KJSB
Korean Journal of Sport Biomechanics 2021; 31(3): 189-198
http://dx.doi.org/10.5103/KJSB.2021.31.3.189
http://e-kjsb.org eISSN 2093-9752

ORIGINAL

A Comparative Study on Biomechanical Variables of Elderly Women and Elderly Women at Risk of Fall in Gait by Environmental Conditions

환경조건에 따른 보행 시 낙상 위험 여성 노인과 정상 여성 노인의 생체역학적 변인 비교 연구

Tae-Whan Kim[1], Dae-Hyun Kim[2], Seok-Ki Min[3], Eun-Hyung Cho[3], Jin-Seok Lee[3]

[1]Department of Sport Science, Korea Institute of Sport Science, Seoul, South Korea
[2]Department of Physical Education, Korea University, Seoul, South Korea
[3]Department of Sport Science, Korea Institute of Sport Science, Seoul, South Korea

Received : 13 August 2021
Revised : 30 September 2021
Accepted : 30 September 2021

Corresponding Author
Dae-Hyun Kim
Department of Physical Education, Korea University, 145, Anam-ro, Seongbuk-gu, Seoul, 02841, South Korea
Email : withdaehyun@naver.com

Objective: The aim of this study is to investigate the effect of biomechanical variables on gait according to indoor and outdoor environmental conditions in elderly women at risk of falling.

Method: 26 elderly women aged 70 years or older, and consisted of 13 elderly people with a walking speed of less 1.0 m/s and 13 people in the fall risk group as normal groups. Depending on the purpose of the study, physical examination and psychological questionnaire were prepared, and then walking was performed in an indoor/outdoor environment, and the gait pattern, muscle activity, and plantar pressure results were compared and analyzed in the elderly females through a 2 group × 2 environment 2-way repeted ANOVA analysis.

Results: The gait variable showed an interaction effect the cadence. The muscle variables showed interaction effects in the rectus femoris and tibialis anterior muscles, and the interaction effects of the plantar pressure variables were confirmed in the forefoot and midfoot of the contact area, and the midfoot of the mean pressure.

Conclusion: These results indicate that both groups are exposed to falls risk when gait in an outdoor environment, but the fall risk group has a higher risk of falls in both the gait pattern, muscle activity, and plantar pressure variables. The results of this study are considered to be helpful as basic data and development of exercise programs to prevent falls.

Keywords: Gait, Fall, Elderly women, Environment, Gait pattern, Muscle activity, Foot pressure

INTRODUCTION

한국은 출산율 저하와 의학 발전의 수명 증가로 인해 전 세계에서 유례없이 가장 빠르게 고령화 사회가 진행 되고 있다. 최근 2020년 고령자 통계자료에 따르면 65세 이상 노인 인구 비율이 812만 5천명으로 전체 인구 중 15.7%를 차지하고 있으며, 지속적으로 노인 인구가 증가하여 2025년에는 20.3%로 초고령 사회 진입을 예측할 정도로 급격한 증가를 보이고 있다(2020, Statistical Office).

이로 인해 노인들은 건강한 삶에 대한 기대가 증가하고 있으며, 노인 인구가 증가함에 따라 노인진료비도 증가하고 있다. 2016년 노인진료비는 24조 5,643억원으로 전년보다 15.0% 증가하였으며, 65세 이상 1인당 진료비는 2016년에 381만 1천원에서 2018년에 448만 7천원으로 증가한 것으로 나타났다(2017, Statistical Office). 이러한 노인진료비는 낙상발생빈도와 높은 상관을 보이는 것으로 나타났다(Kim & Lee, 2007).

노인들은 사회경제적 요인과 건강행태적 요인, 환경적 요인 그리고 신체적 요인 등에 의해 낙상을 경험하는 것으로 나타났다(WHO, 2007). 특히, 노화로 인한 체력 감소와 근기능 저하가 나타나는 신체적 요인에서 하지 근력 저하는 발목 움직임에 중요한 발목 배측 굴곡력 감소가 나타난다(Mecagni, Smith, Roberts & O'Sullivan, 2000; Kemoun, Thoumie, Boisson & Guieu, 2002; Nitz & Choy, 2004). 이러한 노인들의 근육 기능 저하는 균형능력 감소와 보행능력 저하로 이어져 낙상을 유발하는 중요한 요인으로 나타났다(Seong, Kang & Lee, 2007).

또한, 환경적 요인에서 물이나 얼음으로 인한 미끄러짐, 계단이나

Copyright © 2021 Korean Journal of Sport Biomechanics
This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/) which permits unrestricted noncommercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

장애물 등의 환경에 의한 낙상이 발생한다(Bradley, 2011). 노인들의 낙상은 보행의 시작과 정지 그리고 방향을 전환하거나 장애물을 피하는 과정에서 낙상이 발생한다(Pavol, Owings, Foley & Grabiner, 2001).

일반적으로 노인들의 낙상은 신체중심 이동과정에서 빈번히 발생하며, 낙상이 가장 많이 발생하는 동작으로 첫째, 보행(39%)과 둘째, 자세 이동(17%) 그리고 마지막으로 앉거나 일어서는 동작(14%)으로 나타났다(Mun, 2005). 노인낙상과 관련된 운동학적 및 운동역학적 선행연구를 살펴보면, Krasovsky, Lamontagne, Feldman & Levin (2014)는 보행속도가 젊은 사람과 노인의 보행 안정성 및 사지 협응력에 미치는 영향 연구에서 두 집단 모두 낙상위험을 격은 후 적절한 보행 반응속도가 나타났지만 노인은 보행속도와 상관없이 통제되지 않은 상황에서 낙상위험이 증가된다고 보고하였다.

또한, Cebolla, Rodacki & Bento (2015)는 노인 62명을 대상으로 낙상 집단과 비낙상 집단의 최대근력과 기능검사 그리고 운동학적 보행변인을 비교하여 낙상경험과 변인들 간의 상관성을 분석한 결과, 적은 하지근력과 미숙한 동적균형능력 그리고 보행변경(gait alterations)은 낙상위험을 증가시킨다고 하였다. Kwon, Kwon, Park & Kim (2018)은 76명의 노인을 대상으로 낙상 집단과 비낙상 집단의 보행 패턴을 조사한 결과, 낙상 집단이 비낙상 집단에 비해 짧은 보행길이와 느린 보행 가변성(variable step), 양발지지구간(double support)과 최대중량수용(maximal weight acceptance)에 도달하는 시간과 중간입각기가 긴 것으로 나타났다.

이외에도 젊은 성인과 노인을 대상으로 의자 서기(sit to stand) 및 보행 등 비교(Bernardi et al., 2004; Hanawa et al., 2017; Ryu, 2019)와 낙상경험 유무에 따른 동적인 동작을 역학적인 분석(Wright, Peters, Robinson, Watt & Hollands, 2015; Cebolla et al., 2015; Kwon et al., 2018), 그리고 노인들에 동작 수행 시 안정성 확보를 위한 여러 가지 역학적 보상기전 활용(Melzer Kurz & Oddson, 2010; Prange et al., 2009; Jeon & Park, 2015)과 같이 많은 노인과 관련된 연구들이 이루어지고 있다. 하지만 이러한 선행연구들은 건강한 성인과 비교분석을 통해 보행 시 안정성 확보와 관련하여 역학적 보상 기전에 대해서만 검토하여 왔다. 여전히 환경적 요인이 동작 안정성을 저해하는 요인인지에 대한 확인이 부족한 실정이다.

이러한 기존에 보행연구들은 실험실 환경의 연구들로써 환경적인 요인(바람, 온도, 지면 상태 등)들을 통제 가능한 실험실에서 이루어지고 있다. 하지만 실외 환경에서 실제 보행분석은 전무한 실정이다. 실제로 많은 노인들이 야외활동을 하기 위해 집밖에서 활동을 많이 하고 있는 현실을 반영해 본다면 불규칙적인 다양한 외부 환경에서 보행 시 나타나는 보행 및 신체적 특성 변화에 대한 비교연구가 필수적으로 필요할 것으로 판단된다.

따라서 본 연구는 실내·외 환경조건이 보행 시 여성 노인의 생체역학적인 변인에 미치는 영향을 알아보고자 한다.

METHOD

1. 연구대상

본 연구는 한국스포츠정책과학원의 생명윤리위원회(IRB)에 승인을 받고 진행되었다(KISS-1905-006-03). 피험자 모집은 S시 N구에 위치한 복지관에 협조공문을 발송하여 보행에 있어 신체적 장애와 근골격계 질환이 없으며, 신체활동이 주 1회 이상인 70세 이상의 노인 60명을 무작위로 모집하였다. 실험 참여 전 모든 연구대상자는 실험의 내용과 목적을 이해하고 실험 참여 동의서를 작성하였다.

본 연구의 피험자 분류의 기준은 보행시간을 속도로 변환하여 보행속도를 계산하여 산출하였으며, 보행속도가 1.0 m/s 이하 노인 13명을 낙상위험집단(Fall Risk Group; FR), 보행속도가 1.3 m/s 이상 노인 13명을 대조군(Normal Group; NG)으로 분류하였다(Samah, Nordin, Shahar & Singh, 2016). 연구대상자에 일반적 특성은 다음과 같다(Table 1).

Table 1. Characteristic subjects

Characteristic		NG	FR
Sex	Female	13	13
Age (years)		76.38±3.52	74.31±5.25
Height (cm)		155.15±3.46	151.46±4.21
Leg length (cm)		88.00±2.76	86.31±3.54
Weight (kg)		57.14±4.68	54.06±7.54
BMI (kg/m^2)		23.78±2.36	23.53±2.97

2. 측정장비

본 연구에서 여성 노인들의 생체역학적 변인을 측정하기 위해 사용된 실험장비는 다음과 같다(Table 2).

Table 2. Experiment equipment

Gait analysis	Optogait	1	Italy
Electromyogram (EMG)	Telemyo DTS (6ch.)	1	USA
Foot pressure	Peder X System	1	Germany

3. 실험설계

본 연구의 실험설계는 낙상위험 집단 여성 노인들과 일반 여성 노인들의 생체역학적 특성을 확인하기 위한 실험으로 설계되었다. 실험 절차는 실내·외 환경조건에서 보행을 실시하여 각 변인들을 측정하였다. 실외 환경 측정을 위해 실제로 한국스포츠정책과학원에 지면이 불규칙한 흙 바닥의 야외 운동장에서 보행검사를 실시하였다.

실험 참여에 앞서 피험자들은 낙상효능척도와 낙상 과거력 설문지를 작성하였으며, 노인체력검사(Senior Fitness Test; SFT)와 피험자 분류를 위한 보행검사를 실시하였다. 피험자들은 충분한 휴식 후에 스판덱스 소재의 실험복으로 환복하였으며, 실내와 실외에 보행분석을 위한 4 m 주로 안에서 보행길이와 주기, 시간 그리고 속도를 측정하였다. 족저압력 측정을 위해 인솔형 압력센서를 신발에 삽입한 후 총 3개의 영역을 측정하였다.

Table 3. Senior fitness test results (Mean ± SD)

Characteristic	NG	FR	*t*	*p*
30-Second Arm Curl Test (cnt/30s)	21.31±5.46	19.54±3.99	.942	.265
30-Second Chair Stand Test (cnt/30s)	21.38±5.72	19.31±4.09	1.065	.276
Back Scratch Test (cm)	-4.26±7.21	-1.75±9.52	-.760	.534
Chair Sit Reach Test (cm)	23.40±9.36	10.72±15.19	2.561	.313
2.4m Up and Go Test (sec)	4.92±0.80	6.52±0.70	-5.395	.438
Balance Test (sec)	5.25±5.10	5.79±2.76	-.336	.196
2-Minute Step Test (cnt/2 min)	192.23±24.52	184.85±30.27	.683	.432

4. 측정변인

본 연구는 실내와 실외 환경조건에서 보행 시 여성 노인에게서 나타나는 변인들을 측정하여 생체역학적 특성을 비교분석하여 차이에 대한 결과를 확인하였다. (1) 보행변인, (2) 근육변인, (3) 족저압력변인을 측정하였다.

근활성 측정을 위해 신체 우측의 두판상근(Splenius capitis; SC), 척추기립근(erector spinae; ES), 대퇴직근(rectus femoris; RF), 대퇴이두근(Biceps femoris; BF), 내측비복근(Med. Gastrucnemius; MG), 전경골근(Tibialis anterior; TA) 6곳의 무선 근전도 시스템(gain=1,000 fixed, input impedance > 100 MΩ, CMRR > 100 dB, Input Range +/− 5 V, center to center distance=15 mm)을 부착하였다. 표본추출률(sampling rate)는 1,024 Hz로 설정하였으며, 노이즈를 최소화하기 위해 대역 여과 필터(notch filter) 60 Hz, 대역 통과 필터(band pass filter) 30~500 Hz로 설정하여 수집된 신호는 root mean square (RMS)로 변환하였다. 근전도 신호에 표준화를 위해 평균(mean)을 측정하여 평균치를 기준으로 %RVC 방법을 이용한 평균 근활성을 산출하여 분석하였다. 족저압력은 양발의 제 1중족골(1st metatarsal; 1st MT), 제 2/3중족골(2/3st metatarsal; 2/3st MT), 제 4/5중족골(4/5st metatarsal; 4/5st MT)로 총 3개의 영역의 평균압력(Mean Pressure; MP), 최대압력(Peak Pressure; PP), 접촉면적(Contacting Area; CA)을 산출하여 분석하였다.

5. 자료분석

본 연구에서 측정한 모든 자료들의 통계처리는 SPSS 24.0 (IBM, USA) 프로그램을 이용하여 각 오차 값에 대한 평균과 표준편차를 산출하였다. 체력과 낙상효능변인은 집단 간 차이 검증을 위해 독립 *t*-검정(Independent *t*-test)를 실시하였으며, 각 측정요인 간 차이분석을 위해 집단(낙상위험, 정상)과 환경조건(실내, 실외)을 이원변량 반복측정 분산분석(2 way ANOVA with repeated meansures)을 실시하여 집단 간 요인과 집단 내 요인 간의 결과를 비교분석 하였다. 결과에 대한 사후분석은 던컨의 다중범위 검증을 실시하였으며, 모든 통계적 유의수준은 .05로 설정하였다.

RESULTS

1. 노인체력 및 낙상 설문지 특성

본 연구에서 집단 별 여성 노인들의 체력을 확인하기 위해 노인체력검사(SFT)를 활용하여 총 7개 항목을 측정하였으며, 그 결과는 다음과 같다(Table 3, 참조).

또한, 집단 별 여성 노인들의 낙상효능을 확인하기 위해 설문지를 사용하였으며, 낙상 경험 유무를 확인하기 위해 낙상 과거력 설문지를 실시하였고, 그 결과는 다음과 같다(Table 4, 참조).

Table 4. Fall questionnaire results (Mean ± SD)

Characteristic	NG	FR	*t*	*p*
Fall efficacy scale	18.38±2.43	19.85±2.96	-.1.373	.268
Fall history scale	0	7	–	–

2. 집단 간 보행 변인 결과

본 연구에서 실내·외 환경조건에 따른 보행 시 FR과 NG의 보행패턴을 측정하였다. 그 결과는 다음과 같다(Table 5, Figure 1, 2, 3 참조).

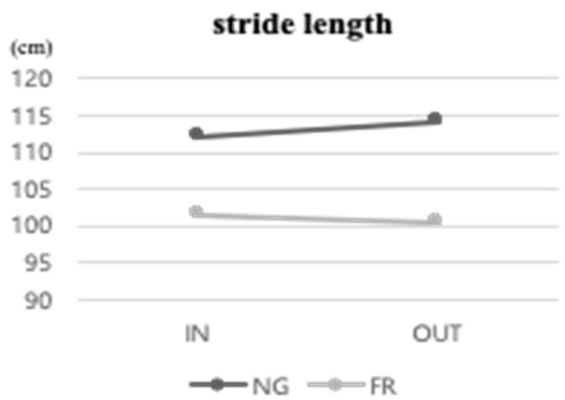

Figure 1. Result of stride length between groups

Table 5. Result of gait variable × Environmental Conditions between groups (Mean ± SD)

Gait	Group	In door	Out door	Variable	ANOVA	
		M (SD)	M (SD)		*F*	*p*
Stride length (cm)	FR	101.58 (6.65)	100.55 (7.70)	Environment	1.316	.265
	NG	112.13 (12.99)	114.29 (15.73)	Environment × group	.752	.396
				Group	7.195	**.014***
Single support right (%)	FR	35.25 (1.39)	36.24 (2.59)	Environment	2.117	.169
	NG	35.54 (3.53)	36.65 (2.10)	Environment × group	.024	.880
				Group	.225	.643
Single support left (%)	FR	36.01 (1.27)	36.68 (1.26)	Environment	6.209	**.027***
	NG	35.61 (1.67)	37.37 (2.23)	Environment × group	.288	.601
				Group	.260	.618
Double support (%)	FR	28.08 (3.00)	26.52 (2.19)	Environment	31.601	**.001*** **
	NG	27.35 (3.08)	25.19 (2.74)	Environment × group	.597	.454
				Group	1.579	.231
Gait cycle (s)	FR	1.01 (0.05)	1.06 (0.05)	Environment	15.364	**.001*** **
	NG	1.03 (0.08)	1.11 (0.11)	Environment × group	1.737	.202
				Group	1.047	.318
Cadence (step/m)	FR	112.64 (10.45)	108.58 (5.10)	Environment	12.688	**.002*** *
	NG	116.69 (9.67)	107.48 (10.52)	Environment × group	4.399	**.049***
				Group	.359	.556
Average speed (m/s)	FR	1.07 (0.06)	1.05 (0.05)	Environment	1.332	.262
	NG	1.13 (0.15)	1.09 (0.14)	Environment × group	1.148	.297
				Group	1.305	.267

Note. significant at *p<.05, **p<.01, ***p<.001

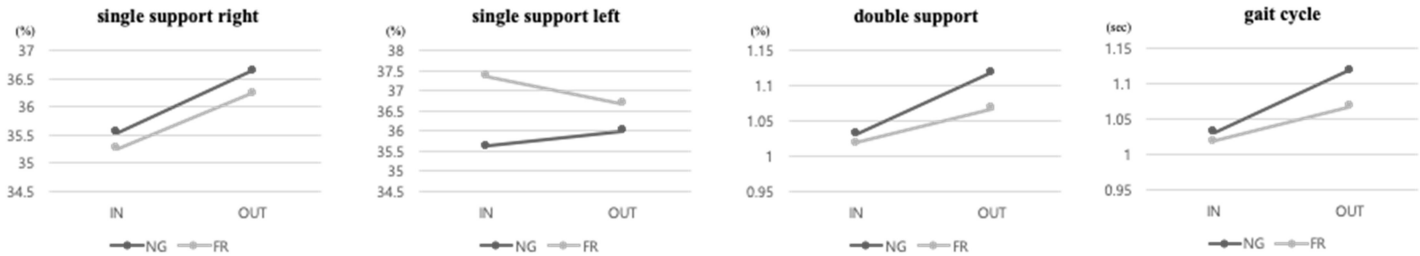

Figure 2. Result of gait cycle and time between groups

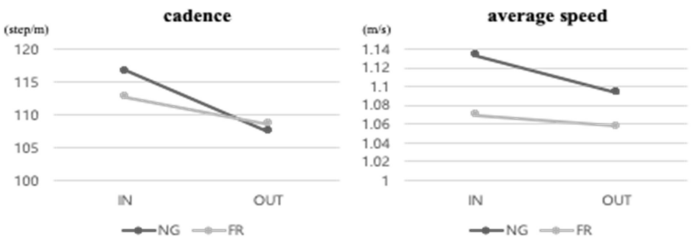

Figure 3. Result of gait speed groups

보행 패턴을 분석한 결과, 1분당 걸음 수에서만 환경조건 간 통계적으로 유의하게 나타났으며(p<.05), 환경조건과 집단 간 상호작용효과도 유의하게 나타났다[F=4.399; p<.05].

3. 집단 간 근활성 변인 결과

본 연구에서 실내·외 환경조건에 따른 보행 시 FR과 NG의 근활성을 측정하였다. 그 결과는 다음과 같다(Table 6, Figure 4 참조). 근활성을 분석한 결과, RF는 환경조건과 집단 간 상호작용효과가 나타났으며[F=4.392; p<.01], TA는 환경조건(p<.01)과 집단 간(p<.05) 통계적으로 유의하게 나타났으며, 상호작용효과도 나타났다[F=257.543; p<.01].

4. 집단 간 족저압력 변인 결과

본 연구에서 실내·외 환경조건에 따른 보행 시 FR과 NG의 발의 족저압력을 측정하였다. 그 결과는 다음과 같다(Table 7, Figure 5, 6, 7 참조). 발의 접촉면적(CA)에서는 전족[F=5.690; p<.05]과 중족[F=4.761;

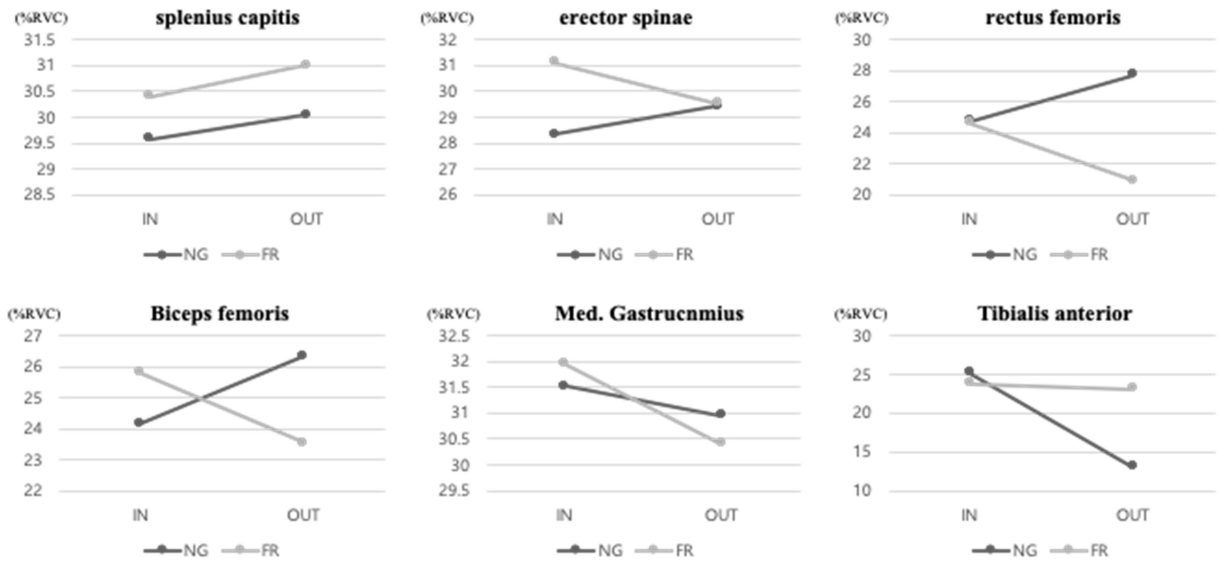

Figure 4. Result of muscle variable between groups

Table 6. Result of muscle variable × Environmental Conditions between groups (Mean ± SD)

Muscle (%RVC)	Group	In door	Out door	Variable	ANOVA	
		M (SD)	M (SD)		*F*	*p*
Splenius capitis	FR	30.39 (9.35)	30.99 (8.18)	Environment	.008	.928
	NG	29.58 (10.57)	30.03 (9.45)	Environment × group	.006	.938
				Group	.186	.670
Erector spinae	FR	31.11 (10.02)	29.54 (8.10)	Environment	.005	.944
	NG	28.33 (8.10)	29.43 (5.89)	Environment × group	.485	.493
				Group	.228	.637
Rectus femoris	FR	24.63 (5.35)	20.88 (6.31)	Environment	.008	.930
	NG	24.74 (7.26)	27.69 (4.22)	Environment × group	4.392	**.004****
				Group	4.146	.053
Biceps femoris	FR	25.77 (4.48)	23.52 (8.38)	Environment	.014	.907
	NG	24.15 (9.02)	26.34 (5.92)	Environment × group	1.436	.243
				Group	.123	.729
Med. Gastrucnemius	FR	31.94 (4.67)	30.40 (8.58)	Environment	.331	.571
	NG	31.50 (8.79)	30.95 (6.01)	Environment × group	.083	.776
				Group	.000	.999
Tibialis anterior	FR	23.83 (7.17)	23.09 (9.02)	Environment	8.943	**.007****
	NG	25.14 (7.77)	13.09 (11.34)	Environment × group	4.898	**.037***
				Group	257.543	**.000*****

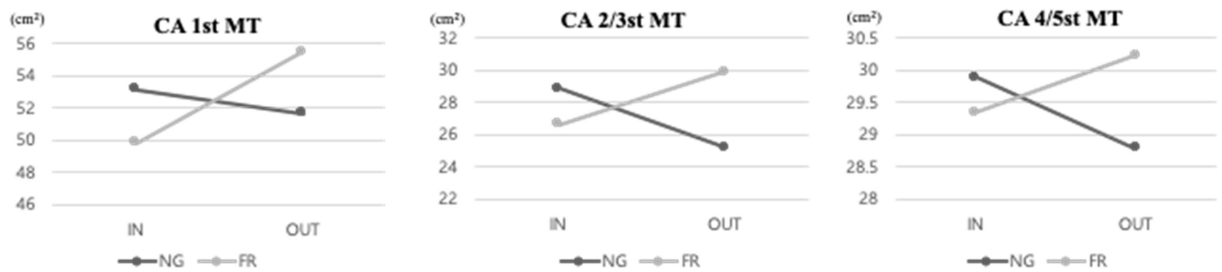

Figure 5. Result of Contacting Area variable between groups

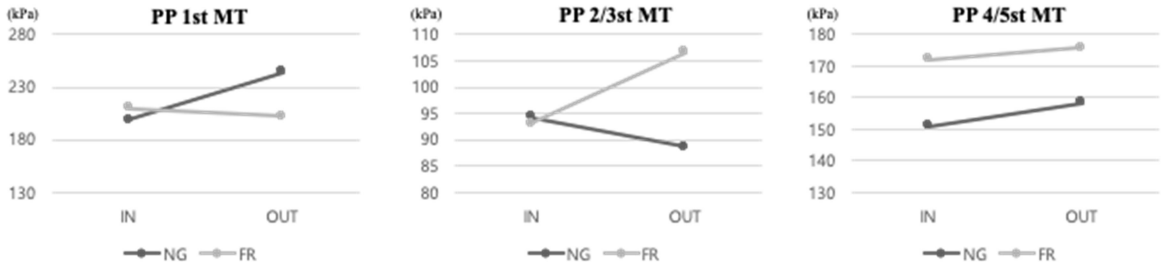

Figure 6. Result of Peak Pressur variable between groups

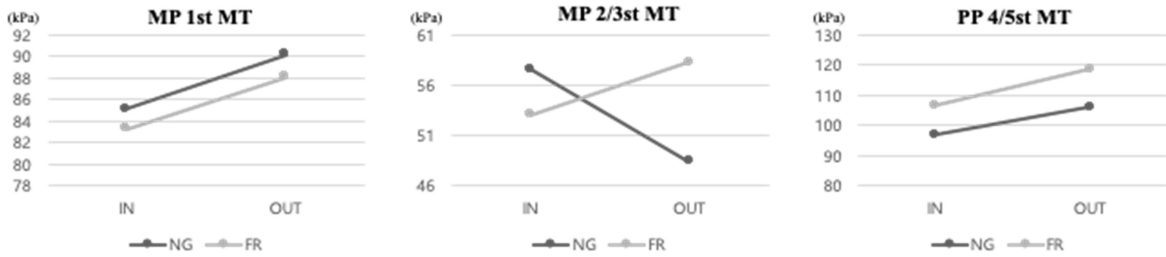

Figure 7. Result of Mean Pressur variable between groups

Table 7. Result of foot pressure variable × Environmental Conditions between groups (Mean ± SD)

Foot pressure	Group	In door	Out door	Variable	ANOVA	
		M (SD)	M (SD)		*F*	*p*
CA 1st MT (cm²)	FR	49.79 (8.70)	55.44 (1.54)	Environment	2.082	.162
	NG	53.14 (4.08)	51.64 (4.19)	Environment × group	5.690	**.026***
				Group	.032	.860
CA 2/3st MT (cm²)	FR	26.60 (7.12)	29.88 (4.93)	Environment	.022	.882
	NG	28.81 (5.89)	25.19 (4.18)	Environment × group	4.761	**.040***
				Group	.513	.481
CA 4/5st MT (cm²)	FR	29.33 (3.35)	30.21 (2.00)	Environment	0.42	.839
	NG	29.87 (2.39)	28.78 (3.58)	Environment × group	2.437	.132
				Group	.185	.671
PP 1st MT (kPa)	FR	210.50 (64.85)	201.98 (45.44)	Environment	1.432	.244
	NG	198.82 (79.98)	244.51 (67.28)	Environment × group	3.250	.085
				Group	.592	.450
PP 2/3st MT (kPa)	FR	93.16 (18.38)	106.60 (24.28)	Environment	.483	.494
	NG	94.33 (21.46)	88.66 (27.30)	Environment × group	2.394	.135
				Group	1.488	.235
PP 4/5st MT (kPa)	FR	172.05 (59.36)	175.70 (46.50)	Environment	.127	.725
	NG	151.08 (37.74)	158.34 (44.93)	Environment × group	.003	.954
				Group	1.472	.237
MP 1st MT (kPa)	FR	83.30 (14.74)	88.07 (11.25)	Environment	1.739	.200
	NG	85.11 (10.87)	90.14 (15.42)	Environment × group	0.41	.841
				Group	.420	.523
MP 2/3st MT (kPa)	FR	53.05 (11.13)	58.27 (10.78)	Environment	.445	.512
	NG	57.62 (13.88)	48.41 (12.37)	Environment × group	5.829	**.024***
				Group	.465	.502
MP 4/5st MT (kPa)	FR	106.59 (18.38)	118.48 (30.24)	Environment	3.231	.082
	NG	96.82 (17.70)	106.13 (28.20)	Environment × group	0.76	.786
				Group	1.847	.187

$p<.05$]은 상호작용효과가 나타났으며, 평균압력(MP)에서는 중족에서 상호작용효과가 나타났다[$F=5.829$; $p<.05$].

DISCUSSION

본 연구는 낙상에 위험이 있는 여성 노인이 실내·외 환경조건에 따른 보행 시 생체역학적인 변인이 미치는 영향을 규명하였다. 이를 위해, 낙상위험집단과 정상집단으로 구분하여 보행변인과 근육변인 그리고 압력변인을 측정하였다. 연구결과, 노인들의 체력에는 집단 간 차이가 없었으며, 보행변인의 일부 하위변인에서 차이가 확인되었다. 1분당 걸음 수에서는 상호작용효과가 확인되었다. 또한, 근육변인의 대퇴직근과 전경골근에서 상호작용효과가 확인되었다. 마지막으로 발의 압력변인의 접촉면적과 평균압력에서 상호작용효과가 확인되었다. 이러한 결과를 논의하고자 한다.

1. 보행패턴

보행변인에 두 발의 보폭은 실내(10.55 cm), 실외(13.74 cm) 환경 모두 NG가 FR보다 긴 보폭을 보였으며, 보행주기의 오른발 지지기는 실내(0.29%), 실외(0.41%) 모두 NG가 FR보다 높은 비율을 보였다. 하지만 실내 보행 시 왼발 지지기는 FR이 0.4% 더 높았으며, 실외 보행에서는 NG가 0.69% 더 높게 나타났다. 하지만 두 발 지지기에서는 실내(0.73%), 실외(1.33%) 모두 FR이 높은 것으로 나타났다. 보행시간에 두 발에 보행시간은 실내(0.02 sec), 실외(0.05 sec) 모두 FR이 NG보다 빠른 것으로 나타났으며, 1분당 걸은 수는 실내에서 NG가 4.05 step/m, 실외에서는 FR이 1.1 step/m 빠른 것으로 나타났다. 평균 속도는 실내(0.06 m/s), 실외(0.04 m/s) 모두 FR이 NG보다 빠른 것으로 나타났다.

이와 같은 결과를 살펴보면, Miki (1997)의 연구에서 노인들은 노화로 인해 근육 저하로 인한 자세변형으로 신체무게중심(center of mass; COM)이 앞으로 이동하게 됨으로 보행 시 균형을 유지하기 위해 보폭이 증가하고, Unsworth & Mode (2003)는 좁아진 보폭은 낙상위험을 증가 시킨다는 연구결과와 유사한 내용으로 본 연구의 결과를 지지하고 있다.

노인들에 보행주기는 연령이 증가할수록 한 발 지지기 비율이 감소하고 두 발 지지기 비율이 증가하는 변형된 보행 패턴이 나타나며(Perry & Davids, 1992; Rose, 2010), 낙상을 경험한 노인들은 한 발 지지기와 두 발 지지기 비율은 불규칙적이게 변형된다(Eun & Lee, 2004)는 연구결과와 유사하게 나타났다.

Kang, Jeong & Jeon (1999)은 노인의 보행시간은 나이가 들면 균형능력 저하로 65세 이후 정적평형능력이 급격하게 감소한다고 보고하였으며, Hong & Kim (2002)은 건강한 여성 노인의 보행시간은 60대 여성의 1분당 걸음 수는 102.42 step/min으로 나타났고, 70대는 91.49 step/min으로 점차 감소하는 것으로 나타났다.

Chen, Ashton-Miller, Alexander & Schultz (1991)은 노인들의 낙상빈도는 보행속도가 빠를수록 감소하며, 느릴수록 증가한다고 보고하였다. Hong & Kim (2002)은 60대 여성 노인의 보행속도는 0.71±0.14 m/s으로 연령이 높을수록 시간적인 변인들이 감소한다고 보고하였다. 또한, Han, Cho, Mun, Yun & Park (2020)은 일반인보다 노인이 평균보행속도가 0.16 m/s 낮은 것으로 나타났으며, 여성 노인이 남성 노인보다 0.04 m/s 더 낮은 보행속도를 보였다.

이렇듯 낙상위험집단은 보폭이 짧은 패턴을 보였으며, 불안정한 실외 환경에서 더 짧은 보폭을 보이며 낙상의 위험을 나타낸 것으로 판단할 수 있다. 낙상에 위험한 노인들은 실내와 실외 환경 모두 두 발 지지기 비율을 높게 하여 보행 기능이 저하되는 특성이 나타났다. 또한, 선행연구보다 적은 보행시간과 분속수가 나타났지만, 실외 환경과 같은 불안정한 상황에서는 분속수가 줄어든 패턴을 나타낸 것은 불규칙적인 실외 환경이 노인들에게 낙상위험을 높이는 것으로 판단할 수 있다. 마지막으로 두 집단 모두 실외 보행에서 보행속도가 감소하였으며, 정상집단에 비해 낙상위험집단이 더 감소하는 것으로 나타난 것으로 보아 실외 환경은 노인들에게 낙상에 대한 위험이 높아 보행속도가 감소한 것으로 판단된다.

2. 근활성

근육변인에 두판상근은 실내(0.81 %RVC), 실외(0.96 %RVC) 환경 모두 FR이 NG보다 높은 활성을 보였으며, 척추기립근은 실내(2.78 %RVC), 실외(0.11 %RVC) 모두 FR이 NG보다 놓은 활성을 보였다. 대퇴직근은 실내(0.11 %RVC), 실외(6.81 %RVC) 모두 NG가 FR보다 높은 활성을 보였지만, 대퇴이두근은 실내에서 FR이 1.62 %RVC, 실외에서는 NG가 2.82 %RVC 더 높은 활성을 보였다. 내측비복근도 실내에서 FR이 0.44 %RVC, 실외에서는 NG가 0.55 %RVC 더 높은 활성을 보였지만, 전경골근은 실내에서 NG가 1.31 %RVC, 실외에서는 FR이 10.00 %RVC이 더 높은 활성을 보였다.

이와 같은 결과, 하지 관절 움직임 패턴 변화는 안정적인 보행을 위해 머리 혹은 상체의 안정성이 중요하며, 노화로 인해 저하된 근육으로 신체조절능력이 어려운 고령자는 큰 상체 움직임이 나타난다고 보고하였다(Menz, Lord, & Fizpatrick, 2007). 또한, Alexander (1996)의 연구에서는 노인은 생리학적인 변화로 인해 몸통과 경부의 전방 굴곡으로 신체무게중심이 전방으로 위치하여 균형이 상실될 위험이 높으며, 균형 유지를 위해 목과 몸통을 전방으로 구부린 상태로 굴곡시킨다는 연구결과와 유사한 내용으로 본 연구에 결과를 지지하고 있다.

Lee & Kim (2018)은 노인은 보행 시 실내보다 실외 유각기에 대퇴이두근 활성이 감소하여, 실외 보행 시 대퇴직근은 40대보다 더 활성화가 나타났다고 보고하였다. 또한, Schmitz, Silder, Heiderscheit, Mahoney & Thelen (2009)은 노인의 보행속도 감소는 유각기에 대퇴이두근 활성이 저하된다고 보고하였으며, Mills & Barrett (2001)은 지연 및 감소한 대퇴직근 활성으로 인해 전·후방 후족부에 접촉속도가 1.15 m/s로 증가한다는 연구결과와 유사하게 나타났다.

마지막으로 Lexell, Taylor & Sjöström (1988)은 노인의 하지 근육 중에 자세조절에 가장 중요한 근육은 비복근으로 다른 근육에 비해 부피가 감소한다고 하였으며, Lee & Kim (2018)은 실내·외 환경에서 보행 시 노인들의 비복근은 큰 차이가 나타나지 않았다고 보고하였다. 또한, Jeon, Park, Park, Kang & Kim (2009)은 노화는 발목의 신전근이 전경골근 약화로 발목을 적절하게 사용하지 못한다는 연구결과와 유사한 내용으로 본 연구에 결과를 지지하고 있다.

이렇듯 낙상위험집단은 실외 보행 시 머리를 들기 위한 두판상근이 더 활성화 되었으며, 실내보다 실외에서 척추기립근 활성이 적었다. 이렇게 줄어든 활성은 일반 노인에 비해 낙상위험집단은 실외에서 허

리를 굽히고 고개를 드는 불안정한 보행자세를 유도했다. 또한, 다리를 들기 위한 대퇴이두근과 대퇴직근은 정상집단에 비해 활성화가 낮았으며, 발목 움직임에 중요한 전경골근은 실내·외 모두에서 불안정한 활성을 보였다. 이러한 활성은 낙상위험집단이 실외 보행 시 입각기구간에 느린 보행속도 때문에 다리를 높게 들지 못하며, 불안정한 발목 활성으로 인해 낙상의 위험에 더 노출된 것으로 판단 할 수 있다.

3. 족저압력

압력변인에 CA는 실내에서 NG가 1st MT (3.35 cm^2), 2/3st MT (2.21 cm^2) 그리고 4/5st MT (0.54 cm^2) 더 높은 면적을 보였으며, 실외에서는 FR이 1st MT (3.80 cm^2), 2/3st MT (4.69 cm^2) 그리고 4/5st MT (1.43 cm^2) 더 높은 면적을 보였다. PP 1st MT는 실내에서 FR (11.68 kPa)이 실외에서는 NG (42.53 kPa), 2/3st MT는 실내에서 NG (1.17 kPa)이 실외에서는 FR (17.94 kPa) 그리고 4/5st MT는 실내에서 FR (20.97 kPa)이 실외에서는 NG (17.36 kPa)가 더 높은 것으로 나타났다. MP 1st MT는 실내(1.81 kPa), 실외(2.07 kPa) 모두 NG가 높았으며, 2/3st MT는 실내에서 NG(4.57 kPa) 실외에서 FR (9.86 kPa) 그리고 4/5st MT는 실내에서 FR (9.77 kPa) 실외에서는 NG (12.35 kPa)가 더 높은 것으로 나타났다.

이와 같은 결과는 노인은 보행 시 안정적인 보행을 위해 지지시간이 늘어났다는 사실을 보여주었다(Prince, Corriveau, Hébert & Winter, 1997) 이는 노인들이 안정한 보행을 위해 지면에 발을 더 오래 내딛는 것으로 나타났으며(Kim & Kang, 2017), 감소된 신체활동으로 인해 부적절한 보행 형태로 볼 수 있다(Schlicht, Camaione & Owen, 2001). Bosch, Nagel, Weigend & Rosenbaum (2009)은 노인은 청장년에 비해 중족에 압력분포가 넓게 나타난다고 보고하였다. 또한, Olnery & Richards (1996)은 노인은 보행 시 발에 최대압력은 발이 지면에 접촉한 후에 나타나며, 급격한 감소로 짧은 시간에 발의 전반에 나타난다. 특히, 후족 영역의 압력은 다른 부위 영역보다 높게 나타난다고 보고하였다. Han (2008)는 노인은 평지 보행 시 압력중심에 이동경로가 후족부에서 전족부를 거쳐 엄지발가락까지 이동하는 경로로 젊은 성인과 압력중심 차이를 보이지 않았다고 보고하였다. 하지만 낙상공포를 느끼는 노인들은 정상 노인에 비해 안정적인 보행을 위해 지면을 딛는 발을 조심스럽게 하는 패턴을 보인다(Chung, Yoon, Yu & Choi, 2004).

이렇듯 실외 보행 시 낙상위험집단은 일반 노인에 비해 안정적인 보행을 위해 발의 접촉면적을 넓게 하였으며, 최고압력과 평균압력이 후족에 있는 것으로 보아 발에 중심이 뒤에 있는 것을 확인 할 수 있었다. 이러한 낙상에 위험에 있는 노인들은 야외활동 시 뒤로 넘어질 위험에 노출되어 있으며, 이를 보상하기 위해 상체를 앞으로 숙여 신체무게중심을 잡은 것으로 판단할 수 있다.

CONCLUSION

본 연구는 실내와 실외 환경조건에 따른 평지 보행 시 여성 노인의 생체역학적 특성을 확인하였다. 연구결과, 환경에 따른 보행 패턴과 근육 그리고 족저압력 변인의 일부 하위변인에서 상호작용효과를 확인하였다. 이는 실외 환경에서 두 집단 모두 낙상위험에 노출되어 있지만, 보행 패턴과 근활성 그리고 족저압력 변인 모두 낙상위험집단이 더 높은 낙상위험을 가지고 있다는 것을 확인하였다. 이는 노인들은 실외에서 낙상에 노출되어있는 보행 패턴과 근활성 그리고 족저압력을 가지고 있다는 것을 의미한다. 추후 연구에서는 다양한 환경에 대한 연구와 장애물 보행에 대한 연구가 필요할 것이며, 본 연구결과는 노인 낙상 예방을 위한 운동프로그램 개발에 기초자료로 활용될 것이라 판단한다.

ACKNOWLEDGEMENT

본 논문은 스포츠정책과학원의 기본과제 연구 일부 내용을 바탕으로 수정·보완하여 작성되었음.

REFERENCES

Alexander, N. B. (1996). Gait disorders in older adults. *Journal of the American Geriatrics Society*, *44*(4), 434-451.

Bernardi, M., Rosponi, A., Castellano, V., Rodio, A., Traballesi, M., Delussu, A. S. & Marchetti, M. (2004). Determinants of sit-to-stand capability in the motor impaired elderly. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, *14*(3), 401-410.

Bosch, K., Nagel, A., Weigend, L. & Rosenbaum, D. (2009). From "first" to "last" steps in life-pressure patterns of three generations. *Clinical Biomechanics*, *24*(8), 676-681.

Bradley, S. M. (2011). Falls in older adults. *Mount Sinai Journal of Medicine: A Journal of Translational and Personalized Medicine*, *78*(4), 590-595.

Cebolla, E. C., Rodacki, A. L. & Bento, P. C. (2015). Balance, gait, functionality and strength: comparison between elderly fallers and non-fallers. *Brazilian Journal of Physical Therapy*, *19*(2), 164-151.

Chang, J. T., Morton, S. C, Rubenstein, L. Z., Mojica, W. A., Maglione, M., Suttorp, M. J. ... & Shekelle, P. G. (2004). Interventions for the prevention of falls in older adults: *systematic review and meta-analysis of randomised clinical trials. Bmj*, *328*(7441), 680.

Chen, H. C., Ashton-Miller, J. A., Alexander, N. B. & Schultz, A. B. (1991). Stepping over obstacles: gait patterns of healthy young and old adults. *Jurnal of Gerontology*, *46*(6), M196-M203.

Chung, C. S., Yoon, T. J., Yu, Y. J. & Choi, C. S. (2004). Analysis of kinematics and EMG on stepping over obstacles in elderly persons. *Korea Jurnal of Physical Education*, *43*, 423-436.

Cromwell, R. L., Newton, R. A. & Forrest, G. (2002). Influence of vision on head stabilization strategies in older adults during walking. *The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences*, *57*(7), M442-M448.

Eun, S. D. & Lee, K. K. (2004). The effect of the speed conditions of the gait pattern in treadmill walking of eldery persons. *Korea Jurnal of Physical Education*, *43*, 397-404.

Han, E., Cho, H., Mun, S., Yun, S. B. & Park. S. Y. (2020). Improvement of pedestrian Speed Criteria for the Pedestrian Green Interval at Silver Zone. *The Journal of The Korea Institute of Intelligent Transport Systems*, *19*(4), 45-54.

Han, J. T. (2008). Analysis of gait characteristics during stairs and ramp ascent in elderly people. Daegu University Graduated a Doctor's degree.

Hanawa, H., Kubota, K., Kokubun, T., Marumo, T., Hoshi, F., Kobayashi, A. & Kanemure, N. (2017). Muscle synergies underlying sit-to-stand tasks in elderly people and their relationship with kinetic characteristics. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, *37*, 15-20.

Hong, W. S. & Kim, G. W. (2002). Gait analysis of the healthy elderly over 65 years of age. *Journal of Korean Physical Therapy*, *14*(4), 45-54.

Jeon, H. M. & Park, S. K. (2015). Effects of Changes in Illumination Level and Slope on Fall-Related Biomechanical Risk Factors While Walking for Elderly Women. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, *25*(4), 413-421.

Jeon, K. K., Park, K. D., Park, S. H., Kang, Y. S. & Kim, D. G. (2009). Differences in angle of the lower extremities and electromyography of elderly women experienced a fall. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, *19*(2), 245-255.

Jung, K. H. (2013). Survey Overview and Main Results of the Survey on the Sutvey of the Elderly. *Hallym Aging Society Research*, *1*, 1-22.

Kang, K. H., Jeong, H. C. & Jeon, M. Y. (1999). A survey study on fall-related fracture in hospitalized elderly patient. *Journal of Keukdong College*, 251-264.

Kemoun, G., Thoumie, P., Boisson, D. & Guieu, J. D. (2002). Ankle dorsi-flexion delay can predict falls in the elderly. *Journal of Rehabilitation Medicine*, *34*(6), 278-283.

Kim, D. G. & Kang, H. J. (2017). An analysis on the Comparison of the Center of Pressure, Gait Angle, and Gait Time Between Female College Students and Elderly Women. *The Official Journal of the Korean Academy of Kinesiology*, *19*(2), 61-67.

Kim, J. M. & Lee, M. S. (2007). Risk factors for falls in the elderly population in Korea: An analysis of the third Korea national health and nutrition examination survey data. *Korean Journal of Health Education and Promotion*, *24*(4), 23-39.

Krasovsky, T., Lamontagne, A., Feldman, A. G. & Levin, M. F. (2014). Effects of walking speed on gait stability and interlimb coorsination in younger and older adults. *Gait & Posture*, *39*(1), 378-385.

Kwon, M. S., Kwon, Y. R., Park, Y. S. & Kim, J. W. (2018). Comparison of gait patterns in elderly fallrs and non-fallers. *Technology and Health Care*, *26*(S1), 427-436.

Lee, J. Y. & Kim, T. H. (2018). Effects of Changes in the Indoor and Outdoor Environmental on the Walking Speed and Lower Extremity Musde Activities in People Age Forty and Older than Seventy Tears. *Korean Society of Physical Medicine*, *13*(4), 139-148.

Lexell, J., Taylor, C. C. & Sjöström, M. (1988). What is the cause of the ageing atrophy?: Total number, size and proportion of different fiber types studied in whole vastus lateralis muscle from 15-to 83-year-old men. *Journal of the Neurological Sciences*, *84*(2-3), 275-294.

Maki, B. E. (1997). Gait changes in older adults: predictors of falls or indicators of fear?. *Journal of the American Geriatirics Society*, *45*(3), 313-320.

Mecagni, C., Smith, J. P., Roberts, K. E. & O'Sullivan, S. B. (2000). Balance and ankle range of motion in community-dwelling women aged 64 to 87 years: a correlational study. *Physical Therapy*, *80*(10), 1004-1011.

Melzer, I., Kurz, I. & Oddsson, L. I. (2010). Aretrospective analysis of balance control parameters in elderly fallers and non-fallers. *Clinical Biomechanics*, *25*(10), 984-988.

Menz, H. B., Lord, S. R. & Fizpatrick, R. C. (2007). A structural equation model relating impaired sensorimotor function, fear of falling and gait patterns in older people. *Gait & Posture*, *25*(2), 243-249.

Mills, P. M. & Barrett, R. S. (2001). Swing phase mechanics of healthy young and elderly men. *Human Movement Science*, *20*(4-5), 427-446.

Mun, Y. H. (2005). The prevalence and associated factors of the in-home falls of the elderly. *Journal of Korean Public Health Nursing*, *19*(2), 249-260.

Nitz, J. C. & Choy, N. L. (2004). The efficacy of a specific balance-strategy training programme for preventing falls among older people: a pilot randomised controlled trial. *Age and Ageing*, *33*(1), 52-58.

Olney, S. J. & Rocjards. C. (1996). Hemiparetic gait following stroke. Part 1: Characteristics. *Gait & Posture*, *4*(2), 136-148.

Pavol, M. J., Owings, T. M., Foley, K. T. & Grabiner, M. D. (2001). Mechanisms leading to a fall from an induced trip in healthy older adults. *The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences*, *56*(7), M428-M437.

Perry, J. & Davids, J. R. (1992). Gait analysis: normal and pathological function. *Journal of Pediatiric Orthopaedics*, *12*(6), 815.

Prange, G. B., Kallenberg, L. A. C., Jannink, M. J. A., Stienen, A. H. A, van der Kooij, H., Jzerman, M. J. & Hermens, H. J. (2009). Influence of gravity compensation on musde activity during reach and retrieval in healthy elderly. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, *19*(2), e40-e49.

Prince, F., Corriveau, H., Hébert, R. & Winter, D. A. (1997). Gait in the elderly. *Gait & Posture*, *5*(2), 128-135.

Rose, D. J. (2010). Fallproof!: a comprehensive balance and mobility training program. Hunman Kinetics.

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.

Samah, Z. A., Nordin, N. A. M., Shahar, S. & Singh, D. K. A. (2016). Can gait speed test be used as a falls risk screening tool in community dwelling older adults? A review. *Polish Annals of Medicine*, *23*(1), 61-67.

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. *The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences*, *56*(5), M281-M286.

Schmitz, A., Silder, A, Heiderscheit, B., Mahoney, J. & Thelen, D. G. (2009). Differences in lower-wxtremity muscular activation during walking between healthy older and young adults. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, *19*(6), 1085-1091.

Statistical Office. (2017). 2017 Senior Statistics.

Statistical Office. (2020). 2020 Senior Statistics.

Sung, S. C., Kang, C. G. & Lee, M. G. (2007). Effects of falling experience on physical fitness, isokinetic leg strength and balance in the elderly women. *The Korean Journal of Physical Education*, *46*(3), 503-515.

Unsworth, J. & Mode, A. (2003). Preventing falls in older people: risk factors and primary prevention through physical activity. *British Journal of Community Nursing*, *8*(5), 214-220.

Wright, R. L, Peters, D. M., Robinson, P. D., Watt, T. N. & Hollands, M. A. (2015). Older adults who have previously fallen due to a trip walk differently than those who have fallen due to a slip. *Gait & Posture*, *41*(1), 164-16.