

# Relationship between Strengths of the Lower Extremity's Joints and Their Local Dynamic Stability during Walking in Elderly Women

## 보행 시 여성 노인의 하지 관절 근력과 국부 동적 안정성과의 관계

Jiseon Ryu<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Motion Innovation Centre, Korea National Sport University, Seoul, South, Korea

<sup>2</sup>Department of Health and Exercise Science, Korea National Sport University, Seoul, South, Korea

Received : 04 February 2021

Revised : 02 March 2021

Accepted : 04 March 2021

### Corresponding Author

Jiseon Ryu

Motion Innovation Centre, Korea National Sport University, 1239, Yangjae, Songpa-gu, Seoul, 05541, South Korea

Tel : +82-2-410-6822

Fax : +82-2-410-6945

Email : jiseon@knsu.ac.kr

**Objective:** The objective of the present study was to analyze the relationship between strength of the lower extremity's joints and their local dynamic stability (LDS) of gait in elderly women.

**Method:** Forty-five elderly women participated in this study. Average age, height, mass, and preference walking speed were 73.5±3.7 years, 153.8±4.8 cm, 56.7±6.4 kg, and 1.2±0.1 m/s, respectively. They were tested torque peak of the knee and ankle joints with a Human Norm and while they were walking on a treadmill at their preference speed for a long while, kinematic data were obtained using six 3-D motion capture cameras. LDS of the lower extremity's joints were calculated in maximum Lyapunov Exponent (LyE). Correlation coefficients between torque of the joints and LyE were obtained using Spearman rank. Level of significance was set at  $p < .05$ .

**Results:** Knee flexion torque and its LDS was negatively associated with adduction-abduction and flexion-extension movement ( $p < .05$ ). In addition, ratio of the knee flexion torque to extension and LDS was negatively related to internal-external rotation.

**Conclusion:** In conclusion, knee flexion strength should preferentially be strengthened to increase LDS of the lower extremity's joints for preventing from small perturbations during walking in elderly women.

**Keywords:** Local dynamic stability, Peak torque, Locomotion, Lyapunov Exponent (LyE), Elderly women walking

## INTRODUCTION

하지와 체간부의 근력과 지구력은 60세 이후부터 급격히 감소되어 활동 능력을 저하시킨다. 특히 하지 근력이 약화되면, 보행 속도와 균형 형성이 떨어진다(Sohng & Moon, 2003). 노인들의 하지 근력은 보행 능력과 균형 능력에 영향을 미치기 때문에(Wolfson, Judge, Whipple & King, 1995) 근력 감소로 인한 근 기능 저하는 낙상 유발에 영향을 미친다(Tinetti, Speechley & Ginter, 1988). 노인들의 하지 근력의 약화로 인해 발생하는 낙상은 낙상 유경험과 균형성부족으로 인해 발생하는 빈도보다 더 높은 것으로 보고되고 있다(Gauchard, Gangloff, Jeanel & Perrin, 2003; Rao, 2005). 노인 낙상자 중 2회 이상의 낙상 경험이 있는 집단은 1회 혹은 낙상 경험이 없는 집단에 비해 근력이 상당히 부족한 것으로 나타났다(Choi, Lim & Jun, 2007). 근력 저하로 인한 노인 낙상의 기전은 노화 과정으로 인해 신경 전달 속도가 10~15% 정도 지연되어 근 수축 반응 시간이 길고(Smith & Gilligan, 1983), 점진적인

근 섬유 감소로 인해 근 수축력이 저하되기 때문인 것으로 알려졌다(Frontera, Meredith, O'Reilly, Knuttgen & Evans, 1988; Schlicht, Camaione & Owen, 2001; Ferine, Gryfe, Holiday & Liewellyn, 1982; Hausdorff et al., 1997).

그동안 노인들과 젊은 사람들 간의 비교 혹은 노인 낙상자와 비 낙상자들 간의 근 기능을 분석한 선행 연구들은 다수 존재한다. Hughes et al. (2001)은 종단적 연구를 통해 노인들의 근력을 살펴본 결과 노인들의 다리 근력 변화는 직접 근 질량과 관계가 있으나, 신체 활동 감소는 근력과 직접적인 관계가 없다고 보고했다. Benjuy, Melze & Kaplanski (2004)은 눈을 감고 뜬 두 가지 직립 상태에서 전경골근에 대한 가지미근의 근전도 비를 통해 발목 주변의 근의 공조를 분석한 결과 젊은 집단이 노인 집단보다 유의하게 증가했다고 주장했다. 근 기능과 노인 낙상과의 관계를 분석한 연구는 위에 언급한(Gauchard et al., 2003; Rao, 2005; Choi et al., 2007) 선행 연구 이외에 Laughton et al. (2003)은 근전도 분석을 통해 직립 상태에서 비 낙상자는 낙상자보

다 대퇴 이두근의 외측광근에서 근전도의 활동 전위가 크게 나타났고 보고했으며, 반면에 낙상자 집단은 외측광근과 대퇴이두근의 동시 수축 지수가 크다고 주장했다.

또한 Melzer, Benjuya & Kaplanski (2004)는 발목과 무릎 관절의 굴신 근력은 낙상자와 비 낙상자 간 차이가 없었다고 주장했고, Skelton et al. (2002)은 낙상 경험 여성은 낙상 비 경험 여성보다 체중으로 표준화한 발목 굴신을 제외하고 다른 관절에서는 차이가 없다고 보고했다. 그 밖에 Whipple et al. (1987)과 Wolfson et al. (1995)은 낙상자들의 무릎과 발목 관절 근력은 비 낙상자들보다 유의하게 낮다고 밝혔고, Persch, Ugrinowitsch, Pereira & Rodacki (2009)은 하지 근력 훈련은 낙상 관련 보행 운동학적 변인들을 증가시켰다고 보고했다. Ryu (2018)는 보행 시 낙상자 집단은 비 낙상자 집단보다 전경골근의 근 활성도가 뚜렷하게 적었으나, 비복근과 전경골근의 동시 수축 지수에서는 낙상자 집단이 비 낙상자 집단보다 크게 보였다고 주장했다.

이상에서 살펴본 바와 같이 근 기능, 근 질량 등 근력과 관련된 변인 연구는 노소와 낙상 대 비 낙상자를 중심으로 분석한 연구는 다수 존재하지만, 비교적 긴 보행 상태에서 근력이 동적 자세 조절 메카니즘의 안정성에 미치는 영향을 직접 관찰한 연구는 미진한 편이다. 앞서 기술한 바와 같이 노화로 인한 균형 능력의 감소는 주로 하지 근력의 약화로 인해 일어나는 것으로 알려졌으며, 이는 협응력이나 유연성에 저하를 촉진해 자세 흔들림에 영향을 미치는 것으로 보고되고 있다(Edeberg, 2001). 이동 운동 시 신체의 균형을 유지하기 위하여 하지 관절의 움직임은 복합적으로 작용하며, 이들 관절 운동은 근육의 상호작용에 의해 조절된다(Shimada, 2003). 따라서 자세 조절 기능을 향상시키기 위해서는 하지 관절 주변의 근력과 고유 수용 감각 기능이 정상적으로 유지될 때 비로소 정적 안정성과 동적 안정성이 모두 유지된다(Docherty, Moore & Arnold, 1998; Denegar & Miller, 2002).

Hausdorff et al. (1997)은 노화로 인한 균형 능력의 저하가 근력의 감소나 체중에 의해 야기된다고 보고하였으며, 균형은 지지면에 대한 무게 중심을 조절하고 유지하는 능력인 자세 안정성을 지속적으로 유지해 나가는 과정으로서, 직립 자세에서의 안정성 유지, 체중부하 조절, 보행 능력 등의 동작 수행에 중요한 영향을 미친다고 주장했다(Cohen et al., 1993; Geurts et al., 1996). 신체의 균형성은 지지면에서 무게 중심을 유지하는 능력으로 특정한 공간 내에서 신체의 무게 중심을 유지하는 안정성을 통해서 정량화 할 수 있다(Owings, Pavol, Foley & Grabiner, 2000). 인간 이동 운동에서 안정성은 미끄러짐과 같은 상황에 반응하는 신체 전신 안정성과 외부 환경과 신체 자체에서 발생하는 작은 동요에 대한 신체 국부 반응을 나타내는 안정성으로 구분할 수 있다(Reynard, Vuadens, Deriaz & Terrier, 2014). 국부 안정성은 아주 적은 변동에 대한 계의 민감도를 나타낸다. 이동 운동 시 스트라이드에서 스트라이드까지 일어나는 자연적인 변동들은 이들 변동의 형태를 반영한다(Dingwell & Cusumano, 2000).

노인에서 하지의 근력은 균형 능력과 높은 상관 관계가 있으므로(Wolfson et al., 1995), 이들 두 요인을 통하여 노인들의 낙상을 예방하거나 예측하기 위한 근거를 살펴보기 위해서는 하지 근력과 안정성과의 관계 정도를 분석할 필요가 있다. 특히 노인 낙상 대부분 발생하는 보행 시(Rose & Gable, 2006; Punt, Buijn, Wittink & van Dieën, 2015) 하지 관절 근력 변인과 신체 동요 흡수 척도인 국부적 동적 안정성을 관찰하는 것은 보행 능력 판단(Toebees, Hoozemans, Furrer, Dekker &

van Dieën, 2012) 뿐만 아니라 노인 보행 시 안정성을 유지하기 위한 자세 조절 메카니즘에 작용하는 근 활동 역할을 이해하는데 필요한 연구라 할 수 있다.

이에 본 연구는 폐경기 이후 골 밀도 저하를 동반하고(Song, Mun & Choi, 2001), 보행 시 남성보다 비교적 하지 근력이 상대적으로 약해 낙상에 쉽게 노출되는 여성 노인들을 대상(Gehlsen & Whaley, 1990; Jeon, Jeong & Choi, 2001; Choi & Kim, 2004)으로 하지 관절의 근력 변인들과 보행 시 낙상 판단의 지표인 관절의 국부적 동적 안정성(Buijn, Bregman, Meijer, Beek & van Dieën, 2012)과의 관계 정도를 규명하고자 한다.

## METHODS

### 1. 대상자

본 연구에 참여한 대상자는 여성 노인 45명(나이: 73.5±3.7 years, 신장: 153.8±4.8 cm, 질량: 56.7±6.4 kg, 선호 걷기 속도 1.2±0.1 m/s)이다.

### 2. 자료 수집

모든 대상자들은 HUMAC NORM (CSMi, Stoughton, MA, USA) 근력 측정기를 이용해 무릎과 발목 관절의 근력 토크를 측정했다. 무릎 관절의 신전 토크 값은 측정기에 앉은 상태에서 관절의 상대각이 90도를 유지한 후 무릎을 최대로 신전 시켰을 때 수집했으며, 무릎 관절의 굴곡 토크 값은 측정기에 앉은 상태에서 무릎을 최대로 신전한 후 신전의 반대 방향으로 굴곡할 때 얻었다. 이 때 무릎 관절의 굴곡과 신전의 움직임 범위는 70도 내에서 이루어졌다.

발목 관절의 신전 토크 측정은 발목 관절의 상대각이 70도를 유지한 상태에서 최대 저축 굴곡 시 이루어졌으며, 발목 관절의 굴곡 토크는 최대 저축 굴곡 상태에서 배측 방향으로 최대 굴곡할 때 측정했다. 이들 움직임 범위는 40도 내에서 이루어졌다. 이와 같은 방법으로 두 번 측정해 최대치를 활용했다(Dennis, Papagiannidis, Alamanos & Bourlakis, 2016).

보행 시 무릎과 발목 관절의 세 방향 움직임을 산출하기 위해 요구되는 3차원 운동학적 자료 수집의 절차로 3개 마커로 구성된 삼각형 모양의 반사 마커를 대퇴 분절과 하퇴 분절에 부착했고, 신발 힐 후방, 외측과, 5번째 중족골두에 각각 하나씩 총 9개의 마커들을 부착했다. 필요한 영상 장비는 부착된 마커들의 3차원 좌표를 손실 없이 얻기 위해 보행하는 트레이드-밀 주변에 6대의 적외선 카메라(Oqus 300, Qualisys, Switzerland)를 적절하게 설치했다. 또한 보행 시 신체에 부착된 마커들의 실 공간 좌표를 얻기 전 4개의 마커를 갖고 있는 L자 모양의 프레임 트레이드 밀 후방 오른쪽에 놓은 상태에서 2개의 마커를 가진 0.8 m 정도의 T자형 스틱을 이용해 운동 공간을 구축했다. 실험 좌표 축은 트레이드 밀 후방에 놓인 이 L자 모양의 프레임을 기준으로 상방 수직 쪽을 +Z, 운동 방향 쪽을 +Y, 오른손 법칙으로 +Y에서 +Z 방향으로 크로스(cross)한 쪽을 +X 축으로 설정했다. 신체 마커에 대한 지역 좌표 축 x, y, z는 실험 좌표와 동일한 방향으로 설정했다.

각 마커들의 3차원 좌표는 대상자들이 그들의 선호 속도로 트레이드 밀(instrumented dual belt treadmills, Bertec, USA) 위를 걸을 때 최

소 20 스트라이드에 대해 카메라 100 Hz의 샘플 율로 수집했다. 대상자들의 보행 선호 속도는 평소 걷는 속도로 15 m 거리를 걸을 때 출발점에서 5 m와 10 m 지점에 설치된 구간 속도 측정기(speed time measurement system: SR-200, Seed Technology, Korea)를 통해 산출된 평균 속도로 결정했다. 이와 같은 과정을 대상자별로 3회 반복한 값을 평균해 최종 대상자들의 선호 속도로 활용했다. 대상자들은 실제 보행 동작 자료 수집에 앞서 직립 캘리브레이션(standing-calibration)을 위해 약 2초 동안 직립 상태에서 마커들의 자료를 수집했다. 또한 모든 대상자에게는 트레이드 밀 보행에 완전하게 익숙하도록 충분한 연습(warm-up) 시간이 주어졌다(Ryu, 2018).

3. 자료 분석

무릎과 발목 관절의 근력인 굴신 토크는 각각 신체 질량으로 표준화했으며(N·m/kg), 또한 표준화된 근력을 신 근력으로 나누어 백분율해 신 근력에 대한 굴 근력의 비를 계산했다. 하지 분절에 부착된 마커들의 3차원 좌표를 이용해 무릎과 발목 관절의 3차원 각 변위는 Cardan XYZ의 회전 유형을 이용해(Ryu, 2016) 오른쪽 하지 20 스트라이드(stride)에 대해 필터링 없이 산출했다(Kantz & Schreiber, 1997). 산출된 이들 관절의 3차원 각 운동의 국부 동적 안정성을 관찰하기 위해 산출된 Lyapunov Exponent (LyE)의 중앙값(median)과 사분위수범위(inter-quartile range: IQR)를 활용해 자료 처리했다(Park, Ryu, Kim, Yoon & Ryu, 2019). LyE는 동적 이동을 반영한 벡터 공간을 구축한 후 주변 궤적 중 평균 발산 율에 의해 계산되었다. LyE의 양 값은 국부적 동적 불안정성을 의미하며, 지수가 크면 클수록 국부 동요의 보다 큰 민감

도를 반영한다. 구체적인 절차와 방법은 선행 연구(Ryu, 2018)를 참조했다.

4. 자료 처리

하지 관절의 근력 변인들과 보행 시 국부 동적 안정성을 나타내는 LyE와의 관계 정도를 보기 위해 Spearman rank 상관계수를 이용했다(Ryu, 2018). 이때 통계적 유의수준의 임계치는 5%로 설정했다.

RESULTS

보행 시 대상자들의 오른쪽 무릎과 발목 관절의 20 스트라이드에 대한 3차원 각 변위는 (Figure 1-2)와 같으며, 이들 관절의 굴·신 토크 값과 굴·신 비 토크 값의 평균과 표준 차는 (Table 2)와 같다. 또한 보행 시 하지 두 관절의 국부 동적 안정성 지수인 LyE의 중앙치와 사분치는 (Table 2)와 같다. 그 외 하지 두 관절의 근력 변인들과 LyE 간의 관계 정도를 나타내는 산포도와 상관 관계 지수는 (Figure 3-8)과 같다.

이들 결과에 의하면, 본 연구에 선정된 대상자들의 무릎 관절 신전 토크는 평균 11.8±2.8 Nm/kg이며, 굴곡 토크는 5.7±1.7 Nm/kg이다. 신전 토크에 대한 굴곡 토크 비는 평균 49.3±12.1%이다. 발목 관절의 굴곡 토크는 2.6±0.6 Nm/kg, 신전 토크는 6.8 Nm/kg, 신전 토크에 대한 굴곡 토크는 42.6±14.7%이다.

보행 시 국부 동적 안정성 지표인 LyE는 무릎 관절의 굴신 움직임 경우 1.24, 내외전 움직임은 0.96, 내외측 회전은 0.88의 중앙 차 값을 보였다. 발목 관절의 경우 굴신 움직임의 LyE 중앙 차 값은 무릎 관절의 굴신 움직임보다 약간 적은 1.14를 보였으나, 내·외반과 내·외전은 각각 1.04와 1.02로 약간 큰 값을 나타냈다.

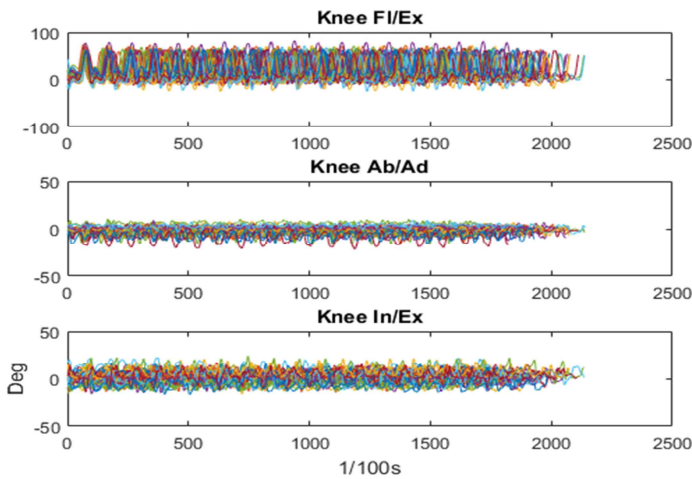


Figure 1. Knee joint 3-D angular displacement of 20 strides for 43 women during walking.

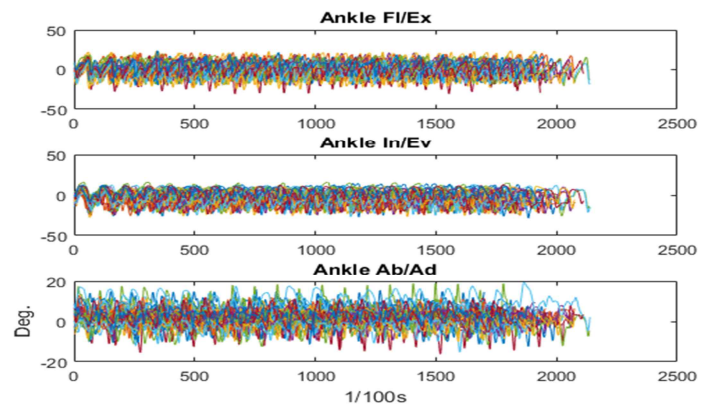


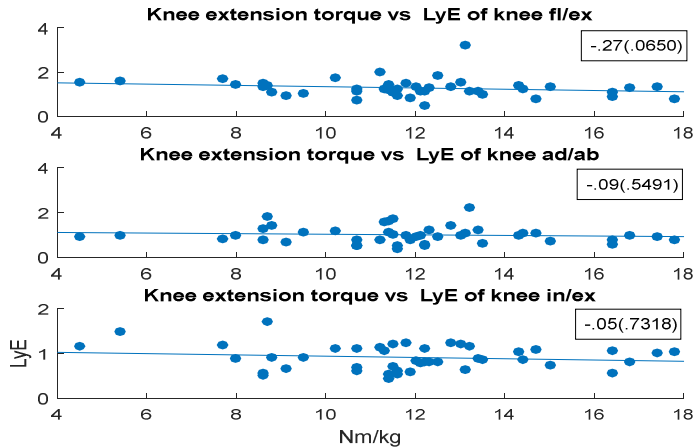
Figure 2. Ankle joint 3-D angular displacement of 20 strides for 43 women during walking.

Table 1. Joint torque magnitude (mean±SD) of knee and ankle joints in HUMAC NORM

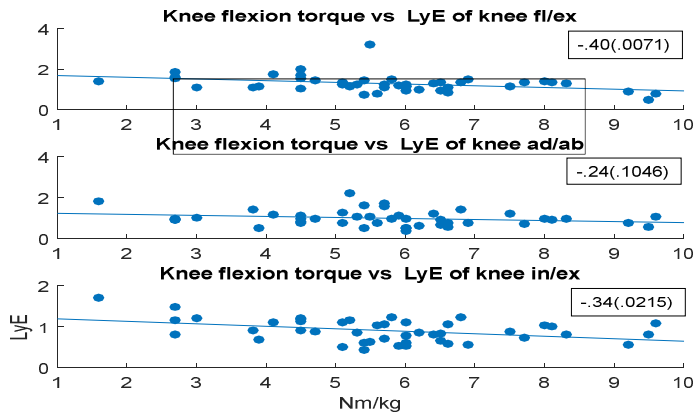
Joint	Knee			Ankle		
	Flexor (Nm/kg)	Extensor (Nm/kg)	Fle/Ext (%)	Flexor (Nm/kg)	Extensor (Nm/kg)	Fle/Ext (%)
Variables	5.7±1.7	11.8±2.8	49.3±12.1	2.6±0.6	6.8±2.2	42.6±14.7

**Table 2.** LyE magnitude (median & IQR) of knee and ankle joints during walking

Joint	Knee			Ankle		
	Fl/Ext	Ad/Ab	In/Ex	Fl/Ex	In/Ev	Ad/Ab
Median	1.24	0.96	0.88	1.14	1.04	1.02
IQR	0.34	0.38	0.43	0.39	0.32	0.45

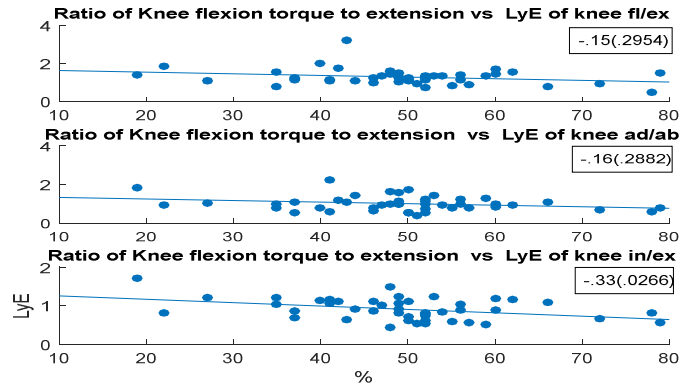


**Figure 3.** Scatter diagram and correlation coefficient between extension torque and LyE of the knee joint.

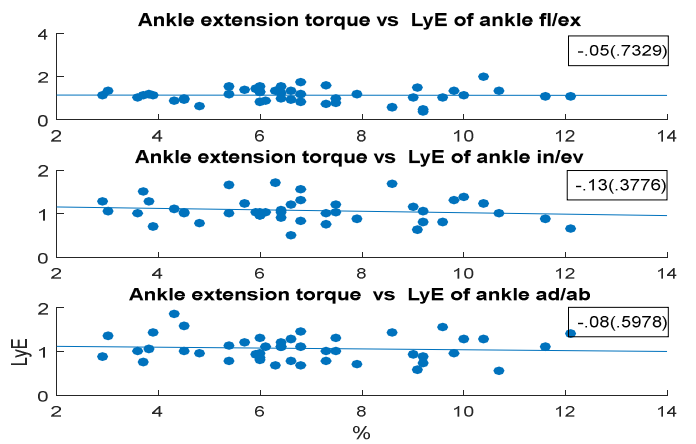


**Figure 4.** Scatter diagram and correlation coefficient between flexion torque and LyE of the knee joint.

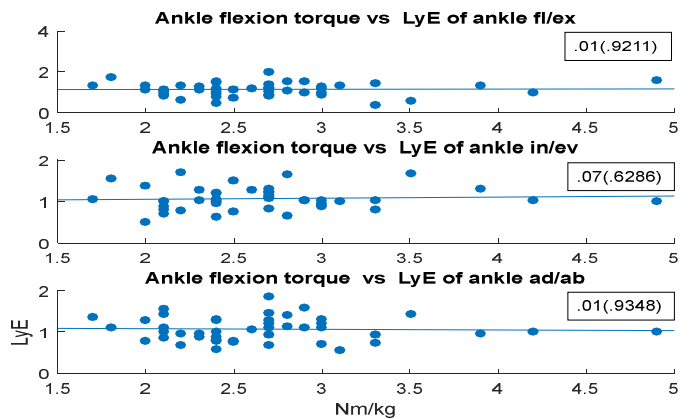
선정된 관절의 근력 변인들과 국부 동적 안정성 지표인 LyE와의 관계 정도를 살펴본 결과, 무릎 신전력과 무릎 굴신, 내·외전, 내·외측 회전 움직임의 국부 동적 안정성 지표인 LyE와의 관계 정도는 매우 낮게 나타났다. 그러나 무릎 관절의 굴 근력과 무릎 굴신 움직임의 LyE와의 상관 관계는  $r=-.40$  ( $p<.05$ )로 상당히 깊은 부적 관계를 보였다. 즉 굴곡 토크가 크면 무릎 관절의 굴신 움직임은 안정적이었다. 또한 무릎 관절의 굴 근력이 크면 무릎 관절의 내·외측 회전 움직임의 국부 동적 안정성이 높은 유의한 관계를 보였다( $r=.34$ ,  $p<.05$ ). 그러나



**Figure 5.** Scatter diagram and correlation coefficient between ratio of flexion torque to extension and LyE of the knee joint.



**Figure 6.** Scatter diagram and correlation coefficient between extension torque and LyE of the ankle joint.



**Figure 7.** Scatter diagram and correlation coefficient between flexion torque and LyE of the ankle joint.

무릎 관절의 굴 근력과 내·외전 움직임의 국부 동적 안정성과의 관계 정도는 매우 낮아 통계적 유의성이 확인되지 않았다.

무릎 관절의 신 근력에 대한 굴 근력의 비와 무릎 굴신( $r=-.15(.2954)$ )과 내·외전 LyE ( $-0.16(.2882)$ )와의 관계 정도는 유의한 상관 관계를 보



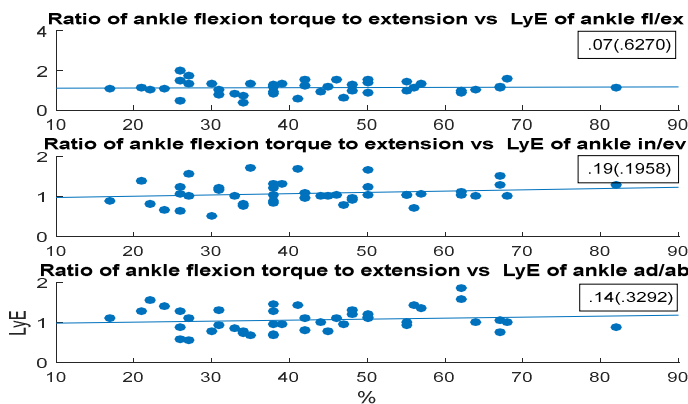


Figure 8. Scatter diagram and correlation coefficient between ratio of flexion torque to extension and LyE of the knee joint.

이지 않았지만, 무릎 관절의 내·외측 움직임의 LyE와는  $r = -.33$  ( $p < .05$ )으로 관계 정도가 유의하게 나타났다. 즉 무릎 관절의 신 근육에 대한 굴 근력이 크면 클수록 무릎 관절의 내·외측 회전 움직임의 국부 동적 안정성이 높게 나타났다.

발목 관절의 근육 변인과 국부 동적 안정성 지표인 LyE와의 관계 정도를 살펴본 결과, 발목 관절의 신전력과 발목 관절의 저·배측, 내·외반, 내·외전 움직임의 국부 동적 안정성 지표인 LyE와의 관계 정도는 통계적으로 유의성이 확인되지 않았다. 또한 발목 관절의 굴 근력과 발목 관절의 굴신, 내·외반, 내·외전 움직임의 LyE와의 상관 관계는 유의한 관계 정도를 보이지 않았다. 그 밖에 발목 관절의 신 근육에 대한 굴 근력의 비와 발목 저·배측 굴곡과 내·외반, 내·외전 움직임의 국부 동적 안정성 지표인 LyE와의 관계 정도 또한 아주 낮아 통계적으로 의미 있는 관계는 보이지 않았다.

## DISCUSSION

본 연구는 노인 여성을 대상으로 낙상의 빈도가 가장 많이 발생하는 보행 시 하지 관절의 국부 동적 안정성과 근력과의 관계 정도를 규명하고자 했다. 보행 시 국부 동적 안정성은 낙상 위험의 지표(Lockhart & Liu, 2008; Kang & Dingwell, 2009; Roos & Dingwell, 2011; Van Schooten et al., 2011; Bruijn et al., 2012) 혹은 낙상자와 비 낙상자를 쉽게 구분하는 변인(Toebesa, et al., 2012; Ryu, 2018; 2019)으로 연구되었다. 이동 운동 시 노인들의 안정성은 노화로 인한 근력의 약화로 균형성, 협응성, 유연성 및 고유 수용 기능(proprioception) 등이 저하하면서 낮아진다(Edeberg, 2001). 고로 노인 이동 시 관절을 감싸는 근육의 상호작용에 의해 발휘되는 근력과 이들 관절의 국부 동적 안정성을 살펴보는 것은 보행 패턴과 잠재적 낙상 발생을 판단하는데 의미 있는 작업이다. 국부 동적 안정성 판단은 카오스 이론에서 도출된 LyE가 널리 활용되며, 보행 시 LyE는 신경근 노이즈와 같은 내적 요인과 지면의 불규칙한 상태에서 오는 적은 외적 방해로 인해 자연적으로 발생하는 동요에 대한 민감도를 평가하는 수단이다(Reynard et al., 2014). 고로 보행 시 발생하는 국부 동적 안정성은 보행으로 야기되는 국부 동요를 흡수하기 위한 보행 능력으로 정의할 수 있다(Toebesa et al., 2012).

낙상이 상대적으로 많이 발생하는 노인 여성 보행 시 하지 관절 근력 요인과 관절의 국부 동적 안정성을 분석한 본 연구 결과 무릎 관절의 굴곡 토크가 크면 무릎 굴신 움직임의 국부 동적 안정성은 높은 것으로 나타났다. 또한 무릎 관절의 굴곡 토크가 크면 무릎 관절의 내·외측 회전 움직임의 국부 동적 안정성이 높은 것으로 나타났다. 이와 같은 결과로 볼 때 젊은 사람보다 하지 근력이 감소한 노인 여성에서 무릎 관절의 국부 안정성을 높이기 위해서는 신 근육 보다 굴 근력을 강화하는 것이 더 유리할 것으로 판단된다. 이와 같은 판단은 무릎 관절의 신 근육에 대한 굴 근력의 비가 크면 클수록 무릎 관절의 내·외측 회전의 국부 동적 안정성이 높게 나타난 본 연구의 또 다른 결과가 뒤 받침 하고 있다. 한편 본 연구 결과 발목 관절의 신 전력, 굴 근력, 신 근육에 대한 굴 근력의 비와 발목 관절의 저·배측 굴곡, 내·외반, 내·외전 움직임의 국부 동적 안정성과는 유의한 관계 정도는 보이지 않았다. Ryu (2019)는 하지 관절의 근력 중에 낙상자는 비 낙상자보다 무릎 관절의 굴곡 토크와 무릎 관절 내·외전 움직임의 국부 동적 안정성이 유의하게 낮았다고 보고했다. 두 변인 간 관계 정도를 규명하지 않아 본 연구 결과와 직접 비교하는 것은 한계가 있지만, 본 연구 결과 무릎 관절의 굴곡 토크가 국부 동적 안정성에 미친 영향을 고려해 볼 때 무릎 관절의 굴곡 토크는 낙상과 관련해 관심 있는 지표로 판단된다. 향후 무릎 관절의 근력과 국부 동적 안정성과의 상관 관계 정도는 낙상자와 비 낙상자들 간을 구분하는 지표로 활용할 수 있는가에 대한 연구의 필요성이 요구된다.

그 외 본 연구와 유사한 선행 연구로 Jennifer & Nancy (2004)는 노인 이동 운동 시 낙상 예방을 위해 적절한 발목 가동 범위뿐만 아니라 저축굴력과 배축굴력의 유지가 효율적인 힘 생성과 균형 전략을 실행하는데 필요하다고 제안했다. 또한 Denegar & Miller (2002)는 임상학적 관점에서 자세 조절 기능을 향상시키기 위해서는 발목 관절 주변을 감싸는 근력과 고유 수용 감각이 정상적인 기능을 유지할 때 비로소 발목 관절의 정적 및 동적 안정성이 모두 유지된다고 강조했다. 하지만 구체적인 근력 지표와 관절의 안정성과의 관계 정도는 제시하지 않아 본 연구 결과와 비교하는 것은 다소 무리가 있다고 판단된다.

동일한 보행 속도로 걸을 경우 젊은 사람에 비해 노인들은 발목에서 한 일보다 무릎에서 한 일의 차가 큰 것으로 보고되고 있다. 즉 노인들은 젊은 사람에 비해 무릎 관절에서 약 39%, 발목 관절에서 약 29% 적게 일하는 것으로 알려졌다(DeVita & Hortobagyi, 2000). 따라서 노인들이 젊은 사람들과 같은 정상적인 보행 패턴을 유지하며 걷기 위해서는 발목 근력 강화도 필요하지만 무릎 근력 강화 운동이 더 중요할 것으로 판단된다. 하지 근력 훈련은 신경근 기능의 저하를 방지하기 때문에 낙상 위험을 낮추는데 매우 필요한 전략으로 낙상 관련 보행 운동학적 요인들을 향상시키고(Persch et al., 2009), 낙상 발생률을 현저히 감소시키는 것으로 보고되고 있다(Casteel, Peek-Asa, Lacsamana, Vazquez & Kraus, 2004). 뿐만 아니라 노인들의 하지 근력은 이전의 낙상 경험과 균형성 부족으로 인한 원인보다 낙상 위험에 더 큰 영향을 미치는 것으로 알려졌다(Gauchard et al., 2003; Rao, 2005). 그러므로 노인 낙상을 예방하기 위해서는 하지 근력 강화는 필수적인 것으로 판단되며, 특히 본 연구 결과가 말해주듯 무릎 관절의 굴곡 토크 증강을 위한 운동 프로그램 개발에 관심을 갖는 것은 안전한 보행 패턴 유지와 보행 능력 향상을 위한 노인의 건강 증진에 있어 중요한 전략이라 판단된다.

## CONCLUSION

본 연구 결과 무릎 관절의 굴곡 토크가 크면 무릎 관절 굴신과 내·외측 회전 움직임의 국부 동적 안정성은 높은 것으로 나타났다. 그러나 발목 관절의 신 전력, 굴 근육, 신 근육에 대한 굴 근육의 비와 발목 관절의 저·배측 굴곡, 내·외반, 내·외전 움직임의 국부 동적 안정성과는 유의한 관계 정도는 보이지 않았다. 이와 같은 연구 결과를 토대로 다음과 같은 결론을 얻었다.

노인들 보행 시 하지 관절의 국부 동적 안정성을 높여 보행 능력을 강화하기 위해서는 발목 관절보다 무릎 관절의 근력 강화가 우선 되어야 한다. 무릎 관절의 근력 중에서도 신 근육보다 굴 근육을 강화하는 것이 필요할 것으로 판단된다.

향후 이와 관련 연구를 수행하기 위해서는 다수의 낙상자와 비 낙상자들 간의 관계를 살펴볼 필요성이 요구되며, 또한 관절의 근력 강화를 통해 실제적으로 국부 동적 안정성이 어느 정도 향상되었는가를 관찰하는 실증적 접근이 수행되길 제언한다.

## REFERENCES

- Benjuya, N., Melzer, I. & Kaplanski, J. (2004). Aging-Induced shifts from a reliance on sensory input to muscle cocontraction during balanced standing. *Journals of Gerontology: Series A*, 59(2), M166-M171. <https://doi.org/10.1093/gerona/59.2.M166>.
- Brujin, S. M., Bregman, D. J., Meijer, O. G., Beek, P. J. & van Dieen, J. H. (2012). Maximum Lyapunov exponents as predictors of global gait stability: a modelling approach. *Journal of Medical Engineering & Physics*, 34(4), 428-436.
- Casteel, C., Peek-Asa, C., Lacsamana, C., Vazquez, L. & Kraus, J. F. (2004). Evaluation of a falls prevention program for independent elderly. *American Journal of Health Behavior*, 28(1), 51-60.
- Choi, E. S. & Kim, K. T. (2004). Relationships between falls experiences, and chronic disease prevalence and fitness levels in elderly woman. *Korean Journal of Physical Education*, 43(5), 341-348.
- Choi, H. J., Lim, K. I. & Jun, T. W. (2007). The study of isokinetic muscle power, flexibility, static balance and dynamic reaction time according to the frequency of fall down in elderly woman. *Journal of Korean Physical Education Association for Girls and Women*, 21(3), 55-64.
- Cohen, H., Blatchly, C. A. & Gomblish, L. I. (1993). A study of the clinical test of the sensory interaction and balance. *Physical Therapy*, 73, 345-346.
- Denegar, C. R. & Miller, S. J. (2002). Can chronic ankle instability be prevented? rethinking management of lateral ankle sprains. *Journal of Athletic Training*, 2002 Oct-Dec; 37(4): 430-435.
- Dennis, C., Papagiannidis, S., Alamanos, E. & Bourlakis, M. (2016). The role of brand attachment strength in higher education. *Journal of Business Research*, 69(8), 3049-3057.
- DeVita, P. & Hortobagyi, T. (2000). Age causes a redistribution of joint torques and powers during gait. *Journal of Applied Physiology*, 88(5), 1804-1811.
- Dingwell J. B. & Cusumano, J. P. (2000). Nonlinear time series analysis of normal and pathological human walking. *Chaos*, 10(4), 848-863.
- Docherty, C. L., Moore, J. H. & Arnold, B. L. (1998). Effects of strength training on strength development and joint position sense in functionally unstable ankles. *Journal of Athletic Training*, 33(4): 310-314.
- Edeberg, H. K. (2001). Falls function. How to prevent falls and injuries in patients with impaired mobility. *Journal of Geriatrics*, 56(3), 41-45.
- Ferine, G. R., Gryfe, C. I., Holiday, P. J. & Liewellyn, A. (1982). The relationship of postural sway in standing to the incidence of falls in geriatric subjects. *Age and Aging*, 11(1), 11-16.
- Frontera, W. R., Meredith, C. N., O'Reilly, K. P., Knuttgen, H. G. & Evans, W. J. (1988). Strength conditioning in older men: skeletal muscle hypertrophy and improved function. *Journal of Applied Physiology*, 64(3), 1038-1040. <https://doi.org/10.1152/jappl.1988.64.3.1038>.
- Gauchard, G. C., Gangloff, P., Jeanel, C. & Perrin, P. P. (2003). Physical activity improve gaze and posture control in the elderly. *Neuroscience Research*, 45(4), 409-417.
- Gehlsen, G. M. & Whaley, M. H. (1990). Falls in the elderly: Part II, Balance, strength, and flexibility. *Archives of Physical Medicine Rehabilitation*, 71(10), 739-741.
- Geurts, A. C., Ribbers, G. M. & Knoop, J. A. (1996). Identification of static and dynamic postural instability following traumatic brain injury. *Archives of Physical Medicine Rehabilitation*, 77, 639-644.
- Hausdorff, J. M., Mitchell, S. L., Goldberger, A. L. & Wei, J. Y. (1997). Increased gait unsteadiness in community-dwelling elderly fallers. *Archives of Physical Medicine Rehabilitation*, 78, 278-283.
- Hughes, V. A., Frontera, W. R., Wood, M., Evans, W. J., Dallal, G. E., Roubenoff, R. & Singh, M. A. F. (2001). Longitudinal muscle strength changes in older adults: Influence of muscle mass, physical activity, and Health. *Journals of Gerontology: Series A*, 56(5), B209-B217. <https://doi.org/10.1093/gerona/56.5.B209>.
- 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., Jung, H. C. & Choi, M. A. (2001). A study on the elderly patients hospitalized by the fracture from the fall. *Journal of Korean Academy of Nursing*, 31(3), 443-453.
- Kang, H. G. & Dingwell, J. B. (2009). Dynamic stability of superior vs inferior segments during walking in young and older adults. *Gait and Posture*, 30(2), 260-263.
- Laughton, C. A., Slavin, M., Katdare, K., Nolan, L., Bean, J. F., Kerrigan, D. C., Phillips, E., Lipsitz, L. A. & Collins, J. J. (2003). Aging, muscle activity, and balance control: Physiologic changes associated with balance impairment. *Gait & Posture*, 18(2), 101-108.
- Lockhart, T. E. & Liu, J. (2008). Differentiating fall-prone and healthy adults using local dynamic stability. *Ergonomics*, 51, 1860-1872.
- 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.
- 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 American Geriatric Society*, 48, 42-50.
- Park, S. K., Ryu, S. H., Kim, J. B., Yoon, S. H. & Ryu, J. S. (2019). Complexity Comparison of Center of Pressure between Fallers and Non-fallers during Gait. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 29(2), 113-119.
- Persch, L. N., Ugrinowitsch, C., Pereira, G. & Rodacki, A. L. (2009). Strength training improves fall-related gait kinematics in the elderly: a randomized controlled trial. *Clinical Biomechanics*, 24, 819-825.
- Punt, M., Bruijn, S. M., Wittink, H. & van Dieën, J. H. (2015). Effect of arm swing strategy on local dynamic stability of human gait. *Gait & Posture*, 41(2), 504-509.
- Rao, S. S. (2005). Prevention of falls in older patients. *American Family Physician*, 72, 81-88.
- Reynard, F., Vuadens, P., Deriaz, O. & Terrier, P. (2014) Could local dynamic stability serve as an early predictor of falls in patients with moderate neurological gait disorders? A reliability and comparison study in healthy individuals and in patients with paresis of the lower extremities. *PLoS One*, 9(6), e100550. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0100550>.
- Roos, P. E. & Dingwell, J. B. (2011). Influence of simulated neuromuscular noise on the dynamic stability and fall risk of a 3D dynamic walking model. *Journal of Biomechanics*, 44(8), 1514-1520.
- Rose, J. & Gable, J. G. (2006). *Human walking*. Williams & Wilkins, Baltimore.
- Ryu, J. S. (2016). Effects of prolonged running-induced fatigue on the periodicity of shank-foot segment coupling and free torque. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 26(3), 257-264.
- Ryu, J. S. (2018). Effects of muscle activation pattern and stability of the lower extremity's joint on falls in the elderly walking -retrospective approach-. *Korean Journal of Physical Education*, 57(3), 345-356.
- Ryu, J. S. (2019). Effects of muscle activation pattern and stability of the lower extremity's joint on falls in the elderly walking -Half a year prospective study-. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 29(2), 79-88.
- Shimada, H., Obuchi, S., Kamide, N., Shiba, Y., Okamoto, M. & Kakurai, S. (2003). Relationship with dynamic balance function during standing and walking. *American Journal of Physical Medicine Rehabilitation*, 83(7), 511-516.
- Schlicht, J., Camaione, D. N. & Owen, S. V. (2001). Effect of intense strength training on standing balance, walking speed, and sit-to-stand performance in older adults. *Journals of Gerontology: Series A*, 56(5), M281-M286. <https://doi.org/10.1093/gerona/56.5.M281>.
- Skelton, D. A., Kennedy, J. & Rutherford, O. M. (2002). Explosive power and asymmetry in leg muscle function in frequent fallers and non-fallers aged over 65. *Age and Aging*, 31, 119-125.
- Smith, E. L. & Gilligan, C. (1983). Physical activity prescription for the older adult. *Physician & Sport Medicine*, 11(8), 91-101.
- Song, K. A., Mun, J. S., Kang, S. S. & Choi, J. H. (2001). The survey of activities and fear of falling in the community dwelling elderly. *Journal of Korean Society Public Health Nursing*, 15(2), 324-333.
- Sohng, K. Y. & Moon, J. S. (2003). A survey on activities and fear of falling in the home-dwelling elderly in Seoul and Gyonggi-do. *Journal of Korean Community Nursing*, 14(4), 157-166.
- 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, 1701-1707.
- Toebes, M. J. P., Hoozemans, M. J. M., Furrer, R., Dekker, J. & van Dieën, J. H. (2012). Local dynamic stability and variability of gait are associated with fall history in elderly subjects. *Gait & Posture*, 36, 527-531.
- Van Schooten, K. S., Sloop, L. H., Bruijn, S. M., Kingma, H., Meijer, O. G. & Pijnappels, M. (2011). Sensitivity of trunk variability and stability measures to balance impairments induced by galvanic vestibular stimulation during gait. *Gait and Posture*, 33(4), 656-660.
- Whipple, R. H., Wolfson, L. I. & Amerman, P. M. (1987). The relationship of knee and ankle weakness to falls in nursing home residents: An isokinetic study. *Journal of American Geriatric Society*, 35, 13-20.
- Wolfson, L., Judge, J., Whipple, R. & King, M. (1995). Strength is major factor in balance, gait, and the occurrence of falls. *Journal of Gerontology, Series A, Biological Sciences and Medical Sciences*, 50, 64-67.