

석문일월무예 음양보법의 숙련성에 따른 보행 패턴의 하지 운동학 및 운동역학적 특성

박복희¹ · 김기형²

¹고려대학교 대학원 체육학과, ²고려대학교 사범대학 체육학과

A Study of Motor Expertise about Kinematic and Kinetic Characteristics of Lower Extremity in the Seokmun Ilwol Martial Art Yin-yang Bo Gait Pattern

Bok-Hee Park¹ · Ky-Hyoung Kim²

¹Department of Physical Education, Korea University, Seoul, Korea

²Department of Physical Education, College of Education, Korea University, Seoul, Korea

Received 8 August 2014; Received in revised form 6 September 2014; Accepted 20 September 2014

ABSTRACT

The purpose of this study was to quantify kinematic and kinetic characteristics of Yin-yang Bo gait according to their motor expertise, one of the Seokmun Ilwol martial art gait patterns. Yin-yang Bo gait pattern shows initial forefoot contact instead of heel contact, and increased time of stance phase time, internal-external rotation of ankle-knee-hip joints and pelvic. It aims to produce and store the more energy through continuous homeostasis of center of gravity (COG) and performance of stretch-shortening cycle. Some of these characteristics also were similar to the gait modification strategies for reducing knee adduction moment such as toe-out progression, medial thrust, internal rotation of hip joint. To identify the characteristics, four factors of expert Yin_yang Bo gait performance group were compared to that of none expert group; 1) angles of COG displacement and rotation 2) distal joint pre-rotation in internal-external rotation of ankle-knee-hip joints and pelvic, 3) invariability pelvic potential and pelvic segment total energy 4) knee abduction moment. Six healthy(three male) subjects participated in the experiment to perform Yin-yang gait pattern. Three-dimensional and force plate data were collected. Kinematic and kinetic data were compared between two groups using *t*-tests. Results showed that 1) the peak point of COG internal rotation angle was reduced in expert group, 2) knee-external and hip joint -internal and pelvic rotation angle peak frames were more near points in expert group.

Keywords : Yin-yang Gait, Center of Gravity, Energy, Moment, Gait Modification Strategy

I. 서론

오늘날 걷기 즉 보행 운동은 많은 사람들이 건강관리를 위해 손쉽게 선택할 수 있는 운동 중 하나로서 각광받고 있다. 걷기 동작은 단지 기본적인 이동운동 수단을 넘어서 인체운동으로서, 스포츠 활동뿐 아니라 운동역학 분야에서

도 그 연구가치가 매우 크다. 보행분석분야에서는 정상보행과 임상보행에 초점을 맞추어 많은 중요한 연구들이 진행되어 오고 있지만(Perry & Burnfield, 2010), 전통무예 보법의 독특한 보행패턴에 대하여 보행분석의 기초과학으로서 운동학적 또는 운동역학적 으로 접근한 연구는 거의 찾아볼 수 없다.

최근 이와 관련한 선행연구로는 인체의 보행 패턴을 이용하여 전략적으로 보행의 안정성과 무릎관절 부담 감소를 조절하려는 연구 흐름이 있다 (Miyazaki, et al., 2002; Simic, Hinman, Wrigley, Bennell, & Hunt, 2011; Rutherford, Hubble-Kozey, Deluzio, Stanish, & Dunbar, 2008; Zhao,

Corresponding Author: Bok-hee Park
Department of Physical Education, Korea University, 145 Anam-ro
Sungbuk-gu, Seoul Korea
Tel : +82-2-3290-7690
E-mail : gongjak62@korea.ac.kr

et al., 2007b). Fregly 등과 Barrios등에 의하면 무릎 관절은 신전 상태에서 내전 혹은 외전 할 수 있는 정도가 낮다. 그러므로 무릎의 굴곡과 동시적인 외전 이용이 무릎 관절의 부담을 완화시킬 수 있다고 보고하였다(Fregly, Reinbolt, Rooney, Mitchell, & Chmielewski, 2007; Barrios, Crossley, & Davis, 2010).

보행 중 관상면에서의 인체 균형을 연구한 MacKinnon과 Winter는 지지하는 발에 대해 상대적인 COG의 위치가 중간 입각기의 단하지 지지 동안 지속적인 동적 불균형의 상태에 놓이므로, COG의 궤적을 조절하는 기전은 발 위치의 선택효과와 고관절의 외전 증가에 의거한다고 하였다(MacKinnon & Winter, 1993). Saunders에 의해 제시된 보행 결정의 6가지 요인은 서로 결합되어 신체 무게중심의 동요를 경감하고 에너지 소비를 억제하므로, COG의 상승, 하강, 좌우 동요 등의 경감과 COG의 원활한 방향 전환은 보행 효율을 크게 개선하는 것으로 알려져 있다(Neuman, 2006).

한편 태극권의 보행 패턴을 낙상 방지 및 보행 조절적 관점에서 분석하여, 태극보(Tai-chi gait)의 지면 반력 특성과 무릎 전단력 등을 연구한 결과가 보고되기도 하였다(Wolf et al., 2003; Wu & Hitt, 2005; Wu & Millon, 2008). 우리나라에서의 보행 패턴분석으로, Go 등은 보행시 의도적인 발 디딤 각도 변화의 연구에서 의도적인 팔자걸음이 무릎 내전 모멘트를 감소시킨다는 결과를(Go, Hong, Lee, & An, 2013), Bae와 Kim은 태권도 앞굽이서기 운동 연구에서 지지 다리의 하지 굴곡 증가로 충격 완화, 하지 근력 강화, 전방회전성 용이성 등을 제시하였다(Bae & Kim, 2011). Hong(2010)은 무용의 발 디딤 유형에 따른 하지 관절의 운동역학적 특성 연구에서 무릎 관절 부하의 차이를 비교분석하였다. 전통 무예의 보법과 관련해서는 태권 품밟기의 속도에 따른 훈련 강도 연구(Sung, Choi, & Baik, 2001)와 보법 훈련에 따른 자율신경 활성화도 연구(Shim, 2008), 처용무 보법 연구(Yuk, 1990) 등이 있으나 정성적 분석에 그치고 있다.

이상의 선행연구에서 보았듯이 보행 조절과 보행 효율의 측면에서 보행 패턴을 연구하는 것은 중요한 시사점이 있으며, 힘의 안정성과 축적성을 가지는 우리나라 무예보법의 보행 패턴에 대한 운동학적 운동역학적 접근도 필요하다고 생각된다.

특히 우리나라 전통무예 음양보법의 고유한 보행 패턴에 대한 객관적인 분석은 현재까지도 구두로 전해지며 그 명맥이 이어져오고 있어, 이를 학문적으로 체계화하여 전수 및 발전시키는데 어려움이 많다고 할 것이다.

음양보법은 발목-무릎-고관절 등 하지 주요 관절을 굴곡한 상태에서 발을 교차시켰다가 허리를 비틀면서 꼬임을 풀어 전진하는 보행 패턴이다. 우리나라 전통무예의 ‘

보법’이란 보행 분석 측면에서 살펴보면 힘을 축적하고 사용하는 ‘걸음과 자세’를 동시에 의미하며 무예 동작에서 핵심이 되는데(Yuk, 1990), 이러한 무예동작의 운동기전을 수치적으로 분석하여 해석한다면 전통무예 발전에도 큰 도움이 될 것이다.

본 연구의 이론적 배경으로서 석문일월무예의 음양보법은 하지 주요 관절을 굴곡한 상태에서 두 차례의 꼬임과 풀림을 통해 회전운동과 병진운동을 통합적으로 결합시켜 인체무게중심(center of gravity [COG])의 상하 좌우 변위를 최소화하면서 전진 이동하는 보행 패턴의 특징을 갖는다.

전통무예의 하나인 석문일월무예에서는, “허보의 좌우 자세를 번갈아 바꾸면서, 수벽치기의 ‘가새다리 짚고(들어) 돌기’ 보법과 같이 양 발을 X자로 교차시켜 전진 보행”하는 “음양보법(Yin-yang gait pattern)”을 단련한다. 무예의 공통적인 5개 기본 보행 중 하나인 ‘허보’는 몸의 회전과 진퇴에 있어 편리함을 취할 수 있는 보법으로 쓰인다. 자세는 앞발 무릎을 약간 굽히고 발뒤꿈치를 들어 발끝으로만 지면을 가볍게 디디며, 동시에 뒷발 발끝을 비스듬히 밖으로 벌리고 무릎을 굽혀 걸터앉으면서 발꿈치는 확실하게 지면을 받쳐 주어 쪼그려 앉은 자세를 취한다(Kim, 2003). 전통무예 수벽치기의 ‘가새다리 짚고(들어) 돌기’ 보법은 양발을 교차시키며 허리를 비틀어 몸을 회전시키는 동작을 말한다. 보법의 ‘밟기’에서는 몸 전체의 힘을 땅바닥에 눌러 붙이기 때문에 ‘밟기’의 동작에서 어떤 다른 동작으로 이행하려면 반드시 ‘비틀림’의 동작이 중간에서 촉매제의 역할을 해야 한다(Yuk, 1990).

이러한 음양보법의 정성적인 보행 특성으로는 하지 관절의 굴곡으로 몸의 무게중심을 낮춘 상태에서 발끝 닿기 후 하지 관절이 회전하면서 허리의 비틀림으로 이어지므로, 교차되는 양 다리의 지지 구간이 상대적으로 길며 유각기가 짧다. 이것은 보행 자세에 안정성을 주며, 진퇴가 편리하여 보행 환경의 상황 변화에 신속하게 대응할 수 있게 해준다. 또한 발목과 무릎, 고관절의 회전에 이어 골반을 회전하며 양 발을 교차시켜 꼬인 상태에서 곧 이어 허리를 비틀면서 탄력을 이용하게 된다. 또 하나의 중요한 특징은 굴곡 상태의 하지 관절을 X자 교차 회전 운동을 하였다가 풀면서 전진 이동할 때, 무릎은 그대로 굴곡을 유지한 채 외회전하며 체중을 수용하게 된다.

본 연구에서 석문일월무예 음양보법과 관련하여 숙련자 집단과 미숙련자 집단의 신체 균형을 안정적으로 유지하는 하지 주요관절들의 관절 타이밍과 골반 및 인체무게중심의 회전운동 에너지와 회전모멘트 변인들을 중심으로, 만약 음양보법의 숙련 정도에 따라 COG의 상하 좌우 변위가 감소하고 방향전환 용이성이 증가한다면, 이것은 보행 안정성을 목표로 하는 보행 조절 전략에 적용될 수 있는 시사점을 제공하게 될 것이다.

따라서 본 연구는 석문일월무예 음양보법의 보행분석 기초자료를 연구하는 것으로서, 나아가 운동학 및 운동역학적 측면에서 걸음걸이의 안정성과 효율을 높이는 보행운동의 조절 전략에도 활용하고자 하였다. 이를 위하여 우선 음양보법 보행 패턴이 하지 관절의 굴곡과 회전을 통합하는 과정에서 속도와 이동 거리에 주요 특징이 나타날 것으로 보아 시간-거리 변인을 첫 번째 분석 대상으로 삼았다. 또한 다음의 세 가지 가설을 설정하여 규명하고자 하였다.

가설 1: 음양보법은 숙련이 진행될수록 COG의 좌우변위를 감소시키고, 방향전환 용이성에서 집단 간 차이가 있을 것이다.

가설 2: 음양보법은 숙련이 진행될수록 하지 관절들 간 꼬임과 풀림에 순차성을 가지며, 골반의 위치 에너지와 총 에너지 증감의 폭이 작을 것이다.

가설 3: 음양보법은 숙련도가 높을수록 입각기의 무릎 외회전 각도와 외전 모멘트가 증가할 것이다.

단, 본 연구는 연구대상자의 숙련 정도와 참여 인원의 수적인 부족 등의 제한점으로 연구대상자가 전체 음양보법을 대표한다고 할 수 없지만, 전통무예보법 연구에 주요 기초자료가 될 것으로 본다.

II. 연구방법

1. 연구 대상자

본 연구의 보행 실험에서는 석문일월무예 수련생들 중 음양보법 보행을 비교적 정확하게 구현해 낼 수련 경력 2년 이상의 숙련수행자 3명(male 1)과 음양보법 수련 경력 6개월 이하의 미숙련수행자 3명(male 2)을 대상으로 하였다.

- E 1 왼발 발끝 닿기
- E 2 왼발 전체 닿기 (무릎 X자 꼬기)
- E 3 왼발 단하지 지지 (무릎 X자 풀기)
- E 4 왼발 뒤꿈치 들기 (오른발 발끝 닿기, 무릎 X자 꼬기 시작)
- E 5 왼발 발끝 떼기 ; 왼쪽 하지 진행 (1) (오른발 전체 닿기, 무릎 X자 꼬기 완료)
- E 6 왼쪽 하지 진행 (2) (오른발 단하지 지지, 무릎 X자 풀기 시작)
- E 7 왼쪽 하지 진행 (3) (오른발 단하지 지지, 무릎 X자 풀기 완료)
- E 8 왼발 발끝 닿기 ; 왼쪽 하지 진행 (4)

Table 1. Characteristics of subjects (mean±standard deviation)

Factor Group	Height (cm)	Weight (kg)	Age (yrs)	Career (month)
Expert group (n=3)	158.0 ±7.00	52.0 ±5.29	44.0 ±1.73	28.66 ±6.43
Non-expert group (n=3)	167.66 ±4.51	62.66 ±10.78	37.0 ±7.00	5.33 ±1.15
Total (n=6)	162.83 ±7.47	57.33 ±9.58	40.50 ±5.96	17.00 ±13.43

피험자의 성별에 따른 차이는 특별히 고려하지 않았다. 연구 대상자의 특성은 <Table 1>과 같다.

2. 주요 이벤트 및 구간의 설정

음양보법 보행 한 주기의 보행패턴은 <Figure 1>과 같다. 보행 절차를 입각기 IC (Initial Contact), LR (Loading Response), MS (Mid Stance), TS (Terminal Stance)와, 유각기 PS (Pre-Swing), IS (Initial Swing), MSw (Mid Swing), TSw (Terminal Swing)로 구분하였으며(Perry & Burnfield, 2010), 시각의 편의를 위해 왼발을 기준으로 각 구간의 특징적인 8 event를 나타냈다.

- P1 LR 왼족 발목은 내전 45°로 발끝 닿기 한 직후 외회전을 시작하여 외전 45°에 이룸
- P2 MS 오른발 발끝 떼기에 의해 왼발 단하지 지지
- P3 TS 오른 발목 45° 내전으로 오른발 발끝 닿기에 의해 양하지 지지 시작
- P4 PS 오른 발목 외회전하여 외전 45° 되었을 때 왼발 뒤꿈치 들기 시작
- P5 IS 왼발 발끝 떼기에 의해 오른발 단하지 지지
- P6 MSw 왼족 발목 내전 시작하며 양하지 지지 준비
- P7 TSw 양쪽 발목 모두 45° 내전 상태에서 평행, 왼발 발끝 닿기로 양하지 지지 직전

2. 실험 절차와 모션캡처 장비

본 연구를 위해 동작 분석 장비가 설치되어 있는 서울 시내의 T 병원 동작분석실에서 보행실험을 하였다. 피험자들은 실험 연구의 목적과 방법에 대해 상세하게 제공된 정보에 동의한 후, 보행 실험 공간의 6m 보행로를 따라 음양보법 보행 패턴을 연습하였다. 음양보법의 정확한 동작을 목표로 1차적으로 사전 보행 속도(0.15-0.25 m/sec)를 측정하였으며, 이 속도 범주 내에서 반복 연습을 한 후 본 실험에 착수하였다.

3차원 모션 캡처를 위해서 헬렌 헤이스 마커 셋에 따라

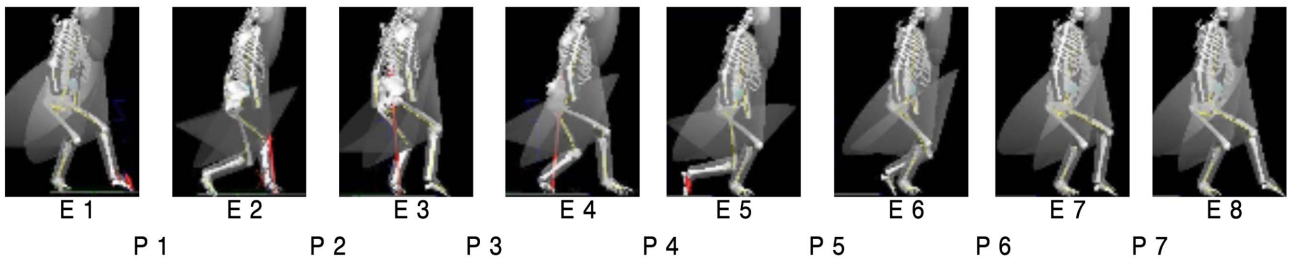


Figure 1. The Gait Cycle of Yin-yang gait pattern(Bone models of Yin-yang gait pattern in each event).

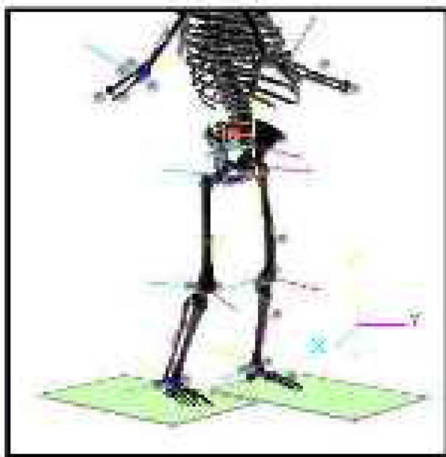


Figure 2. Marker placement & coordinate system

주요 관절과 분절 중심에 지름 1 cm의 구형 반사 마커 38개를 부착했다. 머리의 마커 고정을 위해 수영 모자를 씌워 이마 선에서 수평으로 전후, 좌우에 4개의 마커를 부착하였고, 어깨의 좌우 견봉(acromion)에 1개씩 부착하여 어깨 관절, 등의 상부 중앙에 부착하여 참조 분절을 지정했다. 상지에는 상완과 전완 분절, 팔꿈치 관절 내 외측 상과, 손목 관절 내 외측 상과에 마커를 부착하였다. 골반 분절은 검은 색 타이즈를 착용한 상태에서 좌우 상전장골극(Anterior superior iliac spine[ASIS])과 천골(sacrum)에 마커를 부착하여 고관절 중심을 구하였다. 하지는 대퇴와 하퇴 분절, 무릎 관절 내외측 상과에 마커를 부착하였고, 발목 관절 내 외측 상과, 발뒤꿈치, 제 3중족골두에 각각 하나씩의 마커를 부착하여 각 분절들을 생성하였다.

1대의 힘판(force plate, Bertec, USA)이 내장된 6 m의 보행로에서 피험자들은 맨발로 음양보법 패턴의 보행을 3회 반복 시도하였다. 6대의 카메라(Oqus 322 5 series, Qualisys, Sweden)가 연결된 컴퓨터를 통해 3차원 영상을 취득하였고, 영상비디오 주파수는 120 Hz로 샘플링 하였다. 각 마커의 3차원 좌표 값은 Qualisys Track Manager 소프트웨어 (Qualisys, Sweden)를 사용하였으며, 오른발의 힘판 지지 시 지면반력(GRF)을 측정하였다.

3. 데이터 분석

1) 모션분석 프로그램

음양보법 패턴의 보행은 Visual 3D(Version 3.90, C-motion, USA) 프로그램을 사용하여 분석하였다. 관절각도 데이터는 X-Y-Z rotation sequence로부터 도출되었으며, 골반의 각도는 실험실 좌표계를 참조로 하여 계산했다. 관절 모멘트는 근위 분절 좌표계에 대한 관절 중심으로 정의하였다.

보행주기는 오른발의 발끝 닿기부터 다음 번 오른발 발끝 닿기 직전까지의 한 주기를 시간으로 정규화(normalization)하여 X축에 표시하였다.

2) 분석 변인

먼저 두 집단 간 시간-거리 변인으로서 속도(velocity), 분속수(cadence), 활보장거리(stride length), 양하지 지지시간(double stance time), 단하지 지지시간(single stance time) 등의 변인 차이를 검증하고자 하였다. 이것은 보행 한 주기 당 소요 시간과 활보장거리를 근거로 계산하였다.

서론의 가설 1로부터 COG의 좌우 변위 값이 증가하면 동요의 폭이 증가하고 에너지의 소모 또한 증가하므로, 음양보법 보행 패턴의 숙련도에 COG의 좌우 변위에 어떠한 차이가 나타나는지를 확인하기 위하여, 관상면에서 본 COG의 좌우 변위를 두 번째 변인으로 설정했다. 이 변인은 각 집단의 피험자 별 COG 좌우 변위 정점 값의 평균치를 계산하였다.

COG의 수평면 상에서의 회전 운동 범위가 작을수록 COG의 방향전환이 용이하게 될 것이므로, 숙련도에 따른 수평면 상의 COG 회전각도 차이를 세 번째 변인으로 설정했다. 이 변인은 각 집단의 피험자 별 COG의 수평면 상의 내 외회전 정점 값에 대한 평균치를 계산하였다.

가설 2로부터 음양보법의 숙련 정도에 따라 원위관절로부터 근위 관절로 이어지는 각 관절의 회전 운동이 나타내는 순차성에 어떠한 차이가 나타나는지를 확인하기 위하여, 수평면에서 본 무릎과 고관절, 골반 회전 곡선의 위상을 살펴보고자 하였다. 이것을 수치화하기 위해서 네 번째 변인으로서 각 관절 및 골반이 X자로 교차하면서 내회

전 혹은 외회전할 때의 각각의 내회전 정점 값에 해당되는 프레임 수를 측정하였다.

가설 3으로부터 다섯 번째 변인으로서 음양보법 보행 패턴에서 미숙련 집단에 비해 숙련자 집단의 입각기 무릎 외회전 각도가 정점에 이를 때 동시적으로 무릎 외전 모멘트 정점도 증가하는지를 확인하기 위해 해당 프레임 수를 측정하였으며, 또한 미숙련자 집단에 비해 숙련자 집단의 무릎 외전 모멘트 값이 더 증가하는 지를 측정하고자 하였다.

마지막으로 여섯 번째 변인으로서 음양보법 보행을 통해 축적되는 에너지를 비교하기 위해서 골반의 위치 에너지와 골반 분절 총 에너지의 최대-최소 값의 차이를 설정했다. 이 변인은 위치 에너지 최대-최소 정점 값과 골반 분절 총에너지 최대-최소 정점 값을 이용하여 계산했다.

3) 통계 처리

음양보법 보행 패턴에 대한 각 3회 시도에 대해 변인별로 평균값을 내어 실험 결과의 신뢰성을 확보하고자 하였고, 숙련자 집단과 미숙련자 집단 간의 차이를 확인하기 위해 통계 방법은 independent-t test를 사용하였다. 통계적인 유의 수준 p<.05로 설정하였으며, 통계처리는 SPSS 12.0(IBM, USA)을 사용하였다.

III. 결 과

1. Time-distance 변인분석

본 연구에서는 두 집단 간 시간-거리 변인으로서 속도(velocity), 분속수(cadence), 활보장거리(stride length), 양하지 지지시간(double stance time), 단하지 지지시간(single stance time) 등의 변인의 차이를 검증하였다. 결과는 <Table 2>와 같다. 분석결과 통계적으로 유의한 차이가 나타나지 않으므로 두 집단 간 실험통계가 적절하게 된 것으로 나타났다.

2. COG의 좌우 범위 및 방향 전환 용이성

숙련자 집단과 미숙련자 집단의 COG의 좌우 범위 차이를 비교하기 위해 관상면 상에서 본 COG의 내전과 외전 각도를 측정된 결과, <Table 3>과 같이 COG의 내전과 외전 각도는 모두 통계적으로 유의한 차이를 나타내지 않았다. 반면 COG의 방향 전환 용이성을 비교하기 위해 수평면에서 본 COG의 내측 및 외측 회전 각도를 측정된 결과 내측 회전 각도는 통계적으로 유의한 차이를 나타냈다(p<.02). 반면 외측 회전 각도는 유의한 차이를 나타내지 않았다.

Table 2. Differences in time-distance data between two groups (*means p<.05 between groups) (unit: deg)

Group	Velocity (m/s)	Cadence (step/min)	Stride Length (m)	Double Stance (s)	Single Stance (s)
Expert group	M 0.23	18.63	1.26	2.48	0.85
	SD 0.05	4.00	0.05	0.60	0.18
None expert group	M 0.21	15.63	1.30	2.91	0.95
	SD 0.00	1.43	0.02	0.28	0.10
ρ	.413	.289	.313	.321	.468

Table 3. Differences in COG rotation and adduction/abduction angle between two groups(*means p<.05 between groups) (unit: deg)

Group	COG adduction	COG abduction	COG internal rotation	COG external rotation
Expert group	M 0.74	-0.41	0.77	0.74
	SD 0.04	0.02	0.05	0.07
None expert group	M 0.46	-0.68	0.65	0.75
	SD 0.35	0.25	0.58	0.36
ρ	0.246	0.136	0.020*	0.565

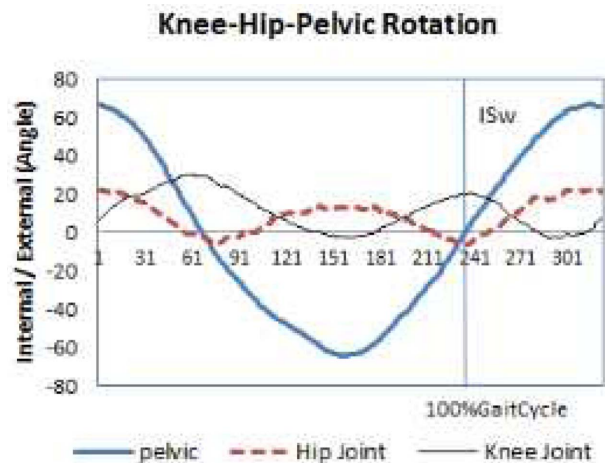


Figure 3. Knee-hip-pelvic rotation curve

3. 하지 관절 회전의 순차성과 무릎 외전 모멘트

음양보법 보행 패턴의 X자 꼬임과 풀림이 숙련도에 따라 하지 관절에서 나타내는 순차성을 확인하기 위해 수평면 상에서 본 무릎-고관절-골반의 회전 곡선을 비교하여 <Figure 3>과 같이 숙련 피험자 평균치를 제시하였다.

<Figure 3>에서 무릎관절이 내회전 정점을 보일 때 고관

Table 4. Differences in frames of knee-hip-pelvic rotation peak and knee abduction moment peak between two groups (*means $p < .05$ between groups) (unit: N)

Group	HE-KI	PTr-HE	HI-KE-PE	KE-KAbM	
Expert group	M	18.0	6.0	40.7	33.0
	SD	14.2	9.5	34.7	31.5
None expert group	M	63.7	10.3	126.3	157.7
	SD	12.7	6.7	12.7	50.4
ρ	0.015*	0.558	0.039*	0.030*	

note. KI: knee internal rotation peak frame; KE; knee external rotation peak frame; HI: hip internal rotation peak frame; HE: hip external rotation peak frame; PE: pelvic external rotation peak frame; PTr: pelvic transfer frame; KAbM: knee abduction Moment peak frame.

절은 외회전 정점을, 무릎관절이 외회전 정점을 보일 때 고관절은 내회전 정점을 보여주며, 골반은 내회전 정점에서 서서히 외회전 정점으로 전환했다가 서서히 다시 내회전 정점에 이르는 것을 보여준다.

그러나 <Figure 3>은 음양보법이 무릎 - 고관절 - 골반 순으로 원위 골반을 먼저 회전시킨다는 사실을 나타내지 않으며, 거의 동시에 무릎관절과 고관절이 반대 위상으로 서로 교차하는 것을 보여주고 있다.

원위 관절부터 회전하는 순차성을 좀 더 상세히 보기 위해, 무릎 관절의 내외 회전 정점과 고관절의 내외 회전 정점, 골반의 외회전 정점과 골반의 내외 회전 전환점 각각에 해당되는 프레임의 수를 측정하고 각 프레임 간의 간격을 계산하였다. 결과 값은 <Table 4>로 나타냈으며, 구체적으로 기술하면 다음과 같다.

(1) 보행 주기 LR-MS와 PS-IS 구간에서 반복되는, 무릎 내회전 정점과 고관절 외회전 정점 프레임 간의 순차성 변인은 집단 간 비교에서 통계적으로 유의한 차이가 나타났나($\rho < .015$).

(2) 보행 주기 MS 구간에서 골반 내외 회전 전환(중립) 프레임과 고관절 외회전 정점 프레임 간격 차의 집단 간 비교에서는 통계적으로 유의한 차이를 나타내지 않았다.

(3) 보행 주기 TS 구간의 무릎 외회전 정점과 고관절 내회전 정점, 그리고 골반 외회전 정점 사이의 순차성 변인에서 숙련자 집단 고숙련자의 경우 거의 동시적인 보행 패턴을 보였으며(Figure 3), 집단 간 비교에서도 통계적으로 유의한 차이가 나타났나($\rho < .039$).

(4) 두 집단 사이의 무릎 외전 모멘트 정점이 나타나는 프레임과 무릎 외회전 정점 프레임 간의 격차 비교에서는, 고숙련자의 경우 거의 동시적인 보행 패턴을 보였고, 집단 간 비교에서도 통계적으로 유의한 차이를 나타냈나($\rho < .030$).

Table 5. Differences in max-min pelvic potential and pelvic segment total energy and knee abduction moment peak between two groups (*means $p < .05$ between groups)

Group	Pelvic potential Energy (Jule)	Pelvic Segement Total Energy (Jule)	Knee Abduction Moment (Nm/kg·ht)	
Expert group	M	2.96	3.47	24.1
	SD	0.68	0.31	21.6
None expert group	M	6.43	6.07	5.2
	SD	4.02	2.66	0.78
ρ	0.215	0.168	0.269	

4. 운동역학적 변인

1) 골반의 위치 에너지

음양보법은 숙련 정도에 따라 COG의 상하좌우 변위를 최소화하면서 전진 보행하는 패턴이므로 골반의 상하 변위도 최소화될 것이므로 골반의 지면으로부터의 높이에 의해 그 값이 결정되는 골반의 위치 에너지 최댓값과 최솟값 사이의 차이 또한 적을 것이라고 예측하였으며 결과 값은 <Table 5>와 같이 미숙련자 집단(18.0 J)의 위치 에너지 변동 폭이 숙련자 집단(63.7 J)의 경우보다 2배 이상 크다는 것을 알 수 있었지만 통계적으로 유의한 차이를 나타내지는 않았다.

2) 골반 분절의 총 에너지

측정된 골반 분절 총 에너지의 최댓값과 최솟값 사이의 차이를 보면 숙련자 집단의 경우 총 에너지 증감의 폭이 3.47 J로 미숙련자 집단의 증감 폭 6.07 J 보다 크게 낮기는 하지만, 통계적으로 유의한 차이는 나타나지 않았다. 결과 값은 <Table 5>와 같다.

3) 무릎 외전 모멘트

음양보법 보행 패턴은 양 발을 X자로 교차하는 과정에서 무릎 관절의 굴곡과 외회전을 증가시키므로 외전 모멘트가 증가할 것이라고 예측하고, 숙련 정도에 따라 무릎 외전 모멘트 값에 차이가 나타나는지를 확인하기 위하여 무릎 외전 모멘트 정점 값을 비교하였다. 그러나 음양보법 고숙련자의 경우는 보행 시도 3회 평균 무릎 외전 모멘트가 46.7 Nm/kg·ht을 나타냈지만, 숙련자와 미숙련자 집단 간 비교에서는 표준편차가 매우 크고 통계적으로 유의한 차이도 나타나지 않았다. 결과 값은 <Table 5>와 같다.

IV. 논 의

본 연구는 전통 무예 석문일월무예에서 단련하는 음양

보법 보행 패턴의 운동학적 운동역학적 특성을 규명하기 위해 진행한 보행실험 및 분석이다. 숙련자 집단과 미숙련자 집단을 대상으로 한 보행 실험에서 운동학적 운동역학적 변인에 차이가 나타나는지를 파악하여, 그 결과를 토대로 논의하고자 하였다.

1. Time-distance 변인분석

숙련자 집단과 미숙련 집단은 시간-거리 변인에서 거의 유사한 수치를 보여 두 집단 간에 통계적으로 유의한 차이는 나타나지 않았으며, 숙련자 집단(0.23 m/s)과 미숙련 집단(0.21 m/s)의 보행 속도는 거의 유사한 것으로 나타났다. 일반적으로 정상성인이 일반적인 보행속도 1.33 m/s (80 m/min)로 걷는다고 볼 때, 본 실험에서 음양보법 보행은 그 패턴의 특징 상 상대적으로 매우 느린 22 m/min 약 1/4배 속도로 진행되었다. 정상 성인의 입각기와 유각기는 60:40의 비율(%)로 나타나지만(Perry et al., 2010), 본 실험의 음양보법에서는 양하지 지지기와 단하지 지지기의 비율이 두 집단이 유사하게 75:25의 비율(%)로 나타남으로써, 양하지 지지구간의 체중수용(weight acceptance)과 관성(inertia)에 의한 COG의 부하수용기(load phase)가 큰 특징을 보이므로 이를 중심으로 살펴보면 다음과 같다.

2. 음양보법 보행패턴과 COG 변화분석

보행 시 COG의 상승, 하강, 좌우 동요 등의 경감과 COG의 원활한 방향 전환은 보행 효율을 크게 개선하는 것이므로(Neuman, 2006), 음양보법 보행 패턴의 COG 변화를 분석하는 것은 중요한 의의가 있다.

전통 무예 허보는 몸의 회전이나 전후로의 진퇴를 용이하도록 하는 보형이며(Kim, 2003), 그에 기초한 음양보법은 하지 주요 관절을 굴곡하여 COG를 낮게 유지한 채 관절 회전을 이용하여 전진 이동하는 보행 패턴이므로, 음양보법의 지속적인 단련은 COG의 좌우 변위나 수평면 상의 회전 범위를 감소시킬 것이다.

본 실험 연구에서 측정된 결과, 관상면 상의 COG 좌우 변위와 수평면 상 외회전 범위에서 숙련 미숙련 집단 간에 통계적으로 유의한 차이가 나타나지 않았지만, 수평면 상의 내회전 범위에서는 통계적으로 유의한 차이가 나타났다($p<.020$). 이로써 음양보법 보행 패턴이 COG 방향 전환의 용이성에 도움을 주어 보행 효율을 높이는 데 기여할 수 있는 가능성을 보여주었다.

3. 음양보법 보행패턴과 하지관절의 회전분석

태권도와 관련해서는 하지를 이용한 지르기가 허리나 어

깨만 이용한 지르기보다 시간, 속도, 지면 반력 등 여러 변인에서 높은 값을 나타냈다는 연구 보고나(Kang et al., 2007), 태권도 주춤 서 지르기에서 골반과 상체를 동시에 회전시키는 집단에 비해 골반을 먼저 회전시킨 후 상체를 회전시키는 집단이 ‘골반 중축 선 회전 동작’을 통해 파워를 발휘하고 있음을 확인하였다(Choi et al., 2014). 이러한 선행연구의 근거에 따르면, 음양보법 보행 패턴 또한 원위 관절을 선 회전시켜 회전과 병진 운동을 통합하며 탄력을 이용하는 X자의 꼬임과 풀림 과정에서 숙련정도에 따라 더 많은 에너지를 보유할 수 있는 것으로 나타났다.

본 실험 연구에서는 음양보법의 양 발의 X자 꼬임과 풀림의 회전 병진 운동 통합 과정에서 무릎 - 고관절 - 골반의 내외 회전 정점 프레임의 간격을 통해 순차성을 측정해 보았으며, 대중화되지 않은 보행패턴이므로 피험자 수가 적은 제한점이 있으나 고속런자일수록 순차성보다는 동시성을 나타낸다는 것과(Figure 3), 숙련자 집단과 미숙련자 집단 사이에 무릎과 고관절의 내외 회전 정점 간의 근접성에서 통계적으로 유의한 차이를 나타내는 것을 확인하였다. 즉 무릎 내회전 정점 프레임과 고관절 외회전 정점 프레임 간의 간격과, 무릎 외회전-고관절 내회전-골반 외회전 정점 프레임 간격에서 숙련자 집단은 미숙련자 집단과 비교하여 통계적으로 유의한 차이를 보이며 근접하다는 것을 알 수 있었다($p<.015$, $p<.039$). 또한 무릎 외회전 정점 프레임과 무릎 외전 모멘트 정점 프레임 간의 간격에서도 통계적으로 유의한 차이가 나타났다($p<.030$).

이러한 결과만으로는 음양보법 보행 패턴의 X자 꼬임과 풀림에서 나타나는 하지 관절 회전 시 순차성의 선후를 확인하기 어렵고, 오히려 고 숙련자의 경우 동시성이 두드러지게 보이지만, 그것은 실험 과정에서의 보행속도 통제나, 측정 장비의 정밀성이 부족 때문일 수도 있으므로 성급한 해석은 유보되어야 할 것으로 사료된다.

만약 음양 보법 보행 패턴의 숙련 정도가 높을수록 무릎 외회전 각도와 무릎 외전 모멘트가 증가한다는 것이 규명된다면, 음양보법 보행 패턴은 무릎 내전 모멘트의 증가로 인한 이상을 보완하기 위한 보행조절 패턴의 고안에 하나의 유용한 대안을 제시해 줄 수 있을 것이다.

4. 음양보법 보행패턴과 에너지와 회전모멘트의 분석

역학적 에너지는 어떤 시점에서 인체가 일을 수행할 수 있는 능력으로써 인체의 상태를 측정된 것으로, 각 분절 내에 축적된 에너지는 위치 에너지와 운동 에너지의 형태이다(Winter, 1990). X자로 교차하며 허리의 비틀림을 이용하는 음양보법 보행 패턴을 통해 축적되는 에너지의 숙련자 집단과 미숙련자 집단 간 차이를 확인하기 위해 골반 분절에서의 위치 에너지를 비교하였다.

전통무예의 보법은 힘을 축적하고 사용하는 비결로서 단련되는 것이므로(KIm, 2003; Yuk, 1990), 음양보법의 보행 패턴이 에너지를 축적하고 총에너지를 일정하게 유지하는가를 확인하기 위하여, 골반의 위치 에너지와 골반 분절 총 에너지를 측정하여 숙련자 집단과 미숙련자 집단 간의 에너지 값 증감의 폭을 비교하였다. 마찰에 의한 에너지 손실이 전혀 없는 이상적인 단련자 운동을 할 때에는 위치 에너지와 운동에너지의 변화가 많음에도 불구하고 총 에너지가 가감 없이 일정하다(Winter, 1990). 본 연구에서는 힘을 축적하고 사용하는 데 유용한 무예보법 중 음양보법에서 상체의 움직임은 통제하고 보행만 시도했으므로, 보행 중 골반 분절의 총 에너지는 숙련 정도가 높을수록 보행 한 주기 동안 가감 없이 비교적 일정할 것으로 예측하였다. 이 두 가지 변인 역시 숙련자 집단과 미숙련자 집단 사이에 통계적으로 유의한 차이를 나타내지는 않았으나(각각 $p < .215$, $p < .168$), 숙련자 집단에서 증감의 폭이 절반 정도(골반 위치 에너지 2.96:6.43 J; 골반 분절 총 에너지 3.47:6.07 J)로 줄어드는 것을 확인할 수 있었다.

보행에 대한 연구는 보행 운동의 체력 단련 및 에너지 효율의 목적에서 뿐 아니라, 하지 질환 특히 무릎 관절 질환의 비수술적 처치의 방법으로서도 진행되고 있다. 일반 보행은 중간 입각기에 COG가 지지면의 바로 위로 이동하지 않으므로, 신전 상태의 무릎 관절에서 내전 모멘트가 발생하며 결과적으로 GRF 벡터가 무릎 내측을 통과하게 되는데(Neuman, 2006), 보행 조절 연구자들은 보행 시 무릎 내측 부하의 증가로 인해 내전 모멘트가 커지는 것을 무릎 관절염 발병 및 악화의 한 요소라고 간주한다(Miyazaki, et al., 2002; Simic, Hinman, Wrigley, Bennell, & Hunt, 2011; Rutherford et al., 2008; Zhao, et al., 2007b). 이를 근거로 무릎 내전 모멘트 감소를 위한 전략에 입각하여 보행을 분석하고, 조절 패턴을 고안하는 연구(Andrews, Noyes, Hewitt, & Andriacchi, 1996; Barrios et al., 2010; Fregly, Reinbolt, Rooney, Mitchell, & Chmielewski, 2007; Guo, Axe, & Manal, 2007; Lynn, Kajaks, & Costigan, 2008a, b)들이 보고되고 있다.

Rutherford 등은 중증 무릎관절염 환자 46명을 포함한 무증상자와 경미 환자까지 총 140명의 피험자를 대상으로 6년에 걸쳐 전진 시 발끝 각도 벌림의 효과에 대해 중단 연구를 진행하여, 중증 이상의 환자를 제외한 무증상 군과 경미 환자 군에서 발끝 벌림 보행이 후기 입각기 동안의 무릎 내전 모멘트 감소와 관련이 있음을 보고하였다(Rutherford et al., 2008).

마찬가지로 발끝을 회전하거나 발끝 벌림을 이용하는 보행 조절 전략(Andrews, Noyes, Hewitt, & Andriacchi, 1996; Astephen, Deluzio, Caldwell, & Dunbar, 2007; Go et al., 2013)과, 관상면 가동 범위가 작은 무릎 관절

은 내전 각도 변화가 크지 않으므로 무릎의 굴곡 증가를 이용하기, 대퇴 분절의 안쪽에서 무릎 관절을 회전시킴으로써 ‘무릎을 안으로 모으며 걷기’, ‘대퇴를 안으로 밀어 넣으며 걷기’, ‘중앙 추진(medial thrust)’ 조절 등은 모두 보행 시 증가하는 무릎 내전 모멘트를 감소시키기 위한 전략으로서 제시되어 왔다(Barrios et al., 2010; Fregly et al., 2007, 2008, 2009).

특히 Go 등 (2013)은 보행 시 발 디딤 각도를 증가시킨 팔자 보행이 무릎 내전모멘트를 감소시킴으로써 무릎 관절염 환자 및 일반 보행자들에게도 무릎 통증 및 부하를 줄일 수 있는 보행 형태이기는 하나, 그러한 의도적인 발 디딤 각도의 변화가 몸통과 골반의 움직임에 영향을 미치며 불균형을 초래할 수도 있음을 경고하였다. 그러므로 발끝 벌림이나 발 디딤 각도의 증가, 발끝 회전 등을 통한 무릎 내전 모멘트 감소 전략은 무릎 관절에 대한 변인뿐만 아니라 발목·무릎·고관절 등 하지 주요 관절과 골반의 움직임을 동시에 고려해야 할 것이다.

본 실험 연구의 연구 대상(Figure 1)과 실험 결과(Figure 3, Table 4)에서 보았듯이, 음양보법은 전진 보행 시 X자로 교차한 양 발의 꼬임과 풀림 과정에서 발목과 무릎 관절의 굴곡과 내외 회전, 나아가 고관절과 골반의 굴곡과 내외 회전 등을 통합적으로 이용하는 보행 패턴이다. 음양보법의 숙련 정도가 높을수록 무릎 외회전 각도 증가 시 무릎 외전 모멘트가 증가한다는 것이 규명된다면, 음양보법 보행 패턴은 신체의 균형을 동시에 고려하면서 무릎 내전 모멘트의 증가로 인한 이상을 보완해 주는 보행조절 패턴의 유용한 대안으로서 제시될 수 있을 것이다.

본 실험 연구에서, 무릎 외회전 정점 프레임에서 나타난 무릎 외전 모멘트 값의 크기를 비교해 본 결과 숙련자와 미숙련자 집단 간 비교에서 통계적으로 유의한 차이를 나타내지 않았다($p < .269$). 대중화되지 않은 보행 패턴이므로 피험자의 수가 적다는 제한점이 있지만, 고숙련자의 경우 무릎 외회전 정점 프레임에서 무릎 외전 모멘트 값이 정점 46.7 Nm/kg·ht 에 도달하는 것을 확인할 수 있었다. 음양보법은 하지 주요 관절을 굴곡한 상태에서 두 차례의 꼬임과 풀림을 통해 회전운동과 병진운동을 통합적으로 결합하며, 동시에 COG의 상하 좌우 변위를 최소화하여 비틀림을 이용함으로써 전진 이동하는 고난이도의 보행 패턴이다. 따라서 음양보법을 정확하게 구현할 만큼의 고도 숙련에 이르기까지는 상당한 기간과 단련을 요구하므로, 본 실험 연구에서 숙련자 집단으로 분류한 수행자의 숙련 정도에 상당한 편차가 존재함을 감안했을 때, 보행 실험 참여 숙련자의 숙련 정도가 좀 더 높아지고 참여 숙련자의 수가 더 증가한다면 외전 모멘트 정점 값 변인에서 유의한 차이가 드러날 수도 있을 것이라고 본다.

이상과 같이 음양보법 보행 패턴에 대한 보행실험으로서, COG의 변위 감소와 회전성(방향 전환성) 증가, 탄력을 이용하는 하지 관절 회전통합에서의 순차성, 골반 분절층 에너지의 증감 범위, 입각기 무릎 외전 모멘트의 증가 등의 운동학적 운동역학적 변인에 대한 실험 결과를 분석해 보았다.

실험의 결과는 서론에서 세운 세 가지 가설 중, 음양보법 보행 패턴이 방향 전환의 용이성을 증가시키는 보행 패턴이라는 것과, 하지의 주요 관절에서 동시성 혹은 순차성을 띠며 굴곡과 회전을 통합적으로 이용하는 보행 패턴이라는 것 등 두 가지 가설만을 입증할 수 있었다.

V. 결 론

본 연구는 석문일월무예 음양보법의 숙련 정도에 따른 숙련수행자와 미숙련 수행자의 보행 패턴 상의 변인들을 비교 분석한 것으로써, 음양보법 보행 패턴의 운동학적 운동역학적 특성을 규명하고자 하였다.

시간-거리변인과 COG의 좌우 변위 및 방향 전환 용이성, 하지 관절-골반 회전의 순차성, 무릎 외전 모멘트, 골반의 위치 에너지와 총에너지의 최대-최소 값 차이 등의 변인을 분석한 결과 결론은 다음과 같다.

1. 두 집단 간 시간-거리 변인에서 통계적으로 유의한 차이는 나타나지 않았으나 음양보법의 입각기 COG 체중수용구간인 지지구간이 일반보행의 그것보다 큰 것으로 나타나, 보행 자세에 안정성을 주는 보행 패턴임을 알 수 있었다.

2. COG의 방향 전환 용이성을 결정하는 회전운동 범위에서 집단 간에 통계적으로 유의한 차이를 보임으로써, 음양보법이 숙련될수록 신체 균형의 안정적 유지와 보행 환경의 변화에 대한 신속 대응이 용이하게 되는 것으로 나타났다.

3. 원위관절로부터 근위관절로의 순차적 회전성에 있어서는 집단 간에 통계적으로 유의한 차이가 나타남으로써, 음양보법 보행 패턴이 원위관절을 선 회전시켜 회전과 병진 운동을 통합하며 탄력을 이용하는 X 자 꼬임과 풀림 과정에서 숙련 정도에 따라 더 많은 에너지를 보유할 가능성을 보여주었다.

이상과 같이 음양보법 보행 패턴은 보행 자세의 안정성, 보행 시 방향 전환의 용이성, 하지 주요 관절 회전의 순차성 등의 특성을 나타냄으로써, 보행의 안정성과 효율을 높이는 보행조절 전략으로서의 활용 가능성이 확인되었다.

음양보법은 일반적으로 잘 알려져 있지 않은 보행 패턴이며, 본 실험 연구에서도 피험자의 수가 적다는 제한점을 가진다. 그러나 전통무예나 한국무용 등에서 공통적으로 사용되어 온 하지의 꼬임과 풀림을 이용한 보행 방식에 대

한 운동 역학적 연구가 부족한 실정이므로, 본 연구의 보행 분석 자료는 석문일월무예 음양보법의 학문적 진수 뿐 아니라 유사한 실기 기술 연구에도 기초 자료가 될 수 있을 것으로 사료된다.

참고문헌

- Andrews, M., Noyes F. R., Hewtt, T. E., & Andriacchi T. P. (1996). Lower limb alignment and foot angle are related to stance phase knee adduction in normal subjects: A critical analysis of the reliability of gait analysis data. *Journal of Orthopaedic Research*, 14, 289-295.
- Astephen, J. L., Deluzio, K. J., Caldwell, G. E., & Dunbar, M. J. (2007). Biomechanical Changes at the hip, knee, and ankle joints during gait are associated with knee osteoarthritis severity. *Wiley InterScience (www.interscience.wiley.com)* Doi 10.1002/jor. 20496.
- Bae, Y. S., & Kim, K. M. (2011). Characteristic comparison of ground reaction force of the Taekwondo's Apkubi motion and the walking on the older persons. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 21(3), 289-296.
- Barrios, J. A., Crossley, K. M., & Davis, I. S. (2010). Gait retraining to reduce the knee adduction moment through real-time visual feedback of dynamic knee alignment. *Journal of Biomechanics*, 43, 2208-2213.
- Choi, C. S., Chung, C. S., & Shin, I. S. (2014). The effect of stretch-shortening cycle on the joint power of the Jireugi in the Taekwondo Juchumseogi stance. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 24(1), 1-9.
- Fregly, B. J., Reinbolt, J. A., Rooney, K. L., Mitchell, K. H., & Chmielewski, T. L. (2007). Design of patient-specific gait modifications for knee osteoarthritis rehabilitation. *Ieee Transactions on Biomedical Engineering*, 54(9), 1687-1695.
- Go, E. A., Hong, S. Y., Lee, k. k., & An, K. O. (2013). Effect of active change foot progression angle on lower extremity joint during gait. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 23(1), 085-090.
- Hong, K. A. (2010). Comparison analysis of the biomechanics characteristics of between Lee-Mae-bang and Han Young-sook dance styles in didim -centering around the Magpie Walk and Bididim-. *Journal of Korean Society of Dance*, 20, 1-18.
- Kang, S. C., Kim, E. H., Shin, H. M., Kim, S. S., & Kim, T. W. (2007). A biomechanical analysis of four different taekwondo body punch types in horseback-riding stance. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 17(4), 201-208.
- Kim, K. S. (2003). *Kwon Beob Yo Keol*. Dongmunseon publishing company, Seoul; Korea.
- Lynn, S. K., Kajaks, T., & Costigan, P. A. (2008a). Effect of foot rotation on knee kinetics and hamstring activation in older adults with and without signs of knee osteoarthritis. *Clinical Biomechanics* 23, 779-786.
- Lynn, S. K., Kajaks, T., & Costigan, P. A. (2008b). The effect of internal and external foot rotation on the adduction moment and lateral-medial shear force at the knee during gait. *Jour-*

- nal of Science and Medicine in Sport*, 11, 444—451.
- MacKinnon, C. D., & Winter, D. A. (1993). Control of whole body balance in the frontal plane during human walking. *Journal of Biomechanics*, 26(6), 633-644.
- Miyazaki, T., Wada, M., Kawahara, H., Sato, M., Baba, H., & Shimada, S. (2002). Dynamic load at baseline can predict radiographic disease progression in medial compartment knee osteoarthritis. *Ann Rheum Dis*, 61, 617-622.
- Neumann, K. G., (2006). *Gehen verstehen-Ganganalyse in der Physiotherapie*, 2nd edition. Stuttgart. Germany (Translation copyright 2008 Yeong Mun publishing company, Seoul; Korea), pp-5, 72.
- Perry, J., & Burnfield, J. M. (2010). *Gait Analysis: Normal and Pathological Function*. 2nd edition. Thorofare, USA
- Rutherford, D. J., Hubble-Kozey, C. L., Deluzio, K. J., Stanish, W. D., & Dunbar, M. (2008). Foot progression angle and the knee adduction moment: A cross-sectional investigation in knee osteoarthritis. *Osteoarthritis and Cartilage*, 16, 883-889.
- Shim, J. Y. (2008). Changes of relationship between automatic nerve activation and cross correlation of brain regions according to Jangsaeng walking training. *Journal of Brain Education*, 5(2), 115-139.
- Simic, M., Hinman, R. S., Wrigley, T. V., Bennel, K. L., & Hunt, M. A. (2011). Gait modification strategies for altering medial knee joint load: A systematic review. *Arthritis Care & Research* 63(3), 405-426.
- Sung, B. J., Choi, J. I., Baik, H. H. (2001). The study of exercise intensity on the speed of Taekgyun Pumbalgi. *The Korean Journal of physical Education*, 40(2), 645-653.
- Winter, D. A.(1990). *Biomechanics and Motor Control of Human Movement*. 2nd edition. Syungkyunkwan University biomechanics academy (1997), Seoul, Honkyeng. p-148.
- Wolf, S. L., Sattin, R. W., Kutner, M., O'Grady, M., Greenspan, A. I., & Gregor, R. J. (2003). Intense Tai Chi exercise training and fall occurrences in older, transitionally frail adults: a randomized, controlled trial. *Journal of the American Geriatrics Society*, 51(12), 1693-1701.
- Wu, G., & Hitt, J. (2005). Ground contact characteristics of Tai Chi gait. *Gait & Posture*, 22, 32-39.
- Wu, G., & Millon D. (2008). Joint kinetics during Tai Chi gait and normal walking gait in young elderly Tai Chi Chuan practitioners. *Clinical Biomechanics*, 23, 787-795.
- Yuk, T. A. (1990). *A story of our martial art*. Hakminsa publishing company, Seoul; Korea.
- Zhao, D., Banks, S. A., Mitchell, K. H., D'Lima, D. D., Colwell, C. W., & Fregly, B. J. (2007b). Corelation between the knee adduction torque and medial contact force for a variety of gait patterns. *Wiley InterScience (www.interscience.wiley.com)*. Doi 10.1002/jor.20379.