

Effects of Muscle Activation Pattern and Stability of the Lower Extremity's Joint on Falls in the Elderly Walking -Half a Year Prospective Study-

노인 보행 시 하지 근 활동 양상과 관절의 안정성이 낙상에 미치는 영향 -전향적 연구(Prospective Study)-

Ji-Seon Ryu

Department of Health and Exercise Science, Korea National Sport University, Seoul, South Korea

Received : 11 June 2019

Revised : 15 June 2019

Accepted : 17 June 2019

Objective: The aim of this study was to determine the peak torques of the knee and ankle joint and local stability of the lower extremity's joints, and muscle activation patterns of the lower extremity's muscles between fallers and non-fallers in the elderly women during walking.

Method: Four elderly women (age: 74.5±5.2 yrs.; height: 152.1±5.6 cm; mass: 55.3±5.4 kg; preference walking speed: 1.19±0.06 m/s) who experienced falls within six months since experiment had been conducted (falls group) and thirty-six subjects (74.2±3.09 yrs.; height: 153.6±4.9 cm; mass: 56.7±6.4 kg; preference walking speed: 1.24±0.10 m/s) who had no experience in falls (non-falls group) within this periods participated in this study. They were measured torque peaks of the knee and ankle joint using a Human Norm and while they were walking on a treadmill at their natural pace, kinematic variables and EMG signals were collected with using a 3-D motion capture system and a wireless EMG system, respectively. Lyapunov Exponent (LyE) was determined to observe the dynamic local stability of the lower extremity's joints, and muscles activation and their co-contraction index were also analysed from EMG signals. Hypotheses between falls and non-falls group were tested using paired *t*-test and Mann-Whitey. Level of significance was set at $p < .05$.

Results: Local dynamic stability in the adduction-abduction movement of the knee joint was significantly lower in falling group than non-falling group ($p < .05$).

Conclusion: In conclusion, muscles which act on the abduction-adduction movement of the knee joint need to be strengthened to prevent from potential falls during walking. However, a small number of samples for fallers make it difficult to generalize the results of this study.

Keywords: Falls, Peak torque, Muscle activation, Lyapunov Exponent (LyE), Dynamic local stability, Co-contraction index (CI), Elderly women walking

Corresponding Author

Ji-Seon Ryu

Department of Health and Exercise Science, Korea National Sport University, 1239, Yangjae-daero, Songpa-gu, 05541, Seoul, South Korea

Tel : +82-10-8944-6306

Fax : +82-2-418-1877

Email : jiseon@knsu.ac.kr

INTRODUCTION

낙상은 낮은 위치나 바닥으로 본인의 의사와 관계없이 발이 아닌 신체의 일부가 지면에 충돌하는 것으로 정의된다(Tinetti & Speechley, 1989). 65세 이상 30%는 일년에 적어도 한 번은 낙상을 경험하는 것으로 보고되고 있다(Masud & Morris, 2001).

낙상은 모든 사망 원인의 12% 정도를 차지하며, 이는 노인 사망 원인 중 6번째에 해당된다(American Geriatric Society, 2001). 이런 이유로 노인 낙상은 종종 장애, 활동의 제한, 고립, 사망 등 심각한 상황을 초래(Buchner et al., 1997)해 삶의 질을 위협하는 요인 중 하나이다(Berry & Miller, 2008).

낙상의 원인은 크게 질병, 신체적 특성과 같은 내재적 요인

과 어두운 조명, 계단, 장애물과 같은 외재적 요인으로 분류된다(Fumio, 2001). 일반적으로 외재적 요인보다 내재적 요인에 의한 낙상 발생 빈도가 높은 것으로 보고되고 있다(Kim, 1998; Sohng, Moon, & Lee, 2004). 특히 내재적 요인 중에 부실한 자세 균형성과 근력 기능 저하는 낙상 발생에 크게 영향을 미치는 것으로 알려졌다(Tinetti, Speechley, & Ginter, 1988; Tinetti, Liu, & Claus, 1993). 이들 요인은 궁극적으로 보행 동작에 영향을 미치기 때문에 보행 낙상의 주요 변인으로 작용한다(Lee et al., 1996). 따라서 보행하는 능력은 다른 어떤 요인들보다 낙상을 예측하는데 더욱 중요한 요인으로 평가되고 있다(Hendrich, 2007).

그 동안 낙상의 원인을 찾기 위한 일환으로 균형성과 근 기능이 낙상에 미치는 영향을 살펴본 선행 연구들은 다수 존재한다. Fernie, Gryfe, Holliday, & Llewellyn (1982)는 1년에 한 번 이상의 낙상 경험을 가진 노인들과 비낙상 노인들 간의 신체 동요 평균 속도를 비교한 연구에서 낙상 노인들이 유의하게 컸다고 주장했다. Maki, Holliday, & Topper(1994)은 눈감은 직립 상태에서 신체의 좌우 흔들림 크기는 최근 낙상 경험이 없는 노인들 조차에서도 미래 낙상의 다소 정확한 요인이라고 주장했다. Melzer, Benjuya, & Kaplanski (2004)은 6개월 동안 두 번 이상 낙상을 경험한 노인들은 좁은 면적에서 직립 시 좌우 CoP (center of pressure) 흔들림이 크게 일어났다고 주장했다. 또한 Piirtola & Era (2006)는 눈을 감고 혹은 뜬 상태에서 정상적인 직립 자세를 취할 때 CoP의 좌우 움직임 평균 크기와 속도, 변위의 RMS (root mean square) 값은 미래 낙상 예측 인자라고 주장했다. 그 밖에 Melzer, Kurz, & Oddsson (2010)들은 직립 시 평균 좌우 CoP 흔들림 범위와 면적은 낙상자들이 큰 값을 보였다고 주장했으며, Ryu (2018)는 후향성 연구 방법을 통해 낙상자들은 비낙상자들보다 무릎 관절 내·외전 움직임의 국부적 안정성이 높다고 주장했다. 한편 Laughton et al. (2003)은 발을 넓게 벌려 직립한 상태에서 낙상자와 비낙상자 간의 자세 흔들림 차이는 없다고 보고했다.

노인들의 낙상 관련 근 기능을 연구한 선행 연구 또한 다수 존재한다. Benjuy, Melze, & Kaplanski (2004)은 직립 상태에서 젊은 사람과 노인들과의 하지 근들의 수축 상태를 관찰한 결과 노인들은 발목 관절을 감싸는 근 공조 활동 수준이 증가했다고 보고했다. Laughton et al. (2003)은 정적 직립 상태에서 전경골근, 가자미근, 외측광근, 대퇴이두근의 근전도 분석 결과 외측광근에서 비낙상자는 낙상자보다 크게 나타났고, 외측광근과 대퇴이두근의 동시 수축 지수는 낙상자 집단이 크게 나타났다고 보고했다. Ryu (2018)는 보행 시 전경골근의 근 활성화도는 낙상자 집단이 비낙상자 집단보다 적게 나타났으며, 비복근과 전경골근의 동시 수축 지수는 낙상자 집단이 비낙상자 집단보다 컸다고 주장했다.

이상에서 기술된 바와 같이 노인들의 낙상을 균형성과 근 기

능 측면에서 연구들이 수행되고 있지만, 경험적 증거가 약한 후향성 접근(Melzer et al., 2010)이 주류를 이루며, 또한 많은 연구가 직립 상태에서 살펴봤기 때문에 비교적 긴 보행 상태에서 동적 자세 조절 메카니즘을 강조한 지표 제공은 다소 부족한 실정이다.

따라서 낙상이 가장 많이 발생하는 활동 중 하나인 보행(Prudham & Evans, 1981; Kim & Lee, 2006; Kim, 2003) 시 낙상에 영향을 미치는 균형성 요인과 근 기능 관련 요인들을 비교적 낙상의 경험적 증거가 강한 전향적 연구 설계를 통해 분석하는 것은 낙상 예방과 노인 건강관리를 위해 필요한 연구이다(Melzer et al., 2004).

이에 본 연구는 전향성 연구 설계를 통해 남성보다 비교적 낙상에 쉽게 노출되는 여성 노인들을 대상(Jeon, Jeong, & Choe, 2001)으로 신체 균형성에 의해 유지되는 관절의 안정성과 근 기능을 낙상자와 비낙상자들을 분석 비교해 보행 시 낙상의 원인을 운동역학적으로 규명하고자 했다. 이를 위해 다음과 같은 구체적인 변인에 대해 관심을 가졌다. 첫째, 낙상자와 비낙상자 간의 무릎 관절과 발목 관절의 근력의 특성 비교, 둘째, 보행 시 하지의 주요 근들에 대해 근 활성 크기와 동시 수축 양상 관찰, 셋째, 엉덩, 무릎, 발목 관절의 각 변위에 대한 동적 국부 안정성을 살펴보았다.

METHOD

1. 대상자

본 연구 대상자는 총 40명의 여성 노인들로 이루어졌다. 이들을 대상으로 자료를 수집해 선정된 변인을 산출한 후 6개월 간 낙상 여부를 확인한 다음(Tinetti, et al., 1993) 낙상 집단과 비낙상 집단으로 분류했다. 그 결과 6개월 간 낙상 경험을 가진 4명을 낙상 집단(평균연령=74.5±5.2 yrs; 평균신장=152.1±5.6 cm; 평균체중=55.3±5.4 kg; 선호보행속도=1.19±0.06 m/s)으로, 나머지 36명을 비낙상 집단(평균연령=74.2±3.09 yrs; 평균신장=153.6±4.9 cm; 평균체중=56.7±6.4 kg; 선호보행속도=1.24±0.10 m/s)으로 구분했다. 본 연구에 참여한 모든 대상자는 시각과 전정기관에 이상이 없는 노인들로 서울 소재 노인정에서 동원했다. 연구에 참여하기 전 모든 참여자들은 대학 생명 윤리위원회에서 제안한 내용에 동의를 한 후 연구에 참여했다.

2. 자료 수집

본 연구에서는 무릎 관절의 최대 굴·신력, 발목 관절의 최대 굴·신력, 보행 시 하지 근의 근 활동 양상과 하지 관절의 국부적 안정성을 산출하기 위한 자료를 수집했다(Figure 1).



Figure 1. Scene of experiment for strength (left) and gait test (right).

근력 검사는 HUMAC NORM (CSMi, Stoughton, MA, USA)을 이용해 무릎과 발목 관절 근력을 측정했다. 무릎 관절의 신 근력 측정은 무릎 관절의 상대각이 90도인 상태를 기준각인 0도로 해서 70도까지 신전했을 때 최대 토크 값을 수집했으며, 무릎 관절의 굴 근력 측정은 이들 범위(70도)에서 반대 방향으로 굴곡할 때 최대 토크를 측정했다. 발목 관절의 신 근력은 발목의 상대각이 70도에서 굴곡해 110도까지 저축 굴곡 시 최대 토크 값을 측정했으며, 발목관 절의 굴 근력은 이들 범위(40도)에서 반대 방향으로 배축 굴곡할 때 측정했다. 모든 측정은 두 번씩 실시해 최대값을 활용했다(Dennis et al., 2016).

하지 관절의 국부적 안정성을 산출하기 위해 필요한 3차원 운동학적 자료는 전상장골극(ASIS), 후상장골극(PSIS), 천골, 대퇴의 근위 외측, 대퇴의 가운데 앞쪽, 대퇴의 원위 외측, 하퇴 근위 외측, 가운데 경골 능선, 하퇴 원위 외측, 신발 힐 후방, 외측과, 5번째 중족골두 등에 부착한 총 12개의 반사 마커들에 대해 수집되었다. 이들 마커들에 대한 좌표를 얻기 위해 6대의 적외선 카메라(Oqus 300, Qualisys, Switzerland)를 활용했다. 전역 좌표는 4개의 마커를 갖고 있는 L자 모양의 프레임을 트레드밀(treadmill) 후방 오른쪽에 놓아 구축했으며, 이때 축 방향은 상방 수직 쪽을 +Z, 운동 방향 쪽을 +Y, +Y에서 +Z 방향으로 크로스(cross)한 쪽을 +X 축으로 설정했다. 신체 마커에 대한 지역 좌표축 x, y, z는 전역 좌표와 동일한 방향으로 설정했다(Ryu, 2017a).

또한 보행 시 하지 근의 활성도와 동시 수축 지수를 살펴보기 위해 무선 EMG (zero-wire, Aurion, Italy)의 표면전극을 비복근(gastrocnemius: GA), 전경골근(anterior tibials: AT), 대퇴이두근(biceps femoris: BF), 대퇴직근(rectus femoris: RF)에 부착했다. 전극을 부착하기 전 부착 위치에 제모를 한 다음, 피부 저항을 줄이고 전극의 접착성을 높이도록 알코올 솜으로 닦은 다음 전극을 근육 결과 같은 방향으로 근육(belly)에 부착했다.

자료 수집은 대상자들이 평소 평지에서 걷고 있는 선호 속도로 트레드밀(instrumented dual belt treadmills, Bertec, USA) 보행할 때 완전한 보행 패턴이라고 여겨진 순간 대상자들이 인지하지 못한 상태에서 최소 20스트라이드(40스텝)에 대해 이루어졌다. 자료는 카메라 100 Hz, 근전도 1,000 Hz의 샘플링율로 동시 수집되었다. 대상자들의 평지 보행 선호 속도는 15 m 보행 거리를 평소 속도로 걷도록 한 후 중간 10 m 구간을 구간 속도 측정기(speed time measurement system: SR-200, Seed Technology, Korea)를 이용해 측정했다. 이를 3회 반복해 평균값을 각 대상자들의 선호 속도로 선정했다. 실제 보행에 앞서 마커 위치들이 기준이 되는 중립적인 자세를 설정하기 위해 모든 대상자들이 어깨 넓이로 발을 벌리고, 무릎과 엉덩 관절은 완전하게 신전되고, 발목 관절은 대략 90도를 유지한 직립 상태에서 2초 동안 운동학적 자료를 수집했다(Ryu, 2017b; Park & Ryu, 2018). 근전도 자료를 표준화하기 위한 기준 수축(RVC: reference voluntary contraction)은 각 대상자 선호 보행 속도의 30% 빠른 보행에서 동일한 근에 대해 수집했다. 자료 수집에 앞서 모든 대상자는 트레드밀 보행 상황에 완전하게 적응할 때까지 충분한 연습(warm-up) 시간을 가졌다(Ryu, 2018).

3. 자료 분석

본 연구에서 측정된 무릎과 발목 관절의 굴·신력은 체중으로 표준화했으며, 또한 이들 근력의 비율은 굴 근력을 신 근력으로 나누어 산출했다. 하지 분절에 부착된 마커들의 3차원 좌표를 이용해 엉덩 관절, 무릎 관절, 발목 관절의 3차원 각 변위는 관절 좌표계(joint coordinate system)를 이용해(Hamill & Ryu, 2003) 오른쪽 하지 20 스트라이드에 대해 계산했으며, 이들 3차원 각 운동의 국부적 안정성을 살펴보기 위해 Lyapunov Exponent (LyE)를 산출했다. 구체적인 절차와 방법은 선행 연구를 활용했다(Ryu, 2018). LyE의 양의 값은 국부 불안정성을 나

타내고, 보다 큰 값은 보다 큰 국부 동요를 의미한다.

근전도 신호는 우선 네 부위 근의 기준 수축(RVC) 근전도 자료와 실제 선호 보행 시 얻은 자료를 4차 bandpass (20~450 Hz)를 실시한 후, 10과 15스트라이드 구간의 오른발 지지 구간에서 RMS (root mean square)을 산출해 평균했다. 선호 속도 보행 시 선정된 네 부위의 근 활성도는 각각 기준 수축 근 전도에서 얻은 값으로 표준화해 나타냈다. 동시 수축 지수(co-contraction index: CI) 산출은 선호 속도 보행 시 근전도 신호를 정류시켜 6 Hz로 저역 필터링해서 선형 포락(linear envelope)을 얻은 다음(Kellis, Arabatzis, & Papadopoulos, 2003) 보행 지지 구간에서 근들이 주동근 혹은 길항근 작용을 구분하지 않고, 관절의 안정성을 조절하기 위해 활동하는 해부학적이고 기능적인 측면에 방점을 두어 아래 공식을 활용해 산출했다(Kellis et al., 2003). 즉 BF와 GA는 일반적으로 안정근으로 고려되고, 반면에 RF와 TA는 단축이든 신전이든 무릎과 발목 운동에 대한 주요 힘을 제공하는 것으로 고려되었다(Ryu, 2018).

$$CI_{BF} = \frac{\int_{t_1}^{t_2} EMG_{BF}(t)dt}{\int_{t_1}^{t_2} [EMG_{RF} + EMG_{BF}](t)dt} \times 100$$

$$CI_{GA} = \frac{\int_{t_1}^{t_2} EMG_{GA}(t)dt}{\int_{t_1}^{t_2} [EMG_{TA} + EMG_{GA}](t)dt} \times 100$$

여기서 t_1 = 착지 순간, t_2 = 이지 순간을 나타낸다. 이 공식에서 CI는 움직임 시 총 활성에 BF 혹은 GA 공헌의 상대적 양을 제공한다. CI는 0에서 100%로 나타냈고, 100%는 완전한 동시 수축을 의미 한다(Ryu, 2018).

4. 통계 처리

낙상 집단과 비낙상 집단 간의 산출된 변인들의 차이를 규명하기 위해 근력, 근 활성도, 동시 수축 지수 값들은 모수치 통계 기법을 활용했으며, 비선형 방법에 의해 산출된 LyE 값은 개인의 독특한 특성이 반영된 등간 척도로 인해 정규성을 이룬다고 가정할 수 없어(Ryu, 2017b) 비모수 통계 기법을 활용했다. 이에 두 집단 간 근 활동 전위와 CI 값의 차이를 보기 위해 paired *t* 검정을 실시했으며, 두 집단 간 LyE 차이 검정은 비모수 Mann-Whitey test를 통해 실시했다(Ryu, 2018). 모든 통계적 유의수준의 임계치는 5%로 설정했다.

RESULTS

낙상 집단 중 한 개인의 20 활보장(stride) 대한 하지 관절들의 3차원 각 변위는 (Figure 2)와 같고, 비낙상 집단의 한 개인의 RF, BF, AT, GA 근들의 근전도 신호는 (Figure 3)과 같다. 두 집단별 무릎과 발목 관절의 굴·신력의 크기와 구성비, 이들에 대한 통계적 결과는 (Table 1)과 같다. 또한 두 집단 간 하지 관절인 무릎과 발목 관절의 3차원 각 변위에 대한 동적 국부 안정성을 관찰하기 위해 이용된 LyE 결과 치와 이에 대한 통계

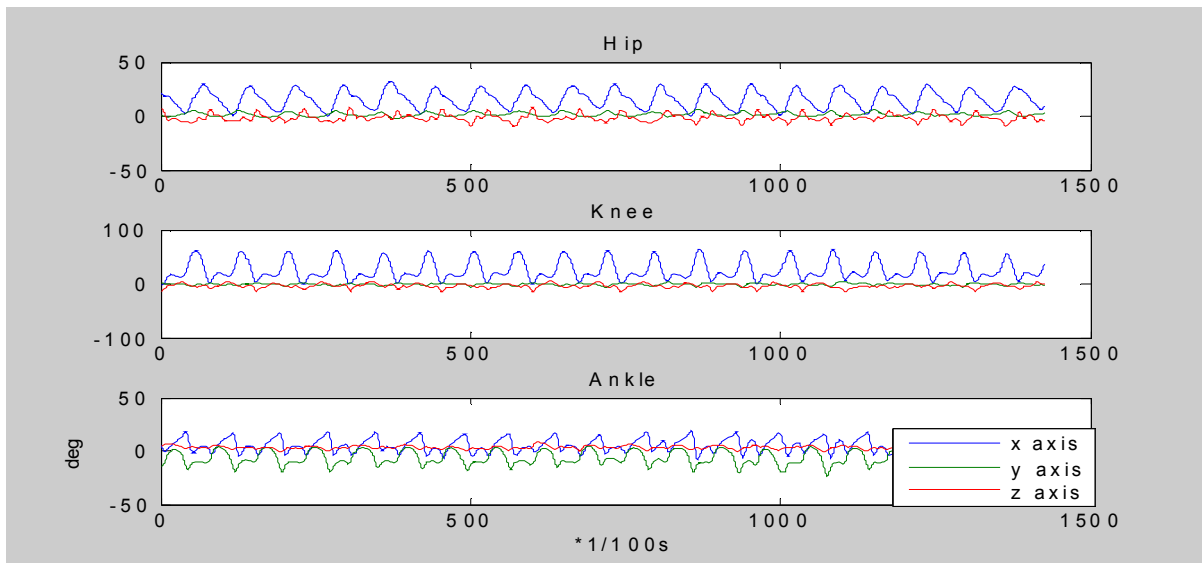


Figure 2. Example of 3-dimensional hip (top), knee (middle), and ankle joint (lower) for an individual of the fallers.

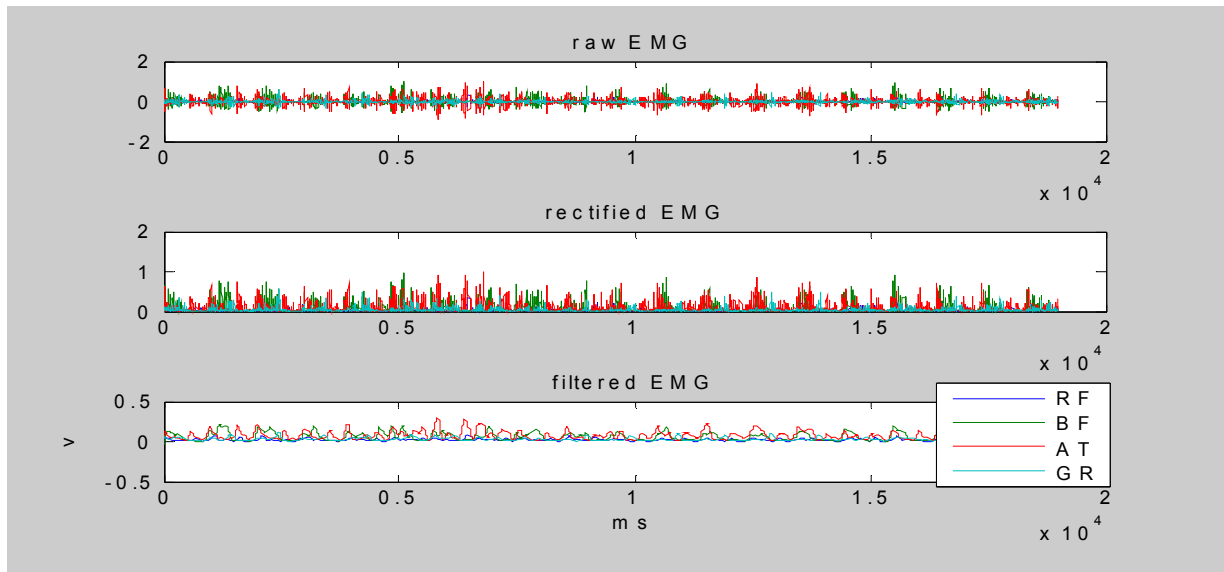


Figure 3. Example of raw EMG (top), rectified EMG (middle), filtered EMG signals (lower) of BF, RF, AT, GA for an individual of non-fallers.

Table 1. Peak torque of the knee and ankle joints and their statistic test results between falls and non-falls group

	Knee						Ankle					
	Ext./B.W		Fle./B.W.		Fle./Ext. (%)		Ext./B.W.		Fle./B.W.		Fle./Ext. (%)	
	Fall	Non	Fall	Non	Fall	Non	Fall	Non	Fall	Non	Fall	Non
Mean	97	117	40	57	42	49	52	68	25	26	50	43
Std.	13	28	17	16	17	11	9	23	3	6	4	15
<i>p</i>	0.180		0.071		0.250		0.205		0.701		0.382	

적 결과는 (Table 2)와 같으며, 이들 낙상과 비낙상 집단에 대한 RF, BF, AT, GA 근육들의 활성 비와 CI 값과 이들에 대한 통계적 결과치들은 (Table 3)와 같다.

낙상 집단과 비낙상 집단 간 무릎 관절과 발목 관절의 모멘트를 비교한 결과 무릎 관절의 경우 체중 당 최대 굴신 모멘트는 비낙상자 집단이 컸으나 통계적으로 유의한 차이는 보이지 않았다. 또한 최대 신전 모멘트에 대한 최대 굴곡 모멘트의 비율에서도 비낙상 집단이 49%로 낙상 집단의 42%보다 컸으나 유의한 차이는 보이지 않았다. 발목 관절의 체중 당 최대 신전 모멘트와 최대 굴곡 모멘트 모두 비낙상 집단이 컸으나, 의미 있는 차이는 보이지 않았다. 발목 관절의 최대 신전 모멘트에 대한 최대 굴곡 모멘트는 낙상 집단이 50%로 비낙상 집단의 43%보다 컸으나 역시 통계적으로 유의한 결과를 보이지 않았다.

보행 시 낙상 집단과 비낙상 집단 간 하지 관절의 국부적 안

정성을 관찰하기 위해 LyE를 분석한 결과 발목 관절의 저·배측 굴곡, 내·외반, 내·외전과 무릎 관절의 굴신, 내·외측 회전 움직임 및 엉덩 관절의 굴신, 내·외전, 내·외측 회전에서는 두 집단 간 통계적으로 유의한 차이는 보이지 않았으나 무릎의 내·외전 움직임에서는 낙상 집단이 비낙상 집단보다 중앙값이 52% 정도 커 통계적으로 유의한 결과를 나타냈다($p=0.009$).

보행 시 무릎 관절을 중심으로 종아리의 굴신에 작용하는 대퇴직근과 대퇴이두근과 발목 관절을 중심으로 발 분절의 저측 굴곡에 작용하는 비복근의 근 활성도 비율은 낙상 집단과 비낙상 집단 간 유의한 차이는 보이지 않았다. 또한 대퇴직근과 대퇴이두근의 동시 수축 비율은 낙상 집단이 비낙상 집단보다 약 6% 큰 값을 보였으나, 두 집단 간 유의한 차이는 없었다. 전경골근과 비복근의 동시 수축 비율 또한 두 집단 간 통계적으로 유의한 차를 보이지 않았다.

Table 2. LyE values of the ankle, knee, and hip joint and their statistic test results between falls and non-falls group

Joints	Movement	Group	Median	IQR	<i>p</i>
Ankle	Fle./Ext. (x)	F	1.175	0.280	0.8041
		Nf	1.125	0.375	
	Inv./Eve. (y)	F	1.035	0.275	0.684
		Nf	1.040	0.325	
	Add./Abd. (z)	F	1.165	0.365	0.588
		Nf	1.015	0.410	
Knee	Fle./Ext. (x)	F	1.410	0.215	0.090
		Nf	1.235	0.365	
	Add./Abd. (y)	F	1.450	0.505	0.009
		Nf	0.950	0.320	
	Int./Ext. (z)	F	0.815	0.940	0.684
		Nf	0.875	0.420	
Hip	Fle./Ext. (x)	F	1.345	0.440	0.183
		Nf	1.160	0.400	
	Add./Abd. (y)	F	1.080	0.745	0.101
		Nf	1.040	0.400	
	Int./Ext. (z)	F	0.730	0.530	0.928
		Nf	0.805	0.230	

IQR: inter-quartile range

Table 3. Peak torque of the knee and ankle joints and their statistic test results between falls and non-falls group

	Thigh						Shank					
	RF (%)		BF (%)		CI		TA (%)		GA (%)		CI	
	Fall	Non	Fall	Non	Fall	Non	Fall	Non	Fall	Non	Fall	Non
Mean	79.9	75.9	73.2	77.4	60.2	56.8	81.9	80.8	69.0	77.7	53.7	54.5
Std.	18.2	23.0	28.2	23.5	13.5	11.9	25.7	22.3	25.1	17.4	13.9	10.1
<i>p</i>	0.737		0.741		0.596		0.922		0.373		0.893	

DISCUSSION

본 연구는 여성 노인들을 대상으로 낙상의 원인을 운동역학적으로 규명하고자 비교적 낙상의 경험적 증거가 강한 전향성 연구 설계 방법을 통해 낙상자와 비낙상자의 근력과 보행 시 하지 관절의 국부적 안정성과 근 활성 상태를 분석 비교했다.

노인들에게서 하지 근력은 보행 능력, 균형 능력과 높은 상관관계가 있는 것으로 보고되고 있다(Wolfson, Judge, & Whipple,

1995). 하지 근력의 저하는 균형 장애와 걸음걸이 장애가 일어나고 이는 결과적으로 주요한 낙상 위험 요인으로 작용한다고 알려졌다(Rubenstein & Josephson, 2002). 본 연구 결과 낙상 집단과 비낙상 집단 간 체중 당 무릎과 발목 관절의 굴곡과 신전 최대 토크는 유의한 차이는 보이지 않았다. Bento, Pereira, Ugrinowitsch, & Rodacki (2010)은 무릎 굴곡 근의 토크 발휘 비는 낙상자들 보다 비낙상자들이 컸다고 보고했다. Wolfson et al. (1995)과 Whipple, Wolfson, & Amerman (1987)은 낙상자들

의 무릎과 발목 근력은 비낙상자들보다 유의하게 낮은 것으로 확인했고, 특히 발목은 가장 크게 감소한 것으로 보고했다. 또한 Jennifer & Nancy (2004)은 낙상을 예방하기 위한 효율적인 힘 생성과 균형 전략을 실행할 수 있기 위해서는 적절한 발목 가동 범위뿐 만 아니라 족저 굴곡력과 배측 굴곡력의 유지가 필요하다고 보고하고 있다. 그 외 Kesher, Allum, & Honegger (1993)는 발등 쪽의 굴곡 근이 약하면 고령자의 균형성 유지 능력은 크게 감소된다고 보고하였다. 이와 같이 선행 연구에서 낙상 발생을 판단할 만한 하지의 근력의 특성과 낙상자와 비낙상자 간 무릎과 발목의 근력 차이를 보고하고 있지만, 본 연구에서는 무릎과 발목 관절의 굴신 근력 크기는 비낙상자가 낙상자 집단보다 큰 경향을 보였지만 선행 연구를 지지할 만한 유의한 결과는 확인되지 않았다. 이는 실험 설계에 따른 샘플 수의 차이, 낙상의 증거 확보 차이 등에 따른 결과라 추측된다. 본 연구 결과 낙상 집단과 비낙상 집단 간 하지 근력 차이는 확인되지 않았지만, 걷기에 필수적인 노인들의 하지 근력 증진을 위한 활동들은 낙상 예방을 위해 매우 중요하다고 판단된 바(Kim, 2003) 다수의 대상자를 고려한 심도 있는 후속 연구가 필요할 것으로 본다.

이동 운동 시 나타나는 동적 국부 안정성은 적은 동요에 대한 시스템의 민감도로 정의된다(Dingwell, Cusumano, Sternad, & Cavanagh, 2000). 하지 관절의 3차원 움직임에 대한 국부적 안정성을 LyE를 통해 살펴본 본 연구 결과 엉덩, 발목, 무릎 관절의 굴신, 내·외측 회전 방향에서는 두 집단 간 유의한 차이는 보이지 않았으나, 무릎 관절의 내·외전 방향에서는 낙상 집단이 비낙상 집단보다 불안정한 움직임을 보였다. 이는 낙상자 집단이 무릎 관절의 내·외측 움직임이 비낙상 집단보다 경직되어 안정된 상태에서 보행하는 능력이 떨어진 결과 운동 조절 손실이 발생해 나타나는 현상으로 판단된다. 낙상을 초래할 수 있는 자세의 불안정성은 균형 감각을 회복할 수 있는 노인들의 능력과 깊은 상관관계가 있다고 볼 때(Owings, Pavol, Foley, & Grabiner, 2000), 보행 시 무릎 관절의 내·외전 방향에서 국부적 안정성이 낮은 낙상 집단이 무릎 균형 감각이 떨어져 헛디딤, 미끄러짐, 낙상 등의 잠재적 발생 확률이 클 것으로 예측된다(Maki, 1997; Hausdorff, Rios, & Edelberg, 2001; Verghese, Holtzer, Lipton, & Wang, 2009). 그 동안 몇몇 연구들은 보행 시 노인과 젊은 사람들의 안정성을 관찰해 비교한 결과 노인들이 상대적으로 떨어지는 것은 가령으로 인한 낙상의 한 이유로 간주했다. Hausdorff et al. (2001)은 보행 시 스트라이드 시간 variability는 젊은 사람에 비해 노인들이 유의하게 증가했다고 보고했으며, 이것은 낙상 노인들 집단에서 단연 컸다고 주장했다. Maki (1997)은 몇몇 보행 파라미터의 variability 증가는 노인들의 낙상 위험 증가와 관련 있다고 주장했으며, 이것은 낙상 노인들 집단에서 단연 컸다고 주장했다. Buzzi, Stergiou, Kurz, Hageman, & Heidel (2003)은 노인들은 이

동 운동 시 자연적인 스트라이드 대 스트라이드 변화를 보상하기 위해 국부적인 불안 증가가 있었으며, 이는 가령에 의한 낙상의 한 원인이라고 가정했다. Bizovska, Svoboda, Janura, & Bisic (2018)은 노인들의 낙상 발생이 증가하면 국부적 안정성은 감소한다고 보행 시 몸통 좌우 가속도로부터 계산된 LyE를 통해 규명했다. 분석 방법과 분석 변인들은 다르지만 본 연구는 낙상자들과 노인들은 국부적 안정성이 낮다는 상기 선행 연구 결과와 일치했다. 그러나 연약하고 병적인 사람들은 오히려 국부적 안정성이 높다는 일부 선행 연구들의 주장과는 (Dingwell & Cusumano, 2000; Chiu & Chou, 2013; Ryu, 2018) 배치된 결과이다. 고로 분석 방법, 대상자 특성, 낙상 빈도 수, 분석 변인 등을 고려한 심도 있는 실증적 연구가 향후 필요할 것으로 판단된다. 특히 무릎의 내·외전에 작용하는 고관절의 내·외전근 특성과 동적 국부적 안정성과의 관계를 규명할 연구의 필요성을 제안한다.

노인은 나이가 들어감에 따라 점진적으로 근섬유가 감소되어 근 수축력이 저하되고 운동 범위가 축소된다(Fontera, Meredith, & O'Reilly, 1989). 이런 현상이 낙상자들에서 더 심화되는 것을 보기 위해 보행 시 대퇴의 대퇴직근과 대퇴이두근, 하퇴의 비복근과 전경골근 등의 근 활성도를 분석한 본 연구 결과 낙상과 비낙상 집단 간 유의한 차이는 확인되지 않았다. Ryu (2018)는 후향성 연구 설계 방법을 이용해 보행 시 발목 관절을 중심으로 발 분절의 배측 굴곡에 작용하는 전경골근의 근 활성도 비율은 비낙상 집단이 낙상 집단보다 통계적으로 높게 나타났다고 주장했지만, 본 연구에서는 확인되지 않았다. 선행 연구와의 다른 결과는 실험 설계에 따른 낙상자의 샘플 수, 낙상 빈도, 대상자들의 연령 등 여러 요인들의 차이로 나타난 결과로 보여진다.

활동 상태에서 근 공조 활동이 증가하는 것은 근이 허약한 조건에서 안정성을 증가시키기 위한 시도이다(Laughton et al., 2003). 대퇴직근과 대퇴이두근의 동시 수축 지수와 전경골근과 비복근의 동시 수축 지수는 낙상 집단이 비낙상 집단보다 컸으나 역시 의미 있는 차이는 보이지 않았다. 이 또한 Ryu (2018)의 후향성 연구에서 주장한 대퇴직근과 대퇴이두근의 동시 수축 비율은 두 집단 간 유의한 차이를 보이지 않았다는 내용과는 일치하지만, 전경골근과 비복근의 동시 수축 비율은 낙상 집단이 비낙상 집단보다 크게 나타났다는 Ryu (2018)의 결과와는 일치하지 않았다. 이와 같은 차이는 연구 설계에 따른 낙상자의 확보 방법이 주된 원인 아닌가 판단된다. 전향성 연구 설계는 후향성 연구 설계보다 낙상 판단의 경험적 증거가 강한 반면에 비교적 건강한 노인들로부터 낙상자들을 추출해 내기 때문에 제한된 시간 내 다수의 대상자를 확보하기가 어려운 문제점이 있다(Melzer et al., 2010). 이로 인해 통계적 처리의 한계와 결과의 일반화에 문제가 있다 할 수 있다. 본 연구에서도 매년 65세 이상 노인들은 적어도 30%의 낙상 경험이

있다는 연구보고에 기초해(Tinetti et al., 1993) 6개월 동안 적어도 6명 이상 낙상자들을 기대했지만, 낙상 경험자들은 4명에 불과했다. 이런 점을 고려해 향후 많은 노인을 대상으로 사전 관찰의 필요성이 요구된다.

CONCLUSION

본 연구는 여성 노인들을 대상으로 전향성 연구 설계를 통해 낙상 집단과 비낙상 집단 간 하지 근력 특성과 하지 관절의 국부적 안정성 및 근 수축 양상을 밝혀 낙상의 원인을 운동역학적으로 규명하고자 시도한 연구로 다음과 같은 결론을 얻었다.

본 연구 결과 보행 시 무릎 관절의 내·외전 움직임의 국부적 안정성이 낙상자 집단이 낮게 나타난 결과로 볼 때 낙상 예방을 위한 안정된 보행을 위해서는 무릎의 내·외전 동작에 작용하는 고관절의 내전 근육인 내전근 복합체와 고관절의 외전 근육인 중둔근, 대둔근들의 근력과 기능 강화 등에 관심을 가질 필요가 있다고 판단된다. 다만 본 연구 결과의 일반화를 위한 신뢰성을 확보하기 위해서는 낙상자 샘플 수, 낙상 빈도, 대상자 연령 등을 고려한 심도 있는 연구의 필요성이 요구된다.

ACKNOWLEDGEMENT

이 논문은 2017년 대한민국 교육부와 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2017S1A5A2A01024183).

REFERENCES

- American Geriatrics Society, British geriatrics Society, American Academy of Orthopaedic Surgeons Panel on Falls Prevention (2001). Guideline for the prevention of falls in older person. *Journal of American Geriatrics Society*, 49, 664-672.
- Benjuy, N., Melze, I. & Kaplanski, J. (2004). Aging-induced shifts from a reliance on sensory input to muscle cocontraction during balanced standing. *The Journals of Gerontology. Series A, Biological Sciences and Medical Sciences*, 59(2), 166-171.
- Bento, P. C. B., Pereira, G., Ugrinowitsch, C. & Rodacki, A. L. F. (2010). Peak torque and rate of torque development in elderly with and without fall history. *Clinical Biomechanics*, 25, 450-454.
- Berry, S. D., & Miller, R. R. (2008). Falls: Epidemiology, pathophysiology, and relationship to fracture. *Current Osteoporosis Reports*, 6(4), 149-154.
- Bizovska, L., Svoboda, Z., Janura, M. & Bisic, M. C. (2018). Local dynamic stability during gait for predicting falls in elderly people: A one-year prospective study. *PLOS ONE*, 13(5), e0197091.
- Buchner, D. M., Cress, M. E., de Lateur, B. J., Esselman, P. C., Margherita, A. J., Price, R. & Wagner, E. H. (1997). The effects of strength and endurance training on gait, balance, fall risk, and health services use in community-living older adults. *The Journal of Gerontol*, 52(4), 218-224.
- Buzzi, U. H., Stergiou, N., Kurz, M. J., Hageman, P. A. & Heidel, J. (2003). Nonlinear dynamics indicates aging affects variability during gait. *Clinical Biomechanics*, 18, 435-443.
- Chiu, S. L. & Chou, L. S. (2013). Variability in inter-joint coordination during walking of elderly adults and its association with clinical balance measures. *Clinical Biomechanics*, 28, 454-458.
- Dennis, D. A., Kittelson, A. J., Yang, C. C., Miner, T. M., Kim, R. H. & Stevens-Lapsley, J. E. (2016). Does tourniquet use in the affect recovery of lower extremity strength and function? A randomized trial. *Clinical Orthopaedics and Related Research*, 474, 69-77.
- Dingwell, J. B. & Cusumano, J. P. (2000). Nonlinear time series analysis of normal and pathological human walking. *Chaos*, 10(4), 848-863.
- Dingwell, J. B., Cusumano, J. P., Sternad, D. & Cavanagh, P. R. (2000). Slower speeds in patients with diabetic neuropathy lead to improved local dynamic stability of continuous over-ground walking. *Journal of Biomechanics*, 33, 1269-1277.
- Fernie, G. R., Gryfe, C. I., Holliday, P. J. & Llewellyn, A. (1982). The relationship of postural sway in standing to the incidence of falls in geriatric subjects. *Age Ageing*, 11, 11-16.
- Fontera, W. R., Meredith, C. N. & O'Reilly, K. P. (1989). Strength conditioning in older men skeletal muscle hypertrophy and improved function. *Journal of Applied Physiology*, 64, 1044-1089.
- Hamill, J. & Ryu, J. (2003). Experiment in sport biomechanics. *Daehanmedia*, 111-121.
- Hausdorff, J., Rios, D. & Edelberg, H. (2001). Gait variability and fall risk in community-living older adults: a 1-year prospective study. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 82, 1050-1056.
- Hendrich, A. (2007). Predicting patient falls. *American Journal of Nursing*, 107(11), 50-58.
- Jennifer, C. N. & Nancy, L. C. (2004). The efficacy of a specific balance-strategy training programme for preventing falls

- among older people: A pilot randomized controlled trial. *Age and Aging*, 33(1), 52-58.
- Jeon, M. Y., Jeong, H. C. & Choe, M. A. (2001). A study on the elderly patients hospitalized by the fracture from the fall. *Korean Academy of Nursing*, 31(3), 443-453.
- Kellis, E., Arabatzi, F. & Papadopoulous, C. (2003). Muscle co-activation around the knee in drop jumping using the co-contraction index. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 13(3), 229-238.
- Keshner, E. A., Allum, A. H. & Honegger, F. (1993). Predictors of less stable postural responses to support surface rotations in healthy human elderly. *Journal of Vestibular Research*, 3, 419-429.
- Kim, C. K. (2003). An analysis of fall incidence rate and the related factors of fall in hospitalized patients, Seoul National University, Graduate School, Nursing, Thesis.
- Kim, M. S. & Lee, E. N. (2006). A literature review of exercise intervention for falls prevention in the elderly. *Journal of Muscle and Joint Health*, 13(1), 7-19.
- Kim, W. O. (1998). The literature review for fall in the elderly. *The Korean Journal of Rehabilitation Nursing*, 1(1), 43-50.
- Laughton, C. A., Slavin, M., Katdare, K., Nolan, L., Bean, J. F., Kerrigan, D. C., ... & Collins, J. J. (2003). Aging, muscle activity, and balance control: physiologic changes associated with balance impairment. *Gait Posture*, 18(2), 101-108.
- Lee, D. C., Oh, B. H., Lee, H. R., Sim, J. Y., Kim, D. H. & Too, K. J. (1996). Depression in relation to fall, urinary incontinence and sleep disturbance in elderly. *Journal Korean Academy of Family Medicine*, 17(5), 285-292.
- Maki, B. E. (1997). Gait changes in older adults: Predictors of falls or indicators of fear? *Journal of the American Geriatrics Society*, 45, 313-320.
- Maki, B. E., Holliday, P. J. & Topper, A. K. (1994). A prospective study of postural balance and risk of falling in an ambulatory and independent elderly population. *The Journal of Gerontology*, 49, 72-84.
- Masud, T. & Morris, R. O. (2001). Epidemiology of falls. *Age Aging*, 30(Suppl. 4), 3-7.
- Melzer, I., Benjuya, N. & Kaplanski, J. (2004). Postural stability in the elderly: a comparison between fallers and non-fallers. *Age and Ageing*, 33(6), 602-607.
- Melzer, I., Kurz, I. & Oddsson L. I. E. (2010). A retrospective analysis of balance control parameters in elderly fallers and non-fallers. *Clinical Biomechanics*, 25, 984-988.
- Owings, T. M., Pavol, M. J., Foley, K. T. & Grabiner, M. D. (2000). Measures of postural stability are not predictors of recovery from large postural disturbances in healthy older adults. *Journal of the American Geriatrics Society*, 48, 42-50.
- Park, S. K. & Ryu, J. S. (2018) The relationship between impact peak force and lower extremity kinematics during treadmill running. *Korean Journal of Sports Biomechanics*, 28(3), 159-164.
- Piirtola, M. & Era, P. (2006). Force platform measurements as predictors of falls among older people - a review. *Gerontology*, 52 (1), 1-16.
- Prudham, D. & Evans, J. G. (1981). Factors associated with falls in the elderly: a community study. *Age and Ageing*, 10, 141-146.
- Rubenstein, L. Z. & Josephson, K. R. (2002). The epidemiology of falls and syncope. *Clinics in the Geriatric Medicine*, 18, 141-158.
- Ryu, J. S. (2017a). Lower extremities' joint stability during the elderly woman's walking. *Korean Sport Biomechanics*, 27(1), 45-51.
- Ryu, J. S. (2017b). Relationship between CoP and local stability of the lower joint during walking in the elderly women. *Korean Sport Biomechanics*, 27(2), 133-140.
- Ryu, J. S. (2018). Effects of muscle activation pattern and stability of the lower extremity's joint on falls in the elderly walking-retrospective-. *The Korean Journal of Physical Education*, 57(3), 345-356.
- Sohng, K. Y., Moon, J. S. & Lee, K. S. (2004). Prevalence and associated factors of falls among people with Parkinson's disease. *Journal of Korean Academy of Nursing*, 34(6), 1081-1091.
- Tinetti, M. E., Liu, W. L. & Claus, E. B. (1993). Predictors and prognosis of inability to get up after falls among elderly persons. *The Journal of the American Medical Association*, 269(1), 65-70.
- Tinetti, M. E. & Speechley, M. (1989). Prevention of the falls among the elderly. *The New England Journal of Medicine*, 320(16), 1055-1059.
- Tinetti, M. E., Speechley, M. & Ginter, S. F. (1988). Risk factors for falls among elderly persons living in the community. *New England Journal of Medicine*, 319(26), 1701-1707.
- Verghese, J., Holtzer, R., Lipton, R. B. & Wang, C. (2009). Quantitative gait markers and incident fall risk in older adult. *Journal of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences*, 64A, 896-901s.
- Whipple, R. H., Wolfson, L. I. & Amerman, P. M. (1987). The rela-

tionship of knee and ankle weakness to falls in nursing home residents: an isokinetic study. *Journal of the American Geriatrics Society*, 35, 13-20.

Wolfson, L., Judge, J. & Whipple, R. (1995). Strengthening is a major factor in balance, gait and the occurrence of falls. *The Journals of Gerontology*, 50, 64-67.