



전, 후방 기울기각을 이용한 노인의 보행안정성 평가

Evaluation of the Elderly Gait Stability Using the Center of Mass and Center of Pressure Inclination Angles

윤석훈* · 김태삼 · 이재훈 · 류지선(한국체육대학교) · 권영후(텍사스여자주립대학교)
Yoon, Suk-Hoon* · Kim Tae-Sam · Lee, Jae-Hun · Ryu, Ji-Seon(Korea National Sport University) ·
Kwon, Young-Hoo(Texas Woman's University)

ABSTRACT

S. H. YOON, T. S. KIM, J. H. LEE, J. S. RYU, and Y-H. KWON. Evaluation of the Elderly Gait Stability Using the Center of Mass and Center of Pressure Inclination Angles. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, Vol. 17, No. 4, pp. 99-106, 2007. The gait instability in the elderly has been associated with age-related deterioration in physical strength and reducing the potential for elderly falls requires regular exercise. In 2005, National Center for Injury Prevention and Control(NCIPC) reported that most elderly falls occur during activities in daily living(ADL). To better reveal biomechanic mechanisms underlying age-related degeneration in gait stability, and to enhance the assessment of falls risk, an accurate quantification of a person's balance maintenance during locomotion is needed. Instantaneous orientation of the line connecting COP and COM can characterize whole body position with respect to the supporting foot during gait and the angle between this line and the vertical line passing through the COP known as a good assessment to detect the elderly gait instability. Therefore the purpose of this study was to investigate a 6-month walking exercise effects in reducing elderly fall risk factors by using COP-COM inclination angles. Twenty-two community-dwelling elderly participated this study. The participants performed a walking exercise(3 times/week, 1 hour/visit) for 6 months. Laboratory kinematics during walking was assessed at months 0, 3 and 6. Significant increased in gait velocity was found among periods($p=.011$, $1.25\pm.03$, $1.32\pm.03$, and $1.39\pm.04$ m/s in 0-, 3-, and 6-month, respectively). Also, significant differences in anterior and posterior inclination angles were found among the periods($p<.05$; posterior inclination angles: 12.8 ± 2.2 , 11.0 ± 2.9 , & 10.9 ± 1.9 ; anterior inclination angles: 13.7 ± 1.7 , 14.6 ± 3.2 , & 14.6 ± 2.1 in 0month, 3month, & 6month, respectively). These findings provide evidence of significant reduced fall risk factors of community-living older adults associated with a systematic walking program.

KEYWORDS : INCLINATION ANGLES, GAIT, ELDERLY, COM-COP, ELDERLY FALLS

I. 서론

낙상은 노인들에게서 발생하는 상해 중 가장 높은 빈도를 차지하고 있으며, 전체 노인 사고사망의 제 일 원인으로 보고되고 있다(Overstall, Exton-Smith, Imms, & Johnson, 1977; Hindmarsh & Estes, 1989). 65세 이상의 인간으로 정의되는 노인은 가벼운 낙상에도 심각한 영향을 받을 수 있으며, 특히 노인 낙상은 심한 상해로 전이 되어 종종 죽음으로 까지 이어질 수 있다고 보고되고 있다(Leibson, Toteston, Gabriel, Ransom, & Melton, 2002).

세계적으로 노인낙상의 빈도를 살펴보면, 국내에서는 약 48.2%의 노인이 낙상을 경험하고 있고(황옥남, 1998), 미국에서는 33%(Hausdorff, Rios & Edelber, 2001), 호주에서는 50%(Tinetti, Doucette, Claus, & Marottoli, 1995) 이상의 노인이 일 년에 적어도 한번 이상 낙상을 경험하고 있다. 또한 각 국가에서는 노인 낙상의 치료나 재활에 막대한 돈을 지출하고 있으며(연간 호주 2500억원, 미국 2조원), 이는 노인 인구의 증가와 더불어 급속히 증가하는 추세를 보이고 있다(NCIPC, 2004).

한국사회에서 노인의 비율은 2005년에 전체 인구 대비 9.1%를 차지하였으며, 또한 그 증가속도는 빠르게 가속화되어 2030년에는 23%, 2050년도에는 37%에 도달하는 초고령 사회로 변화될 것이라고 보고되었다(통계청, 2007). 그러므로 노인 낙상을 감소시키는 노력은 현대사회에서 행하고 있는 노인복지를 위한 행위들 중에 우선시 되어야 할 문제라 하겠다.

노인의 낙상의 주된 원인으로서 노화에 따른 하지 근력의 약화나 안정성 능력의 저하를 들 수 있으며 Gross, Stevenson, Charette, Pyka, & Marcus 1998; MacRae, Lacourse, & Moldavon, 1992; Patla, & Rietdyk, 1993; Tinetti et al., 1995), 이런 낙상의 위험 요인은 지속적인 운동프로그램을 통하여 감소될 수 있다고 보고되고 있다(Charette et al., 1991; Roman et al., 1993; 윤석훈 2007). 지금까지 노인낙상 방지를 위하여 행하여진 운동 효과의 연구를 살펴보면, Judge et al.(1993)은 6개월 동안의 근력강화, 걷기운동을 통하여

노인들의 평균 17% 안정성능력의 증가를 보고하였으며, Rogers, Fernandez 와 Bohlken(2001)등은 10주간의 평형운동과 근력훈련을 통하여 노인들의 평균 20% 증대된 Functional Reach Score를 발견하였다고 보고하였다. 또한 Liu-Ambrose et al.(2004)은 25주 근력 및 평형운동을 통하여 노인들이 낙상요소를 47-57%까지 줄였다고 보고하였다.

그러나 모든 선행연구들은 훈련의 효과를 분석함에 있어 정적인 상태에서 취득된 안정성의 결과(외발 서기 시간, Functional Reach Score, COP 흔들림)를 토대로 결론지어, 60%이상의 실제 노인낙상이 발생하는 보행 같은 동적인 상황(NCIPC, 2005)을 대변하기에는 미흡하다고 사료된다.

보다 현실적인 노인들의 보행 안정성을 평가하기 위하여 보행 중 나타나는 신체질량중심(Center of Mass, COM)의 변화나, COM과 지지발의 지면반력점(Center of Pressure, COP)의 수평거리 관계(MacKinnon, & Winter 1993; Kaya, Krebs, & Riley, 1998; Krebs, McGibbon, & Goldvasser, 2001)등이 연구되어 왔다. 특히 Krebs et al.(2001)은 보행중 한 발 지지 시 COM과 COP 사이의 최대 수평거리가 보행 안정성을 평가하는데 매우 효과적이라고 보고하였으며, Chou, Kaufman, Hahn, & Brey(2003)는 평형성 장애가 있는 노인들이 정상노인에 비해서 COM과 COP사이의 큰 수평거리를 보였다고 보고하였다.

그러나 보행 중 보행자의 COM와 COP의 관계는 보행안정성을 평가하는 중요한 척도가 될 수 있지만, 선행 연구에서처럼 그들의 수평거리로 보행 안정성을 평가하기에는 다소 무리가 있어 보인다. COM과 COP사이의 수평거리는 보행자의 신장에 영향을 받는다. 즉 일반적으로 신장이 큰 사람이 COM이 높다고 보았을 때, 같은 자세에서 신장이 큰 사람이 작은 사람보다 그 수평거리가 클 수밖에 없다<그림 1>. 그러므로 신장의 차이를 반영하는 다른 역학적 방법이 필요하다.

보행 중에 보행자의 COM과 COP를 연결한 선은 지지발에 대한 전신의 움직임에 대변 할 수 있다. 그리고 이선이 COP를 통과한 수직선과 이루는 각(전, 후방 기울기각)은 COM 높이와 COM-COP 수평거리 모두를 반영함으로써 COM-COP 수평거리보다 더욱 정확한

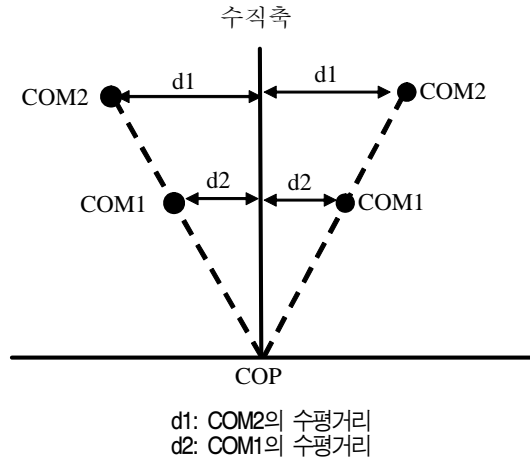


그림 1. 동일 자세에서 COM높이에 따른 COM-COP 수평거리의 차이.

노인보행 안정성을 평가 할 수 있다. 많은 연구들은 전, 후방 기울기각이 COM의 높이 차를 배제 하면서 노인들의 보행 안정성을 평가 할 수 있다고 보고하였다(Duncan, Weiner, Chandler, & Studencki, 1990; Allum et al., 2001; Allum, Zamani, Adkin, & Ernst, 2002; Lee, & Chou, 2006).

그러나 지금 까지 이런 방법으로 진행된 연구들은 정적인 안정성을 평가했거나, 정상인과 환자들 사이의 차이를 평가했던 연구들이 대부분이며, 실질적으로 노인의 낙상이 빈번히 일어나는 보행중의 안정성을 평가한 연구는 미미한 실정이다. 또한 노인낙상 예방에 효과적이라고 보고된 지속적인 운동의 효과를 평가한 연구는 미미한 실정이다.

본 연구의 목적은 전, 후방 기울기 각이 훈련기간에 따라 어떠한 변화를 보이며 또한 이 지표들을 이용하여, 지속적인 노인들의 보행운동이 노인들의 낙상을 줄여주는데 효과가 있는지를 평가하는데 있다.

II. 연구방법

1. 연구 대상

본 연구에 참가한 연구 대상자는 최근 1년 동안 낙상

표 1. 피험자들의 신체적 특성 (평균±표준편차)

	남자	여자
연령(년)	71.2±6.1	74.5±6.5
인원(명)	9	13
체중(kg)	92.9±12.7	67.0±6.6

의 경험이 없었던 65세 이상의 남, 여 노인 22명 이었다. 모든 연구 대상자들은 연구 목적이나 실험내용, 방법에 대한 설명을 들었으며, 실험참가 동의서에 서명하였다.

또한 개인 주치의로부터 본 프로그램에 참가하는데 신체적으로 이상이 없음을 확인하는 확인서를 받아 제출하도록 하였다. 대상자들의 일반적 특성은 <표 1>과 같다.

2. 운동 프로그램

모든 연구 대상자들은 총 24주 동안 일주일에 3회씩 걷기 운동에 참가하도록 하였다. 하루 운동시간은 약 1시간이었으며, 걷기운동은 연구자가 속해 있는 대학의 실내 jogging track에서 행하여 졌다. 연구대상자들은 스트레칭을 통한 사전 운동 후에 50분 정도 걷기 운동을 실시하였다.

본 실험은 노인들이 연구대상이었으므로 운동 중에 일어날 수 있는 안전사고를 미연에 방지하고, 훈련과정을 관찰하기 위하여 연구자가 jogging track을 방문하여 관리 감독 하였다. 본 실험에서 제공된 운동 외의 다른 운동의 간섭을 방지하기 위하여 연구 기간 동안 어떠한 운동 프로그램이라도 참여할 경우에는 반드시 연구자에게 보고하도록 요구되었다.

3. 측정 도구

본 연구에 사용된 실험도구로는 보행동작을 녹화하기 위해 디지털 캠코더(Panasonic사의 DVC15) 2대를 사용하였으며, 노출시간은 1/500초, 카메라 속도는 30frames/sec로 설정하였다. 지지발의 COP의 계산을 위하여 지면반력 측정기(AMTI사의 ORG-6) 1대를 사용하였으며, 지면반력은 120Hz/sec로 설정하였다.

영상분석과 지면반력의 동조는 동조시스템박스(Visol사의 VSAD-USB101)를 이용하였다. 영상분석 신호와 지면반력 신호는 동조시스템박스의 두 채널을 LED에

부여하여 동조 버튼을 누를 시 LED에 불빛이 생성되어 각 카메라에 불빛 신호가 기록되고 동시에 지면반력의 동조 채널에 전압신호가 입력되도록 하여 동조시켰다.

4. 실험 절차 및 자료처리

보행 방향을 기준으로 좌우로(sagittal planes) 한 대씩의 카메라를 설치하였다. 2차원 평면 좌표 설정을 위해 통제점 틀은 피험자들의 보행동작을 완전히 포함할 수 있는 범위에 세웠으며 보행동작 전에 통제점 틀을 촬영하고 통제점 틀을 제거 한 후에 통제점 틀 내의 공간에서 보행 동작을 실시하였다. 지면반력에서 산출되는 COP의 위치를 영상분석에서 산출된 COM의 좌표계에 동조시키기 위하여 1개의 추가점(additional point)을 지면반력기에 세웠다. 정량적 분석(quantitative analysis)을 위하여 모든 카메라는 Pseudo 3 D 기법을 이용한 DLT(direct linear transformation) 방법을 통하여 2차원 켈리브레이션 되었다.

연구대상자들은 본 연구가 시작된 후 총 3번의 실험에 참가 하였다(0, 3, 6개월). 연구대상자들은 본 연구자가 제공한 검은색 상하의 타이즈를 착용하였다. 적당한 준비 운동 후 각 연구대상자별로 보행 연습을 실시하였다. 보행자의 자연스러운 보행을 유도하기 위하여 각 연구대상자는 지면반력기로 부터 약 4m 후방에서 보행을 시작하여 주동발이 지면반력기를 밟도록 한 후 약 2m 정도 보행을 더 수행하도록 요구되었다. 22명의 연구대상자중 3명이 왼발이 주동발이었고 나머지는 오른발이 주동발이었다. 연구대상자들이 실험상황에 완전히 적응된 다음 3번의 보행을 실시하였으며, 이를 평균하여 자료처리에 이용하였다. 보행속도는 선호속도로 제한하였으며, 본 연구대상자들의 평균보행속도는 0, 3, 6개월에 1.25±0.16, 1.33±0.15, 1.40±0.17 m/sec 이었다.

전신의 2차원 COM 위치를 구하기 위하여 총 12개의 반사마커를 피험자의 좌우 견봉(acromion), 좌우 대전자(great trochanter), 좌우 외측 상과(lateral epicondyle), 좌우 외과(lateral malleolus), 좌우 뒤꿈치(heel), 좌우 앞꿈치(toe)에 부착하였다. 모든 계산된 변인들은 실험 오차를 제거하기 위하여 2차 계수 butterworth 저역 통과 필터를 사용하여(차단 주파수:

6Hz) 필터링 하였으며, 이를 전 후 2번 반복해 phase lag을 제거함과 동시에 필터의 성능을 4차 계수 수준으로 향상시켰다.

본 연구에서 통제점의 좌표화와 인체관절 중심점의 좌표화, DLT방법에 의한 2차원 좌표 계산과 자료의 스무딩 및 필터링은 Kwon 3D(Visol사의 version 3.1) 동작분석 프로그램을 사용하였다. 지면반력의 자료처리는 Kwongrf(Visol사의 version 2.0) 지면반력분석 프로그램을 사용하였다.

본 연구의 분석구간은 주동발이 지면반력기를 지지하는 동안에 비주동발이 지면을 이지하는 순간부터 지면에 착지하는 순간까지의 비 주동발의 스윙구간으로 하였다.

5. 전, 후방 기울기각의 산출

본 연구에서 사용된 시상면의 전, 후방 기울기 각도는 <그림 2>에 나타나 있다. 기울기 각도는 각 프레임에서 COM과 COP를 연결한 벡터가 COP를 통과한 수직축과 이루는 각으로 정의 되었으며, COM과 COP 위치 벡터를 역 tan2 공식에 적용하여 구하였다.

$$\Theta(j) = \text{atan2}((x(j)-x1(j)),(y(j)-y1(j)))$$

Θ : 기울기각 I

x, y : COM의 위치좌표

x1, y1: COP의 위치좌표

j : 프레임 넘버

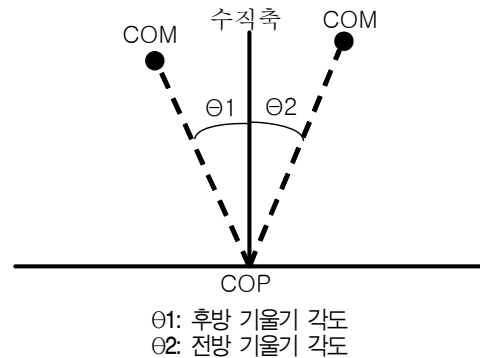


그림 2. COM-COP 선을 이용한 시상면의 전, 후방 기울기 각도.

보행 중 발의 스윙 기간 중에 전신의 COM은 전방으로 이동하게 되며 스윙기간 중에 COP의 위치를 통과하게 된다. 본 연구에서는 비주동발의 스윙기간 중에 COM의 수평위치가 COP의 위치와 일치하는 지점까지를 후방 스윙기로 정의하였으며, 이때 COM과 COP의 연결선이 수직축에 대하여 이루는 각을 후방 기울기각, 그리고 이때의 스윙발의 속도를 후방 스윙속도로 규정하였다. 또한 후방 스윙기가 끝나는 지점부터 스윙발이 지면에 닿는 순간까지를 전방 스윙기, 그리고 그때 구해진 각과 속도를 전방 기울기각, 전방 스윙속도로 규정하였다.

6. 통계 처리

지속적인 운동에 따른 노인들의 보행 안정성의 차이를 규명하기 위하여 SPSS 11.0을 이용하여 반복 일원변량분석(One-way ANOVA with repeated measure)을 실시하였다. 독립변인은 훈련기간 (0, 3, 6 개월) 이었으며, 유의한 차이를 발견 시 Turkey 사후분석을 실시하였다. 본 연구의 통계적 유의수준은 $\alpha = .05$ 로 하였다.

III. 결과 및 논의

본 연구에 참여한 모든 연구대상들은 중도 탈락자 없이 6개월간의 훈련과정을 수행하였다. 본 연구는 지속적인 보행운동이 노인의 보행안정성에 어떠한 영향을 미치는지를 규명하기 위하여 비주동발의 스윙곡면에서 전신의 COM과 지지발의 COP연결선에 근거한 전, 후방 기울기각을 계산하였다.

1. 보행 속도

본 실험에 참여한 연구 대상자들은 훈련기간이 증가함에 따라 점진적으로 증가된 보행속도를 보였다<그림 3>. 연구대상자들은 운동시작전과 비교하여 3개월 때 5.6%, 6개월 때 11.2%의 증가된 속도를 보였으나, 통계적으로는 6개월의 훈련기간 만이 통계적으로 유의한

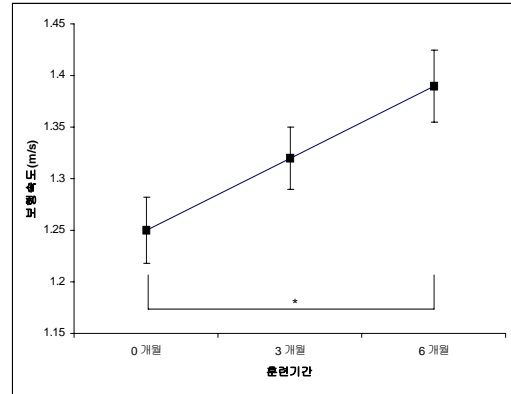


그림 3. 훈련기간에 따른 보행속도 변화.

차이를 보였다(F: 4.79, $p=.011$).

증가된 보행속도는 노령화의 대표적인 현상으로 보고되어진 느려진 보행속도 (Ostrosky, VanSwearingen, Burdett, & Gee, 1999)의 결과와 상반된 것이며, 다른 노인의 낙상 예방 훈련에 관한 연구들의 결과에 부합하는 결과이다(Schlicht, Camaionea, & Owen, 2001; Hess, & Woollacott, 2005; Judge, Lindsey, Underwood, & Winsemius, 1993; Liu-Ambrose et al., 2004). 즉, 본 연구대상자들이 보인 증가된 보행속도는 지속적인 보행훈련이 노인의 노령화를 늦춰주고, 또한 보행중의 노인낙상 예방에 도움을 줄 것으로 사료된다.

2. 전, 후방 기울기각도 및 스윙속도

본 연구에서 노인의 보행 안정성을 평가하기 위하여 발의 스윙구간 중에 전, 후방기울기 각도 및 스윙속도를 산출하였다.

모든 실험대상자들의 훈련 기간에 따른 전, 후방기울기각의 양상별 그래프가 <그림 4>와 <그림 5>에 나타나 있으며, 최대 전, 후방 기울기각과 스윙속도는 <표 2>에 나타나 있다. 후방 기울기각은 후방 스윙기가 시작되는 비주동발의 이지 시에 가장 큰 각도를 보이며 전방 기울기각은 전방 스윙기가 끝나는 비주동발의 지면 착지 시에 가장 큰 각도를 보이는 패턴을 나타내었다.

후방 스윙기의 시작 순간은 두 발 지지기에서 한발

표 2. 훈련 기간에 따른 최대 전, 후방 기울기각 과 스윙속도

	0 개월	3 개월	6 개월	F
후방 기울기각(도)	12.8±2.2	11.0±2.9	10.9±1.9+	4.29
전방 기울기각(도)	13.7±1.7	14.6±3.2	16.3±2.1*	7.19
후방 스윙속도(m/s)	1.39±.22	1.43±.25	1.46±.21	0.58
전방 스윙속도(m/s)	1.34±.19	1.48±.21	1.47±.20+	3.61

+, * :0 개월, 3개월 그리고 6개월의 통계적인 유의한 차이
 + : p < 0.05
 * : p < 0.01

지지기로 이동되는 보행 중 가장 안정성이 낮은 순간이다. 이 순간은 기저면이 좁아지면서 전신 COM이 기저면을 벗어나기 쉽게 되어 지면반력 토크가 신체에 가장 불리하게 작용할 수 있는 순간이다(Yoon, 2007). 즉, 전신의 COM이 기저면 내에 있을 때에는 지면반력 토크가 몸을 지지하여주는 방향으로 작용하여 안정성에 도움을 주지만, 그 COM이 기저면을 벗어나는 순간부터는 몸을 지면 쪽으로 끌어당기는 방향으로 작용한다. 그러므로 이 순간에 하지의 근력으로 지면반력 토크를 압도하거나, 자세의 변화를 주어 COM이 기저면을 이탈하지 않도록 하는 것이 낙상을 방지하는 방법이 될 것이다.

본 연구에서 노인 보행자들은 훈련기간이 증가함에 따라 후방 스윙기간 초기에 나타나는 후방 기울기각에서 통계적으로 유의한 차이를 보였다<표 2, 그림 4>. 이것은 신체가 보행 중 가장 불안한(좁은 기저면, COM의 움직임의 시작) 상태에서 훈련으로 강화된 하지 근력을 바탕으로 상체를 세움으로서, 전신 COM을 COP에 근접시켜, 낙상을 방지하려는 시도로 사료된다. 또한 통계적으로 유의한 차이를 보이지는 않았지만, 훈련기간이 증가함에 따라 증가된 후방 스윙속도도<표 2> 이런 노력의 증거라고 사료된다.

본 연구의 노인 보행자들은 훈련기간이 증가함에 따라 통계적으로 유의한 전경 기울기각을 보였다<표 2, 그림 5>. 이는 Lee & Chou(2006)들이 보고한 연구의 결과를 지지하는 결과이다. Lee & Chou(2006)는 그들의 연구에서 평형기능에 문제가 있는 환자들에 비하여 건강한 노인들은 통계적으로 증가된 전경기울기각(13.18도 vs. 10.31도)을 보였다고 발표하였다.

더욱이 6개월 훈련을 마친 본 연구의 연구대상자들

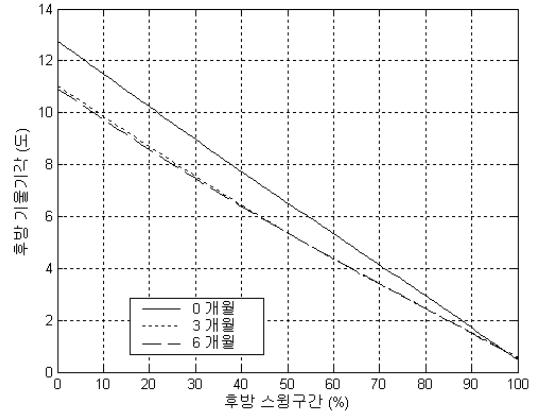


그림 4. 훈련기간에 따른 후방 기울기각의 패턴 변화

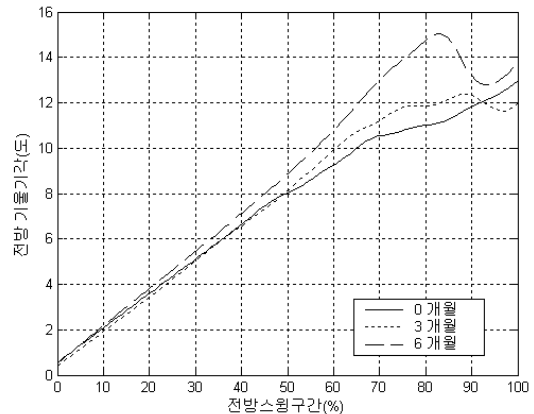


그림 5. 훈련기간에 따른 전방 기울기각의 패턴 변화

은 그들이 보고한 건강한 노인들의 결과보다 증가된 전경기울기각을 보임으로서 보행 훈련의 효과를 보여 주고 있다고 사료된다. 이는 훈련 수행 후 증가된 보행 속도에서 기대할 수 있는 증가된 하지 근력과 자신감을 바탕으로 몸을 불안정한 상태로 만들어 스윙발의 스윙을 용이하게 하려는 노력으로 사료된다.

IV. 결론

본 연구는 전, 후방 기울기 각이 훈련기간에 따라 어떠한 변화를 보이며 또한 이 지표들을 이용하여, 지속적인 노인들의 보행운동이 노인들의 낙상을 줄여주

는데 효과가 있는지를 평가하는데 의의가 있었다.

본 연구의 결과 훈련기간이 증가함에 노인대상자들은 빠른 보행속도, 증가된 전방 기울기각도, 전방 스윙 속도, 후방스윙속도, 그리고 감소된 후방 기울기각도를 나타내었으며, 이는 지속적인 보행훈련이 노인들의 보행안정성을 높이는데 도움을 주고 있음을 의미한다고 할수 있다.

본 연구를 바탕으로 노인의 보행 안정성의 평가를 함에 있어서 후방기울기각과 전방기울기각의 측정이 유용하다고 사료되며, 향후 연구에서 노인들의 낙상이 일어날 수 있는 여러 가지 상황(방향전환, 장애물통과)의 연구에서 노인들의 보행안정성 평가 시 유용하게 사용될 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

- 통계청(2007). 장래인구추계.
- 윤석훈(2007). 24주간 보행운동이 여성노인의 장애물 극복보행의 운동학적 변인에 미치는 영향. **한국체육학회지**, 46(4), 485-493
- 황옥남(1998). 노인의 안전사고와 관련된 요인에 대한 조사연구. **성인간호학회지**, 10(2), 337-352.
- Allum, J.H., Adkin, A.L., Carpenter, M.G., Held-Ziolkowaska, M., Honegger, F., & Pierchala, K. (2001). Trunk sway measures of postural stability during clinical balance tests: effects of a unilateral vestibular deficit. *Gait and Posture*, 14, 227-37.
- Allum, J.H., Zamani, F., Adkin, A.L., & Ernst A. (2002). A differences between trunk sway characteristics on a foam support surface and on the Equitest ankle-sway-referenced support surface. *Gait and Posture*, 16, 264-70.
- Charette, S., McEnvoy, L., Pyka, G., Snow-Harter, C., Guido, D., Wiswell, R.(1991). Muscle hypertrophy response to resistance training in older women. *Journal of Applied Physiology*, 70, 1912-6.
- Chou L.S., Kaufman, K.R., Hahn, M.E. & Brey, R.H. (2003). Medio-lateral motion of the center of mass during obstacle crossing distinguishes elderly individuals with imbalance. *Gait and Posture*, 18, 125-33.
- Duncan, P.W., Weiner, D.K., Chandler, J., & Studenski, S. (1990). Functional reach: a new clinical measure of balance. *Journal of Gerontology*, 45, 192-7.
- Gross, M., Stevenson P., Charette S., Pyka, G., & Marcus R. (1998). Effect of muscle strength and movement speed on the biomechanics of rising from a chair in healthy elderly and young women. *Gait and Posture*, 8, 175- 85.
- Hess, J.A. & Woollacott, M. (2005). Effect of high-intensity strength-training on functional measures of balance ability in balance-impaired older adults. *Journal Of Manipulative And Physiological Therapeutics*, 28, 582-590.
- Hindmarsh, J.J., & Estes, E.H. (1989). Falls in older persons. Causes and interventions. *Archives of Internal Medicine*, 149, 2217-22.
- Hausdorff, J.M., Rios, D.A., & Edelber, H.K. (2001) Gait variability and fall risk in community-living older adults: a 1-year prospective study. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 82(8), 1050 - 6.
- Judge, J.O. Lindsey, C. Underwood, M. & Winsenius, D. (1993). Balance improvements in older women: effects of exercise training. *Physical Therapy*, 73, 254-262.
- Kaya, B.K., Krebs, D.E., & Riley, P.O. (1998). Dynamic stability in elders: momentum control in locomotor ADL. *Journal of Gerontology*, 53, 126-34
- Krebs, D.E., Gill-Body, K.M, Riley, P.O., & Parker, S.W. (1993). Double-blind, placebo-controlled trial of rehabilitation for bilateral vestibular

- hypofunction: preliminary report. *Otolaryngology - Head and Neck Surgery*, 109, 735-41.
- Krebs, D.E., McGibbon, C.A., & Goldvasser, D. (2001). Analysis of postural perturbation responses. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 9, 76-80.
- Lee, H.J., & Chou, L.S. (2006). Detection of Gait Instability Using the Center of Mass and Center of Pressure Inclination Angles. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 87, 569-575.
- Leibson, C.L., Totoson, A., Gabriel, S.E., Ransom, J.E., & Melton, J.L. (2002). Mortality, disability, and nursing home use for persons with and without hip fracture: a population-based study. *Journal of the American Geriatrics Society*, 50, 1644 - 50.
- Liu-Ambrose, T., Khan, K. M., Eng, J.J., Janssen, P. A., Lord, S.R., & McKay, H.A. (2004). Resistance and agility training reduce fall risk in women aged 75 to 85 with low bone mass: a 6-month randomized, controlled trial. *Journal of the American Geriatrics Society*, 52, 657-665.
- MacRae, O., Lacourse, M., & Modavon, R. (1992). Physical performance measures that predict faller status in community-dwelling older adults. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 16, 123-8.
- MacKinnon, C.D., & Winter, D.A. (1993). Control of whole body balance in the frontal plane during human walking. *Journal of Biomechanics*, 26, 633-44.
- NCIPC. (2004). Costs of Falls Among Older Adults. Retrieved March 1, 2006, from <http://www.cdc.gov/ncipc/factsheets/fallcost.htm>.
- NCIPC. (2005). Falls Among Older Adults: An Overview. Retrieved March 1, 2006, from <http://www.cdc.gov/ncipc/factsheets/adultfalls.htm>.
- Overstall, P.W., Exton-Smith, A.N., Imms, F.J., & Johnson, A.L. (1977). Fall in the elderly related to postural imbalance. *British Medical Journal*, 1, 261-4.
- Ostrosky, K.M., VanSwearingen, J.M., Burdett, R.G., & Gee, Z. (1994). A comparison of gait characteristics in young and old subjects. *Physical Therapy*, 74, 637.
- Patla, A., & Rietdyk, S. (1993). Visual control of limb trajectory during locomotion: effect of obstacle height and width. *Gait and Posture*, 1, 45-60.
- Rogers, M.E., Fernandez, J.E., & Bohlken, R. M.(2001). Training to reduce postural sway and increase functional reach in the elderly. *Journal of Occupational Rehabilitation*, 11, 291-298.
- Roman, W., Fleckenstein, J., Stray-Gundersen, J., Alway, S., Peshok, R., & Gonyea, W. (1993). Adaptations to the elbow flexors of elderly males after heavy-resistance training. *Journal of Applied Physiology*, 72, 750-4.
- Schlicht, J., Camaione, C.N., & Owen, S.V. (2001). Effect of intense strength training on standing balance, walking speed, and Sit-to-Stand performance in older adults. *The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences*, 56, M281-M286.
- Tinetti, M., Doucette, J., Claus, E., & Marottoli, R. (1995). Risk factors for serious injury during falls by older persons in the community. *Journal of the American Geriatrics Society*, 43, 1214-21.
- Yoon, S.H. (2007). *Biomechanical analysis of obstacle avoidance in walking with Telescope-Style poles in the elderly*. Unpublished Doctoral Dissertation, Texas Woman's University.

투 고 일 : 10월 31일
 심사 일 : 11월 6일
 심사완료일 : 12월 14일