

평지와 고르지 않은 지면 경사로 보행 시 고령자와 젊은 성인의 운동학적 요인 비교

최진승¹ · 강동원¹ · 문경률¹ · 방윤환¹ · 탁계태^{2,3}

¹ 건국대학교 대학원 의학공학과 · ² 건국대학교 의료생명대학 의학공학과 · ³ 건국대학교 의공학실용기술연구소

Comparison of Kinematic Factors between Old and Young People during Walking on Level and Uneven Inclined Surfaces

Jin-Seung Choi¹ · Dong-Won Kang¹ · Kyung-Ryul Mun¹ · Yun-Hwan Bang¹ · Gye-Rae Tack^{2,3}

¹Department of Biomedical Engineering, Graduate School of Konkuk University, Chungju, Korea

²Department of Biomedical Engineering, College of Biomedical & Health Science, Konkuk University, Chungju, Korea

³Research Institute of Biomedical Engineering, Konkuk University, Chungju, Korea

Received 29 January 2010; Received in revised form 16 February 2010; Accepted 25 March 2010

ABSTRACT

The purpose of this study was to investigate the changes in walking pattern of the elderly during inclined walkway with uneven surfaces and level walking. 10 young (26.3±1.3 years, 174.3±5.3 cm, 69.5±9.5 kg) and 13 elderly (72.4±5.2 years, 164.5±5.4 cm, 66.1±9.6 kg) male subjects were participated in the experiment. Experiment consisted of 2 walking conditions: horizontal and inclined walkway with uneven surfaces. 3D motion capturing system were used to acquire and analyze walking motion data with sampling frequency of 120 Hz. To compare differences between conditions, kinematic variables (walking speed, stance-swing ratio, hip joint angle, knee joint angle, ankle joint angle, pelvic rotation angle) were used. Results showed that there were some changes of elderly walking pattern in inclined walkway with uneven surfaces: hip joint (adduction and rotation) and pelvic movement pattern. These changes by inclination and surface may affect gait pattern of young subjects as well as elderly subjects. However, in case of elderly it revealed more unstable gait than the young. Further study is necessary to clarify changes in walking pattern for elderly by considering various gait variables including head movement and various walkway conditions.

Keywords : Elderly, Walking up Inclined Walkway, Uneven Surface, Kinematics, Falls

I. 서론

고령자는 일반적으로 노화로 인해 보행속도와 활보장(stride length)의 감소 등 이동 능력의 저하를 보인다(한진태, 황보각, 2009). 이는 신체적, 심리적 요인의 복합적인 작용으로 알려져

있고, 신체적으로 근력과 조절 능력 퇴보 요인과 이로부터 오는 심리적 두려움 요인의 상호작용으로 볼 수 있다(Menz, Lord & Fitzpatrick, 2007). 이러한 고령자의 이동성을 감소 및 제약하는 주된 원인은 낙상이며(Prince, Corriveau, Hebert & Winter, 1997), 실제로 국내에서 2005년 인구 10만명 당 49명의 낙상으로 인한 사망률을 나타내는 등 꾸준한 증가추세를 보이고 있다(한진태, 황보각, 2009; 통계청 2005). 또, 낙상의 2/3가량은 보행을 통한 이동 시 발생하는 것으로 보고된 바 있다(Menz et al., 2007).

일반적으로 고령자의 보행은 젊은 성인과 차이를 보이는 것으로 알려져 있다. 고령자와 젊은 성인의 보행 패턴 차이를

Corresponding Author : Gye-Rae Tack
Department of Biomedical Engineering, Konkuk University,
322 Danwol-dong, Chungju-si, Chungcheongbuk-do, Korea
Tel : +82-43-840-3762 / Fax : +82-43-851-0620
E-mail : grtack@kku.ac.kr

본 논문은 2009년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업(No.2009-0075413).

살펴보기 위해 보행속도와 시공간 변인 및 하지관절 각도와 모멘트를 이용한 연구(은석덕, 이기광, 2004; Prince et al., 1997; Ostrosky, Van Swearingen, Burdett & Gee, 1994), 운동학적 변인 및 근전도 신호를 이용한 분석을 통해 고령자의 줄어든 보장(step length), 늘어난 보폭(step width), 줄어든 관절범위, 각 보행 시점에서 달라진 근육 활성화 시점 등을 살펴본 연구(Paroczai, Bejek, Illyes, Kocsis & Kiss, 2006), 낙상경험 여성노인의 하지 분절 각도와 근전도 차이를 이용하여 관절의 불안정성과 부분적으로 근육의 활성화가 증가를 확인한 연구(전경규, 박광동, 박세환, 강영석, 김대근, 2009), 프랙탈 기법을 이용하여 연속된 보행에서의 안정성 차이를 살펴본 연구(류지선, 2006; Hausdorff, 2007), 유각기(swing phase)의 발끝의 높이의 차이를 통해 고령자의 보행 특성을 살펴본 연구(Khandoker, Lynch, Karmakar, Begg & Palaniswami, 2008), 보행 시 상체 움직임 살펴본 연구(김희수, 윤희중, 류지선, 김태삼, 2004) 등 다양하게 진행되었다. 이러한 선행 연구에 따른 고령자 평지 보행의 특징은 보행 속도의 감소, 보장의 감소, 엉덩관절과 무릎관절, 발목관절의 가동범위(range of motion, ROM) 차이, 상체의 기울기와 골반 회전 등에서 차이가 있는 것으로 보고된 바 있다. 또, 실제 환경에서 발생하는 보행로 표면의 영향을 살펴보기 위해 평지 보행로의 고르지 않은 표면에 따른 보행 변동성(variability)의 변화가 보고된 바 있으며(Thies, Richardson & Ashton-Miller, 2005), 다양한 재질로 구성된 평지 보행로를 이용해 연령에 따른 보행 변동성과 상체 및 머리의 가속도를 비교한 연구(Marigold & Patla, 2008) 등이 수행되었다. 하지만 대부분의 고령자와 젊은 성인의 보행 비교 연구는 평지 보행 혹은 경사로 보행 실험 시 평탄한 지면에서 수행되었다.

Menz et al.(2007)은 고령자의 보행변화는 감소된 근육과 조절능력에 대한 고령자의 적응형태로 비교적 안정한 보행을 수행하도록 돕는 역할을 한다고 보고하였다. 즉 평탄한 지면에서의 일정한 보행 실험을 통해서 얻는 결과는 비교적 안정된 고령자 보행 형태임을 알 수 있다. 실제 고령자 낙상의 경우,

신체 균형에 관여하는 다양한 신체 변인(감각과 운동, 조절중추)의 환경에 대한 빠른 적응이 일어나지 못할 경우에 발생하게 되므로, 평평하지 않은 바닥에서의 보행 형태 비교가 필요하다(Sturmick, George & Lord, 2008).

따라서 평지에서 젊은 성인과 고령자의 보행이 각 신체조건에 적합한 패턴이라고 가정하고 다른 형태의 보행 조건하에서 각기 변화하는 보행에 대한 고찰이 필요하다. 본 연구에서는 평지보행과 바닥이 고르지 않은 경사로 보행 실험을 통해 평지 보행과 경사보행 시 젊은 성인과 고령자의 보행 변인의 변화상을 운동학적 측면에서 분석하고자 하였다.

II. 연구방법

1. 연구대상

본 연구에는 최근 1년간 하지 근골격계 질환 경력이 없고 정상적으로 보행하는 고령 남성 13명(72.4±5.2 years, 164.5±5.4 cm, 66.1±9.6 kg)과 젊은 20대 남성 10명(26.3±1.3 years, 174.3±5.3 cm, 69.5±9.5 kg)이 참여하였다. 모든 피험자는 본 실험의 목적과 내용을 확인하고 참가동의서에 서명하였다.

2. 실험 방법

피험자는 평지보행과 바닥이 고르지 않은 언덕보행을 각 3회씩 수행하였다. 실험에 사용된 가상 언덕은 목재로 제작하였으며 폭 100 cm, 경사면 총길이 240 cm으로 경사면의 경사는 20°로 제작하였다. 불안정한 지표면환경 구성을 위해 언덕의 지면에 인공자갈매트를 부착하였다(Figure 1). 실제로 이 매트는 신발을 착용한 피험자의 보행 동작에 큰 변화를 야기할 정도는 아니었으나 피험자에게 지면이 평탄치 않음을

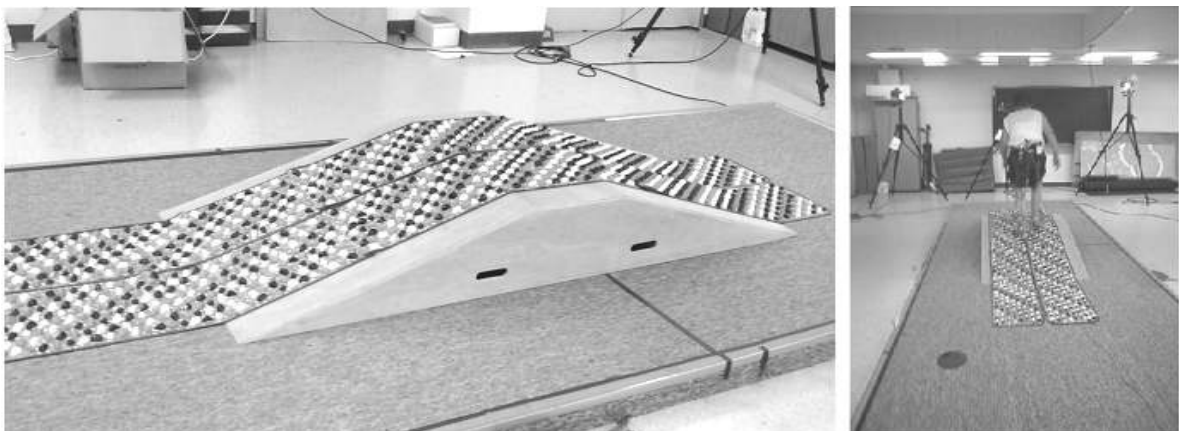


Figure 1. Artificial uneven inclined walkway and walking experiment

각인시켜주기에 충분하였다. 보행 속도는 평소 피험자의 평소 일상화(정장 구두 제외)를 착용하고 편하게 걷는 속도를 이용하였으며, 실험 전 충분한 연습보행을 수행하여 실험환경에 충분히 적응하도록 하였다. 본 연구에서 피험자의 동작데이터 획득은 적외선 카메라 6대로 구성된 3차원 동작분석시스템 (Motion analysis Corps., USA)을 사용하였다. 보행용 헬레네이즈 마커셋을 이용하였으며 샘플링은 120 Hz로 하였다.

3. 분석변인 및 자료처리

모든 분석 변인은 오른발 입각기(stance phase)의 시작(heel strike)부터 다음 오른발 입각기 시작까지로 보행 한주기 데이터를 분석에 이용하였다. 경사로의 경우, 경사로를 오르는 첫 발이 오른발이 되는 데이터의 입각기부터 한주기를 분석에 이용하였다. 마커 데이터는 2차 0지연 Butterworth 필터를 이용해 차단주파수 6 Hz로 저역통과시켜 급격한 변화의 데이터 수집 오차를 제거하였다. 분석에 사용된 변인은 보행속도, 입각기와 유각기 (swing phase)의 비율, 하지의 관절각(엉덩관절각, hip joint angle; 무릎각, knee joint angle; 발목각, ankle joint angle)과 골반 회전각 (pelvic rotational angle)을 사용하였다(김희수 등, 2004; 한진태, 황보각, 2009; Prince et al., 1997). 이중, 골반회전각은 3평면의 회전, 엉덩관절각은 3축방향 기울기각, 무릎관절각과 발목관절각은 sagittal 평면의 각을 고려하였다. 변인 추출을 위해 SIMM 5.0 소프트웨어(MusculoGraphics, USA)를 이용하였고 추출변인의 추가적인 계산은 Matlab ver.7.3(Mathworks Inc., USA)을 이용하였다. 그룹 간 변인차이를 확인하기 위한 통계 분석에는 SPSS 17k(SPSS, USA) 소프트웨어를 사용해 대응표본 t 검정을 수행하였다.

III. 결 과

결과를 나타낸 표에서 평지와 경사로의 유의한 차이가 나타난 변인은 두 그룹간 비교를 용이하게 하기위해 음영으로 나타내었다.

1. 보행 속도 및 구간 비율 비교

<Table 1>은 고령자 그룹과 젊은 성인 그룹의 보행 속도, 입각기와 유각기의 비율이다. 두 그룹 모두 평지와 경사로 보행 간 속도의 통계적인 유의차를 보였다($p=.000$, $p=.000$). 두 그룹 모두 평지와 경사로 보행의 보행 비율의 변화는 없었다($p=.876$, $p=.218$).

Table 1. Walking speed & stance/swing ratio (unit: m/sec)

		Level	Incline
Young group	Speed	1.44±0.01 *	0.84±0.75 *
	Ratio	63.83 : 36.17	63.94 : 36.04
Old group	Speed	0.99±0.11 *	0.67±0.13 *
	Ratio	62.04 : 37.96	62.92 : 37.08

* $p<.05$

2 하지의 관절각 비교

1) 관절의 가동범위(ROM) 비교

<Figure 2>와 <Table 2>는 평지와 경사로 보행 시 두 그룹의 발목관절, 무릎관절, 엉덩관절의 가동범위를 나타내었다.

Table 2. Range of motion on the lower limb joints

(unit: degree)

		Young group		Old group	
		Level	Inclined	Level	Inclined
Hip joint angle	Add	17.96±2.89 ($t=-1.103$, $p=.325$)	16.04±6.70	18.08±5.93 ($t=-2.879$, $p=.008$)	13.98±3.99 *
	Rot	16.17±6.42 ($t=.198$, $p=.846$)	16.98±15.65	15.29±4.31 ($t=0.029$, $p=.911$)	15.24±6.21 *
	Flex	45.54±4.48 ($t=4.592$, $p=.000$)	60.24±11.33 *	43.57±9.67 ($t=4.615$, $p=.000$)	54.59±8.25
Knee joint angle	Flex	70.68±5.45 ($t=4.230$, $p=.001$)	60.58±9.74 *	63.17±9.24 ($t=-.377$, $p=.709$)	62.34±10.35 *
Ankle joint angle	Flex	39.46±4.09 ($t=5.078$, $p=.000$)	29.51±6.34 *	27.27±5.93 ($t=.955$, $p=.349$)	24.94±9.57

Add: adduction, Rot: rotation, Flex: flexion

* $p<.05$

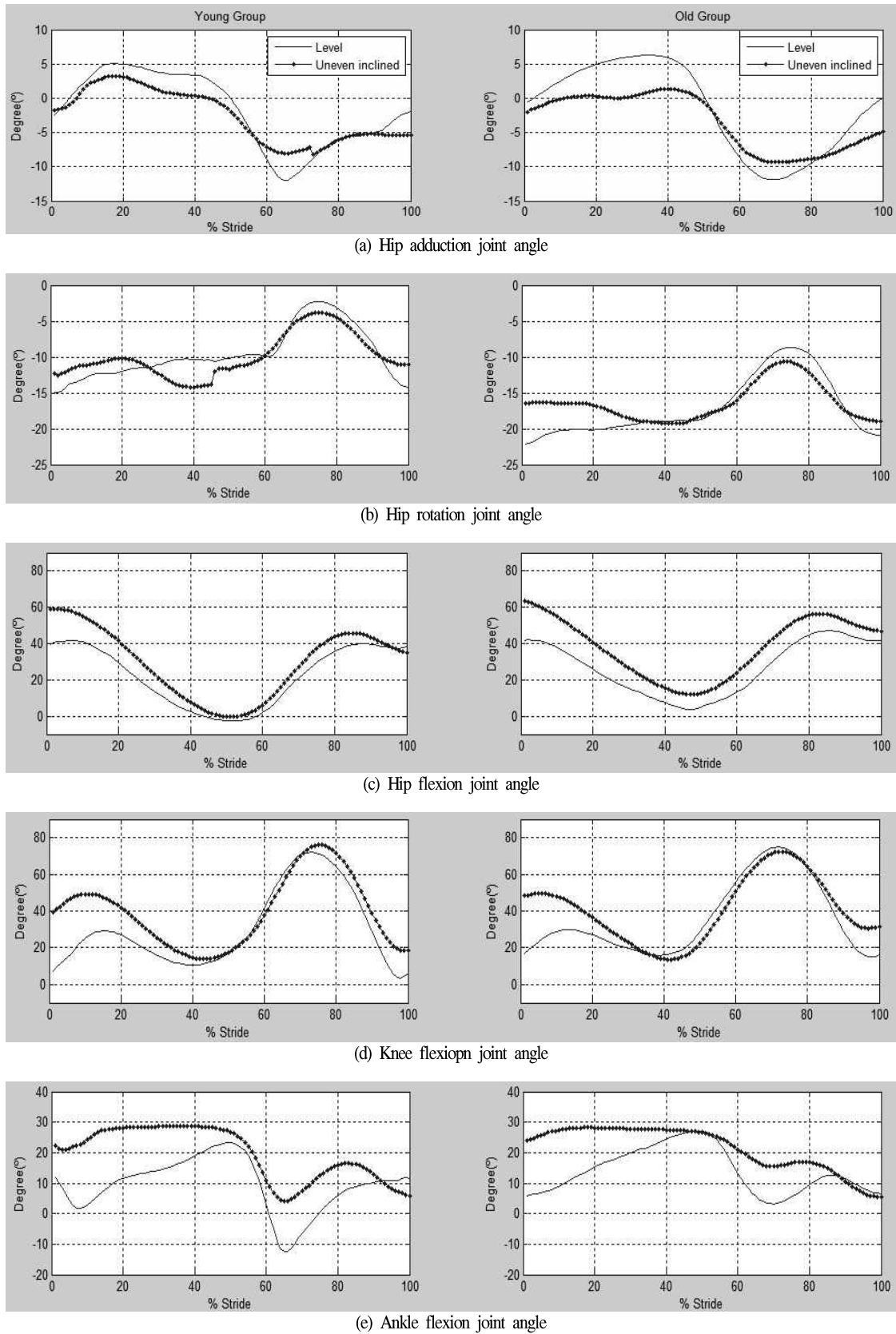


Figure 2. Comparison of average lower joint angles between old and young group on the level and uneven inclined walkway

2) 보행 시점별 관절각 비교

젊은 성인 그룹은 평지와 경사로 보행 결과 hip, knee, ankle flexion 각의 가동범위에서 유의한 차이를 보였으며 ($p=.000$, $p=.001$, $p=.000$), 고령자 그룹은 hip adduction, knee flexion 각의 가동범위에서 차이가 나타났다($p=.008$, $p=.000$). 보행 시점은 중기 입각기(mid-stance)와 중기 유각기(mid-swing)로 하였고, 각 시점의 그룹별, 보행로별 하지관절각은 <Table 3>과 <Table 4>에 나타내었다. 중기 입각기에서 젊은 성인 그룹과 고령자 그룹은 hip($p=.000$, $p=.001$)/ankle($p=.000$, $p=.000$) joint flexion 각에서 평지와 경사보행에서 동일하게 차이가 있었고, 젊은 그룹은 knee flexion 각($p=.000$)에서, 고령자 그룹은 hip adduction($p=.000$) 각에서 차이를 보였다. 중기 유각기에서 젊은 성인 그룹은 hip/knee/ankle joint flexion 각에서 차이를 보였고, 고령자 그룹은 hip rotation 각($p=.861$)을 제외한 모든 하지 관절 각에서 유의한 차이를 나타냈다($p=.000$, $p=.000$, $p=.000$, $p=.000$).

Table 3. lower limb joint angles at mid-stance (unit: deg)

Mid-Stance		Young group		Old group	
		Level	Incline	Level	Incline
Hip (add)	mean (SD)	3.58 (1.65)	2.34 (5.13)	4.41 (6.85)	0.11 (3.49)
	t-value	-.934		-5.289	
	p-value	.364		.000 *	
Hip (rot)	mean (SD)	-10.89 (3.97)	-13.40 (11.82)	-17.63 (8.15)	-20.73 (7.88)
	t-value	-.763		-1.114	
	p-value	.456		.276	
Hip (flex)	mean (SD)	11.14 (5.96)	23.09 (7.20)	16.02 (13.77)	26.17 (14.31)
	t-value	4.802		3.855	
	p-value	.000		.001 *	
Knee (flex)	mean (SD)	14.17 (5.21)	25.07 (8.35)	21.25 (12.12)	21.92 (9.03)
	t-value	5.058		1.110	
	p-value	.000 *		.276	
Ankle (flex)	mean (SD)	14.83 (2.48)	28.27 (2.62)	20.67 (5.24)	28.01 (2.38)
	t-value	17.543		8.072	
	p-value	.000 *		.000 *	

Add: adduction, Rot: roation, Flex: flexion
* $p<.05$

3. 골반 회전각 비교

좌우 전상장골극(ASIS) 마커와 천골(sacral) 마커가 이루는 평면의 3축방향의 회전(frontal, sagittal, transverse 평면에서의 회전)을 살펴본 골반 회전각의 결과는 <Table 5>와 같다. 평지와

경사로 보행의 골반회전의 변화를 살펴보기 위해, 평지보행 시 골반 회전각과 경사로 보행 시 골반 회전각의 차의 절대치를 사용하여 표시하였다. 그 결과, 고령자 그룹은 모든 회전 방향에 대해 유의한 차이를 보였으나($p=.000$, $p=.005$, $p=.000$), 젊은 성인 그룹은 transverse 평면 회전을 제외한 frontal, sagittal 평면 회전에서 차이를 보였다($p=.000$, $p=.041$, $p=.371$).

Table 4. lower limb joint angles at mid-swing (unit: deg)

Mid-Swing		Young group		Old group	
		Level	Incline	Level	Incline
Hip (add)	mean (SD)	5.01 (2.03)	4.53 (6.25)	5.86 (4.68)	0.36 (4.42)
	t-value	.292		-4.273	
	p-value	.774		.000 *	
Hip (rot)	mean (SD)	-12.17 (4.09)	-12.36 (9.76)	-18.23 (8.99)	-18.70 (7.13)
	t-value	.072		-.176	
	p-value	.944		.861	
Hip (flex)	mean (SD)	32.09 (5.93)	45.89 (7.98)	28.27 (13.61)	43.95 (11.35)
	t-value	4.885		6.558	
	p-value	.000 *		.000 *	
Knee (flex)	mean (SD)	28.15 (6.57)	45.53 (7.05)	28.84 (10.07)	38.94 (7.92)
	t-value	10.207		5.025	
	p-value	.000 *		.000 *	
Ankle (flex)	mean (SD)	10.52 (4.53)	27.99 (3.13)	14.30 (4.38)	28.41 (1.46)
	t-value	13.715		17.714	
	p-value	.000 *		.000 *	

Add: adduction, Rot: roation, Flex: flexion
* $p<.05$

Table 5. Pelvic rotation angles (unit: deg)

	Rfrontal	Rsagittal	Rtransverse
Young group	0.17	2.04	4.98
	t=-6.16 p=.000 *	t=-2.44 p=.041 *	t=-.95 p=.371
Old group	0.17	2.80	12.42
	t=11.74 p=.000 *	t=3.11 p=.005 *	t=4.34 p=.000 *

IV. 논의

본 연구는 고령자의 환경조건에 대한 보행 패턴 변화를 알아보기 위해 평지와 지면이 고르지 않은 경사로에서 보행 실

험을 수행하였고, 그 때의 변화 형태를 젊은 성인의 결과와 비교하였다.

보행 속도와 입각기/유각기 구간 비율을 살펴본 결과, 두 그룹 모두 경사로 보행 시 보행 속도가 감소하였으나 보행 구간 비율은 변화하지 않았다. 이는 경사로의 등반 효과에 의해 진행방향의 속도는 감소하였으나 한발지지를 통해 신체의 안정성에 밀접한 관련이 있는 입각기와 유각기 구간 비율의 제어는 일정하게 이루어진 것으로 추론이 가능하며, Noble과 Prentice(2008) 등이 경사각 3, 6, 9, 12°를 이용한 젊은 성인과 고령자의 보행 비교 결과와 일치한다.

하지의 관절가동범위에서 젊은 성인은 경사 보행 시 hip/knee/ankle joint flexion 각에서 차이를 보였고 고령자는 hip adduction과 flexion 각에서 유의한 차이가 나타났다. 이를 통해 고령자의 경사로 보행 시, 관절의 가동범위는 젊은 성인의 경우, hip joint flexion 각이 증가하고, knee와 ankle joint flexion 각이 감소한 반면, hip과 ankle joint flexion 각은 변화가 없고, hip joint adduction 각이 감소하고 flexion 각이 증가하였으나 증가폭은 젊은 성인보다 작았다. 또 knee flexion 각은 변화가 없었다. McIntosh, Beatty, Dwan와 Vickers(2006)은 hip flexion 가동범위의 제한으로 다른 하지 관절의 가동범위 증가를 예상했으나, 본 연구 결과 다른 관절의 flexion 가동범위 증가보다는 hip joint의 adduction의 감소와 knee flexion 각의 일정함이 두드러졌다. 또한 중기 입각기와 중기 유각기의 관절각을 살펴본 결과, 젊은 성인의 hip, knee, ankle flexion만의 변화와는 달리 hip adduction에서의 차이가 추가로 발생하였다. 이는 입각기의 체중지지와 신체 전진(경사 등반) 시와 유각기의 하지 들어올림 시 대퇴를 들어올리지 않고 바깥 회전을 이용하고 있음을 알 수 있다. 또, Chung와 Wang(2010)의 연구에서 평지 보행 시 고령자의 대퇴직근(rectus femoris muscle)에서 자신의 최대근력당 활성화 비율이 젊은 성인보다 높았던 결과로부터, 고령자는 약화된 근력에 대한 보상을 위해 바깥 회전이 발생하는 것으로 사료된다.

이러한 경사에 대한 고령자의 보행 형태의 변화와 관련해 골반 회전각을 이용한 상체의 움직임은 살펴보았다. 그 결과, 젊은 성인이 골반의 움직임이 frontal, sagittal 평면 회전 움직임에만 변화가 발생한 반면, 고령자는 frontal, sagittal 평면 회전 및 transverse 평면 회전의 변화 차이도 나타났다. 이 점은 hip joint의 adduction에서 차이가 발생한 것과 같은 의미를 나타낸다고 할 수 있다. 하지 관절각의 협응(interssegmental coordination)을 바탕으로 고령자 경사 보행의 특성을 나타낸 연구와 더불어 젊은 성인과 고령자의 보행 특성을 쉽게 구분할 수 있는 결과라 사료된다(Noble & Prentice, 2008).

일반적으로 고령자는 젊은 성인에 비해 근력과 조절능력이 저하되어 있고, 이에 따라 낙상의 위험이 높다(Sturmiek et al., 2008). 특히 낙상은 평지 보행 시 보다 표면의 조건이나 경사 조건, 표면에 변화가 발생할 경우, 이에 대한 대처의 부족으로 발생하는 경우가 높다(McIntosh et al., 2006; Menz et al., 2007; Thies et al., 2005). 이와 관련해, 본 연구 결과는 보행 조건(경사, 표면)에 대한 젊은 성인의 보행 형태 변화 발생 요인과 고령자의 변화 요인을 비교하여 하지 관절의 다른 변화 패턴을 확인하였다. 이러한 하지 관절의 움직임 패턴 변화는 궁극적으로 상체(몸통 혹은 질량중심) 혹은 머리의 안정성에 그 목적이 있고 안정적 보행은 상체 혹은 머리의 안정적 이동을 의미한다(윤석훈, 김태삼, 이재훈, 류지선, 2007; Cromwell, 2003; Laudani, Casabona, Perciavalle & Macaluso, 2006; McIntosh et al., 2006; Menz et al., 2007). 본 연구에서 상체 움직임 추론에 사용한 골반 회전각 비교에서 frontal, sagittal 평면 회전에서 변화가 발생한 젊은 성인에 비해 고령자는 frontal, sagittal 평면 회전은 물론 transverse 평면 회전의 차이도 관찰되었다. 약화된 근육과 감소된 신체 조절능력을 가진 고령자가 오히려 큰 상체의 움직임을 보인다는 것으로부터 낙상의 위험을 가중시키는 것으로 사료된다.

V. 결론

본 연구 결과는 보행 조건(경사, 표면)에 대한 젊은 성인의 보행 형태 변화 발생 변인과 고령자의 변화상을 비교하여 두 그룹 간 하지 관절의 다른 변화 패턴을 확인하였다. 또한 이러한 하지 관절 변화의 목적인 상체의 안정된 움직임 조절 관점에서 고령자가 젊은 성인에 비해 상체의 큰 움직임이 나타났다. 이를 통해 고령자 보행의 불안정성을 간접적으로 증명하였으며, 추가적으로 신체 질량 중심과 머리의 움직임 분석과 다른 조건의 표면에서의 실험 등이 필요하겠다.

참고문헌

- 김희수, 윤희중, 류지선, 김태삼(2004). 보행 시 노인의 상체 움직임에 대한 3차원적 분석. **한국운동역학회지**, 14(4), 1-15.
- 류지선(2006). 노인 보행 시 발과 경골 Coupling 패턴과 Variability. **한국체육학회지**, 45(1), 747-756.
- 윤석훈, 김태삼, 이재훈, 류지선(2007). 전,후방 기울기각을 이용한 노인의 보행안정성 평가. **한국운동역학회지**,

- 17(4), 99-106.
- 은선덕, 이기광(2004). 노인의 트레드밀 보행시 속도에 따른 보행 패턴의 변화 연구. *한국체육학회지*, 43(5), 397-404.
- 전경규, 박광동, 박세환, 강영석, 김대근(2009). 낙상경험 여성 노인의 하지 분절 각도와 근전도 차이. *한국운동역학회지*, 19(2), 245-255.
- 통계청(2005). *장애인구특별추계*, 서울 : 통계청
- 한진태, 황보각(2009). 노인의 계단과 경사로 오르기 동안 하지의 운동학적 분석. *한국운동역학회지*, 19(3), 435-448.
- Chung, M. J., & Wang, M. J. J.(2010). The change of gait parameters during walking at different percentage of preferred walking speed for healthy adults aged 20-60 years. *Gait & Posture*, 31(1), 131-135.
- Cromwell, R. L.(2003). Movement strategies for head stabilization during incline walking. *Gait & Posture*, 17(3), 246-253.
- Hausdorff, J. M.(2007). Gait dynamics, fractals and falls: Finding meaning in the stride-to-stride fluctuations of human walking. *Human Movement Science*, 26(4), 555-589.
- Khandoker, A. H., Lynch, K., Karmakar, C. K., Begg, R. K., & Palaniswami, M.(2008). *Regulation of minimum toe clearance variability in the young and elderly during walking on sloped surfaces*. Proceeding of the 29th Annual International Conference of the IEEE EMBS: Lyon, France.
- Laudani, L., Casabona, A., Perciavalle, V., & Macaluso, A.(2006). Control of head stability during gait initiation in young and older women. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 16(6), 603-610.
- Marigold, D. S., & Patla, A. E.(2008). Age-related changes in gait for multi-surface terrain. *Gait & Posture*, 27(4), 689-696.
- McIntosh, A. S., Beatty, K. T., Dwan, L. N., & Vickers, D. R.(2006). Gait dynamics on an inclined walkway. *Journal of Biomechanics*, 39(13), 2491-2502.
- Menz, H. B., Lord, S. R., & Fitzpatrick, 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.
- Noble, J. W., & Prentice, S. D.(2008). Intersegmental coordination while walking up inclined surfaces: age and ramp angle effects. *Experimental Brain Research*, 189(2), 249-255.
- Ostrosky, K. M., VanSwearingen, J. M., Burdett, R. G., & Gee, Z.(1994). A comparison of gait characteristics in young and old subjects. *Physical Therapy*, 74(4), 637-644.
- 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.
- Prince, F., Corriveau, H., Hebert, R., & Winter, D. A.(1997). Gait in the elderly. *Gait & Posture*, 5(2), 128-135.
- Sturmiek, D. L., George, R., & Lord, S. R.(2008). Balance disorders in the elderly. *Neurophysiologie Clinique/Clinical Neurophysiology*, 38(6), 467-478.
- 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.