

조도 변화가 여성노인의 보행 표준시간과 하지 관절파워에 미치는 영향

하종규¹ · 이재훈² · 양정훈¹ · 서욱현³

¹국민대학교 일반대학원 체육학과, ²성결대학교 교양교직학부, ³강남대학교 일반대학원 체육학과

Effect of Standard Time and Joint Power of Lower Extremity on Different Illuminations in the Elderly Women

Chong-Ku Hah¹ · Jae-Hoon Yi² · Jeong-Hoon Yang¹ · Uk-Hyeon Seo³

¹Department of Physical Education Kookmin University, Seoul, Korea

²Division of Liberal Arts and Teaching, Sungkyul University, Anyang, Korea

³Department of Physical Education, Kangnam University, Yongin, Korea

Received 6 June 2014; Received in revised form 20 June 2014; Accepted 24 June 2014

ABSTRACT

The purpose of this study was to investigate walking standard time and joint powers of the lower extremities on the changes of illuminations in the elderly women. Ten older women (70.90±3.28 years, 154.70±3.47 cm, 53.80±5.39 kg) with normal vision and no gait disabilities participated in this study. All the experiments were performed on a level walkway from low to high lighting (six conditions). A 3-dimensional motion capturing system, force-plate, and EMG were used to acquire and analyze walking motion, force, and muscle activity data; the sampling frequency was 100 Hz, 1000 Hz and 1000 Hz respectively. To test the differences on walking standard time and joint powers of the lower extremities between the six lighting conditions, one-way repeated ANOVAs were evaluated. The following results were drawn: First, mean standard time was about 1.3 sec/stride, and velocities were smaller with lighting increasing except 100 Lx. Second, the joint power patterns of ankle and knee were not consistent, but only hip joint power was a greatest in 6 Lx and a smallest in 400 Lx. Third, standard times(100 Lx<300 Lx, 400 Lx) were statistically significant, and hip joint max powers (100 Lx>others) were also statistically significant. But ankle and knee joint max power were not statistically significant. These results showed that standard times from low to high lighting were not consistent, and hip joint of 100 Lx has a greatest rotational torque. We suggested that gait strategies of them as to changing illuminations were not consistent and findings may represent a lack of adaptability in the elderly women.

Keywords : Gait, Standard Time, Joint Power, The Elderly Women

I. 서 론

한국 노인의 평균연령은 73.7세(2011년 기준)로써 지속

적인 증가 추세이며 이와 함께 노인 낙상률 역시 2008년도의 14.8%에서 2011년도 20.7%로 약 5.9% 증가하고 있으며(The Korea Institute for Health and Social Affairs, 2012), 성별에 따른 노인(65세 이상)의 낙상률은 남성이 14.6%, 여성이 25.9%으로 여성노인이 낙상을 더 많이 경험한다(The Korea Institute for Health and Social Affairs, 2012). 낙상은 노인들의 삶의 질을 저하시키는 주요한 원인이며 특히, 일상생활에서 보행과 긴밀한 관계가 있다.

고령자의 낙상에 대한 원인은 크게 노화로 인한 신체적 기능저하와 외부 환경적 요인으로 분류되며 낙상은 외부

이 논문은 2011년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 연구되었음 (NRF-2011-35C-G00288).

Corresponding Author: Jae-Hoon, Yi

Division of Liberal Arts and Teaching, Sungkyul Univ-Ro 53, Man-an-gu, Anyang-city, Gyeonggi-do, Korea

Tel : +82-10-2787-0002

E-mail : eddyfox@hanmail.net

Table 1. Characteristic of the subjects

Height (cm)	Body mass (kg)	Age (yrs)	Eyesight	
			Left	Right
154.70±3.47	53.80±5.39	70.90±3.28	0.69±0.11	0.74±0.17

환경 원인을 제거함으로써 감소시킬 수 있다고 생각된다. 고령자의 신체적 기능저하로 인한 감소된 감각운동은 머리 움직임의 안전성을 저하시켜 보장(step length)의 감소를 초래하며 또한, 낙상에 대한 두려움도 보장감소를 야기한다(Menz, Lord, & Patrick, 2007). 그리고 노인의 신경생리적인 변화로 인하여 보장과 관절범위는 감소하나 보폭은 증가한다(Paroczai, Bejek, Illyes, Kocsis, & Kiss, 2006).

외부 환경적 요인으로 건강한 젊은 여성과 건강한 여성노인의 보행에서 연령에 따른 차이는 보장이며, 2 종류의 속도수준(일반조도, 낮은조도)에서 보폭(step width)과 보시 간(step time)의 변동성은 없고, 불규칙한 지면에서 보행속도에 대한 여성노인의 변동성이 젊은 여성보다 크다(Thies, Richardson, & Miller, 2005; Callisaya, Blizzard, Schmidt, Mcginley, & Srikanthi, 2010). 노인의 보행 안전성은 젖은 바닥에서 높은 굽 또는 부드러운 바닥창 신발 착용 시 치명적이지만 마른지면, 젖은 지면과 불규칙한 지면에서 중경도의 바닥창 또는 높은 발목신발 착용 시 최적이다(Menanta, Steeleb, Menzc, Munrob, & Lorda, 2009).

조도 변화에 따른 보행속도의 변화를 살펴보면 20대 남성은 낮은 조도에 의해 낮은 보행속도를 유지하는(Choi, Kang, Bang, & Tack, 2010) 반면, 고령자의 경우, 일반조도와 낮은 조도 보행 시 보행속도의 변화가 없다(Choi, Kang, Han, Lim, & Tack, 2011). 그러나 이러한 선행연구들은 일반과 낮은 2종류의 조도의 실험 결과이므로 노인이 실제로 생활하는 다양한 공간에서의 표준조도에서 동일한 결과가 도출될지는 의문이다.

이와 같이 보행은 주어진 과제, 신체능력, 환경과 보행자 특성간의 유기적 상호관계에 기인한다. 그러므로 고령자 보행에서 외부 보행조건(조도변화)에 따라 보행전략(표준시간과 관절과위)은 변화할 것이다. 지금까지 일반인의 보행 표준시간은 도로정보 및 걷기정보(걷기작업 소요시간, 걷기운동 시간 등)제공에 이용되어 왔다. 그러나 남성 노인보다 낙상률이 더 큰 여성노인의 보행 표준시간과 하지 관절과위는 노인 이동작업에서 표준작업시간 산출의 기준과 신체적 기능을 나타낼 수 있으나 지금까지 거의 규명된 바 없다.

그러므로 본 연구는 여성노인 보행 시 다양한 조도 변화가 보행 표준시간과 하지 관절과위에 미치는 영향을 구명하고자 다음과 같은 연구문제를 설정하였다.

- (1) 보행 평균 표준시간 산정
- (2) 조도별 관절과위 패턴 비교

- (3) 조도 변화가 보행 표준시간과 하지 관절과위에 미치는 영향

II. 연구 방법

1. 대상자의 특성

연구대상자는 도시에 거주하면서 지난 3년간 낙상경험이 없고 단독보행이 가능한 65세 이상의 재가 여성노인 10명을 선정하였다. 그리고 연구대상자의 기본적인 일상생활능력(ADL)과 국내수정바텔지수를 수행한 점수는 85-94에 속하여 일상생활을 자신이 완벽히 수행하지만 간혹 수행시간이 느린 양상을 보이는 자들이며 신체적 특성의 평균±표준편차는 <Table 1>과 같다.

2. 분석 국면 및 이벤트

분석 국면은 비인지 상태에서 무게중심을 전방으로 변화시켰을 때 내딛는 발로 선정한 우측 우세발의 맨발 선회속도 보행으로 3국면 4이벤트 다음과 같이 설정하였다.

- 국면1(p1) : e1(heel strike) – e2(mid stance: 지면반력 Y축이 추진력으로 변하는 시점)
- 국면2(p2) : e2(mid stance) – e3(toe off)
- 국면3(p3) : e3(toe off) – e4(heel strike: 스윙 후 다시 heel contact)

3. 각 및 연구변인 정의

1) 표준시간

시간연구에서 사용하는 속도계산법을 이용하여 보행 표준시간=정미시간+준비시간이며 이때 정미시간은 관측시간 평균치(활보장시간 평균치)×표준화 계수(레이팅 계수)로 산정하였다. 그리고 표준화 계수는 표준화 계수가 1일 때(안정되고 침착한 보행의미)의 보행속도 1.344 m/sec을 기준(Jeong & Lee, 2012)으로 실제보행속도로 나누어 계수화 하였다.

준비시간은 유각기(swing phase)에 활성이 없다가 오른발 뒤꿈치 착지 바로 전에 활성이 시작되는 근육인 대둔근, 중둔근과 외측광근 중에서 가장 활성도가 좋은 중둔근의 원자료를 <Figure 1>과 같이 처리하고, 임계치=최소값+(최대값-최소값)×20%(Hug & Dorel, 2009)를 이용하여 근활성화 시점(on-set timing)을 찾은 후 우측 뒤꿈치접지

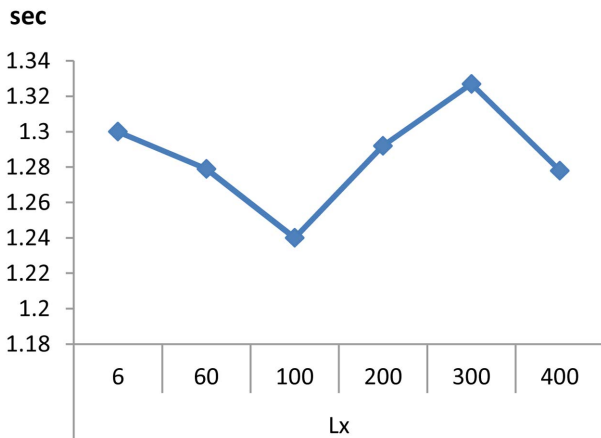


Figure 1. Flow chart of EMG data processing

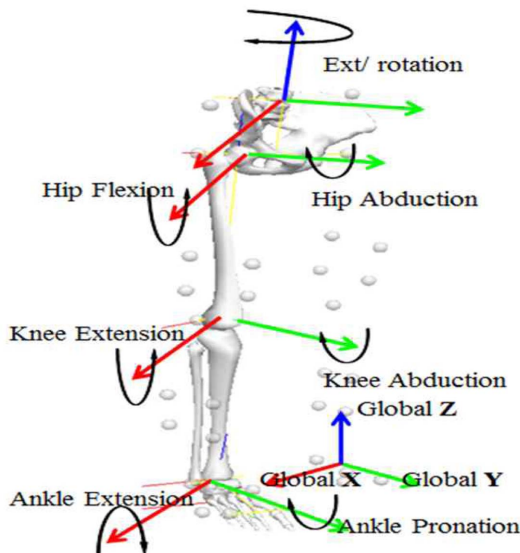


Figure 2. Directions of axes and angles

시점과 근활성화 시점간의 차이로 산출하였다. 이는 능동적 근력발현과 수동적 근력발현 시간을 합한 것과 동일한 의미이다.

2) 하지 관절과워

관절의 회전 순발력을 나타내는 하지 관절과워는 하지 관절의 모멘트(M)와 각속도(ω)의 내적으로 정의하고 역동역학방법을 사용하여 모멘트를 산출하였으므로 지면반력기와 접촉하지 않는 유가기에서는 하지 관절과워를 산출하지 않았다.

3) 축방향과 각방향 정의

축방향은 전방향이 Y축(좌·우 회전축), 상방향은 Z축(수평면 회전축)이며 나머지 X축(전후 회전축)은 오른손 나

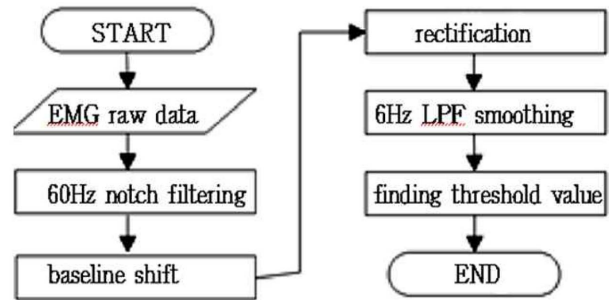


Figure 3. Directions of axes and angles

사범칙에 준하였다. 그리고 각방향 기준은 해부학적 자세의 골반(pelvis)이 0°, 발목관절각은 스탠딩 자세인 90°가 0°이고 무릎관절각과 엉덩관절각은 기립 자세인 180°가 0°이다(Figure 2).

4. 실험 절차 및 방법

실험 전 대상자들에게 실험목적과 실험절차에 대한 충분한 이해를 구하고 실험참여 동의를 획득한 후 실험을 실시하였다. 이 실험을 위하여 마커부착 위치는 Visual 3D (C-motion, USA)의 마커시스템에 준하고 12대의 적외선 카메라, MCU-240(Qualisys, Sweden)과 2대의 지면반력기, 9260AA(Kistler, Switzerland)을 사용하였고 근활성도 측정을 위하여 무선 EMG Trigno (Delsys, USA)를 사용하였다.

실험에 앞서 충분한 연습 후 맨발로 개인의 선호속도 (self-selected speed)로 각 3회 실험하였다. 이때 망막의 명순응을 유도하기 위하여 낮은 조도에서 높은 조도 순으로 실험을 실시하였으며 조도를 변경 후 망막 명순응(실내 명순응 40초 이상)과 반복측정의 순서효과를 최소화하기 위하여 약 5분 이상의 시간을 두었다. 대상자들에게 타이즈를 착용 시킨 후 전신의 관절점 및 분절에 총 77개의 반사마커를 부착하고 스탠딩 캘리브레이션을 실시한 후 분절의 위치추적을 위한 45개의 트래킹마커를 제외하고 모두 제거하였다.

현장의 실질적인 조도의 보행환경을 만들기 위하여 한국표준기준(KSA 3011: 1998)에 준하여 노인이 자주 노출되는 장소의 조도에 해당되는 6Lx, 60Lx, 100Lx, 200Lx, 300Lx와 400Lx의 6 종류의 조도 하에서 보행을 실시하였으며 평균조도 측정은 복도나 옥외인 경우에 바닥면 위 15cm에서 측정하여 KS 5점법을 적용하였다.

실험설계는 급내실험설계(within subject experiment-design)이며 반복측정의 순서효과는 망막의 명순응을 위하여 통제하지 못하였다. 그리고 <Figure 3>와 같이 조도측정을 위한 디지털조도계는 ISO-9001을 획득한 LM-81LX (LT, Taiwan)을 사용하고 조도 조절을 위해 전등갓과 조광

Table 2. Gait parameters of illuminations

Parameter	Lx	6	60	100	200	300	400
Set-up time (s)		0.178	0.141	0.119	0.166	0.154	0.105
M(SD)		(0.074)	(0.075)	(0.044)	(0.064)	(0.07)	(0.042)
Stride time (M/SD)		0.997	0.995	0.998	0.989	1.003	1.004
		(0.069)	(0.055)	(0.062)	(0.050)	(0.059)	(0.062)
Velocity (m/s) (M)		1.194	1.175	1.196	1.180	1.149	1.150
Rating coefficient		1.126	1.144	1.124	1.139	1.170	1.169
Net time (s)		1.122	1.138	1.121	1.126	1.173	1.173
Standard time (s)		1.300	1.279	1.240	1.292	1.327	1.278

Bold: maximum or minimum value



Figure 4. Patterns of standard time

기를 사용하였다.

5. 자료 획득 및 통계처리

2차원 원자료는 Qualisys system의 QTM (Motion Capture Software)의 NLT방법에 의해서 3차원 자료로 변환한 후 Visual-3D를 이용하여 연구변인을 산출하였다. 그리고 자료의 노이즈를 제거하기 위하여 차단주파수를 6 Hz로 버터워스 2차 양방필터를 사용하였으며 영상자료의 샘플링률은 100 Hz, 지면반력기와 EMG 샘플링률은 각각 1000 Hz로 하였다. 그리고 통계적 검정을 위하여 3회 평균치를 사용하여 SPSS 19.0(IBM, USA)의 one-way repeated ANOVA 분석을 실시하였으며 이때 유의수준은 $\alpha=.05$ 로 하였다.

IV. 결 과

1. 조도별 보행 표준시간

표준시간을 구성하는 준비시간은 가장 낮은 조도, 6 Lx에서 가장 크고 가장 높은 조도, 400 Lx에서 가장 작게 나타났으며 나머지 조도에서는 일관된 경향을 보이지 않았다. 확보장시간은 200 Lx에서 가장 작게 400 Lx에서

Table 3. Pairwise comparison of the illuminations on the standard time

(I) Lx	(J) Lx	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.
	6	-.039	.026	.165
	60	-.039	.024	.136
100	200	-.052	.029	.102
	300	-.087*	.029	.015
	400	-.038*	.007	.001

*The mean difference is significant at the $p<.05$ level.

Table 4. Pairwise comparison of the illuminations on hip joint max power

(I) Hip_lx	(J) Hip_lx	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.
	6	.842*	.292	.018
	60	.762*	.250	.014
100	200	.996*	.417	.041
	300	1.048*	.315	.009
	400	1.225*	.387	.011

*The mean difference is significant at the $p<.05$ level.

가장 크게 나타났다. 그리고 보행속도는 100 Lx에서 가장 크고 이 조도를 기준으로 낮은 조도영역(6 Lx>60 Lx)과 높은 조도영역(200 Lx>400 Lx>300 Lx)에서 100 Lx를 제외하고 더 밝아질수록 더 작게 나타났다. 정미시간은 밝은 곳인 300 Lx와 400 Lx 가장 크게 나타나고 나머지 조도에서는 유사하게 나타나 거의 차이가 없었다(Table 2).

보행 표준시간은 300 Lx>6 Lx>200 Lx>60 Lx>400 Lx >100 Lx 순으로 작아지며 조도가 갑자기 밝아지는 경우, (1.300초, 6 Lx) → (1.279초, 60 Lx) → (1.240초, 100 Lx)에서 감소하다가 조도가 점차적으로 커지는 경우(200, 300 Lx), 증가하다가 다시 400 Lx에서 감소하는 현상을 보였다(Table 2, Figure 4).

Table 5. Maximum joint powers of illuminations and phases

Joint(W/kg)		Lx					
		6	60	100	200	300	400
Ankle (M/SD)	p1	0.617/0.437	0.538/0.342	0.544/0.359	0.643/0.413	0.610/0.395	0.607/0.448
	p2	2.844/1.580	3.086/1.223	3.094/1.423	3.162/1.439	2.862/1.193	2.806/1.381
Knee (M/SD)	p1	1.262/0.767	0.978/0.590	1.040/0.542	1.317/1.071	1.178/0.777	1.046/0.672
	p2	0.594/0.718	0.395/0.321	0.350/0.274	0.452/0.440	0.466/0.340	0.377/0.290
Hip (M/SD)	p1	2.686/1.913	2.195/1.336	2.161/0.979	2.500/1.838	2.535/1.306	2.113/1.219
	p2	4.370/2.118	4.227/1.921	4.134/1.926	3.955/1.499	4.052/1.257	3.860/1.617

Bold: maximum or minimum value

조도별 보행 특성은 가장 낮은 조도, 6 Lx에서 준비시간, 보행속도와 표준시간은 크게 나타났고 가장 높은 조도, 400 Lx에서 확보장시간과 정미시간이 크게 나타났으며 나머지 조도에서는 일관성이 나타나지 않았다(Table 2).

조도별 표준시간의 구형성 검정결과 $p=.017(p<.05)$ 로써 구형성가정을 충족시키지 못하여 다변량 검정결과와 Wilks' Lambda값을 조사한 바 $p=.018(p<.05)$ 이 통계적으로 유의하게 나타나 순서쌍 (100, 300 Lx)와 (100, 400 Lx)에서 차이가 나며 300 Lx와 400 Lx가 더 크게 나타났다(Table 3).

2. 조도 및 국면별 관절파워

발목관절의 최대파워는 200 Lx (p1, p2)에서 나타났고 최소파워는 60 Lx (p1)와 400 Lx (p2)에서 나타났다(Table 5). 그리고 조도별 발목관절 최대파워의 구형성 검정결과 $p=.000 (p<.05)$ 로써 구형성가정을 충족시키지 못하여 다변량 검정결과를 조사한 바 Wilks' Lambda=.060이고 급내효과 검정결과와 Greenhouse-Geisser값이 .388($p>.05$)이므로 통계적으로 유의하지 않았다.

무릎관절의 최대파워는 200 Lx (p1)와 6 Lx (p2)에서 나타났고 최소파워는 60 Lx (p1)와 100 Lx (p2)에서 나타났다(Table 5). 조도별 무릎관절 최대파워 역시 구형성 검정의 유의확률, $p=.018(p<.05)$ 로써 구형성가정을 충족시키지 못하여 다변량 검정의 효과를 조사하여 Wilks' Lambda=.070이고 급내효과 검정의 앵실런 중 Greenhouse-Geisser=.449($p>.05$)이므로 통계적으로 유의하지 않았다.

그러나 조도별 및 국면별 엉덩관절의 최대파워는 다른 관절 최대 파워와 다르게 동일한 조도인 6 Lx (p1, p2)에서 나타났고 최소파워 역시 동일한 조도 400 Lx (p1, p2)에서 나타났으며 조도별 엉덩관절 최대파워의 구형성 검정결과 $p=.051 (p>.05)$ 로써 구형성가정을 충족하므로 가정된 구형성의 값이 $p=.010(p<.05)$ 으로 통계적으로 유의하였으며 효과크기는 .227으로 나타났다. 또한, 급내간 차이는 100 Lx가 나머지 조도(6, 60, 200, 300 Lx, 400 Lx)

와 차이가 나며 100 Lx가 더 크게 나타났다(Table 4).

IV. 논 의

조도별 패턴에서 대상자들은 밝은 곳보다 어두운 곳에서 준비시간을 많이 소요하고, 조도 변화는 확보장시간에 영향을 미치지 못한다. 그리고 정미시간은 300 Lx와 400 Lx에서 크게 나타났으며 나머지 조도에서는 유사하게 나타나 거의 차이가 없었다. 이는 노인들은 어두운 곳에서 보행을 위하여 미리 근육을 활성화시키며 조도 변화에 적응하여 자유도를 변화시키지 못하고 평상시의 고착화된 보행패턴으로 보행을 하는 것으로 생각된다. 보행속도는 100 Lx만 제외하고 더 밝아질수록 더 늦어지고 있어 여성노인은 밝아질수록 시야가 확보되므로 심리적 안정성으로 인하여 충분한 보행패턴을 가진다고 생각할 수 있으며 100 Lx의 보행속도가 가장 큰 것으로 보아 여성노인들의 가장 선호하는 조도는 100 Lx인 곳으로 생각된다.

표준보행시간의 패턴은 어두운 곳에서는 상대적으로 위험을 인식하여 스윙타임을 줄이고 스텝 타임과 이중지 시간대를 늘이는 일반적인 전략으로 인하여 표준시간이 증가하고, 조도가 밝아지는 경계 조도점(60 Lx)에서 표준시간이 감소하며 다시 밝은 조도에서는 증가하고 망막 순응 후(400 Lx)에는 재차 표준시간이 길어진다고 생각된다. 그리고 표준시간은 조도에 따라 통계적으로 유의한 차이를 보이고 밝을수록(100 Lx<300 Lx, 400 Lx) 크게 나타나 여성노인은 밝을수록 여유 있게 보행하는 것으로 생각된다.

발목관절과 무릎관절의 조도별 최대파워는 통계적으로 유의하지 않았고 최대파워 패턴 역시 일관성을 보이지 않았으나 조도별 엉덩관절 최대파워는 통계적으로 유의하고 100 Lx가 나머지 모든 조도와 차이가 났으며 그 효과크기는 22.7%으로 나타나 크지 않았다. 그리고 최대파워 패턴은 가장 낮은 조도(6 Lx)에서 가장 크고, 가장 높은 조도(400 Lx)에서 가장 작게 나타나 어두운 곳에서 엉덩관절의 회전 순발력이 크고 반면, 밝은 곳에서는 작은 회전 순발

력을 보여 밝은 곳에서 여유 있는 관절회전을 유도하는 것으로 생각된다.

여성노인의 보행 평균 표준시간은 약 1.30초(100 Lx 제외)로 산출되었고 높은 조도에서 밝아질수록 크게 나타났다. 그러나 조도 변화에 따른 보행속도는 약 1.20 m/s(300 Lx제외)로 일정한 패턴을 보이지 않아 고령자의 경우, 일반조도와 낮은 조도 보행 시 보행속도의 변화가 없다는 선행연구(Choi et al., 2011)와 일맥상통하는 결과로써 여성노인의 보행속도는 조도 변화에 민감하게 반응하지 않음을 시사한다.

이러한 원인으로 노인의 인지 및 감각기능의 저하로 환경변화에 운동협응이 다이내믹 시스템이론의 자기조직화 원리를 따르지 않으며, 협응구조의 형태가 변하는 상변이 없이 자유도를 유지하는 전략을 고수 하는 것으로 생각할 수 있다. 한편, 이러한 결과는 연구대상자의 수, 조도 영역과 명순응 실험순서의 영향이 개입될 수 있는 가능성도 배제할 수 없다.

V. 결 론

여성노인 보행 시 다양한 조도 변화가 보행 표준시간과 하지 관절과위에 미치는 영향을 구명한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, 여성노인의 조도별 보행 평균 표준시간은 약 1.30초(100 Lx 제외)이며 일관된 패턴을 보이지 않았다. 그리고 보행속도는 100 Lx만 제외하고 더 밝아질수록 더 늦어지는 패턴을 보였다.

둘째, 발목관절과 무릎관절의 조도별 파워패턴은 일관성 없으나 엉덩관절 파워패턴은 6 Lx에서 가장 크고, 400 Lx에서 가장 작게 나타나 밝은 곳보다는 어두운 곳에서 엉덩관절의 회전 순발력이 크게 나타났다.

셋째, 조도별 표준시간의 차이는 $p=.018(p<.05)$ 으로 통계적으로 유의하고 300 Lx와 400 Lx가 100 Lx보다 크게 나타난 반면 발목관절과 무릎관절의 조도별 최대파워는 통계적으로 유의하지 않았다. 그러나 조도별 엉덩관절 최대 파워 차이는 $p=.010(p<.05)$ 으로 통계적으로 유의하였으며 급내간 차이는 100 Lx가 나머지 조도(6, 60, 200, 300,

400 Lx)보다 더 크게 나타났다.

결론적으로 여성노인은 일부 조도변화에서 특정변인의 유의한 차이를 보였으나 전반적으로 일관성이 없는 것으로 보아 조도 변화에 관계없이 개인의 고착화된 보행 전략을 수행한다고 할 수 있다.

참고문헌

- Choi, J. s., Kang, D. W., Bang, Y. H. & Tack, G. R. (2010). Changes of walking pattern for young adults during level walking under low illumination. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 20(4), 381-386.
- Callisaya, M. L., Blizzard, L., Schmidt, M. D., Moginley, J. L. & Srikanthi, V. K. (2010). Ageing and gait variability—a population-based study of older people. *Age and Ageing*, 39, 197-203.
- Choi, J. S., Kang, D. W., Han, K. H., Lim, D. S. & Tack, G. R. (2011). *Comparison between gait patterns of healthy older and young adults under low illumination*. Proceedings of the ESK Spring Symposium. Jeju: Hotel Ramada, 459-462.
- Hug, F., & Dorel, S. (2009). Electromyographic analysis of pedaling: A review. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 19(2), 182-198.
- Jeong, B. Y., & Lee, D. K. (2012). *Ergonomics and Human Factors*. 2nd edition. Seoul: Minyoungsa
- Menz, H. B., Lord, S. R., & Patrick, 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.
- Menata, J. C., Steeleb, J. R., Menzc, H. B., Munrob, B. J. & Lorda, S. R. (2009). Effects of walking surfaces and footwear on temporo-spatial gait parameters in young and older people. *Gait and Posture*, 29(3), 392-397
- Thies, S. B., Richardson, J. K. & Ashton-Miller, J. A. (2005). Effects of surface irregularity and lighting on step variability during gait: A study in healthy young and older women. *Gait & Posture*, 22(1), 26-31.
- Paroczai, R., Bejek, Z., Illyes, A., Kocsis, L. & Kiss, R. M. (2006). Gait parameters of healthy, elderly people. *Physical Education and Sport*, 4(1), 49-58.
- The Korea Institute for Health and Social Affairs. (2012). 2011 Survey Results on the Korea Elderly(11-1352000-000672-12). Seoul : Ministry of Health & Welfare.