Lower extremities' joint stability during the elderly woman's walking

Abstract

Objective: The aim of this paper was to investigate the periodicity of the lower extremities'joint flexion/extension angle to compare local stability between young and elderly women during walking on a treadmill.

Methods: Eighteen young women (mean age=21.2±1.6 yrs.; mean mass=57.1±6.1 kg; mean height=1.61±0.04 m) and eighteen elderly woman (mean age=66.4±1.2 yrs.; mean mass=55.4±8.3 kg; mean height=1.56±0.04 m) participated in this study. Approximate entropy (ApEn) was used to determine periodicity in the lower limb's joint angles.

Results: ApEn values of two groups were statistically greater in surrogates data test than in the original time series data ($p<.05$). Periodicity of the hip and ankle flexion/extension angle was decreased in elderly women compared with young women ($p<.05$). Periodicity of the lower extremities' joint flexion/extension angle showed that ankle joint increased dominatingly in both group ($p<.05$) and the hip joint were decreased compared with the knee joint in young women, vice versa in elderly women ($p<.05$).

Conclusion: These results suggest that the lower extremities' joint flexion/extension angles during young and elderly woman walking contained random noise as well as biological signal. In addition, the differences of periodicity in the lower extremities' joint between young and elderly women may provide some insight to predict the potential fall and use the characteristic indicator for determining local stability in elderly woman walking.

Keywords: Approximate entropy, Periodicity, Local stability, Walking, Elderly women, Falling, Lower extremity joint.

Introduction

우리나라 65세 이상 노인 인구의 구성 비율은 2015년 총 인구 대비 13.2%이다 (Statics Korea, 2016). 2020년에는 15%를 상회할 것으로 예상되며, 2040년에는 32%에 육박하는 초 고령 사회에 도달할 것으로 전망하고 있다 (Statics Korea, 2014). 급격히 증가하는 노인 세대의 가장 큰 관심사 중에 하나가 건강이다. 하지만 노화에 따른 신체적 변화로 노인 건강은 위협 받고 있다. 낙상은 노인의 건강을 해치는 가장 위험한 요인 중 하나로 간주되고 있다(Berry & Miller, 2008).

낙상은 외적인 충격 없이 일상생활을 수행하는 동안 비의도적으로 균형을 잃어 신체의 일부분이 바닥에 접촉하는

것으로 정의 된다(Lord, Caplan, & Ward, 1993). 우리나라 노인의 낙상사고도 해마다 증가하는 추세이다. 2013년 한국소비자원에 접수된 65세 이상 낙상사고 건수는 294건이었지만, 2014년에는 402건, 2015년에는 554건으로 매년 35%씩 증가했다(Health Chosun, 2017). 낙상은 때론 상해를 유발해 이를 치료하기 위한 사회의 고 비용뿐만 아니라 노인들의 삶의 질을 저하시킨다. 심지어 낙상은 노인 사망 원인의 12%를 차지 해 사망 원인 빈도 6번째에 해당된다 (American Geriatric Society, 2001; Curry & Hogstel, 2002). 이런 폐해로 볼 때 노인들에게서 낙상은 삶의 질을 저하시키는 심각한 문제가 아닐 수 없다(Kauffman, 1999).

Tinetti et al.(1988)은 노인에게 발생하는 낙상의 원인은 환경적 요인보다 균형성 상실과 근 기능 저하와 같은 개인의 내적 요인이 크다고 주장했다. 노인들의 하지 근 기능은 균형 능력과 높은 상관관계가 있으므로 (Hausdorff, Mitchell, Goldberger, & Wei, 1997; O'Brien, Culbam, & Pickles, 1997; Song, Mun, Kang, & Choi, 2001; Wolfson, Judge, & Whipple, 1995), 노인들에 대한 낙상 예방은 균형성을 유지하는 능력에 달려 있다고 해도 과언이 아니다. 낙상 예방은 균형성 교란에 대한 보호적인 개인의 능력에 주로 기초하므로(Johnell and Kanis, 2006) 노인들의 낙상을 예측하기 위한 원인을 살펴보기 위해서는 균형성에 의해 유지되는 안정성을 분석할 필요가 있다. 신체의 근육량은 30대 이후부터 매년 0.5~1%씩 감소한다. 근력과 근육량이 동시에 감소하는 근감소증은 여성의 경우 55세 전후부터 일어나며, 70세 미만에서는 15~25%, 80세 이후에는 40%로 현저하게 증가한다(Newsmp, 2017). 노인 낙상은 근감소증으로 인한 기능 저하로 신체 균형 감각 조절 능력이 상실되어 발생된 다는 이론적 배경에 따라 그 동안 낙상 저지와 낙상의 원인을 찾기 위한 노력으로 균형성을 주제로 한 연구가 주로 이루어졌다(Benjuya et al., 2004; Bergland et al., 2003; Buchner et al., 1997; Campbell, Roberton, & Gardner, 1999; Carter et al., 2001; Casteel et al. ,2004; Collins and De Luca, 1993; Collins et al., 1995; Fernie et al., 1982; Hughes et al., 2001; Judge, Linsay, Underwood, & Winseminus, 1993; Laughton et al., 2003; Li, Harmer, Fisher & Mcauley, 2004; Maki, Holliday, Topper, 1998; Mariano, 2008; Melzer et al., 2004; Melzer, Kurz, & Oddsson, 2010; Moore et al., 2005; Owings, Pavol, Foley, & Grabiner, 2000; Park, Choi, & Hwang, 2002; Persch et al., 2009; Piirtola & Era, 2006; Rubenstein, Josephson, & Trueblood,2000; Rubenstein, Schlicht, Camaione, & Owen, 2001; Ryu, 2008; Schonfelder, 2000; Schoenfelder, & Rubenstein, 2004; Shimada, 2003; Stel, Smit, Pluijm, & Lips ,2003; Yi & Ryu, 2012). 그러나, 낙상을 다루기 위해 균형성을 분석하여 신체 안정성을 판단한 연구들은 활발하게 진행되어 왔으나 많은 연구가 정적 직립 상태의 연구들로 치중되어 왔다

보행과 같은 동적인 환경에서 실제 낙상 동작을 분석해 전신 안정성과의 관계를 규명하는 것은 어려운 일이지만, 동적인 상태에서 시계열 자료를 활용하여 국부적 안정성을 살펴 잠재적 낙상을 예측하는 것은 가능한 일이다 (Dingwell, Cusumano, Sternad, & Cavanagh, 2000). 노인 낙상이 가장 빈번하게 발생하는 환경 중에 하나인 보행 시 (Kim,

2003; Rose & Gable, 2006) 안정성을 관찰하는 것은 자세 조절 메카니즘에 작용하는 관절 운동의 양상을 이해할 뿐만 아니라 잠재적 낙상을 예측하는데 중요하다. 특히 남성 노인보다 상대적으로 낙상 율이 높고, 폐경기 이후 여성 호르몬인 에스트로겐이 감소함에 따라 근육량이 줄고, 골밀도 저하로 자세 유지 능력이 떨어져 낙상에 더 쉽게 노출되는 (Health Chosun, 2017; Jeon, Jeong, & Choe, 2001) 여성 노인을 대상으로 낙상과 관련된 하지 관절의 안정성을 살펴보는 것은 의미 있는 연구이다.

보행 시 하지 관절의 안정성 분석은 몇몇 스탭이나 스트라이드가 동일한 주기성을 갖는다는 전제하에 이들 일부를 취해 안정성 관련 요인을 정량화하는 방법과 스텝이나 스트라이드를 일정한 시계열 상태에서 연속성을 갖고 관찰하는 방법이 있다(Verghese, 2009). 숙련된 경보 선수일지라도 보행 시 스텝이나 스트라이드의 주기성이 동일하지 않은 것으로 알려졌다(Preatoni, Ferrario, Dona, Hamill, & Renato, 2010). 보행 주기성의 변동은 환경적인 변화, 훈련 과정, 잠복된 질환, 불안전한 회복 등이 신경근계 조직에 영향을 미친 결과이므로(Hausdorff et al., 1994; Hausdorff, et al., 1997; Nakamura, Meguro, & Sasaki, 1996; Papadakis et al., 2009; Preatoni, 2014) 안정성 지표를 통해 잠재적인 낙상을 예측하기 위해서는 시계열 자료를 이용해 보행 파라미타를 정량화할 필요성이 요구된다 (Hahn & Chou, 2003; Hausdorff et al., 2001; Verghese, 2009). 시계열 분석 방법 중에 ApEn(approximate entropy)은 생체 계에서 규칙성의 특성을 정량화해 안정성을 판단하는 도구로 활용되고 있다 (Preatoni et al., 2014). 따라서 노인 보행 시 잠재적 낙상 가능성을 추정하기 위해 ApEn 기법을 활용할 수 있다.

이 연구의 목적은 보행 시 여성노인들의 국부적 안정성을 분석하고자 시상면에서 이루어지는 하지 관절 굴신 동작의 주기성을 비선형 ApEn(approximate entropy) 기법을 이용해 젊은 여성과 비교 분석했다. ApEn 산출에 앞서 하지 관절의 굴신 시계열 자료에 대해 신경운동의 동적 특성을 파악하고자 surrogate data test를 실시했다. 본 연구에서 분석된 두 집단간 하지 관절의 주기성 차이는 연령에 기인한 것으로 가정 했다.

Method

1. Participants

본 연구의 대상자는 젊은 여성과 노인 여성 각각 18명, 총 36명이 선정되었다. 이들의 구체적인 신체특징과 보행 속도는 아래 <표 1>과 같다.

Table1. Characteristics of Subjects and their walking velocity (mean±SD)

	Age(yrs)	Body mass(kg)	Height(m)	walking Speed(m/s)

Young Woman	21.2±1.6	57.1±6.1	1.61±0.04	1.01±0.15
Elderly	66.4±1.2	55.4±8.3	1.56±0.04	0.77±0.11

2. Data collection

대상자들의 보행 시 하지 관절의 굴신 동작에 대한 주기성 분석을 통해 국부적 안정성을 살펴보고자 트레드밀 (instrumented dual belt treadmills, Bertec, USA))보행이 활용되었다. 보행 시 허리, 무릎, 발목 관절의 움직임을 관찰하기 위해 대상자의 하지가 모두 촬영되도록 서로 연결된 6대의 적외선 카메라(Oqus 300, Qualisys, Switzerland)를 보행 공간 트레드밀 주변에 설치한 후 4개의 마커가 부착된 L 자 모양의 프레임과 75cm 간격으로 부착된 2개의 마커를 지닌 T 자 모양의 프레임을 이용해 실 좌표를 얻기 전 NLT(nonlinear transformation) 방법을 이용하여 공간 좌표화를 시도하였다. 전역좌표계(room coordinate system)는 L 자 모양의 프레임이 놓인 트레이드밀 뒤 오른쪽에 구축했으며, 축 방향 설정은 상방 수직 쪽을 +Z, 보행 방향 쪽을 +Y, +Y에서 +Z 방향으로 크로스(cross)한 쪽을 오른쪽 방향을 +X 축으로 했다. 하지 분절에 대한 지역 좌표축 x, y, z는 전역 좌표와 같은 방향에 설정했다. 허리, 무릎관절과 발목 관절의 3차원 운동학적 정보를 얻기 위하여 반사 마커는 천골, 대퇴, 하퇴, 발 분절에 각각 3개씩 총 12개를 부착했다. 카메라는 컴퓨터의 지정된 프로그램에 의해 초당 200 Hz로 작동했다.

모든 대상자들에 대해 실제 보행에 앞서 마커 위치들이 기준이 되는 중립적인 위치를 설정하기(standing calibration) 위해 직립 시 샘플링 율 200Hz로 2초 동안 촬영했다. 이 때 대상자들은 어깨 넓이로 양 발이 나란히 앞을 향하도록 위치했으며, 무릎과 허리는 완전하게 신전된 상태로 발목 관절은 대략 90도를 유지했다. 자료 수집은 완전한 보행 패턴을 수행하고 있다고 보일 때 대상자들이 인지하지 못한 상태에서 적어도 20스트라이드에 대해 수집했다. 모든 보행은 자연적은 보행 유형인 후족 착지 형으로 이루어졌으며, 대상자 선정에 앞서 이를 사전에 고려했다. 각 대상자들의 보행 속도는 평소에 걷고 있는 선호 속도로 고려되었으며, 자료 수집에 앞서 모든 대상자는 트레드밀 보행에 적응하기 위한 충분한 연습 (warm-up) 시간이 주어졌다.

3. Data analysis

보행 시 허리,, 무릎, 발목 관절의 3차원 각 계산은 관절 좌표계 (joint coordinate system) 방법 (Hamill & Ryu, 2003)을 이용해 20 스트라이드에 대해 산출했으며, 이 중에서 움직임 범위가 가장 크고 신뢰성 과 재현성 높은 굴신각 (Preatoni et al., 2014) 만을 선택해 주기성을 살펴보았다. 주기성 평가는 비선형 기법인 ApEn를 이용했다. ApEn은 주기성(반복성, 연속성)을 평가하는 방법으로 자료의 m 점들에서 비슷한 patch와 m+1점들에서 비슷한 패치를 비교함을 목적으로 한다. 즉 m/m+1을 산출하는 방법으로 AnEn값이 0에서 정수로 이어지며 큰 값은 주기성이 낮은 불안정성을 대변하고, 적은 값은 주기성이 높은 안정성을 대변한다. ApEn(m, r, N)은 N 입력 데이터 점들 u(1), u(2),...u(N)과 두 입력 파라미터 m, r 이다. 입력 파라미터 m은 비교되는 패턴 길이

(pattern length)이고 r은 허용(tolerance) 오차이다. ApEn의 구체적인 계산 과정은 선행 연구를 참조했다 (Stergiou, 2004; Ryu, 2016). 또한 관찰된 시계열 자료는 분석된 계의 동역학의 확실한 유형의 결과라는 가정을 검증하기 위해 (Theiler, Eubank, Longtin, Galdrikian, & Farmer, 1992) 시계열 자료 20 스트라이드에 대해 surrogate data test (pseudo-periodic surrogate)를 한 후 ApEn 값을 산출했다. 산출된 결과는 평균해 원 시계열 자료의 ApEn값과 비교했다 (Preatoni et al., 2010).

4. Statistical analysis

이 연구에서 분석된 자료는 정규성을 이룬다고 가정할 수 없으므로 통계적 유의성 검증은 비 모수 통계 기법이 이용되었으며, 구체적인 적용은 다음과 같다. 첫째 집단 내 선정된 하지관절 굴신 각의 ApEn 값과 이를 Surrogate 한 ApEn 값의 차이를 보기 위해 Wilcoxon signed rank test을 이용했으며, 둘째 집단 간 하지관절 별 굴신각에 대한 ApEn 값의 차이를 보기 위해 Mann-Whitey test를 이용했다. 셋째 집단 내 하지관절 간 굴신각 ApEn 값의 차이를 보기 위해 Kruskal_-Wallis 방법을 통해 검증한 후 통계적 차이가 있는 경우 Mann-Whitey U-test 통해 관절간 차이 검증을 한 후 Bonferroni correction을 통해 통계적 유의성을 검증 실시했다. 모든 통계적 유의성 임계치는 0.05%로 설정했다.

Results

앞서 기술한 방법에 의해 분석한 결과는 <Fig.1~4>에 제시되었다. <Fig..2>에 의하면 젊은여성집단과 노인여성집단의 경우 surrogate data test후의 ApEn값은 각 시계열에 대한 ApEn값보다 허리 관절과 무릎 관절, 발목 관절의 모든 굴신에서 증가를 보였다. 보행시 허리 관절의 굴신 움직임에 대한 젊은 여성 집단의 ApEn값은 중앙값과 사분차 범위가 평균 0.218±0.032를 보였고, Surrogate data test의 ApEn 값은 0.273±0.047로 원 자료에 비해 25% 증가를 보였다(p=0.0001). 노인 여성 집단의 경우 허리관절 굴신 각에 대한 ApEn 값은 중앙값과 사분차 범위가 평균 0.256±0.050을 보였고, surrogate data test의 ApEn 값은 0.306±0.126로 20% 증가(p=0.007) 하여 젊은 여성 집단보다 약간 적은 증가를 보였다. 무릎 관절 굴신각에 대한 ApEn 값은 젊은 여성 집단이 중앙값과 사분차 범위는 평균 0.225±0.035을 나타났으며, Surrogate data test ApEn의 평균 중앙값과 사분차 범위는 평균 0.330±0.039로 46%의 증가를 보였다(p=0.0001)). 노인 집단의 경우 ApEn값의 중앙값과 사분차 범위는 평균 0.206±0.040이고, 이들 각에 대한 Surrogate data test의 ApEn값은 중앙값과 사분차 범위 평균이 0.325±0.143로 57%의 증가를 보였다 (p=0.0008). 발목 관절 굴신 동작에 대한 ApEn값은 젊은 집단이 중앙값과 사분차 범위가 평균 0.330±0.082를 보였으며, 이들의 surrogate data test에 대한 ApEn값의 중앙값과 사분차 범위가 평균 0.374±0.052로 12%의 증가를 보여 Wilcoxon signed rank test 결과 p값은 0.0053로 유의수준 0.05보다 작았다(p<.05). 한편 노인 집단의 경우 발목 굴신에 대한

ApEn값은 중앙값과 사분차 범위가 평균 0.393±0.310를 나타났으며, Surrogate data test의 ApEn 중앙값과 사분차 범위가 0.417±0.111로 11% 증가를 보여Wilcoxon signed rank test 결과 p값은 0.00028를 보였다($p<.05$).

젊은 여성 집단과 노인 여성 집단 사이의 원 자료의 허리 관절 굴신 동작에 대한 ApEn 값을 분석한 <Fig.3>에 의하면 과 노인 여성 집단이 통계적으로 유의하게 큰 값을 보여 주기성이 낮았다($p= 0.0025$). 이와 같은 결과는 발목 관절에서도 나타났다. 젊은 여성과 노인여성 두 집단 간 발목 관절 굴신 동작에 대한 원 자료의 ApEn 차이를 Mann-Whitey test을 이용해 분석한 결과 노인 집단이 젊은 집단보다 유의하게 커 주기성이 낮게 나타났다 ($p= 0.026$). 그러나 젊은 여성과 노인 집단 간 무릎 관절 굴신의 ApEn값 차이는 통계적으로 유의한 차이점이 발견되지 않았다($p=0.763$).

집단 내 관절 간 굴신각 ApEn 값에 대한 유의차를 Kruskal-Wallis 검증을 이용해 분석한 <Fig.4>에 의하면 젊은 집단과 노인 집단 내에서 허리, 무릎, 발목 관절 굴신 동작의 ApEn 값은 두 집단 내 (젊은 집단; χ^2=35.17 $p=0.0001$; 노인 집단 χ^2 = 36.24, $p=0.0001$) 유의한 차이를 보였다. 이들 차이에 대한 사후 검증을 Mann-Whitey test와 Bonferroni correction을 통해 분석한 결과 젊은 여성 집단은 발목과 허리, 발목과 무릎의 주기성에 차이를 보였지만 ($p=0.0001$), 무릎과 허리의 주기성에는 차이가 없었다($p=0.571$). 노인 여성 집단의 경우 발목과 무릎($p=0.0001$), 발목과 허리($p=0.0002$), 무릎과 허리 관절의 ApEn값에서 유의한 차이를 보여($p=0.0029$), 각관절의 굴신 동작의 주기성에서 차이를 보였다. 즉 발목, 허리, 무릎 순으로 주기성이 낮았다.

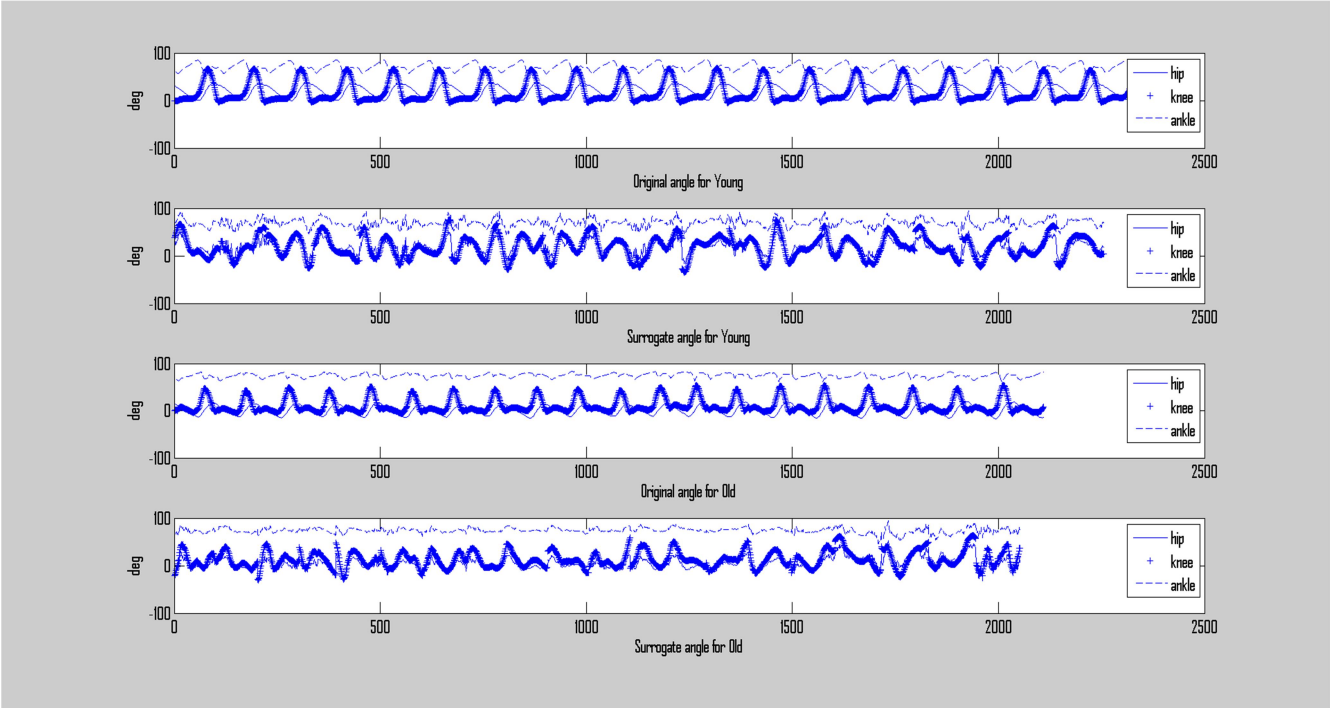

Figure 1. An individual time series and their surrogate data.

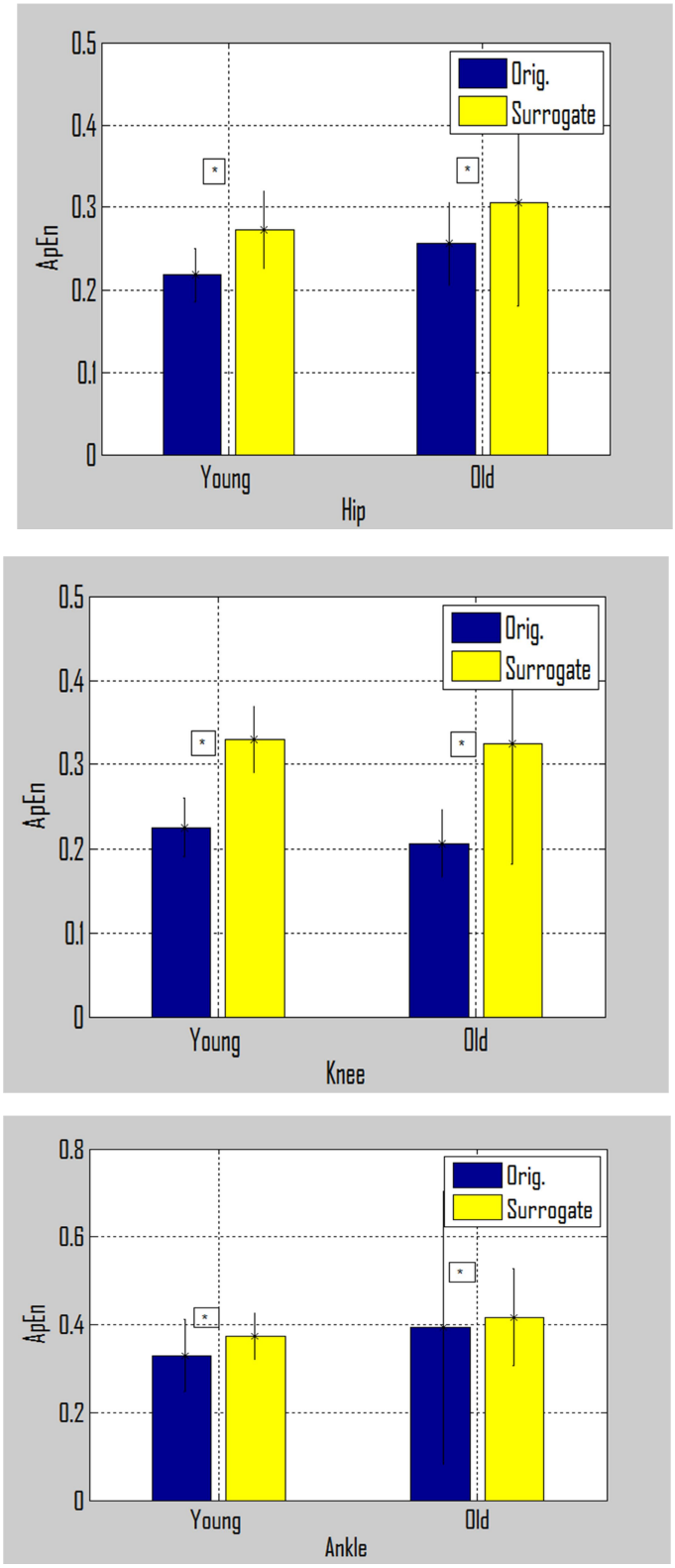

Figure 2. ApEn of the hip, knee, and ankle joint flexion/extension in the original and surrogate between young and old women. Bar and error bars depict median and inter-quartile ranges, respectively. * : $p < .05$.

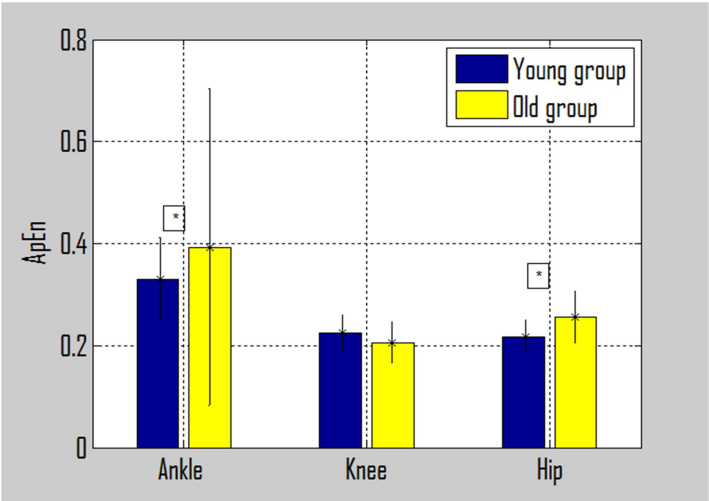

Figure 3. ApEn of the lower extremities' joint between two groups during walking.

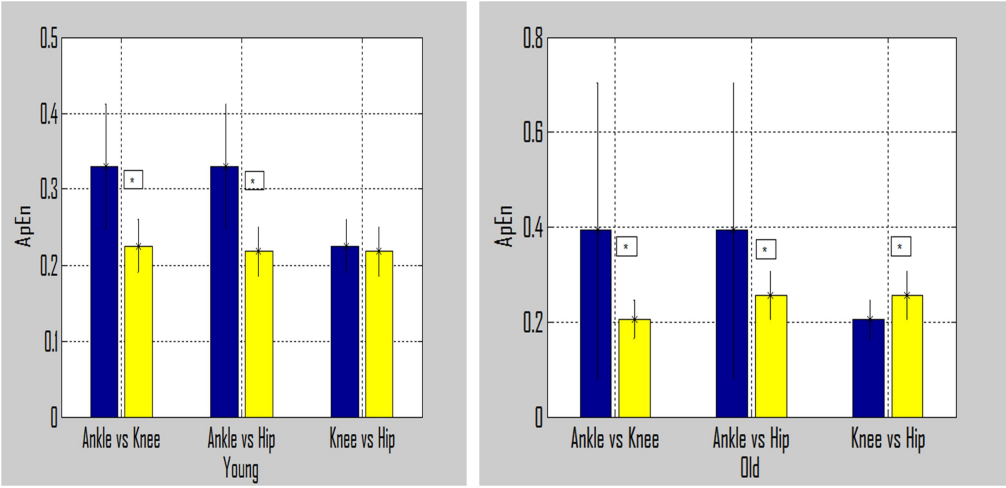

Figure 4. ApEn of joint versus joint within group during walking.

Discussion

이 연구의 목적은 노인과 젊은 여성의 보행 동작을 반복적으로 관찰해 주기성의 변화를 비교 분석함으로서 낙상의 잠재적 가능성을 예측하고자 했다. 본 연구에서는 우선 젊은 여성과 노인 여성의 보행 시 하지 관절의 굴신 동작에 대한 주기성 변화는 노이즈의 결과인가 혹은 신경운동의 동적 특성을 지니고 있는가를 분석했다. 이를 위해 하지 굴신 동작의 자료를 Surrogate test 한 후 ApEn값을 산출해 하지 관절 굴신 동작 대해 산출된 ApEn값과 비교했다. 본 연구에서 젊은 여성 집단과 노인 집단 모두 허리, 무릎, 발목 굴신각 움직임의 원 자료에 대한 surrogate의 ApEn 값은 원자료의 ApEn값보다 집단간 비율의 차이는 있지만 통계적으로 유의한 증가를 보였다. Preatoni et al.(2010)은 경보 선수들을 대상으로 허리 굴신각 자료를 surrogate test한 후 SampEn값이 59% 증가했다고 보고해 본 연구 결과보다 큰 값의 증가 비

율을 제시했다. 이와 같이 본 연구 결과와 차이가 나는 것은 이동 속도, 성 등에 의해 기인한 것으로 판단된다. 아무튼 이동 운동 조건에 따라 원 자료에 대한 ApEn값과 surrogate test한 자료에 대한 ApEn값의 증가 비율에는 차이가 있지만 값이 증가된 것은 선행 연구에서 보고된 내용과 일치했다(Bartlett et al., 2007; Riley & Turvey, 2002). 이들 결과로 볼 때 보행 시 젊은여성집단과 노인여성집단의 하지 관절 굴신 움직임 주기성은 보행 시 노이즈뿐만 아니라 비선형 구조 즉 신경 골격계에 대한 기능적 정보를 가지고 있다고 판단된다(Preatoni et al., 2010). 따라서 보행 시 시계열 하지 관절의 굴신 자료는 국부적 자세 안정성을 결정하는데 활용해도 무방하리라 생각된다.

젊은 여성 집단과 노인 여성 집단 사이의 하지 관절 굴신 움직임의 주기성 차이는 무릎 관절에는 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았지만, 허리와 발목 관절에서는 노인 여성 집단이 젊은 여성 집단보다 유의하게 주기성이 낮았다. 이는 노인 여성은 젊은 여성에 비해 상대적으로 허리 굴신근이 약해 보행 시 굴신 움직임의 주기성이 낮아져 허리의 국부적 자세가 불안한 상태로 이어지는 것으로 보인다. 신경 근 골격 시스템은 내외적 환경에 영향을 받는다. 운동역학적, 형태학적 및 해부학적 특성, 환경적 요인, 과업의 속박 등은 인체 움직임 시 주기성에 영향을 미친다(Newell et al., 2006). 젊은 여성 집단에 비해 노인 여성 집단에서 발목의 주기성이 감소한 것은 노인들이 젊은 여성들에 비해 상대적으로 발목 근육의 수축 시간이 길고, 발목 주변의 근 감소량이 크기 때문인 것으로 판단된다(Kesher, Allum, & Honegger, 1993).

본 연구 결과 노인들은 젊은 여성들보다 허리와 발목의 굴신 주기성이 낮아 보행의 안정성이 감소하게 된다. 따라서 노인들의 잠재적 낙상 위험은 허리 관절과 발목 관절로부터 야기될 확률이 크다고 판단된다(Holt, Jeng, Ratcliffe, & Hamill,1995; Maik,1997; Winter, 1983). 따라서 노인 여성 보행 시 동적 안정성을 유지해 낙상으로부터 자유로워지기 위해서는 고관절 굴신 동작에 관여하는 대둔근, 대요근, 봉공근, 대퇴이두근, 반막양근, 반건양근 등의 고관절 주변근 강화가 필요하다. 또한 전경골근, 비복근, 가자미근, 족척근 등의 발목 주변 근력 강화뿐만 아니라 고유 수용 감각이 정상의 기능을 유지할 수 있도록 자세 조절 향상에 관심을 가져야 할 것으로 판단된다(Shimada, 2003).

본 연구의 관심 중에 하나인 보행 시 젊은 여성 집단과 노인 여성 집단 내의 하지 관절의 굴신 움직임에 대한 주기성을 살펴본 결과 젊은 여성 집단은 허리 관절에서 가장 적은 ApEn 값을 나타난 반면 발목 관절에서 가장 큰 값을 보였다. 그러나 노인 집단의 경우 젊은 집단과 마찬가지로 발목 관절에서 가장 큰 값을 보였지만, 무릎 관절에서 가장 적은 ApEn 값을 보여 젊은 여성 집단과 다른 양상을 보였다. 즉 젊은 여성 집단은 근위 관절에서 원위 관절로 갈수록 불안한 자세를 보였으나, 노인 집단은 발목, 허리, 무릎 순으로 굴신 움직임의 불안정성을 보였다. 따라서 노인 여성들은 하지 관절 중에 고관절 근력 강화에 최우선으로 힘쓸 필요가 있다고 판단된다. 보행 시 젊은 여성뿐만 아니라 노인 여성이 발목 관절의 굴신 움직임의 주기성이 다른 두 관절에 비해 떨어지는 것은 관절 굴신력이 두 관절에 비해 상대적으로 약하고, 또한 보행 시 지면에서 받는 부하가 상대적으로 크기 때문에 나타나는 결과라 판단할 수 있겠지만, 기능적 관점에서 보면 보행 시 낙상과 같은 예측할 수 없는 환경에 적응하기 위한 원위 관절의 유연한 신체 자유도 조절 작용의 결과라고도 판단된다(Preatoni et al., 2014).

Conclusion

본 연구는 노인 보행 시 하지 관절의 굴신 움직임에 대한 시계열 자료를 이용해 주기성을 분석해 국부적 안정성을 판단하고자 수행했다.. 본 연구 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째,, 젊은 여성과 노인 여성들의 보행 시 허리 관절과 무릎 관절 굴신 움직임 자료는 동력학계의 생물학적 정보가 포함되어 국부적 안정성을 판단하는 정보로 활용할 수 있다고 판단된다.

둘째, 보행 시 하지 관절의 굴신 움직임에 대한 주기성 은 젊은 여성은 허리 관절에서 높았지만, 노인 여성은 무릎 관절에서 높아 두 집단 다른 결과를 보여 노인 보행의 국부적 안정성을 판단하는 특징적인 지표로 이용할 수 있을 뿐만 아니라 잠재적 낙상을 예측하는데 통찰력을 줄 수 있다고 판단된다..

셋째, 보행 시 하지 관절의 굴신 주기성은 젊은 여성은 허리 관절에서 무릎 관절로 노인 여성은 무릎 관절에서 허리 관절로 떨어지는 반대 현상을 보여 가령에 따른 보행의 특징을 기술하는데 이용될 수 있다고 판단된다..

Reference

American geriatrics S, British Geriatrics S. (2001). American academy of orthopaedic surgeons panel on falls guideline for the prevention of falls in older person. *Journal of American Geriatrics Society,* 49, 664-672.

Bartlett, R., Wheat, J., & Robins, M.(2007). Is movement variability important for sports biomechanics? *Sports Biomechanics,* 6, 224-243.

Benjuy, N., Melze, I., Kaplanski, j.(2004). Aging-induced shifts from a reliance on sensory input to muscle co-contraction during balanced standing. *Journals of Gerontology Series A., Biological Sciences and Medical Sciences* 59 (2), 166-171.

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

Berry, S. D., & Miller, R. R.(2008). Falls: Epidemiology, pathophysiology, and relationship to fracture. *Current Osteoporosis Reports,* 6(4), 149-154.

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. *Journal of Gerontology*, 52(4), 218-224.

Campbell, A. J., & Robertson, M.(1999). Falls prevention over 2 years: A randomized controlled trial in woman 80yrs and older. *Age & Ageing*, 28, 513-518.

Carter, N. D., Khan, K. M., Petit, M. A., Heinonen, A., Waterman, C., Donaldson, M. G., Janssen, P. A., Mallinson, A., Riddell, L., Kruse, K., Prior, J. C., & McKay, H. A.(2001). Results of a 10week community based strength and balance training program to reduce fall risk factors: a randomized controlled trial in 65-75 year old women with osteoporosis. *British Journal of Sports Medicine*, 35, 1-3.

Casteel, C., Peek-Asa, C., Lacsamana, C., Vazquez, L., and Kraus, J. F.(2004). Evaluation of a falls prevention program for independent elderly. *American Journal of Health Behavior*, 28(1), 51-60.

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.

Curry, L. C., & Hogstel, M. O.(2002). Nursing assessment and intervention: Preventing fall-related injuries in long-term care facilities. *Annals of Long-term Care*, 10, 29-35.

Dingwell, J. B., Cusumano, J. P., Sternad, D., & Cavanagh, P. R. (2000). Slower speeds in patients with diabetic neuropath lead to improved local dynamics stability of continuous overground walking. *Journal of Biomechanics,* 3, 1269-1277.

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.

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. M., Forman, D. E., Ladin, Z., Goldberger, A. L., Gigney, D. R., Wei, J. Y.(1994). Increased walking variability in elderly persons with coggestive heart failure. *Journal of American Geriatrics Society,* 42, 1056-1061.

Hausdorff, J., Mitchell, S., Firtion, R., Peng, C., Cudkowicz, M., Wei, J.(1997). Altered fractal dynamics of gait: reduced stride-interval correlations with aging and huntington's disease. *Journal of Applied Physiology,* 82, 262-269.

Hausdorff, J. M., Mitchell, S. L., Goldberger, A. L., & Wei, J. Y.(1997). Increased gait unsteadiness in community-dwelling elderly fallers. *Archives Physical Medicine Rehabilitation*, 78, 278-283.

Hausdorff, J., Rios, D., Edelberg, H.(2001). Gait variability and fall risk in community-living older adults: a 1-year prospective study. *Archives Physical Medicine Rehabilitation,* 82, 1050-1056.

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

Holt, K. G., Jeng, S. F., Ratcliffe, R., Hamill, J.(1995). Energetic cost and stability during human walking at the preferred stride frequency. *Journal of Motor Behavior,* 27(2), 164-178.

Newsmp(2017). http://www.newsmp.com/news/articleview.html?idxno=164205

Hughes, V. A., Frontera, W. R., Wood, M., Evans, W. J., Dakkak, G. E., Roubenoff, R., Fiatarone singh, M. A. (2001). Longitudinal muscle strength changes in older adults: influence of muscle mass, physical activity and health. *Journals of Gerontology Series A., Biological Sciences and Medical Sciences,* 56, B209-B217.

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.

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

Judge, J. O., Linsay, C., Underwood, M., & Winseminus, D.(1993). Balance improvements in older woman: Effects of exercise training. *Physical Therapy*, 73(4), 254-265.

Kauffman, T. L.(1999). *Geriatric rehabilitation Manual.* Philadelphia, Churchill Livingstone.

Kesher, 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, pp.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.

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.

Lord, S. R., Caplan, G. A., & Ward, J. A.(1993). Balance, reaction time, and muscle strength in exercising and non-exercising older woman: A pilot study. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitations*, 74(8), 837-839.

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

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

Maki, B. E., Holliday, P. J., Topper, A.K.(1998). A prospective study of postural balance and risk of falling in an ambulatory and independent dlderly population. *Journal of Gerontology,* 49, 72-84.

Mariano, C.(2008). A 16-week tai chi program prevented falls in healthy older adults. *Evidence Based Nursing*, 11(2), 60.

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.

Moore, J.B., Korff, T., Kinzey, S.J. (2005). Acute effects of a single bout of resistance exercise on postural control in elderly persons. *Perceptual and Motor Skills,* 100, 725-733.

Nakamura, T., Meguro. K., sasaki, H.(1996). Relationship between falls and stride length variability in senile dementia of the Alzheimer type. *Journal of Gerontology*, 42, 108-113.

Newell, K. M., Deutsch, K. M., Sosnoff, J. J., & Mayer-Kresss, G.(2006). *Variability in motor output as noise*: A default and erroneous proposition?, Movement system variability(pp.3-23). Champaign, IL: Human Kinetics.

O'Brien, K. Culbam, E. & Pickles, B. (1997). Balance and Skeletal Alignment in a Group of Elderly Female Fallers and Non-fallers. *Journal of Gerontology*, 52, pp. 221-226.

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 the American Geriatric Society,* 48, 42-50.

Papadakis, N. C., Christstakis, D. G., Tzagarakis, G. N., Chlouverakis, G. I., Kampanis, N. A., Stergiopoulos, K. N. (2009). Gait variability measuremrnts in lumbar spinal stenosis patients. *Physiological Measurement*, 1171.

Park, J. S., Choi, E. Y., & Hwang, T. Y. (2002). The effects of strengthening leg muscular strength on the elderly's walking and balance ability. *Journal of Korean Society of Physical Therapy*, 14(2), 71-79.

Persch, L. N., Ugrinowitsch, C., Pereira, G., Rodacki, A. L. F.(2009). Strength training improves fall-related gait kinematics in the elderly: A randomized controlled trial. *Clinical Biomechanics,* 24, 819-825.

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

Preatoni, E., Ferrario, M., Dona, G., Hamill, J., & Renato.(2010). Motor variability in sports: A non-linear analysis of race walking. *Journal of Sports Science,* 28(12): 1327-1336.

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.

Riley, M. A., & Turvey, M. T.(2002). Variability of determinism in motor behavior. *Journal of Motor Behavior,* 34, 99-125.

Rose, J., Gable, J. G.(2006). *Human walking*. Williams & Wilkins, Baltimore.

Ryu, J.S.(2008). Dynamic stability analysis of patients with degenerative osteoarthritis during walking. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 18(1), 12-30.

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.

Rubenstein, L., Josephson, K., & Trueblood, P.(2000). Effects of a group exercise program on strength, mobility, and falls among fall-prone elderly men. *Journal of Gerontology: medical science,* 55(6), M317-M321.

Schonfelder, D. P.(2000). A fall prevention program for elderly individual: exercise in long term case setting. *Journal of Gerontological Nursing*, 126(3), 43-51.

Schoenfelder, D. P., & Rubenstein, L. M.(2004). An exercise program to improve fall-related outcomes in elderly nursing home residents. *Applied Nursing Research,* 17(1), 21-31.

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 and Medicine Rehabilitation*, 83(7), 511-516.

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 Public Health Nursing*, 15(2), 324-333, .

Statics Korea, Korean statical information service; http://www.kosis.kr, 2014, 2016.

Stel V. S., Smit J. H., Pluijm S. M., Lips P.(2003). Balance and mobility performance as treatable risk factors for recurrent falling in

older persons. *Journal of Clinical Epidemiology,* 56, 659-668.

Stergiou, N.(2004). *Innovative analyses of human movement-analytical tools for human movement*. Human Kinetics.

Theiler J., Eubank S., Longtin A., Galdrikian B., & Farmer D.(1992). Testing for nonlinearity in time series: the method of surrogate data. *Physica* D58, 77-94.

Tinetti, M. E., Baker, D. I ., Garrett, P. A., Gottshalk, M., Koch, M. L., Horwitz, R. I. (1993). Yale FICSIT: risk factor abatement strategy for fall prevention. *Journal of American Geriatrics Society,* 41 (3), 315-320.

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.

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

Winter, D.A.(1983). Biomechanical motor patterns in normal walking. *Journal of Motor Behavior,* 15(4), 302-330.

Wolfson, L. Judge ,J. Whipple, R.(1995). Strengthening is a Major Factor in Balance, Gait and the Occurrence of Falls. *Journal of Gerontology,* 50, pp.64-67.

Yi, J.H. & Ryu J.S.(2011). Biomechanical alternation of the elderly depending on the type of gait termination. *Korean Journal of Sport Biomechanics,* 21(2), 189-196.