



■ 박설, 김경¹, 박지원²

■ 대구가톨릭대학교 대학원 물리치료학과, ¹대구대학교 재활과학대학 물리치료학과, ²대구가톨릭대학교 의료과학대학 물리치료학과

Time Difference of the COP Displacement according Obstacle Height during Obstacle Crossing in Older Adults

Seol Park, PT, MS; Kyoung Kim, PT, PhD¹; Ji-Won Park, PT, PhD²

Department of Physical Therapy, General Graduate School, Catholic University of Daegu; ¹Department of Physical Therapy, College of Rehabilitation Sciences, Daegu University; ²Department of Physical Therapy, College of Medical Science, Catholic University of Daegu

Purpose: This study examined the difference in the center of pressure (COP) displacement time in older adults according to the obstacle height during stance at each sub-phase when crossing obstacles.

Methods: Fifteen older adults were enrolled in this study (≥ 65 years of age). The F-scan was used to measure the COP displacement time when crossing a 0, 10 and 40cm obstacle, and the stance phase was divided into 4 sub-phases according to the foot contact pattern.

Results: During the stance phase, the COP displacement time increased with increasing obstacle height. During the mid-stance, terminal stance and pre-swing except for the loading response, there were significant differences in the COP displacement time according to the obstacle height.

Conclusion: This study suggests that older adults show differences in the COP displacement time according to the stance sub-phase while crossing obstacles, and they use different mechanisms according the sub-phases to maintain balance during obstacle crossing.

Keywords: Center of pressure, Stance sub-phase, Obstacle crossing

논문접수일: 2011년 3월 3일

수정접수일: 2011년 4월 3일

게재승인일: 2011년 4월 5일

교신저자: 박지원, mylovept@hanmail.net

1. 서론

노화로 인한 낙상 문제는 노인 비율의 꾸준한 증가로 인해 개인의 신체적, 심리학적, 경제적 문제에서 벗어나 사회적 문제로 까지 대두되고 있으며, 특히 장애물 보행은 노인들에게 있어 낙상의 가장 흔한 원인이 된다.^{1,2} 따라서 낙상을 예방하는 측면에서 장애물 보행의 생 역학적 특성을 분석하는 것은 큰 의미가 있으며, 현재 건강한 젊은 성인과 노인의 장애물 보행 방법을 기술한 연구가 활발히 진행되고 있다.³⁻⁶ 그 중에서도 정상적인 보행의 입각기 시 압력중심은 경로를 따라 움직이며 특징적인 패턴을 만들어내므로, 보행 시 압력중심의 이동경로는 정상보

행을 판단하는 중요한 기준이 될 수 있다.⁷

보행 시 노인들은 양하지 지지기(double-limb support) 시간을 증가시키므로써 안정성을 향상시키게 되지만, 장애물을 넘을 때에는 단하지 지지기(single-limb support) 시간을 증가시키게 되며 이는 낙상의 위험을 증가시킨다.⁸⁻¹⁰ 또한 장애물 높이의 증가는 단하지 지지기 시간을 더욱 증가시켜 낙상의 위험률을 더욱 높이게 되는데 이를 예방하기 위해 노인들은 보행 속도가 느려지고 보장이 좁아지며 분당 걸음수가 느려지는 것과 같은 보상전략을 사용하게 된다.^{10,11} 이러한 노인의 낙상 예방과 보상 전략에 대한 정확한 이해를 위해서는 보행주기(gait cycle)의 명확한 구별이 반드시 필요하다고 사료되며, 보행주기

를 세부기간으로 명확히 구별하기 위해 족저압 측정기를 사용하여 압력중심의 이동에 대한 정보를 얻을 수 있다.¹²⁻¹⁴

하지만 입각기 세부기간에 따라 압력중심의 이동 특성을 측정하는 연구는 많지 않다. Kim 등¹²은 정상인의 지면수평자유보행 시 입각기 세부기간에 따라 압력중심의 이동을 연구하였으며, Paik과 Im¹³은 50, 60대의 정상 보행 시 입각기 세부기간에 따른 족저압 중심의 이동 경로를 신발 굽 높이에 따라 측정하였다. 또한 Wang과 Watanabe¹⁴는 정상인의 장애물 보행 시 입각기 세부기간에 따라 압력중심 속도를 측정하였지만, 노인을 대상으로 하여 낙상 위험이 큰 장애물 보행 시 압력중심의 이동에 관한 연구는 미흡하다.

본 연구에서는 건강한 노인의 보행 특성을 알아보기 위해 장애물을 건너는 동안 입각기를 4개의 세부기간으로 나누었으며, 각 세부기간 동안 걸린 시간은 족저압 측정기를 사용하여 압력중심이 이동하는 데에 걸린 시간으로 측정하여 장애물의 높이에 따라 입각기 세부기간 동안 압력중심의 이동시간이 어떻게 변하는지를 알아보고자 하였다.

II. 연구방법

1. 연구대상

본 연구에서는 K-MMSE 점수가 24점 이상으로 인지기능에 문제가 없으며, 신경학적인 병력이 없고, Berg's balance scale 점수가 낮은 낙상 위험률을 의미하는 41점 이상인 만 65세 이상 건강한 노인 15명(남자 3명, 여자 12명)이 참여하였다. 대상자들에게 연구 목적과 방법에 대하여 충분히 설명한 후 자발적인 동의 하에 실험을 실시하였다.⁹

2. 실험방법

1) 장애물 설계

장애물은 0, 10, 40 cm 높이로 조절 가능하도록 제작하였으며, 길이 2 m, 지름 2.5 cm인 원형 나무막대를 사용하였다.^{10,15} 낙상사고를 대비하기 위하여 장애물에 걸렸을 경우 보행 방향으로 장애물이 떨어질 수 있도록 설치하였다.

2) 실험절차

대상자의 발목 및 허리부위에 변환장치를 착용하여 고정시킨 후, 대상자의 발 길이에 맞게 재단된 압력탐색자(insole)를 넣은 신발을 신게 하였다. 대상자가 평상시의 자연스러운 보행을 하도록 유도하기 위해 검사 전 20 m 정도를 걷도록 하였으며, 보행 속도에는 제한을 두지 않았다.¹⁶ 장애물을 건널 때 오른 발로 디딘 후 왼발로 넘어가도록 넘는 발을 제한했으며, 장애물

을 건너기 전에 딛고 있는 오른 발의 족저압을 측정하여 장애물의 높이에 따른 변화를 측정하였다. 장애물의 높이는 임의로 제공하였으며, 3회 반복 측정 후 평균을 구하였다. 실험으로 인한 피로를 방지하기 위해 충분한 휴식시간을 가졌다.

3) 자료수집

(1) 입각기 세부기간의 구별

보행 주기는 족저압의 분포에 따라 최초 접지 후 지면에 발바닥 전체가 닿기(foot flat) 직전까지를 부하반응기(loading response), 그 후 발뒤축 들림(heel off)이 일어나기 전까지를 중간입각기(mid-stance), 그 후 반대측 발의 입각기가 시작되기 전까지를 말기 입각기(terminal stance), 그 이후 발가락 떼기(toe clear)까지의 시기를 전유각기(pre-swing)로 정의하고 각각의 시간을 구하였다.¹³

(2) 압력중심의 이동시간

입각기 기간 동안 압력중심이 이동한 시간을 측정하기 위해 족저압 측정장비인 F-scan (F-scan version 3.623, Tekscan, 미국)을 사용하였다. F-scan은 선행연구에서 신뢰도가 증명된 측정장비이다.¹⁷⁻¹⁹ 1초에 33회씩 300frame을 10초 동안 수집하였으며, 이때 한 frame 당 0.017초의 시간을 구할 수 있어 각각의 세부기간 동안 포함되는 frame 수와 소요 시간을 아스키 값으로 쉽게 산출해 낼 수 있다.

세부기간의 구별을 명확히 하려면 압력중심점의 상대적 위치를 분석해야 하므로, 최대 발바닥 압력분포가 표시된 상태에서 발 뒤꿈치의 중앙과 둘째 발가락을 잇는 중앙선을 긋고 발가락 부위를 제외한 나머지 족부를 해부학적 기준선으로 삼등분하여 전, 중, 후족부 등으로 정의하였다.²⁰

장애물을 넘는 동안 입각기의 각 세부기간 동안 소요된 시간을 알아보았다.

3. 분석방법

장애물 보행 시 입각기의 각 세부기간 동안 장애물 높이에 따라 압력중심 이동시간이 어떻게 변하는지를 분석하기 위해 장애물 높이에 대한 반복측정 분산분석을 사용하였다. 또한 장애물 높이간의 유의한 차이를 검정하기 위해 대비검정을 사용하였다. 통계처리는 SPSS 12.0을 사용하였으며 유의 수준(α)은 0.05로 하였다.

III. 결과

1. 연구 대상자의 일반적인 특성

대상자의 평균 나이는 71.9±5.8세, 평균 신장은 154.7±4.9 cm,

평균 체중은 55.3±5.6 kg, 평균 발 길이는 238.0±11.2 mm이었다 (Table 1).

Table 1. Anthropometric data (Mean±SD)

Age (year)	Height (cm)	Body weight (kg)	Foot size (mm)	N
71.9±5.8	154.7±4.9	55.37±5.6	238.0±11.2	15

Mean±SD: Mean±Standard deviation

2. 입각기 동안 장애물 높이에 따른 압력중심 이동시간

보행주기 중 입각기 동안 압력중심이 이동한 시간을 측정해 본 결과 장애물의 높이가 높아질수록 이동시간이 유의하게 더 길어졌다 (Table 2, Figure 1).

Table 2. The COP displacement time by obstacle height during stance phase (Mean±SD)

0 cm (sec)	10 cm (sec)	40 cm (sec)	F	p
1.30±0.38	1.54±0.55	2.13±0.64	17.01	0.00*

*p<0.05

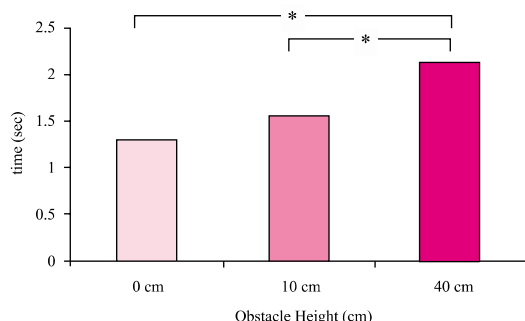


Figure 1. The COP displacement time by obstacle height during stance phase.

3. 입각기의 각 세부기간 동안 장애물 높이에 따른 압력중심 이동시간

입각기를 세부기간으로 나누었을 때, 각 세부기간 동안 압력중심이 이동한 시간을 측정해 본 결과는 다음과 같다 (Table 3, Figure 2).

부하반응기 동안 장애물의 높이에 따른 압력중심 이동시간에는 통계학적으로 유의한 차이가 없었다.

중간입각기 동안에는 장애물의 높이가 높아질수록 통계학적으로 유의하게 증가하였다. 0 cm와 40 cm 장애물 사이에 유의한 차이가 있었으며, 10 cm와 40 cm 장애물 사이에 유의한 차이가 있었다.

말기입각기 동안에는 장애물 높이에 따라 유의한 차이가 있

Table 3. The COP displacement time by obstacle height during sub-phase

Sub-phase	Obstacle Height (Mean±SD)			F	p
	0 cm (sec)	10 cm (sec)	40 cm (sec)		
Loading response	0.33±0.19	0.31±0.26	0.37±0.28	0.40	0.68
Mid-stance	0.51±0.12	0.69±0.21	1.01±0.40	14.60	0.00*
Terminal stance	0.16±0.10	0.26±0.15	0.32±0.20	8.55	0.00*
Pre-swing	0.29±0.12	0.28±0.19	0.44±0.26	6.53	0.01*

*p<0.05

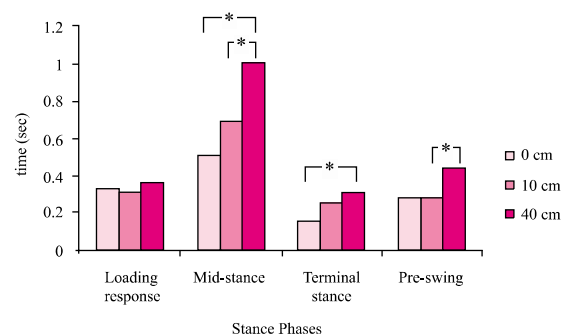


Figure 2. The COP displacement time by obstacle height during sub-phase.

었으며, 0 cm와 40 cm 장애물 사이에 유의한 차이가 있었다.

전유각기 동안에도 장애물 높이에 따라 유의한 차이가 있었으며, 10 cm와 40 cm 장애물 사이에 유의한 차이가 있었다.

IV. 고찰

노인은 보행 시 안정성을 향상시키기 위해 양하지 지지기 시간을 증가시킨다.⁸ 하지만 장애물에 직면했을 때에는 더 천천히 보행함으로써 단하지 지지기 시간을 증가시키게 된다. 단하지 지지기에서 더 많은 시간을 보내는 것은 잠재적으로 불안정한 자세에서 오랜 시간을 보내므로, 낙상의 위험을 증가시키게 된다.¹⁰ 이러한 낙상의 위험을 예방하기 위해 장애물 보행 시 노인들의 생 역학적 특성에 대한 연구가 활발히 진행되고 있지만 단지 단하지 지지기 동안의 시간을 측정하거나 보행 속도를 측정하는 데에 그쳐 보상전략에 대한 정확한 이해를 위해서는 보행주기에 따른 차이를 연구할 필요가 있다. 따라서 본 연구는 노인의 장애물 보행 시 입각기의 각 세부기간 동안 압력중심 이동시간이 장애물의 높이에 따라 어떻게 변하는지를 알아보고자 하였다.

장애물 높이가 증가할수록 입각기 동안의 압력중심 이동시간은 더욱 증가하였다. 유각하는 발을 들어 올려 장애물을 넘기 위해 입각하는 발이 바닥에 머무는 시간이 증가한 것으로 보이며, 장애물이 높아질수록 보행속도가 감소하였다는 Rosengren 등¹⁰의 연구와 유사하였다.

입각기의 세부기간 중 부하반응기 동안에는 장애물 높이에 따른 이동시간에 차이가 없었다. Wang과 Watanabe¹⁴는 정상인의 장애물 보행 시 부하반응기에서의 압력중심의 속도는 장애물 높이에 따른 차이가 없으며, 이는 비장애물 수준의 보행과 같다고 하였다. 본 연구에서는 장애물 높이에 따른 이동시간의 차이가 없었으므로 부하반응기에서는 압력중심의 이동시간에 있어서도 비장애물 수준의 보행과 같다고 할 수 있다.

중간입각기 동안에는 장애물 높이가 증가할수록 압력중심의 이동시간이 더욱 증가하였다. Wang과 Watanabe¹⁴의 연구에서도 장애물 높이가 증가할수록 압력중심은 느리게 이동하여 본 연구와 유사한 결과를 보였는데, 이는 높은 장애물을 건널 때 입각하는 발을 넘어 신체의 부드러운 진전을 유지하기 위한 조절된 전략 때문이라 하였다.

Wang과 Watanabe¹⁴의 연구에서는 젊은 성인을 대상으로 하였으며, 안락한 속도로 일정하게 걷도록 요구했기 때문에 말기입각기 동안 장애물 높이에 따른 압력중심 속도에 변화가 없었지만, 자세적 안정성이 손상된 사람들에게서는 자세적 조절 인자에 의해 위험할 수 있다고 하였다. 하지만 본 연구에서는 말기입각기 동안 장애물의 높이가 증가할수록 이동시간이 증가하였으며, 이는 평지에서보다 높은 장애물을 넘어가기 위해 압력중심이 전족부에 머무르는 시간이 더 많이 요구되기 때문이다. Rosengren 등¹⁰의 연구에서는 장애물의 높이가 증가할수록 단하지 지지기 시간이 증가하였으며, 특히 40 cm 높이의 장애물보행 동안 노화가 진행될수록 단하지 지지기 시간이 유의하게 증가하였다. 단하지 지지기는 중간입각기와 말기입각기를 의미하며, 이는 장애물이 높아질수록 중간입각기와 말기입각기에 이동시간이 증가한 본 연구와 일치하였다.

전유각기 동안에는 10 cm와 40 cm 장애물 사이에서 압력중심 이동시간에 유의한 차이가 있었다. Rosengren 등¹⁰의 연구에서는 단하지 지지기 시간만을 측정하여 장애물 높이의 변화에 따른 전유각기 동안의 시간을 측정하지 못하였지만, Wang과 Watanabe¹⁴의 연구에서는 장애물의 높이가 높아질수록 압력중심의 속도가 증가하여 0 cm에서보다 10 cm에서 압력중심 이동시간이 감소한 본 연구와 유사하였다. 0 cm에서보다 10 cm에서 오히려 이동시간이 줄어든 이유는 발가락 떼기를 좀 더 빨리 하여 장애물을 빨리 건너고자 하였기 때문이며, 이동시간이 40 cm에서 다시 증가한 이유는 장애물이 높기 때문에 양하지 지지기를 오래하여 안정성을 확보한 후에 발가락

떼기를 하려 하기 때문인 것으로 보인다. 이로써 장애물 보행 시 단하지 지지기 시간의 증가로 인해 안정성 감소로 인한 낙상의 위험을 전유각기 동안의 이동시간의 증가로 보상하려 한 노인의 보상전략으로 사료된다.

노인은 장애물을 건너는 데에 있어 보행주기의 각 세부기간에 따라 압력중심이 이동한 시간에 차이를 보였다. 즉, 부하반응기를 제외한 중간입각기, 말기입각기, 전유각기 동안에는 장애물의 높이에 따른 유의한 차이를 보였으며, 이는 장애물 보행 시 장애물의 높이에 따라 균형을 유지하기 위해 각 세부기간 동안 서로 다른 기전을 사용한다는 것을 제안한다.

V. 결론

본 연구에서는 노인들에게서 장애물의 높이가 높아질수록 입각기의 각 세부기간 동안 압력중심이 이동한 시간에 차이가 있음을 확인하였다. 노인의 장애물 보행 시 단하지 지지기 시간이 증가함에 따라 안정성을 위협하여 낙상의 위험성을 높인다고 알려져 있으나, 본 연구에서 보여준 바와 같이 양하지 지지기에 해당하는 전유각기에서도 이동시간을 증가시킴으로써 단하지 지지기 시간의 증가로 인해 발생할 수 있는 낙상의 위험률을 감소시키고자 한 것으로 사료된다. 따라서 본 연구에서는 노인에게서 장애물 높이의 증가로 인해 나타날 수 있는 낙상의 위험성을 감소시키기 위한 보상전략의 일환으로 보행주기 동안 이루어지는 기전이 각각의 세부기간에 따라 다르다는 것을 제안한다.

Author Contributions

Research design: Park S, Park JW

Acquisition of data: Park S, Park JW

Analysis and interpretation of data: Park S, Park JW

Drafting of the manuscript: Park S, Park JW

Administrative, technical, and material support: Kim K

Research supervision: Park JW

참고문헌

1. Moreland J, Richardson J, Chan DH et al. Evidence-based guidelines for the secondary prevention of fall in older adults. *Gerontology*. 2003;49(2):93-116.
2. Tinetti ME, Speechley M. Prevention of falls among the elderly. *N Engl J Med*. 1989;320(16):1055-9.

3. Han JT, Lee MH, Kim K. The study of plantar foot pressure distribution during obstacle crossing with different height in normal young adults. *Korean Journal of Sport Biomechanics*. 2008;18(2):1-9.
4. Kim HD. The effect of obstacle height on balance control while stepping over an obstacle from a position of quiet stance in older adults. *J Kor Soc Phys Ther*. 2009;21(3):75-80.
5. Han JT, Gong WT, Yun SL. Comparison of muscle activity with lower extremity during stairs and ramp climbing of old adults by EMG. *J Kor Soc Phys Ther*. 2009;21(1):35-40.
6. Kim HD. The effect of Tai Chi training on the center of pressure trajectory while crossing an obstacle in healthy elderly subjects. *PTK*. 2008;15(4):27-33.
7. Park JW, Nam KS, Back MY. The relationship between the plantar center of pressure displacement and dynamic balance measures in hemiplegic gait. *PTK*. 2005;12(1):11-21.
8. Murray MP, Kory RC, Clarkson BH. Walking patterns in healthy old men. *J Gerontol*. 1969;24(2):169-78.
9. Berg KO, Maki BE, Williams JI et al. Clinical and laboratory measures of postural balance in an elderly population. *Arch Phys Med Rehabil*. 1992;73(11): 1073-80.
10. Rosengren KS, McAuley E, Mihalko SL. Gait adjustments in older adults: Activity and efficacy influences. *Psychol Aging*. 1998;13(3):375-86.
11. Neumann DA. *Kinesiology of the Musculoskeletal system: Foundations for physical rehabilitation*. Saint Louis, Mosby, 2002:580.
12. Kim YH, Park SB, Yang GT et al. Plantar pressure distribution characteristics of hallux valgus. *J of KOSOMBE*. 1997;18(4):439-46.
13. Paik NJ, Im MS. The path of center of pressure(COP) of the foot during walking. *J of Korean Acad of Rehab Med*. 1997;21(4):762-71.
14. Wang Y, Watanabe K. The relationship between obstacle height and center of pressure velocity during obstacle crossing. *Gait Posture*. 2008;27(1):172-5.
15. Ramachandran AK, Rosengren KS, Yang Y et al. Effect of tai chi on gait and obstacle crossing behaviors in middle-aged adults. *Gait Posture*. 2007;26(2):248-55.
16. Hennig EM, Rosenbaum D. Pressure distribution patterns under the feet of children in comparison with adults. *Foot Ankle*. 1991;11(5):306-11.
17. Brown M, Rudicel S, Esquenazi A. Measurement of dynamic pressures at the shoe-foot interface during normal walking with various foot orthoses using the fscan system. *Foot Ankle Int*. 1996;17(3):152-6.
18. Kernozek TW, LaMott EE, Dancisak MJ. Reliability of an in-shoe pressure measurement system during treadmill walking. *Foot Ankle Int*. 1996;17(4):204-9.
19. Baumhauer JF, Wervey R, McWilliam J et al. A comparison study of plantar foot pressure in a standardized shoe, total contact case, and prefabricated pneumatic walking brace. *Foot Ankle Int*. 1997;18(1):26-33.
20. Manley MT, Solomon E. The clinical assessment of the normal and abnormal foot during locomotion. *Prosthet Orthot Int*. 1979;3(2):103-10.