilitation program for lower extremity musculoskeletal disorders that require strengthening the lower extremity muscles.

Key words : Forward walking, Backward walking, Rehabilitation program, Biomechanics

* sxy134@knsu.ac.kr

1. 서론

최근 들어 여가시간의 비중이 커짐에 따라 일반인들의 주 1회 이상 생활체육에 참여하는 비율이 증가(2017년: 59.2% vs. 2019년: 66.6%)하고 있으며 이러한 증가는 스포츠활동에서 부상의 빈도 또한 증가시킨다고 보고되고 있다(Yeo, Kim, & Kim, 2008; Ministry of Culture, Sports and Tourism, 2020; KOREA SPORTS SAFETY FOUNDATION, 2020). 스포츠 활동에서 발생하는 대부분의 부상은 염좌, 좌상, 찰과상, 골절 등과 같은 근골격계 상해였으며 이러한 부상들은 반복적인 동작, 무리한 힘의 사용, 날카로운 면과의 신체 접촉 등의 요인에 의하여 주로 발생한다고 보고되고 있다(Kim, Hwang & Suk, 2013; Ministry of Employment and Labor, 2019). 이러한 근골격계 상해는 상지(25%)보다 하지(39%)에 더욱 편중되어 발생하며 특히 하지상해의 발생은 무릎(20.5%)과 발목(38.1%)에서 가장 많이 발생한다고 알려져 있다(Hootman, Dick & Agel, 2007; Kim, 2008; KOREA SPORTS SAFETY FOUNDATION, 2020).

염좌등의 경미한 상해를 제외한 하지관절 상해는 일반적으로 수술 등의 외과적 치료 후, 정상적인 기능회복과 일상생활 및 스포츠 현장으로의 복귀를 위해 재활운동이 실시된다(Saxena & Granot, 2011). 이때 수행되는 재활운동은 부상의 부위 및 상태에 따라 차이가 있으나 일반적으로 관절 가동범위 운동, 근력 강화 운동, 그리고 균형능력 향상 운동 등의 순서로 진행된다(Karlsson, Lundin, Lind & Styf, 1999; Hall, Docherty, Simon, Kingma & Klossner, 2015; Mettler, Chinn, Saliba, McKeon & Hertel, 2015). 이중 균형능력 향상 운동은 관절 가동범위 운동과 근력 강화 운동이 어느 정도 수행된 재활 중기 시점에서 실시되는데 이러한 균형향상을 효율적으로 적용하기 위해 수행되고 있는 앞으로 걷기 운동은 상지와 하지의 조화로운 움직임을 만들기 위하여 필수적으로 수행되는 운동프로그램이다(Lange, Hintermeister, Schlegel, Dillman & Steadman, 1996; Hooper, et al., 2004; Feasel, Whitton, Kassler, Brooks & Lewek, 2011; Lee, Kim, Kim, & Lim, 2013; Kohli, Nawale, Chavan & Palkhade, 2018; Choi, & Lee, 2019; Lin et al., 2020). Han & Choi (2010)는 전방십자인대 재건술을 받은 환자들의 재활프로그램 효과를 알아보는 연구에서 수술 후 초기 6주까지는 관절 가동범위 운동과 등속성 근력 강화 운동을 실시하고 10~12주에 실시된 균형능력강화 운동인 다방향 운동을 시행하기 전에 8~10주에 가벼운 걷기 운동을 시행하였다고 보고하고 있다. 또한 Rhi, Chung, & Kim(2011)은 만성 발목 불안정으로 비수술적 치료 또는 수술적 치료를 받은 환자들에게 사용한 재활운동프로그램에서 1~2주는 관절 가동범위 운동을 중심으로, 3~4주는 관절 가동범위 운동에 근력 강화 운동을 추가하여 진행하였는데, 이러한 운동들은 앞으로 걷기 운동 15분씩과 함께 진행하였다고 보고하고 있다.

앞으로 걷기는 신체 안정성과 균형을 유지하면서 신체를 전방으로 이동시키기 때문에 하지 관절들의 조화로운 사용을 통한 균형능력, 협응력, 운동감각, 고유수용성 감각, 근육의 통합작용 등이 요구되는 움직임이다(Ferber, Osternig, Woollacott, Wasielewski & Lee, 2002; Kang, 2019). 하지만, 하지 근골격계 상해가 발생하게

되면 고유수용성 감각의 상실 및 하지 관절의 지속적인 통증으로 인해 보행 기전의변화를 동반한다(Kim, 2010). 이러한 하지 근골격계 상해 시 주요하게 변화되어 나타나는 보행의 대표적인 특징들은 환측의 체중지지 시간, 보폭 그리고 보행속도의 감소 등이며 이러한 보행변화의 원인은 근력 약화 또는 경직과 관절 구축 등이라고 보고되고 있다(Lee, 2016; Lee, Park, Hahn & Kim, 2004). 이러한 보행의 특징은 환자들의 보행 시 균형의 문제를 유발시키며, 신체의 각 부분에서는 문제를 해결하기 위한 보상 움직임을 나타나게 된다. 따라서 환자들의 보행은 정상인보다 더 많은 에너지를 소모하게 되어 결과적으로 비효율적인 보행을 하게 된다고 알려져 있다(Kim, Shim, & Lee, 2019). 그러므로 대부분의 재활전문가들은 하지 근골격계 상해의 재활운동프로그램의 후반기에 보행을 포함시켜, 보행 시 에너지 소모를 적게 하는 효율적인 움직임뿐만 아니라 운동 및 고유수용성 감각과 근육의 기능회복을 할 수 있는 노력을 수행하고 있는 실정이다(Han & Choi, 2010; Jin, 2013; Jin, Song, Kang, Kim & Kim, 2010).

최근 이러한 보행운동에 대하여 다른 접근이 시도되고 있다. 즉, 이전에는 보행에 관한 재활 과정에서 생활에서 익숙해진 앞으로 걷기가 주로 권장되었으나, 최근에는 뒤로 걷기에 대한 효과가 인정되면서 뒤로 걷기를 더욱 권장하고 있는 추세이다(Grasso, Bianchi & Lacquaniti, 1998; Hooper, et al., 2004; Kohli et al., 2018). 뒤로 걷기는 생활에서 익숙하지 않은 보행으로 앞으로 걷기에 비하여 보행균형을 위한 더 많은 근육 활성을 요구하기 때문에 이와 관련된 근력 향상의 효과가 있다고 보고되고 있으며 특히 보행 중 무릎의 안정화에 기여하고 있는 넵다리네갈래근의 근력을 향상시킨다고 알려져 있다(Kong et al., 2007). 또한, 뒤로 걷기는 앞으로 걷기에 비하여 느린 속도에 기인한 짧은 확보장을 나타내기 때문에 보행 중 적은 하지관절의 충격을 제공할 뿐만 아니라 확보장의 횡수를 증가시켜 더 많은 에너지의 소비를 요구하므로 심폐능력이 향상되는 효과도 있다고 보고되고 있다(Flynn, Connery, Smutok, Zeballos & Weisman, 1994; Myatt, et al., 1995; Yu, & Shin, 2008; Kong et al., 2007). 특히, Kong et al.(2007)은 무릎관절의 경우 뒤로 걷기 보행이 앞으로 걷기보행에 비하여 50%의 압력만이 적용되기 때문에 하지관절에 작용하는 부하를 줄일 수 있다고 보고하였다. 이러한 결과는 앞으로 걷기와 뒤로 걷기의 보행 특성 차이에 기인한다고 생각되어진다. 즉, 보행의 디딤기 구간에서 두 보행은 다른 기전으로 움직임이 수행되는데, 뒤로 걷기는 무릎관절이 굴곡된 상태에서 발가락으로 지면을 닿으면서 디딤기를 시작하는 반면에 앞으로 걷기는 무릎관절이 신전된 상태에서 발꿈치로 지면을 닿으면서 디딤기를 시작한다. 그러므로 보행의 디딤기 구간에서 뒤로 걷기는 무릎관절이 굴곡에서 신전으로 변화되는 기전을 나타내는 반면 앞으로 걷기는 신전에서 굴곡으로 변화되는 기전을 나타내기 때문에 뒤로 걷기의 움직임 기전은 앞으로 걷기에 비하여 무릎관절의 신전역할이 강조되는 보행이라고 말할 수 있다. 특히 재활의 측면에서 앞으로 걷기에 비하여 보행중 적은 충격량을 받는 뒤로 걷기가 재활 중 낮은 재상해율을 가질

수 있다는 장점 때문에 최근 재활운동으로 많이 활용하고 있는 실정이며 전방십자인대 재건술, 슬개대퇴동통증 및 외측 슬개건염 등과 같은 무릎관절의 상해 시 재활운동으로도 추천되고 있는 실정이다(Flynn & Soutas-Little, 1995; Dufek, 2002).

이처럼 뒤로 걷기는 앞으로 걷기에 비하여 재활운동으로서 많은 강점을 가지고 있지만 그 연구의 수가 부족할 뿐만 아니라 뒤로 걷기 시 걸음 주기의 디딤기와 흔들기 구간 중 특정 구간만을 분석하였을 뿐 하지 관절인 엉덩관절, 무릎관절과 발목관절의 움직임에 관여하는 근육들의 근 활성도를 분석한 논문은 부족한 실정이다(Flynn & Soutas-Little, 1993; Cipriani, Armstrong & Gaul, 1995). 그러나 재활을 위한 보행 분석은 걸음 주기의 모든 구간에서의 근육 작용기전을 설명하여야 한다고 생각되며, 재활운동으로서 뒤로 걷기의 장점을 보다 세부적으로 이해하기 위해서는 하지의 엉덩관절, 무릎관절 및 발목관절의 움직임에 작용하는 주동근과 길항근에 대한 근 활성도를 걸음 주기 구간별로 분석할 필요가 있다고 생각된다.

따라서 본 연구의 목적은 앞으로 걷기와 뒤로 걷기 시 하지관절인 엉덩관절, 무릎관절 및 발목관절의 운동역학적 차이를 분석하여 향후 재활운동으로서의 뒤로 걷기 효과를 더욱 세부적으로 설명하는 데 도움이 될 수 있는 근거자료를 제공하는 데 있다.

II. 연구방법

1. 연구대상

본 연구의 연구대상자는 6개월 이내에 하지 근골격계 상해가 없는 건강한 20-30대 남성 20 명(age: 26.8 ± 3.3 yrs., height: 174.6 ± 3.8 cm, body mass: 73.6 ± 7.6 kg)으로 선정 하였다. 본 연구에서 사용한 연구대상자의 사례수는 G-Power software (version 3.1.9.2, Kiel University, Germany)를 통해 보행동작을 대상으로 한 운동역학적 선행연구를 참조하였으며, K 대학교 생명윤리위원회의 승인 후 수행되었다(승인번호: 20210610-071). 실험을 수행하기 이전에 모든 연구대상자에게 본 연구의 실험 절차와 목적에 관한 설명을 충분히 한 후, 실험에 참여하기 위해서 동의서에 동의한 피험자에 한하여 실험을 진행하였다.

2. 실험절차

본 실험은 10m 보행로에서 실시되었으며 실험 전 구간속도 측정기(SR-500SP, Seedteck, Korea)를 사용하여 앞으로 걷기와 뒤로 걷기의 선호속도를 측정하였다. 앞으로 걷기와 뒤로 걷기 동작의 데이터를 취득하기 위하여 8대의 적외선카메라와 6채널의 무선 근전도장비를 사용한 3차원 동작분석을 실시하였고, 이때 자료취득율(sampling rate)은 각각 100 Hz와 1,000 Hz로 설정하였다. 8대의 카메라는 기계적 시간 동조를 이루며 촬영하였으며, 영상데이터와 EMG 데이터는 Qualisys Track Manager (Qualisys, Sweden, [QTM])를 사용하여 시간적 동조를 이루며 수집되었다. 두가지 형태의 걷

기 동작이 이루어지는 장소는 NLT(non-linear transformation)방법을 사용하여 공간좌표(x 축: 좌/우, y 축: 전/후, z 축: 상/하)를 설정하였다. 동작 중 신체의 분절을 규명하기 위해서 각 대상자는 총 27개의 반사 마커와 클러스터(sacrum, anterior superior iliac spine, posterior superior iliac spine, greater trochanter, medial/lateral epicondyle of femur, medial/lateral malleolus, calcaneus, head of 1st, 5th metatarsal, 2nd toe, clusters on thigh and shank, Figure 1)를 양측 하지에 부착하였다. 또한 보행중 하지 분절의 근육활성도를 확인하기 위하여 주동측의 큰불기근(gluteus maximus), 가쪽 넓은근(vastus lateralis), 안쪽넓은근(vastus medialis), 넙다리두갈래근(biceps femoris), 앞정강근(tibialis anterior), 그리고 안쪽장딴지근(plantar flexor)에 표면전극을 부착하였다.

본 연구에서는 근육활성도를 표준화시키기 위하여 특정 동작의 근수축을 기준수축 (reference voluntary contraction: RVC)으로 삼아 %RVC방법을 사용하여 표준화하였으며, 측정의 오류를 줄이기 위하여 피부 표면의 털을 제거하였고, 알코올로 닦아 소독한 후에 표면전극을 부착하였다.

실험 준비완료 후 충분한 준비운동과 뒤로 걷기의 적응시간을 제공하였으며 해부학적 자세의 정렬을 측정하기 위하여 스탠딩 캘리브레이션(standing calibration)이 실시되었다. 그 후 앞으로 걷기와 뒤로 걷기 두 종류의 보행이 수행되었으며 대상자들의 다양한 체격조건을 표준화하기 위하여 선호 속도를 보행에 이용하였고, 선호속도를 기준으로 10% 내외의 속도로 보행한 동작 5회의 평균을 분석에 사용하였다.

그림 1. 반사마커 및 EMG 표면전극 부착위치



3. 자료처리 및 분석

취득한 위치좌표 원자료는 운동학적 변인 산출 시 발생하는 random error를 줄이기 위하여 차단주파수 6 Hz인 2차 저역 통과 필터(butterworth 2nd order low-pass filter)를 사용하여 필터링 하였다. 또한 EMG 자료의 경우 대역 통과 필터(band-pass filter)

20~450 Hz 로 처리하였으며, 다시 RMS (root mean square)를 통하여 변환된 값을 사용하였다. 두 가지 걷기 동작은 3개의 이벤트와 2개의 국면을 설정하여 분석하였다. 앞으로 걷기의 경우, 오른쪽 발의 발꿈치가 지면에 닿는 시점을 Event 1, 오른쪽 발의 발가락이 지면에 떨어지는 시점을 Event 2, 오른쪽 발의 발꿈치가 다시 지면에 닿는 시점을 Event 3으로 설정하였으며, 뒤로걷기의 경우, 오른쪽 발의 발가락이 지면에 닿는 시점을 Event 1, 오른쪽의 발꿈치가 지면에서 떨어지는 시점을 Event 2, 오른쪽 발의 발가락이 다시 지면에 닿는 시점을 Event 3으로 설정하였다. 두가지 걷기의 국면은 Event 1과 Event 2 사이의 국면을 Phase 1(stance phase), Event 2과 Event 3 사이의 국면을 Phase 2(swing phase)로 설정하였다.

각 분절의 움직임은 Visual 3-D 프로그램을 사용하여 분석되었다. 또한 보행 중 발생하는 근육활성도는 측정된 RVC의 근활성도 값을 사용하여 다음과 같이 산출하였다.

$$\text{muscle activation} = \frac{EMG_{raw}}{EMG_{RVC}} \times 100(\%)$$

단, EMGraw : 동작 시 근 활성도의 RMS 값

EMGrvc : 자발적 기준 수축 시 근활성도의 RMS 평균값

4. 통계처리

앞으로 걷기와 뒤로 걷기의 운동학 및 운동역학적 변인들을 비교분석하기 위하여 대응표본 t-검정(Paired t-test)을 실시하였으며, 본 연구에서 모든 통계적 유의수준은 $\alpha = .05$ 로 설정하였다.

III. 연구결과

본 연구는 앞으로 걷기와 뒤로 걷기 시 운동학 및 운동역학적 변인의 차이를 분석하여 향후 재활운동으로서의 뒤로 걷기의 효과를 더욱 세부적으로 설명하는 데 도움이 될 수 있는 기초적 근거

자료를 제공하고자 실시하였으며, 대상자들의 주동측인 오른쪽 하지의 움직임을 분석하였다.

본 연구의 수행결과 두 보행간 선호속도는 통계적으로 유의한 차이를 나타내었으며 앞으로 걷기가 뒤로 걷기에 비하여 보행 속도, 활보장에서 통계적으로 유의하게 증가된 결과를 나타내었다(표 1, $p < .05$). 또한 앞으로 걷기가 뒤로 걷기보다 디딤기 시간, 흔들기 시간 그리고 보행시간에서 통계적으로 유의하게 짧은 시간이 나타났다(표 1, $p < .05$).

더불어 하지관절의 각도변인들은 무릎관절의 디딤기의 최대신전각도를 제외하고 모든 경우에서 앞으로 걷기가 뒤로 걷기에 비하여 통계적으로 유의하게 크게 나타났다(표 2, $p < .05$).

마지막으로 디딤기 구간의 근활성도는 앞으로 걷기가 뒤로 걷기에 비하여 큰볼기근과 앞정강근에서 통계적으로 유의하게 크게 그리고 가쪽넓은근, 안쪽넓은근과 안쪽 장딴지근에서는 통계적으로 유의하게 작게 나타났다(표 3, $p < .05$), 또한 흔들기 구간의 경우 근활성도는 앞으로 걷기가 뒤로 걷기에 비하여 큰볼기근, 가쪽넓은근, 안쪽넓은근, 넙다리두갈래근과 앞정강근에서 통계적으로 유의하게 작게 안쪽 장딴지근에서는 통계적으로 유의하게 크게 나타났다(표 3, $p < .05$).

표 1. 앞으로 걷기와 뒤로걷기의 시공간적 변인

		Mean±SD	t(p)
선호속도 (m/s)	Forward	1.31±0.11	15.05(.00*)
	Backward	0.97±0.15	
디딤기 시간 (sec)	Forward	0.68±0.04	-4.39(.00*)
	Backward	0.74±0.07	
흔들기 시간 (sec)	Forward	0.41±0.02	-4.04(.00*)
	Backward	0.45±0.02	
보행시간 (sec)	Forward	1.10±0.05	-4.94(.00*)
	Backward	1.18±0.10	
활보장 (m)	Forward	1.42±0.13	10.60(.00*)
	Backward	1.12±0.18	

*Indicates significant difference between forward walking and backward walking ($p < .05$)

표 2. 앞으로 걷기와 뒤로 걷기시 보행 구간별 하지 관절의 변화

unit: degs

Mean±SD		디딤기			흔들기		
		관절 가동범위	최대 굴곡각도	최대 신전각도	관절 가동범위	최대 굴곡각도	최대 신전각도
엉덩관절	Forward	41.23±5.35	26.79±3.96	-14.44±3.64	34.85±5.61	28.27±4.00	-6.58±4.81
	Backward	30.22±4.30	24.87±4.40	-5.35±4.96	29.36±5.61	26.47±4.77	-2.89±6.12
	t(p)	10.03(.00*)	2.62(.02*)	-11.02(.00*)	5.63(.00*)	2.20(.04*)	-3.81(.00*)
무릎관절	Forward	42.24±4.96	41.82±4.97	-0.42±4.20	65.97±4.28	64.09±5.49	-1.88±3.42
	Backward	37.87±6.05	38.26±7.29	0.39±3.80	48.02±7.18	48.67±7.86	0.65±3.28
	t(p)	2.35(.03*)	2.33(.03*)	-1.33(.20)	10.58(.00*)	9.73(.00*)	-4.63(.00*)
발목관절	Forward	24.93±3.10	11.35±3.98	-13.58±3.99	20.22±4.71	2.19±3.84	-18.03±4.56
	Backward	23.72±4.16	15.30±4.50	-8.42±4.36	11.56±5.11	7.81±4.79	-3.74±5.52
	t(p)	1.37(.19)	-5.51(.00*)	-4.85(.00*)	7.10(.00*)	-7.02(.00*)	-12.21(.00*)

*Indicates significant difference between forward walking and backward walking ($p < .05$)

표 3. 앞으로 걷기와 뒤로 걷기시 보행 구간별 하지 근육의 근활성도 변화 unit: %RVC

Mean±SD		디딤기	흔들기
큰볼기근	Forward	13.48±3.43	5.70±3.33
	Backward	10.33±5.27	8.52±3.06
	t (p)	4.37(.00*)	-4.81(.00*)
가쪽넓은근	Forward	14.43±1.61	3.98±3.41
	Backward	19.95±5.57	24.29±29.50
	t(p)	-4.07(.00*)	-3.20(.00*)
안쪽넓은근	Forward	13.33±3.40	4.91±4.07
	Backward	23.37±21.37	19.23±14.81
	T(p)	-2.26(.04*)	-5.18(.00*)
넓다리두갈래근	Forward	11.55±2.19	3.15±2.06
	Backward	9.87±5.21	12.79±6.45
	t(p)	1.43(.17)	-6.56(.00*)
앞정강근	Forward	13.17±2.91	7.31±3.49
	Backward	9.51±4.72	16.35±5.86
	t(p)	3.69(.00*)	-5.60(.00*)
안쪽장딴지근	Forward	6.06±2.94	12.45±1.80
	Backward	13.94±14.76	8.08±4.94
	t(p)	-2.46(.02*)	3.63(.00*)

*Indicates significant difference between forward walking and backward walking (p<.05)

IV. 논의

본 연구는 앞으로 걷기와 뒤로 걷기 시 엉덩관절, 무릎관절 및 발목관절의 운동학 및 운동역학적 차이를 분석하여 향후 재활운동으로서의 뒤로 걷기의 효과를 더욱 세부적으로 설명하는데 그 목적이 있었다. 본 연구결과 뒤로 걷기는 앞으로 걷기에 비하여 통계적으로 유의하게 느린 보행속도, 긴 디딤기 시간 및 보행시간을 나타내었다(표 1, $p<.05$). 이러한 결과는 보행에 관여하는 신체적 요인들과 관련이 있다고 생각되어진다. 즉, 인간이 보행을 수행할 때 생체역학적, 심리적, 그리고 감각적 변인들이 보행의 형태를 변화시키는데(Hausdorff et al., 2001; Menz, Lord & Fitzpatrick, 2007), 뒤로 걷기는 감각적 변인인 시각적 요인의 제한을 받아 낙상의 두려움 등 심리적인 요인에 영향을 받은 것으로 생각된다. 따라서 익숙하지 않은 뒤로 걷기시 시각적 제한을 받은 보행자는 이러한 제한을 받지 않는 앞으로 걷기에 비하여 불안감이 증가하여 자기 방어적으로 느리게 걸을 수밖에 없으며 이러한 행동의 결과가 느린 보행속도, 긴 디딤기 시간 및 보행시간으로 나타났다고 생각된다.

또한 본 연구 수행결과 뒤로 걷기는 앞으로 걷기에 비하여 통계적으로 유의하게 긴 흔들기 시간을 나타내었다(표 1, $p<.05$). 이러한 결과는 본 연구자가 생각하지 못하였던 결과이다. 일반적으로 낙상에 대한 방어적인 보행을 실시하는 노인들의 경우 심리적

이나 체력적인 약점을 보완하기 위하여 보행시 긴 디딤기 시간, 짧은 흔들기 시간, 그리고 짧은 확보장을 나타내는 특성을 나타낸다(Wright, Peters, Robinson, Watt & Hollands, 2015). 따라서 본 연구자는 시각적 제한을 받아 방어적인 보행이 수행되는 뒤로 걷기도 노인들과 같은 특징을 나타낼 것이라고 생각하였으나 반대의 결과를 얻었다. 이러한 결과는 본 연구에 참여한 피험자들의 신체적 특성 때문이었다고 생각되어진다. 본 연구의 피험자들은 평균 연령 26.8세의 건강한 신체를 가진 집단이었다. 자신의 움직임 조절할 수 있는 충분한 근력을 가지고 있는 젊은이들은 노인들의 회피전략과 다르게 보다 천천히 안정적으로 흔들기 구간을 극복하려고 한 것으로 생각된다. 즉, 젊고 건강한 뒤로 걷기 보행자들은 보다 긴 흔들기 시간을 가지고 안정적인 낙하지점을 확보하려고 노력한 것으로 생각되며 짧은 확보장은 이러한 그들의 노력을 방증하고 있다고 생각되어진다.

본 연구에서는 앞으로 걷기와 뒤로 걷기 시 변화되는 하지 움직임의 각도에 대해 알아보았다. 본 연구 수행결과 디딤기와 흔들기 모든 구간에서 뒤로 걷기가 앞으로 걷기에 비하여 통계적으로 유의하게 작은 엉덩관절의 관절가동범위, 최대 굴곡각도, 그리고 최대 신전각도를 나타내었다(표 2, $p<.05$). 이러한 결과는 시공간적 보행변인의 결과에서 나타난 뒤로 걷기의 짧은 확보장의 원인이 되었다고 생각되어진다. 즉, 뒤로 걷기는 시각적 제한에 의한 불안감 때문에 확보장을 길게 할 수 없었고 그것을 수행하기 위해 보행중 적은 엉덩관절의 움직임 전략을 사용한 것으로 보여진다.

또한 본 연구 수행결과 무릎관절의 움직임은 뒤로 걷기가 앞으로 걷기에 비하여 대부분의 변인에서 통계적으로 유의하게 작게 나타났다(표 2, $p<.05$). 뒤로 걷기 시 본 연구에서 나타난 이러한 무릎관절에서의 결과는 엉덩관절과 마찬가지로 뒤로 걷기가 평소에 많이 해보지 않은 움직임이었기 때문이라고 생각된다. 즉, 보행자가 불안정성이 커진 뒤로 걷기를 수행할 때 보다 안정적으로 방어적 보행을 수행한 것으로 생각되어지며 이러한 보행자의 행동이 적은 무릎관절의 움직임으로 반영되었다고 생각되어진다.

마지막으로 본 연구 수행 결과 디딤기 구간에서 뒤로 걷기가 앞으로 걷기에 비하여 통계적으로 유의하게 큰 최대 발등쪽 굴곡각도와 유의하게 작은 최대 발바닥쪽 굴곡각도를 나타내었다(표 2, $p<.05$). 또한, 흔들기 구간에서는 뒤로 걷기가 앞으로 걷기에 비하여 관절가동범위와 최대 발바닥쪽 굴곡각도가 유의하게 작게 나타났으며, 최대 발등쪽 굴곡각도에서는 통계적으로 유의하게 크게 나타났다(표 2, $p<.05$). 이러한 결과는 뒤로 걷기와 앞으로 걷기의 보행 특성의 차이로 생각되어진다. 즉, 뒤로 걷기는 발가락이 닿으면서 디딤기 구간을 시작하기 때문에 중간디딤기부터 말기흔들기까지 발이 끌리지 않고 뒤로 체중을 이동시키기 위하여 앞으로 걷기보다 더 큰 발등쪽 굴곡각도가 필요하였고 이를 위한 예비단계인 흔들기구간에서부터 이러한 준비를 시작하고 있다고 판단된다(Grasso et al., 1998, Lee, Son, Kim, & Kim, 2011). 구체적으로 뒤로 걷기의 흔들기의 소요시간 및 확보장의 길이가 짧아 반대쪽 발의 발가락닿기가 빠르게 일어나므로 전흔들기시점에서 발가락을

빨리 들어올려 자연스러운 움직임 만들기 위하여 발바닥쪽 굴곡이 작게 일어난 것이라고 판단된다.

본 연구에서는 뒤로 걷기가 하지 근력강화에 효과가 있음을 증명하기 위하여 디딤기와 흔들기 구간에서의 엉덩관절, 무릎관절, 발목관절을 움직이는 주동 근육들의 활성도를 분석하였다. 먼저 엉덩관절의 신전 근육인 큰볼기근의 경우 디딤기 구간에서 뒤로 걷기가 앞으로 걷기에 비하여 통계적으로 유의하게 낮은 근활성도를 보인 반면 흔들기 구간에서는 통계적으로 유의하게 큰 근활성도를 나타내었다(표 3, $p<.05$). 본 연구의 이러한 결과는 두 보행의 기전차이에 기인한다고 생각되어진다. 즉, 디딤기에서 뒤로 걷기는 엉덩관절의 신전 상태로 동작이 시작하여 점점 굴곡하는 움직임 패턴으로 최대 신전각도가 앞으로 걷기에 비하여 작게 나타나는 반면, 앞으로 걷기는 체중을 앞으로 이동시키기 위해 엉덩관절 신전을 하면서 체중 지지를 하므로 뒤로 걷기보다 큰볼기근의 근 활성도가 크게 나타났다고 판단된다(Cappellini, Ivanenko, Poppele & Lacquaniti, 2006). 또한 흔들기에서 뒤로 걷기는 엉덩관절의 움직임 방향이 굴곡에서 신전으로 변화되는 기전을 가지고 있으며 후기 흔들기에서는 체중수용을 위하여 큰볼기근의 활성이 지속되기 때문에 앞으로 걷기에 비하여 큰 활성도가 나타났다고 판단된다.

본 연구에서 보행중 측정된 무릎관절 신전근육인 넙다리네갈래근은 앞으로 걷기에서의 디딤기 동안 편심성수축을 통해 다리에 적용되는 체중부하의 속도를 완화시켜 주면서 과도한 무릎관절의 굴곡을 방지하는 기능을 수행한다(Cappellini et al., 2006; Den Otter, Gellrts, Millicer & Duysens, 2004). 본 연구를 수행한 결과 디딤기 구간에서 가쪽넓은근과 안쪽넓은근은 뒤로 걷기가 앞으로 걷기에 비하여 통계적으로 유의하게 큰 활성도를 나타낸 반면(표 3, $p<.05$), 넙다리두갈래근은 통계적인 차이를 나타내지 않았다(표 3, $p>.05$). 본 연구의 이러한 결과 역시 두 보행의 보행기전 특성에 기인한다고 생각되어진다. 즉, 본 연구에서 밝혀진 보행 별 무릎관절의 움직임 패턴을 살펴보면 디딤기에서 앞으로 걷기는 무릎이 신전된 상태에서 굴곡 방향으로 동작이 수행되고, 뒤로 걷기는 굴곡된 상태에서 신전 방향으로 동작이 수행된다. 따라서 뒤로 걷기의 경우 앞으로 걷기보다 느린 속도와 적은 움직임을 보임에도 불구하고 더 큰 넙다리네갈래근의 근 활성도를 나타낸 것으로 사료된다(Flynn & Soutas-Little, 1991; Flynn & Soutas-Little, 1993; Flynn, et al., 1994; Chaloupka, Kang, Mastrangelo & Donnelly, 1997). Kong et al. (2007) 은 ACL 재건술 이후 뒤로 걷기 운동을 한 실험군과 대조군의 실험 전·후 무릎관절의 굴곡근과 신전근의 근력을 비교한 결과 굴곡근은 두 집단에서 각각 유의한 차이를 보였으나, 신전근은 뒤로 걷기 운동을 시행한 실험군에서만 증가한 경향을 보였고 통계적으로 유의한 차이는 나타나지 않았다고 보고하였으며 이러한 이유를 집단의 낮은 동질성 때문이라고 설명하였다. 또한 디딤기에서 통계적으로 유의한 차이를 나타내지 않은 넙다리두갈래근의 활성도는 재활운동으로서 뒤로 걷기의 긍정적인 결과로 생각되어진다. 넙다리두갈래근은 엉덩관절 신전과 무릎관절 굴곡의 기능을 하며, 앞으로 걷기 시에 엉덩관절 신전을 보조

하고 무릎 신전근육과의 동시 활성을 통해 무릎의 안정성을 제공한다고 알려져있다(Cappellini, et al., 2006; Den Otter, et al., 2004). 따라서 디딤기동안 앞으로 걷기에서 주동근으로 작용하는 반면, 뒤로 걷기에서는 주동근으로 사용되지는 않는 넙다리두갈래근이 두 보행의 결과에서 유의한 차이가 나타나지 않은 것은 뒤로 걷기에서도 무릎의 안정성을 위하여 넙다리두갈래근이 충분히 기여하고 있음을 증명하고 있다고 생각된다.

또한 흔들기구간에서는 가쪽넓은근, 안쪽넓은근, 그리고 넙다리두갈래근 모두 뒤로 걷기가 앞으로 걷기에 비하여 통계적으로 유의하게 큰 활성도를 나타내었다(표 3, $p<.05$). 흔들기에서 넙다리네갈래근들은 앞으로 걷기 시에는 더 굴곡된 후 신전하는 무릎관절의 기전을 가지고 동작이 수행되는 동심성 수축을 하는 반면에(Neumann, 2017), 뒤로 걷기 시에는 신전에서 굴곡되는 방향으로 동작이 수행되며 이는 무릎을 과도하게 굽히지 않으면서 효율적인 움직임을 하기 위하여 편심성으로 작용한 것으로 판단된다. 또한 넙다리두갈래근은 앞으로 걷기 시 발꿈치닿기 직전에 지면에 대한 발의 배치를 준비하고 무릎 펴를 감속시키기 위해 편심성으로 작용하는 반면에(Cappellini, et al., 2006; Den Otter, et al., 2004), 뒤로 걷기 시에는 넙다리두갈래근의 두 가지 기능인 엉덩관절 신전과 무릎관절 굴곡을 모두 수행하기 위하여 동심성으로 작용하였기 때문에 앞으로 걷기보다 큰 활성도가 나타났다고 판단된다.

마지막으로 발목관절 근육인 앞정강근에서 디딤기 동안의 뒤로 걷기가 앞으로 걷기에 비하여 통계적으로 유의하게 작게 나타났다(표 3, $p<.05$). 뒤로 걷기에 비하여 앞으로 걷기에서 앞정강근의 큰 활성도가 나타난 이유는 발꿈치닿기 후 체중이동을 하기 위하여 나타나는 수동적인 발바닥쪽 굴곡을 감속시키기 위한 앞정강근의 편심성수축이 강하게 작용했기 때문이라고 생각된다(Cappellini, et al., 2006; Den Otter, et al., 2004; Warren, Maher & Highbie, 2004). 또한, 뒤로 걷기 시에는 체중이동으로 인해 나타나는 수동적인 발등쪽 굴곡으로 인하여 최대 굴곡각도는 앞으로 걷기에 비하여 크지만, 움직임의 방향은 발바닥쪽 굴곡으로 향하기 때문에 큰 활성도는 앞으로 걷기보다 작게 나타났다고 판단된다. 또 다른 발목관절 근육인 안쪽 장딴지근은 뒤로 걷기가 앞으로 걷기에 비하여 통계적으로 유의하게 크게 나타났(표 3, $p<.05$). 앞으로 걷기는 안쪽 장딴지근은 과도한 발등쪽 굴곡과 조절되지 않은 무릎의 굴곡이 발생하지 않도록 편심성으로 활동하지만(Warren, et al., 2004), 뒤로 걷기는 디딤기 동안 발목관절의 움직임은 발등쪽 굴곡에서 발바닥쪽 굴곡방향으로 일어나기 때문에 발가락이 떨어지기 전까지 동심성 수축을 통해 체중을 이동시킨다고 판단된다. 또한 흔들기 구간에서 뒤로 걷기가 앞으로 걷기에 비하여 통계적으로 유의하게 큰 앞정강근 활성도와 통계적으로 유의하게 작은 안쪽 장딴지근 활성도를 나타내었다(표 3, $p<.05$). 앞정강근은 뒤로 걷기 시 발바닥쪽 굴곡이 일어나지 않도록 흔들기 구간 내내 발등쪽 굴곡 상태를 유지하기 위하여 동심성으로 작용하기 때문에 앞으로 걷기에 비하여 큰 활성도가 나타났다고 판단되며, 안쪽 장딴지근은 앞으로 걷기 시에 발가락 떼기(push off) 동작으로 발바닥쪽 굴곡이

크게 일어나며, 이로 인해 신체가 앞으로 이동하기 때문에 안쪽 장딴지근의 근 활성도가 뒤로 걷기에 비하여 크게 나타난 것으로 생각된다(Winter, 2009).

결론적으로 뒤로 걷기는 보행자에게 익숙하지 않고 시야를 확보하기 어려워 불안하기 때문에 앞으로 걷기에 비하여 하지관절들의 움직임이 작다. 하지만 근육들의 활성도가 크기 때문에 생체역학적으로 얻을 수 있는 이점이 많다고 판단된다. 그러므로 하지관절의 근육들의 사용을 증가시켜 근력을 강화시킬 수 있는 뒤로 걷기를 사용하여 하지 근골격계 질환의 재활프로그램으로 적용할 필요가 있다고 판단된다.

V. 결론 및 제언

본 연구는 앞으로 걷기와 뒤로 걷기 시 엉덩관절, 무릎관절 및 발목관절의 운동학 및 운동역학적 차이를 분석하여 향후 재활운동으로서의 뒤로 걷기의 효과를 더욱 세부적으로 설명하기 위하여 수행되었다.

앞으로 걷기와 뒤로 걷기 시 선호속도는 뒤로 걷기가 느리게 나타났고, 시공간적 보행변인 중 디딤기 시간과 흔들기 시간은 뒤로 걷기가 느리게 나타났으며, 활보장은 뒤로 걷기가 짧게 나타났다. 또한 시상면 하지관절의 각도는 디딤기와 흔들기 모두 엉덩관절의 관절가동범위, 최대 굴곡각도와 최대 신전각도에서 뒤로 걷기가 작게 나타났으며, 무릎관절의 관절가동범위, 최대 굴곡각도와 최대 신전각도에서 뒤로 걷기가 작게 나타났다. 발목관절의 경우 디딤기의 발목관절의 최대 발등쪽 굴곡각도는 뒤로 걷기가 크게 나타났고, 최대 발바닥쪽 굴곡각도는 뒤로 걷기가 작게 나타났다. 또한 흔들기의 발목관절의 최대 발등쪽 굴곡각도에서 뒤로 걷기가 크게 나타났고, 관절가동범위와 최대 발바닥쪽 굴곡각도에서 뒤로 걷기가 작게 나타났다. 마지막으로 앞으로 걷기와 뒤로 걷기의 디딤기 구간에서의 근육별 근 활성도는 큰볼기근과 앞정강근에서 뒤로 걷기가 작게 나타났으며, 가쪽넓은근, 안쪽넓은근과 안쪽 장딴지근에서 뒤로 걷기가 크게 나타났고, 흔들기 구간에서는 큰볼기근, 가쪽넓은근, 안쪽넓은근, 넙다리두갈래근과 앞정강근에서 뒤로 걷기가 작게 나타났으며, 안쪽 장딴지근에서 뒤로 걷기가 크게 나타났다.

참고문헌

Cappellini, G., Ivanenko, Y. P., Poppele, R. E., & Lacquaniti, F. (2006). Motor patterns in human walking and running. *Journal of neurophysiology*, 95(6), 3426-3437.

Chaloupka, E. C., Kang, J., Mastrangelo, M. A., & Donnelly, M. S. (1997). Cardiorespiratory and metabolic responses during forward and backward walking. *Journal of Orthopaedic &*

Sports Physical Therapy, 25(5), 302-306.

Choi, I. H., & Lee, J. K. (2019). Effect of Accelerated Rehabilitation with Anti-Gravity Treadmill Exercise on Ankle Joint Function After Surgery of Modified Brostrom Operation in Chronic Ankle Instability Patients. *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, 20(7), 228-235.

Cipriani, D. J., Armstrong, C. W., & Gaul, S. (1995). Backward walking at three levels of treadmill inclination: an electromyographic and kinematic analysis. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*.

Den Otter, A. R., Gellerts, A. C. H., Milcler, T., & Duysens, J. (2004). Speed related changes in muscle activity from normal to very slow walking speeds. *Gait & posture*, 19, 270-278.

Dufek, J. S. (2002). Exercise variability: A prescription for overuse injury prevention. *ACSM's Health & Fitness Journal*, 6(4), 18-23.

Feasel, J., Whitton, M. C., Kassler, L., Brooks, F. P., & Lewek, M. D. (2011). The integrated virtual environment rehabilitation treadmill system. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 19(3), 290-297.

Ferber, R., Osternig, L. R., Woollacott, M. H., Wasielewski, N. J., & Lee, J. H. (2002). Reactive balance adjustments to unexpected perturbations during human walking. *Gait & posture*, 16(3), 238-248.

Flynn, T. W., & Soutas-Little, R. W. (1991). Patellofemoral joint compressive forces during forward and rearward running. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 23(4), S32.

Flynn, T. W., & Soutas-Little, R. W. (1993). Mechanical power and muscle action during forward and backward running. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 17(2), 108-112.

Flynn, T. W., & Soutas-Little, R. W. (1995). Patellofemoral joint compressive forces in forward and backward running. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 21(5), 277-282.

Flynn, T. W., Connery, S. M., Smutok, M. A., Zeballos, R. J., & Weisman, I. M. (1994). Comparison of cardiopulmonary responses to forward and backward walking and running. *Medicine and science in sports and exercise*, 26(1), 89-94.

Grasso, R., Bianchi, L., & Lacquaniti, F. (1998). Motor patterns for human gait: backward versus forward locomotion. *Journal of neurophysiology*, 80(4), 1868-1885.

Hall, E. A., Docherty, C. L., Simon, J., Kingma, J. J., & Klossner, J. C. (2015). Strength-training protocols to improve deficits in participants with chronic ankle instability: a randomized controlled trial. *Journal of athletic training*, 50(1), 36-44.

- Han, J. K., & Choi, J. W. (2010). The Effect of Rehabilitation Exercise Program following Anterior Cruciate Ligament Reconstructive Surgery on Gait Analysis of Asymptomatic Patients. *Journal of Sport and Leisure Studies*, 39(2), 625-633.
- Hausdorff, J. M., Nelson, M. E., Kaliton, D., Layne, J. E., Bernstein, M. J., Nuernberger, A., & Singh, M. A. F. (2001). Etiology and modification of gait instability in older adults: a randomized controlled trial of exercise. *Journal of Applied Physiology*, 90(6), 2117-2129.
- Hooper, T. L., Dunn, D. M., Props, J. E., Bruce, B. A., Sawyer, S. F., & Daniel, J. A. (2004). The effects of graded forward and backward walking on heart rate and oxygen consumption. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 34(2), 65-71.
- Hootman, J. M., Dick, R., & Agel, J. (2007). Epidemiology of collegiate injuries for 15 sports: summary and recommendations for injury prevention initiatives. *Journal of athletic training*, 42(2), 311.
- Jin, Y. W. (2013). A biomechanical analysis according to passage of rehabilitation training program of ACL patients. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 23(3), 235-243.
- Jin, Y. W., Song, J. W., Kang, S. G., Kim, S.H., & Kim, J. G. (2010). Analysis of gait pattern according to passage of rehabilitation training of ACL patients. *JESK*, 2010(5), 250-3.
- Kang, M. S.(2019). The Understanding Biomechanical Movements for Wellness- Focusing on the Exercise for Health -. *Korea Society for Wellness*, 14(3), 379-389.
- Karlsson, J., Lundin, O., Lind, K., & Styf, J. (1999). Early mobilization versus immobilization after ankle ligament stabilization. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 9(5), 299-303.
- Kim, K. H., Hwang, R. I. & Suk, M. H. (2013). The Trends and Status of Work-related Musculoskeletal Diseases under Korean Worker's Compensation System, *Korean Journal of Occupational Health Nursing*, 22(2), 102-111.
- Kim, S. H. (2008). A study of reviewing a trend of Korean sports injury literatures. *Journal of Sport and Leisure Studies*, 34(2), 1029-1039.
- Kim, S. H. (2010). Effects of 12Weeks Core Exercise to Functional Fitness and Temporo-spatial Gait Parameters of Elderly Women. *The Korean Journal of Physical Education*, 49(3), 353-362.
- Kim, S. T., Shim, J. H., & Lee, H. R. (2019). Effects of Task-Oriented Gait Program Including Backward Walking on Gait and Balance in Patients with Chronic Stroke. *Korea Journal of Neuromuscular Rehabilitation*, 9(2), 12-24.
- Kohli, P., Nawale, A., Chavan, S., & Palkhade, M. (2018). The Dervan protocol: A new improved rehabilitation protocol for faster recovery of knee replacement surgery. *International Journal of Orthopaedics*, 4(4), 728-731.
- Kong, S. J., Kim, S. H., Huyn, K. S., Jee, Y. S., Kim, Y. P., Nam, H. C., & Kim, C. J. (2007). Effects of backward walking on muscular functions of knee joint in ACL reconstructive patients. *Journal of Coaching Development*, 9(4), 103-114.
- KOREA SPORTS SAFETY FOUNDATION (2020). Sports Safety Accident Survey Comprehensive Report.
- Lange, G. W., Hintermeister, R. A., Schlegel, T., Dillman, C. J., & Steadman, J. R. (1996). Electromyographic and kinematic analysis of graded treadmill walking and the implications for knee rehabilitation. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 23(5), 294-301.
- Lee, B. H. (2016). A Study on the Rehabilitation Training Induction Scheme for Improving the Gait Efficiency of Lower-Limb Amputee. *The Institute of Electronics and Information Engineers*, 1061-1064.
- Lee, G. J., Kim, B. R., Kim, J. T., & Lim, I. S. (2013). The effects of exercise rehabilitation program during 12 weeks after ACL reconstruction on the function index, muscle activation, and agonist/ntagonist ratio in the knee joint. *Korean Journal of Phsyssical Education*, 52, 483-94.
- Lee, M. H., Son, J., Kim, J. Y., & Kim, Y. H. (2011). Biomechanical analysis of lower-limb joint during backward walking. In *Proceedings of the Korean Society of Precision Engineering Conference* (pp. 1421-1422). Korean Society for Precision Engineering.
- Lee, D. H. Park, H. W. Hahn, S. B. & Kim, H. W. (2004). Kinematics of Normal and Pathological Gait. *Journal of Korean Orthopaedic Research Society*, 7(2), 169-177.
- Lin, N. H., Liu, C. H., Lee, P., Guo, L. Y., Sung, J. L., Yen, C. W., & Liaw, L. J. (2020). Backward Walking Induces Significantly Larger Upper-Mu-Rhythm Suppression Effects Than Forward Walking Does. *Sensors*, 20(24), 7250.
- Menz, H. B., Lord, S. R., & Fitzpatrick, R. C. (2007). A structural equation model relating impaired sensorimotor function, fear of falling and gait patterns in older people. *Gait & posture*, 25(2), 243-249.
- Mettler, A., Chinn, L., Saliba, S. A., McKeon, P. O., & Hertel, J. (2015). Balance training and center-of-pressure location in participants with chronic ankle instability. *Journal of athletic training*, 50(4), 343-349.

-
- Ministry of Culture, Sports and Tourism. (2020). 2020 The National Leisure Activity Survey.
- Ministry of Employment and Labor (KR) (2019). Rules on occupational safety and health standards. sejong: Ministry of Employment and Labor (KR).
- Myatt, G., Baxter, R., Dougherty, R., Williams, G., Halle, J., Stetts, D., & Underwood, F. (1995). The cardiopulmonary cost of backward walking at selected speeds. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 21(3), 132-138.
- Neumann, D. A. (2017). *Kinesiology of the musculoskeletal system*. 3rd edition. Seoul: Panmuneducation Inc.
- Rhi, S. Y., Chung, J. S., & Kim, Y. S. (2011). The Effects of Early Rehabilitation Exercise after Modified Brostrom Operation on Ankle Muscle Recovery in Chronic Ankle Instability Patients. *The Korean Journal of Growth and Development*, 19(1), 43-48.
- Saxena, A., & Granot, A. (2011). Use of an anti-gravity treadmill in the rehabilitation of the operated achilles tendon: a pilot study. *The journal of foot and ankle surgery*, 50(5), 558-561.
- Warren, G. L., Maher, R. M., & Higbie, E. J. (2004). Temporal patterns of plantar pressures and lower-leg muscle activity during walking: effect of speed. *Gait & Posture*, 19(1), 91-100.
- Winter, D. A. (2009). *Biomechanics and motor control of human movement*. new jersey, hoboken; John Wiley & Sons.
- Wright, R. L., Peters, D. M., Robinson, P. D., Watt, T. N., & Hollands, M. A. (2015). Older adults who have previously fallen due to a trip walk differently than those who have fallen due to a slip. *Gait Posture*, 41(1), 164-9.
- Yeo, Y. G., Kim, Y. K., & Kim, J. S. (2008). The relationships among sports flow, exercise emotion and leisure satisfaction in amateur squash player. *Journal of Sport and Leisure Studies*, 34(2), 1447-1457.
- Yu, Y. J., & Shin, Y. A. (2008). The response of energy expenditure muscle activity and fatigue on walking type. *Journal of Sport and Leisure Studies*, 32(2), 767-777.