Relationship between CoP and local stability of the lower joints during walking in the elderly women

Ji-Seon Ryu[1,2]

[1]Motion Innovation Center, Korea National Sport University, Seoul, South Korea

[2]Department of Health and Exercise Science, College of Lifetime Sport, Korea National Sport University, Seoul, South Korea

[1]Motion Innovation Center, Korea National Sport University, Seoul, South Korea

[2]Department of Health and Exercise Science, College of Lifetime Sport, Korea National Sport University, Seoul, South Korea

Corresponding author

Ji Seon Ryu

Phone: 010-8944-6306, Fax: 02.418.1877, Email: jiseon@knsu.ac.kr

Abstract

Objective: The purpose of this study was to determine the relationship between CoP(center of pressure) and local stability of the lower joints which was calculated in ApEn(approximate entropy) during walking in the elderly women.

Method: Eighteen elderly women were recruited (age: 66.4±1.2 yrs; mass: 55.4±8.3 kg, height: 1.56±0.04 m) for this study. Before collecting data, reflective marker triads composed of three non-collinear spheres were attached the lateral surface of the thigh and shank near mid-segment to measure thigh and shank segment motion. To measure foot motion, reflective markers were placed on the shoe at the heel, the head of the fifth metatarsal, and lateral malleolus and were also placed on the right anterior-superior iliac spine, left anterior-superior iliac spine, and sacrum to observe pelvis motion. During treadmill walking, kinematic data were recorded using six infrared cameras (Oqus 300, Qualisys, Sweden) with a 100 Hz sampling frequency and kinetic data were collected from a treadmill(Instrumented Treadmill, Bertec, USA) for twenty strides. From kinematic data the 3-D angles of the lower extremity's joint were calculated in Cardan technique and then ApEn were computed for their angles to evaluate the local stability. Range of CoP was determined from the kinetic data. Pearson product-moment and Spearman rank correlation coefficient were applied to find relationship between CoP and ApEn. The level of significance was determined at $p < .05$.

Results: There were negative linear relation between CoP and ApEn of hip joint adduction-abduction motion($p<.05$), but ApEn of other joint motion did not affect on the CoP.

Conclusion: It was conjectured that ApEn, local stability index, for adduction/abduction of the hip joint during walking could be possible to be useful as a fall predictor.

Keywords: Fall, CoP, ApEn, Walking, Stability

Introduction

노인들에게서 낙상은 건강을 해치는 심각한 문제이다. 국내 거주 65세 이상 노인 3분의 1은 매년 1회 이상 낙상을 겪고 있으며, 낙상자 4명중 1명은 입원하고 있는 것으로 알려지고 있다. 또한 65세 이상 고령자 사고 사례의 절반이 낙상인 것으로 보고되고 있다 (Health, 2017).

노인은 나이가 들어감에 따라 점진적으로 근섬유가 감소되어 근 수축력이 저하되고, 이로 인해 운동 범위가 축소되어 (Fontera, Meredith, & O'Relly, 1989) 균형 장애와 걸음걸이 장애가 일어나 낙상 위험에 쉽게 노출된다(Rubenstein & Josephson, 2002). 노화로 인한 균형성 조절 메카니즘의 쇠퇴는 낙상을 야기해 궁극적으로 심각한 손상을 일으킨다 (Mahoney, 1998). 노인들에게서 균형성의 부족은 낙상 위험을 배가시키기 (Gauchard, Gangloff, Jeanel, & Perrin, 2003; Rao, 2005)때문에 노인 낙상은 균형성 유지 능력에 좌우 된다고 해도 과언이 아니다(Johnell & Kanis, 2006). 이와 같이 균형성은 낙상에 영향을 미치기 때문에 낙상 발생의 예측 지표로 활용된다(Guralnik, Ferrucci, Simonsick, Salive, & Wallace, 1995). 균형이란 지지면 위에서 신체 중심을 유지하는 능력이다. 즉 지지 기저면에 대한 무게 중심을 조절하고 유지하는 능력인 자세 안정성을 지속적으로 유지해 나가는 과정으로 직립 시 안정성 유지, 체중부하 조절, 보행 능력 등의 동작 수행에 중요한 영향을 미친다(Cohen, Blatchly, & Gomblash, 1993; Geurts, Ribbers, & Knoop, 1996).

신체의 균형을 유지하는 능력은 안정성을 측정함으로서 정량화할 수 있다. 낙상과 관련해 신체의 안정성을 정량화하는 방법 중에 하나가 압력 중심 (CoP: center of pressure)을 관찰하는 것이다. CoP는 신체가 지지면에 작용하는 합 수직력의 작용점으로 정의되기 때문에 자세의 안정성 판단 자료로 활용된다. 이 때문에 노인들의 낙상을 판단하는 지표로 이용되고 있다 (Teasdale & Simoneau, 2001). Ferine, Gryfe, Holiday, & Liewellyn (1982)는 CoP를 낙상 비 경험 노인과 1년에 한 번 이상의 낙상 경험을 가진 노인들과 비교한 결과 낙상 경험 노인들이 CoP의 평균 동요 속도가 유의하게 컸다고 주장했으며, Collins & de Luca (1995)는 정적 직립 상태에서 노인들의 자세 동요를 CoP 범위를 통해 분석한 결과 이들 동요 범위가 큰 노인들은 잠재적 낙상 비율이 높다고 주장했다. Maki, Holliday, & Topper (1994)는 눈감은 상태에서 CoP의 좌우 동요 크기는 낙상 경험이 없는 노인들조차 미래 낙상의 다소 정확한 예측 요인이라고 주장했다. Melzer, Kurz, & Oddsson (2010)은 99명의 노인(65-91세)들을 대상으로 눈감은 직립 상태에서 평균 좌우 CoP 범위와 면적은 낙상자들이 비 낙상자들보다 큰 값을 보였다고 보고했다. 또한 Stel, Smit, Pluijm, & Lips (2003)은 이동형 지면반력판을 이용해 시야를 제약하는 조건하에서 CoP를 측정해 낙상의 독립적인 예측 변인으로 역시 신체 좌우 동요를 꼽았다. 그 밖에 많은 연구자들이 지면 반력판을 이용해 CoP를 산출해 낙상을 판단하고 예측하는 연구를 수행했다 (Bergland, Jamlo, & Laake, 2003; Melzer & Oddsson, 2004; Piirtola & Era, 2006). 이와 같이 많은 연구자들은 CoP 동요 범위를 통해 자세의 안정성을 판단한 후 잠재적 낙상관련 예측 변인으로 제시 했다.

자세의 안정성을 판단하는 다른 하나가 변이성(variability)을 이용하는 것이다. 변이성란 어떤 자료의 변동의 크기를 정량화하는 방법으로 상대적으로 크기가 큰 것은 적은 것보다 불안정한 상태라고 간주된다. 이들 변동은 불안정성에 대한 지표이기 때문에 잠재적으로 노인들의 낙상을 예측하는 지표로 이용 된다 (Verghese, Holtzer, Lipton, & Wang, 2009). 보행 변이성은 보행 시 걸음걸이 변동의 크기를 정량화하는 것이다. 많은 연구자들은 일반적인 보행 매개변수에서 증가된 변이성은 노인들의 낙상예측을 보여주는 충분한 자료라고 주장했다 (Hausdorff, Rios, & Edelberg, 2001; Verghese et al, 2009; Hahn & Chou, 2003). Paterson, Hill, & Lythgo (2011)은 변이성 증가는 잠재적으로 노인들에게 헛디딤에서 낙상까지 영향을 준다고 주장했다. 최근에 Ryu(2017)은 젊은 여성과 노인 여성을 대상으로 보행 시 하지 관절 굴신 움직임의 주기성 변동, 즉 변이성을 시계열 분석 기법인 ApEn(approximate entropy)을 통해 노인 여성들의 보행 특징을 규명하고, 노화에 따른 잠재적 낙상을 추정했다.

이와 같이 노인들의 낙상을 예측하고자 안정성인 지표인 CoP와 변이성 분석이 빈번하게 이루어지고 있다. 그 동안 보행 시 CoP 분석은 몇몇 걸음걸이(stride)를 선정해 산출하는 선형 기법을 이용해 전신 안정성을 판단하는 변인으로 활용되는 반면에, 변이성 분석중 시계열 방법은 신체의 특정 부위의 움직임을 다소 많은 주기를 관찰해 국부적 안정성을 판단하는 변인으로 활용됐다 (Ryu, 2014). 노인 낙상 연구에서 이들 두 변인의 분석 방법은 다르지만 안정성을 통해 실제 낙상과 잠재적 낙상 가능성을 판단하는 예측자로서 역할은 동일하다 할 수 있다. 두 변인이 낙상을 판단하는 안정성의 지표로 활용되고 있음에도

불구하고 이들 두 변인들 간의 관계를 구체적으로 규명한 연구는 거의 이루어지지 않고 있는 실정이다. 노화에 따른 하지 관절의 기능 약화로 안정성이 저하되는 노인들을 대상으로 관절의 국부적 안정성의 지표와 전신 안정성의 지표간의 관계 정도를 규명하는 것은 낙상을 예측하는 연구 방법의 지평을 확충하는데 의미 있는 일이라 판단된다. 또한 보행 시 하지 관절의 운동학에 대한 국부적 안정성은 노인 낙상을 예측할 수 있는 또 다른 노인 낙상 판단 지표인가를 규명하는데 필요한 연구라 할 수 있다. 즉 노인 보행 시 하지 관절의 각 운동학의 변동은 낙상을 예측할 수 있는가, 예측이 가능하다면 어느 관절의 어떤 움직임이 낙상을 판단하고 예측하는데 유용한가를 규명하기 위해 연구의 필요성이 요구된다.

이에 본 연구는 남성보다 상대적으로 낙상 율이 높은 여성 노인 보행 시 낙상 판단 지표인 CoP 동요 범위와 하지 관절의 3차원 움직임의 변이성과의 관계 정도를 규명하고자 한다. 이를 위해 다음과 같은 구체적인 내용들에 특별한 관심을 갖는다. 첫째, 노인 보행 시 20 걸음걸이의 좌우, 전후 Cop 범위를 관찰했다. 둘째, 20 걸음걸이에 대해 하지 관절의 3차원 각 변위를 산출해 이들의 국부적 안정성을 판단하기 위해 ApEn (approximate entropy)를 산출했다. 셋째, CoP와 ApEn 간의 상관 정도를 살펴봤다.

Methods

1. Participants

본 연구에 선정된 대상자는 65세 이상 노인 여성 18명(평균나이 66.4±1.2 yrs, 평균 질량 55.4±8.3 kg, 평균 신장 1.56±0.04 m, 평균 선호보행속도 0.77±0.11 m/s) 이다(Ryu, 2017).

2. Measurements

운동학적 및 운동역학적 자료는 여성 노인들이 트레드밀위에서 선호 속도로 보행을 수행할 때 수집되었다. 보행 시 하지 관절의 운동학적 자료 수집을 위해 하퇴, 대퇴 분절의 중앙에 비공선상을 이룬 1조 3개의 삼각형 마커를 부착했다. 발 분절에는 발꿈치, 발목외측 과, 5번째 중족골 두에 골반에는 오른쪽 전상 장골극, 왼쪽 전상 장골극, 천골(sacrum)에 부착했다. 대상자들이 평소 보행 속도 (평균 0.77±0.11 m/s)로 걷는 동안 신체에 부착된 이들 마커들의 3차원 좌표는 트레드밀 주변에 설치된 6대의 고속 디지털 적외선 카메라 (Oqus 300, Qualisys, Switzerland)를 이용해 100Hz의 샘플링 율로 수집되었으며, 좌표 수집을 위한 공간 설정은 이미 크기가 알려진 4개의 마크를 갖고 있는 L-프레임 강체를 트레드밀 뒤 구석에 놓아 NLT (non-linear transformation) 방법을 이용해 이루어졌다. 좌표화를 위한 축 설정은 L 프레임의 모서리 점을 중심으로 상방 수직 쪽을 +Z, 운동방향 쪽을 +Y, +Y에서 +Z의 크로스(cross)쪽을 +X로 취해 전역 좌표 시스템 (room coordinate system)을 설정했다. 신체에 부착한 마커들의 좌표 축 설정은 전역 좌표와 같은 방향으로 이루어 졌다. 실제 보행에 앞서 하지 관절의 3차원 각 계산의 준거가 될 해부학적 자료를 얻기 위해 직립 상태에서 약 3초 동안 캘리브레션된 카메라를 통해 마커들의 좌표를 수집했다. 운동역학적 자료는 트레드밀에 장착된 지면반력을 통해 세 방향 힘과 모멘트를 샘플 률 1000Hz로 운동학적 자료와 동기화해 수집했다. 자료 수집은 적어도 20 걸음걸이에 대해 대상자가 인지하지 못한 상태에서 이루어졌으며, 자료 수집에 앞서 트레드밀 보행에 대상자가 익숙하도록 충분한 웜밍업 시간이 주어졌다.

3. Data processing and Statistical analysis

수집된 자료를 이용해 하지 관절의 3차원 각과 이들의 ApEn, CoP을 산출했다. 하지 관절의 3차 각 산출은 Cardan 방법 (Hamill & Ryu, 2004)을 이용해 대상자들의 오른쪽 발 지지구간 20 걸음걸이에 대해 계산되었다. 지지 구간은 오른발이 트레드밀에 착지하는 순간 수직 지면반력이 5N이상부터 이지하는 순간 반력이 5N 미만까지의 범위로 설정했다. 이렇게 계산된 고, 무릎, 발목 하지 관절의 3차원 각에 대해 국부적 안정성을 살펴보기 위해 비선형 방법인 ApEn을 이용해 주기성을 계산했으며 (Ryu,

2016), 계산된 ApEn 값의 정수가 큰 것은 적은 것보다 불안정한 상태로 간주했다 (Preatoni et al., 2014; Ryu, 2016). CoP 계산은 트레드밀에서 수집된 6 성분의 지면 반력 자료들 (Fx, Fy, Fz, Mx, My, Mz)을 이용해 운동적 변인 계산과 같이 20 걸음걸이의 오른발 지지구간에 대해 이루어졌다. CoP 계산에 앞서 자료에 포함된 노이즈 (noise)를 제거하기 위해 4차 저역 Butterworth 필터링 방법이 이용되었다. 이 때 차단 주파수 (cut-off)는 자료의 PSD (Power Spectral Density) 누적이 99.9% 도달할 때의 주파수를 사용했다 (Stergiou, Giakas. Byrne, & Pomeroy, 2002). 이렇게 정리된 자료를 이용해 좌우 CoP (copx)는 $-M_y/F_z$, 전후 CoP (copy)는 M_x/F_z 의 식을 이용해 계산했다. CoP의 정량화는 최대값에서 최소값을 뺀 절대값을 활용했으며, 20 걸음걸이를 평균했다. 본 연구에서 계산된 CoP값은 모수치로 간주되었지만, ApEn값은 정규성을 이룬다고 가정할 수 없어 (Ryu, 2017) 비모수치로 간주했다. 따라서 하지 관절의 3차원각의 국부적 안정성 지표인 ApEn과 CoP와의 상관관계 정도를 규명하고자 모수 상관 분석인 Pearson product-moment와 비 모수 상관 분석인 Spearman rank 상관계수를 적용했다. 상관정도의 통계적 유의성 판단은 두 분석 결과가 동시에 설정된 유의 수준을 만족시킬 경우에만 이루어 졌다. 설정된 유의수준의 임계치는 5%로 했다.

Results

전술한 방법에 의해 도출된 20 걸음걸이에 대한 하지 관절의 고, 무릎, 발목 3차원 각은 <Figure1>과 같고, 지지구간의 CoP는 <Figure 2>와 같다. 하지관절의 3차원 각 운동에 대한 ApEn과 CoP와의 상관관계는 <Table 1>과 <Figure 3~5>와 같다.

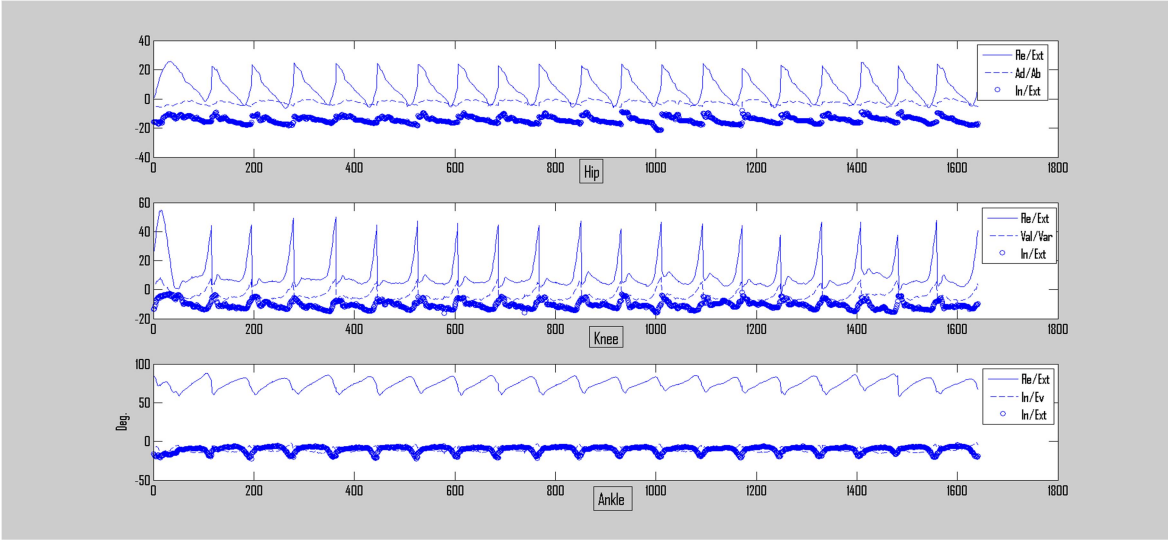

Figure1. Example of 3-dimensional hip, knee, and ankle for an individual(x axis unit: : 1/100s).

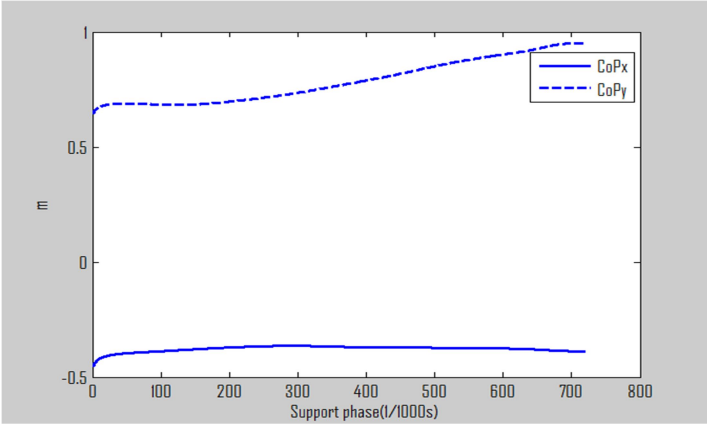

Figure 2. Example of CoP for an individual.

Table1. Parametic and non-parametic Correlation coefficient and *p*-values between ApEn and CoP range

Joint	Direction	CoPx		CoPy	
		parametic	non-parametic	parametic	non-parametic
	Flex/ext	-.10(.69)	-.22(.36)	-.28(.25)	-.34(.16)
Hip(ApEn)	Add/abd	-.54(.02) *	-.68(.00) *	-.21(.38)	-.33(.17)
	In/ext Rot	-.11(.65)	-.05(.81)	-.13(.58)	-.15(.53)
	Flex/ext	.04(.85)	0.23(.34)	.13(.60)	.13(.59)
Knee(ApEn)	Add/abd	.12(.63)	0.14(.57)	-.16(.50)	-.22(0.37)
	In/ext Rot	-.36(.13)	-0.25(.31)	.11(.66)	.04(0.87)
	Flex/ext	-.52(.02) *	-0.44(.06)	-.12(.61)	-.12(0.60)
Ankle(ApEn)	Add/abd	-.26(.27)	-0.16(.52)	-.26(.29)	-.36(0.13)
	In/ext Rot	-.28(.25)	-0.41(.08)	-.17(.48)	-.26(0.29)

* : $p<.05$

이들 결과에 의하면 고 관절의 내·외전 각 움직임의 국부적 안정성 지표인 ApEn 값과 좌우 CoP와는 모수 상관 분석의 경우 피어슨 적률 상관계수는 r=-.54(p=.02), 비 모수 상관 분석의 경우 스피어맨 상관계수는 r=-.68 (p=.001)로 두 분석 동시에 통계적으로 유의하게 뚜렷한 부적 선형관계를 이루었다, 그러나 고 관절의 굴신각과 내·외측 회전각의 ApEn 값과 좌우 CoP 간의 관계정도는 모수 및 비모수 상관 분석에서 매우 낮게 나타났다. 또한 고 관절의 3방향 각운동의 ApEn 값과 전후 CoP와의 상관관계는 모수 및 비 모수 분석 모두 통계적으로 무의미한 상태에서 낮은 부적 상관관계를 보였다.

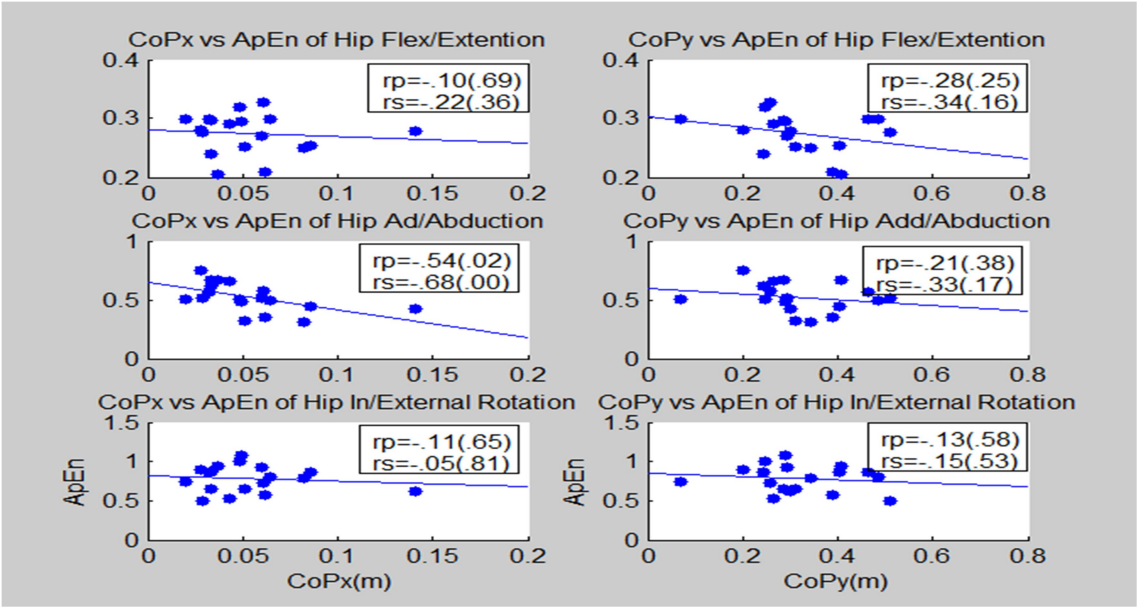

Figure 3. Scatterplot and Correlation coefficient between ApEn of 3-dimentional hip joint angles and CoP. rp and rs indicate Pearson and Spearman correlation coefficient, respectively.

무릎 관절의 굴신, 내·외전, 내·외측 회전의 국부적 안정성의 지표인 ApEn 값과 좌우 CoP 크기와의 상관관계는 모수 및 비모수 분석에서 통계적으로 의미 있는 결과는 보이지 않았다. 이들 무릎 관절의 3차원 각 운동의 안정성과 전후 CoP와의 상관관계

또한 모수 및 비 모수 두 분석에서 통계적으로 유의한 관계 정도가 나타나지 않았다.

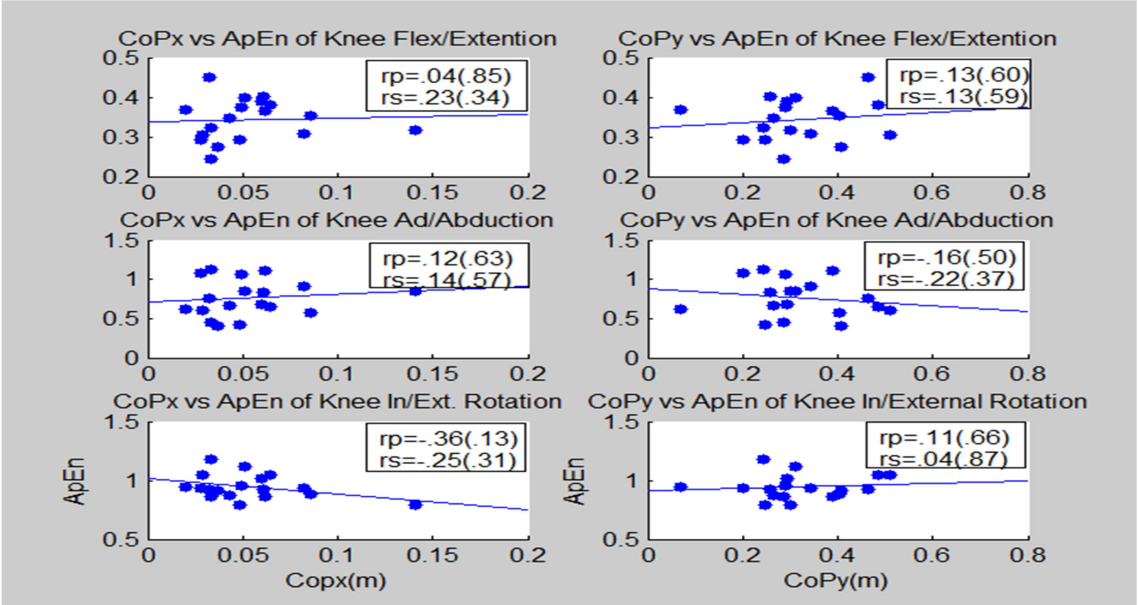

Figure 4. Scatterplot and Correlation coefficient between ApEn of 3-dimentional knee joint angles and CoP. rp and rs indicate Pearson and Spearman correlation coefficient, respectively.

발목 관절의 굴신 움직임에 대한 국부적 안정성의 지표인 ApEn 값과 좌우 CoP와의 모수 상관분석인 피어슨 상관계수는 r=-.52(*p*=.02)로 뚜렷한 부적 선형관계를 보였으나. 비모수 상관 분석 스피어맨 상관계수는 r=-.44 (p=.06)로 통계적으로 유의한 수준을 벗어났다. 발목 관절의 내·외반, 내·외측 회전의 국부적 안정성 지표인 ApEn 값과 좌우 CoP와의 관계 정도는 모수 및 비모수 상관 분석 결과 통계적으로 유의한 상관관계를 보이지 않았다. 또한 발목 관절의 3차원 각운동의 ApEn과 전후 CoP와의 관계 정도는 비모수 뿐만 아니라 모수 상관 분석 결과 통계적으로 무의한 상태에서 전반적으로 낮은 관계정도를 보였다.

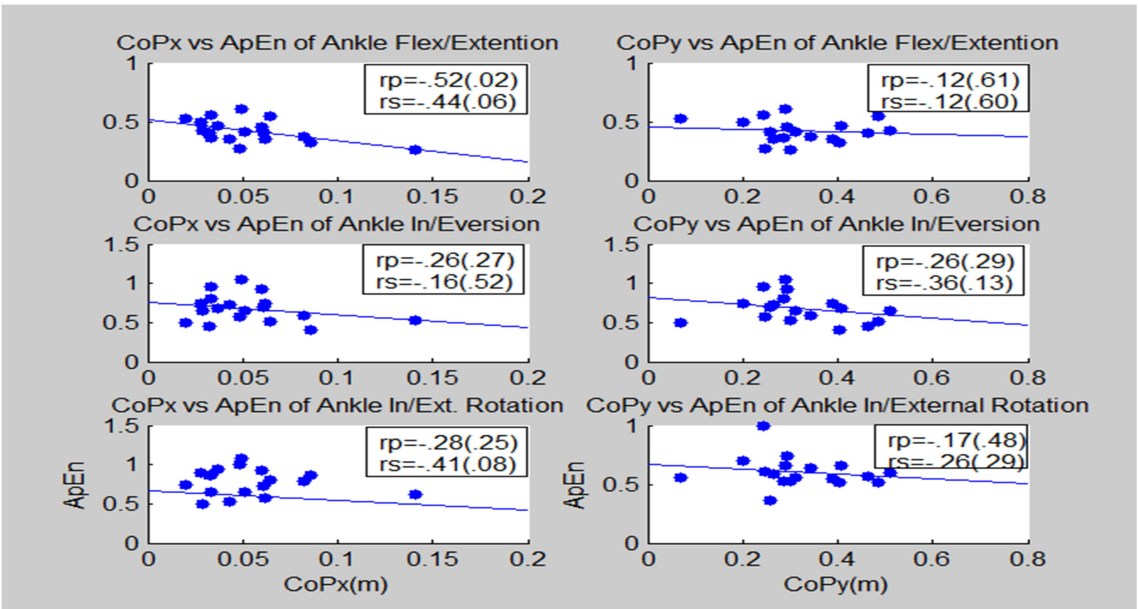

Figure 5. Scatterplot and Correlation coefficient between ApEn of 3-dimentional knee joint angles and CoP. rp and rs indicate Pearson and

Spearman correlation coefficient, respectively.

Discussion

노화에 따라 노인들은 근 섬유가 점진적으로 감소하고 근 수축력이 저하되어 신체 움직임 범위가 제한된다 (Frontera, Meredith, O'Relly, Knuttgen, & Evans, 1988). 근 위축과 근력의 감소, 근 기능 저하는 균형유지에 부정적 영향을 준다 (Schlicht, Camaione, & Owenet, 2001). 특히 하지 근력의 약화는 균형성에 큰 영향을 주어 낙상의 주요한 원인으로 알려졌다 (Ferine, Gryfe, Holiday, & Liewellyn, 1982). 이런 이론적 배경에 따라 균형성을 산출해 안정성을 판단하는 연구는 노인 낙상에 주류를 이루었다. 그 동안 낙상을 예측하기 위한 안정성의 대표적 지표로 활용된 것이 CoP이다 (Collins & De Luca, 1993; Owings, Pavol, Foley, & Grabiner, 2000; Piirtola & Era, 2006). 노인들의 낙상을 예측하기 위한 또 다른 안정성의 지표로 최근에 대두되는 것 중에 하나가 시계열 자료를 이용해 주기성, 즉 변이성을 관찰해 국부적 안정성을 판단하는 비선형 분석이다 (Ryu, 2017). 앞서 기술한 바와 같이 CoP는 몇몇 걸음(step)이나 걸음걸이가 동일한 주기성을 갖는다는 전제하에 이들 일부를 취해 분석하는 이산적인 방법을 이용하지만, 시계열 분석은 자료를 일정한 시간을 갖고 관찰하는 연속적인 분석 방법이다 (Verghese et al, 2009). 두 변인을 산출하는 과정은 비록 다르지만 안정성 판단을 위한 활용 목적은 같다.

이 연구는 노인 보행 시 CoP 범위와 시계열 분석 방법 중에 하나인 ApEn를 통해 산출한 하지 관절의 국부적 안정성과의 상관 정도를 규명하고자 했다. 하지 관절의 3차원 움직임의 국부적 안정성과 좌우, 전후 CoP 범위와의 관계를 분석한 결과 무릎과 발목 관절의 3차원 움직임에 대한 국부적 안정성과 CoP 범위와의 상관관계는 전반적으로 낮게 나타났으나, 인체 중심에 가까운 고 관절의 내·외전 움직임과 좌우 CoP 범위와는 통계적으로 유의하게 뚜렷한 부적 선형 관계를 보였다. 즉 고관절의 내·외전의 국부적 안정성이 낮으면, CoP 범위가 적게 나타났다. 보행 시 변이성 변동은 불안정성에 대한 지표이기 때문에 잠재적으로 노인들의 낙상을 예측하는 요인으로 간주된다. 일반적인 보행 매개변수에서 증가된 변이성은 노인들의 낙상을 예측하는 지표라고 일부 연구에서 주장되었다 (Hausdorff et al, 2001; Verghese et al, 2009; Maki, 1997). 또한 CoP 동요 범위 중 좌우 CoP 범위의 크기는 불안정한 상태를 나타내는 노인 낙상의 예측 지표로 선행 연구에서 밝히고 있다. Maki et al.(1994)와 Bergland et al.(2003)은 좌우 CoP 범위 크기는 최근 낙상 경험이 없는 노인들 조차에서도 미래 낙상의 다소 정확한 예측 요인이라고 주장했으며, Melzer & Oddsson(2004)은 좌우 동요 매개변수는 과거 6개월 동안 두 번 이상 낙상을 경험한 노인들을 구별 할 수 있는 변인이라고 보고했다. Stel et al. (2003)은 CoP를 측정해 낙상의 독립적인 예측 변인으로 역시 신체 좌우 동요 범위를 꼽았으며, Melzer et al. (2010)은 좌우 CoP 범위와 면적은 낙상자들과 비 낙상자들을 구별하는 명확한 지표라고 보고했다. 이와 같이 많은 연구에서 좌우 CoP 범위 크기는 낙상의 예측 요인으로 보고되고 있다. 이들 선행 연구는 좌우 CoP 범위와 변이성의 지표인 ApEn의 값이 크면 불안정한 상태로 해석해 낙상의 가능성을 판단했다. 따라서 두 요인 간 관계 정도가 있다면 이들 관계는 비례 선형관계를 유지해야 하는 것이 이들 두 요인을 해석한 선행 연구 주장과 일치한다고 볼 수 있다. 그러나 본 연구 결과 유일하게 두 요인 간 통계적으로 유의한 관계를 보인 고 관절 내·외전 움직임의 국부적 안정성과 좌우 CoP 범위와는 반비례 선형관계를 나타났다. 이와 같은 이유는 고 관절의 내·외전 움직임의 국부적 안정성은 수직반력과 반비례, 전후 방향 축의 모멘트와 비례 관계에서 도출되는 좌우 CoP 범위의 절대 값에 복잡하게 영향을 준 것으로 판단된다. CoP 범위의 산출을 토대로 고려될 수 있는 가정은 우선 보행 시 고관절의 내·외전 움직임의 높은 주기성 즉 안정성은 전후 방향 축의 모멘트에 영향을 미치지 않고 단지 수직 반력에 영향을 미쳐 좌우 CoP 동요 값을 변화시킨 것으로 생각된다. 다시 말해 고 관절 내·외전 움직임의 주기성이 낮은 즉 불안정한 상태에서는 수직반력 값을 크게 해 좌우 CoP 범위의 절대 값을 적게 유도한 것으로 가정된다. 다음으로 고려될 수 있는 가정이 보행 시 고 관절 내·외전 움직임의 안정성은 수직반력에 영향을 미치지 않고 전후 방향 축의 모멘트에 영향을 미쳐 좌우 CoP 범위를 변화시켰다는 추측이다. 이 경우 고관절의 국부적 안정성은 전후 방향 축의 모멘트를 크게 해 좌우의 CoP 범위 절대 값을 크게 유도한 것으로 판단한 가정이다. 마지막으로 고관절의 움직임 안정성은 정도의 차이로 수직반력과 전후 방향 축의 모멘트에 동시에 영향을 주어 좌우 CoP 범위에 영향을 주었다는 가정이다. 이런 가정들을 증명하기 위해서 향후 구체적인

연구를 통해 밝혀져야 할 또 다른 과제라 판단되지만, 본 연구 결과인 보행 시 고 관절 내·외전 움직임의 국부적 안정성과 좌우 CoP 범위와의 부적 상관관계를 설명할 수 있는 가정들이라고 판단된다. 본 연구 결과 노인 보행 시 좌우 CoP 범위와 뚜렷한 부적 선형관계가 있는 고 관절의 내·외전 움직임의 국부적 안정성은 노인 낙상을 예측하는 지표로 활용될 수 있다고 판단된다.

본 연구 결과는 일반적으로 움직임의 변이성이 크면 불안정하다는 이론적 해석과 배치된 결과이지만, 보행 시 관절간 협응 패턴의 변이성의의 감소는 가령에 따라 나타나고, 이는 낙상의 위험을 증가시키는 것으로 보고한 Chiu & Chou(2012, 2013)의 연구 결과와 일치된 내용이다. 운동 수행 시 변이성과 안정성과의 관계를 판단하기 위해서는 변이성의 변인, 관절 및 분절, 연령 등 다양한 상황을 고려한 연구의 필요성이 요구된다..

따라서 본 연구 결과가 보다 신뢰성을 확보하기 위해서는 낙상과 비 낙상 노인들을 대상으로 고 관절의 내외전근력의 차이 등을 고려해 국부적 안정성을 비교 분석하는 연구가 필요하다,

Conclusion

여성 노인 보행 시 낙상 예측 지표인 좌우 CoP 범위와 ApEn를 통해 산출한 하지 관절의 국부적 안정성과의 관계 정도를 규명한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다. 보행 시 고관절의 내·외전의 국부적 안정성이 낮으면, CoP 범위가 적게 나타났다. 즉 보행 시 좌우 CoP 범위와 하지의 고관절의 내·외전 움직임의 국부적 안정성과는 뚜렷한 부적 선형 관계를 보였다. 따라서 하지 관절 중 고관절 내·외전 움직임의 국부적 안정성의 지표인 ApEn은 보행 시 낙상의 예측 지표로 활용될 가능성이 있다고 판단된다.

References

Bergland, A., Jamlo, G. B., & Laake, K.(2003). Predictor of falls in the elderly by location. *Aging Clinical Experimental Research, 15,* 43-50.

Cohen, H., Blatchly, C. A., & Gomblash, L. I.(1993). A study of the clinical test of the sensory interaction and balance. *Physical Theraphy, 73,* 345-346.

Chiu, S. L., & Chou, L. S.(2012). Effect of walking speed on inter-joint coordination differs between young and elderly adults. *Journal of Biomechanics, 45,* 275-280..

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.

Collins, J. J., & De Luca, C. J.(1993). Open-loop and closed-loop control of posture –a random-walk analysis of center-of-pressure trajectories. *Experimental Brain Research, 95,* 308-318.

Collins, J. J., & De Luca, C. J. (1995). The effects of visual input on open-loop and closed-loop postural control mechanisms. *Experimental Brain Research, 103(1),* 151-163.

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'Relly, K. P.(1989). Strength conditioning in older men skeletal muscle hypertrophy and improved function. *Journal of Applied Physiology, 64,* 1044-1089.

Frontera, W. R., Meredith, C. N., O'Reilly, K. P., Knuttgen, H. G., & Evans, W. J.(1988). Strength conditioning in the older Men: Skeletal muscle hypertrophy and improved funtion. *Journal of Applied Physiology, 64(3),* 1038-1044.

Gauchard, G. C., Gangloff, P., Jeanel, C., & Perrin, P. P.(2003). Physical activity improve gaze and posture control in the elderly. *Journal of Neuroscience Research, 45(4),* 409-417.

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

Guralnik, J. M., Ferrucci, L., Simonsick, E. M., Salive, M. E., & Wallace, R. B.(1995). Lower extremity function in persons over the age of 70 years as a predictor of subsequent disability. *New England Journal of Medicine, 332,* 556-561.

Hahn, M. E., & Chou, L. S.(2003). Can motion of individual body segments identify dynamic instability in the elderly? *Clinical Biomechanics, 18,* 737-744.

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 Rehabilitation, 82,* 1050-1056.

Health (2017). *Chosun daily newspaper health section* D1, Jan 11.

Johnell, O., & Kanis, J. A.(2006). An estimate of the worldwide prevalence and disability associated with osteoporotic fractures. *Osteoporosis International, 17,* 1726-1733.

Mahoney, J. E.(1998). Immobility and falls. *Clinical in Geriatric Medicine, 14,* 699-726.

Maki, B. E.(1997). Gait changes in older adults: Predictors of falls or indicators of fear? *Journal of American Geriatrics Society, 45,* 313-320.

Maki, B. E., Holliday, P. J., & Topper, A. K.(1994). A prospective study of postual balance and risk of falling in an ambulatory and independent elderly population, *Journal of Gerontology, 49,* 72-84.

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.

Melzer, I., & Oddsson, L. I.(2004). The effect of a cognitive task on voluntary step execution in healthy elderly and young individuals. *Journal of American Geriatrics Society, 52 (8),* 1255-1262.

Owings, T. M., Pavol, M. J., Foley, K. T., & Grabiner, M. D.(2000). Measures of postural stability are not predictors of recovery from large postual disturbances in healthy older adults, *Journal of American Geriatrics Society, 48,* 42-50.

Paterson, K., Hill, K., & Lythgo, N.(2011). Stride dynamic, gait variability and prospective falls risk in active community dwelling older woman, *Gait & Posture, 33,* 251-255.

Piirtola, M., & Era, P.(2006). Force platform measurements as predictors of falls among older people, *A Review Gerontology, 52 (1),* 1-16.

Preatoni E., Hamill J., Harrison A. J., Hayes K., Emmerik V. R., Wilson C., & Rodano, R.(2014). Movement variability and skills monitoring in sports. *Sports Biomechanics, 12(2),* 69-92.

Rao, S. S.(2005). Prevention of falls in older patients. *American Family Physician, 72,* 81-88.

Rubenstein, L. Z., & Josephson, K. R.(2002). The epidemiology of falls and syncope. *Clinics in Geriatric Medicine, 18,* 141-158.

Ryu, J. S.(2014). Variability of GRF components between increased running times during prolonged run. *Korean Journal of Sport Biomechanics 24(4),* 359-365.

Ryu, J. S. (2016). Effects of Prolonged Running-Induced Fatigue on Periodicity of Shank-Foot Segment Coupling and Free Torque. *Korean Journal of Sport Biomechanics, 26(3),* 257-264.

Ryu, J. S.(2017). Lower extremities'joint stability during the elderly woman's walking. *Korean Journal of Sport Biomechanics, 27(1),* 45-52.

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 auduts. *Journal of Gerontology Series A: Biological Science and Medical Science, 56(5):* M281-286.

Stel V. S., Smit J. H., Pluijm S. M., & Lips P.(2003). Blance and mobility performance as treatable risk factors for recurrent falling in older persons. *Journal of Clinical Epidemiology, 56,* 659-668.

Stergiou, N., Giakas. G. Byrne, J. E. & . Pomeroy, V. (2002). Frequency Domain Characteristics of Ground Reaction Forces during Walking of young and elderly females, *Clinical Biomechanics, 17,* 615-617,

Teasdale, N., & Simoneau, M.(2001). Attentional demands for postural control: the effects of aging and sensory reintegration. *Gait & Posture, 14,* 203-210.

Verghese, J., Holtzer, R., Lipton, R. B., & Wang, C. (2009). Quantitative gait markers and incident fall risk in older adults. *Journal of Gerontology Series A: Biological Science and Medical Science, 64A*, 896-901.