

장애물 높이에 따른 성인과 노인의 족저압 분포 비교

장종성¹, 이명희²

¹영남이공대학교 물리치료과, ²경성대학교 물리치료학과

The Comparison of Plantar Foot Pressure Distribution in Adult and Elderly according Obstacle Heights

Jong-Sung Chang¹, Myoung-Hee Lee²

¹Department of Physical Therapy, Yeungnam University College, ²Department of Physical Therapy, Kyungsung University

Purpose: The purpose of this study was to compare plantar foot pressure distribution in adults and elderly according to obstacle height.

Methods: Nine healthy adults and nine older adults were recruited and the subjects provided written informed consent prior to participation. Both groups walked and crossed obstacles with heights of 0%, 10%, 20%, and 30% of their height. Foot pressure was measured by peak pressure using the Pedar System (Novel GmbH, Germany) during obstacle walking with barefeet in shoes. Three trails were calculated on eight areas and then averaged for data analysis.

Results: A significant difference in great toe, little toes, and lateral metatarsal area was observed between adults and elderly groups, but other areas did not show significant differences. Foot pressure was increased in groups according to obstacle height.

Conclusion: These findings showed that change in foot pressure distribution is more lateral in elderly in order to maintain postural control during obstacle crossing.

Key Words: Elderly, Foot pressure, Obstacle height

1. 서론

사람의 자세는 비교적 작은 기저면인 두 발로 몸 전체의 체중을 유지하기 때문에 신체 중심을 좁은 기저면 내에 유지하는 것이 매우 불안정하다. 정상적인 기립 자세를 유지하기 위해 기저면 내에서 자세 동요를 최소화 하거나 원하는 동작을 수행할 때 몸을 움직여 전환된 기저면 내에서 신체의 중심을 잡는 능력에 대해 효율적인 자세 조절이 필요하다.¹ 사람의 자

세는 정상적인 노화의 과정을 거치며, 신체적 능력의 감소와 신체 기능 약화가 나타나며, 근력이나 관절 범위 의 감소, 고 유수용성 감각의 감소와 비정상적인 신체 조절 양상에 의해 균형을 유지에 어려움을 겪게 된다.² 또한 정상적인 노화의 과정을 거치는 노인은 균형 조절을 하기 위해서 움직이는 동작이 정상 성인과는 반대로 몸쪽에서 먼쪽으로 근 수축이 일어나게 되므로 균형을 잡기가 어려워지고 발이나 발목의 고유수용성 감각의 감소는 비능률적인 움직임을 일으켜서 균형 유지의 어려움 뿐 아니라 정상적인 보행이 어렵게 된다.³

노인의 보행은 일반적으로 정상 성인에 비해 높은 분속수 (cadence), 긴 양다리 지지기 시간, 느린 보행속도, 짧은 보폭이 나타난다. 장애물이 있게 되면 보행속도와 보폭은 더욱 짧아지게 되며 이러한 전략은 균형 조절을 촉진시키게 되고 한 발로 균형을 유지해야 되는 어려움이 발생한다. 특

Received Jul 11, 2014 Revised Aug 10, 2014

Accepted Aug 12, 2014

Corresponding author Myoung-Hee Lee, mhlee0317@hanmail.net

Copyright © 2014 The Korea Society of Physical Therapy

This is an Open Access article distribute under the terms of the Creative Commons Attribution Non-commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

히 다양한 과제를 수행하면서 장애물을 넘게 되면 수행이 더 어려워지며 낙상의 위험도 커진다.⁴ 노인에서 낙상은 다리의 근력, 근파워 및 균형 소실에 의해 나타나게 되며, 골절이나 장애를 발생시키고, 지속적인 기능장애로 인한 일상생활동작이 수행 능력의 감소시켜 독립적인 생활을 방해한다.⁵ 특히 노인의 낙상은 장애물을 넘다가 낙상으로 인해 손상을 일으키는 경우가 빈번하게 나타나게 된다.

장애물 넘기 보행은 정확하게 장애물을 인식하여 장애물을 넘기 위해서 지지하는 다리에 충분한 체중이동이 이루어지고 그 다리로 균형을 유지하며, 반대쪽 다리를 장애물보다 높게 들어갈 앞으로 나아가게 된다. 노인의 장애물 보행은 시각, 고유수용성 감각, 시공간 지각 능력과 집중력의 문제에 의해 장애물을 형태와 상황에 대한 이해의 감소와 인체의 움직임 을 파악하지 못해서 자세 안정성을 유지하고 다리의 적절한 각도를 유지하는데 문제를 일으키며 노인 낙상의 하나의 원인이 된다.⁶ 따라서 일상적인 평지 보행과 달리 장애물 넘기 보행을 하기 위해서 적절한 장애물에 대한 인식과 이동을 위해 다리의 각 관절의 적절한 조절이 이루어져야 하며 장애물 보행에 대한 연령에 따른 효과와 메커니즘에 대한 이해가 이루어져야 낙상의 위험을 감소시킬 수 있다.

장애물 넘기 보행의 운동학적 분석연구 결과, 장애물의 높이가 높아짐에 따라 먼저 넘어가는 다리의 엉덩관절, 무릎 관절, 발목 관절의 굽힘 각도가 높이에 따라 증가되었고 뒤 따라가는 다리는 무릎 관절의 굽힘이 많이 증가되는 것을 볼 수 있었으며 보행의 속도가 감소되었다.⁷ 이처럼 장애물 보행의 운동학적 분석과 신체 중심이동의 변화에 관련된 연구가 많이 이루어졌으며, 장애물 보행에 있어 신체와 지면을 닿아서 움직이는 발의 안정성과 변화를 확인 할 수 있는 족저압 연구가 필요하다. 노인을 대상으로 장애물의 높이에 따른 발의 압력 분포를 확인하는 족저압의 분포에 관한 연구는 미비한 실정이다.

따라서 본 연구의 목적은 노인에서 장애물을 넘는 동안 장애물의 높이가 발의 족저압에 미치는 영향을 측정하여 정상 성인과 노인의 차이점을 확인하여 노인의 장애물 넘기의 위험을 확인하고 낙상의 위험을 감소시키기 위한 기초자료를 제시하고자 한다.

II. 연구방법

1. 연구대상

본 연구는 D지역에 소재한 노인복지관의 여가프로그램에

참여중인 여성노인 9명과 D대학에 재학중인 여대생 9명을 대상으로 진행되었다. 대상자들은 모두 다리에 선천적인 기형이나 신경학적 질환으로 인한 장애가 없었으며 독립적인 보행에 문제가 없었다. 관절염으로 인한 통증, 발목이나 발의 통증으로 인해 보행에 영향을 받는 사람은 대상자에서 제외하였다.

실험 전 모든 대상자들에게 연구의 목적과 방법, 실험과정에 대한 충분한 설명을 하였으며, 자발적인 참여 의사를 밝힌 사람을 대상으로 동의서를 작성하게 하였다.

2. 실험방법

1) 측정도구

(1) 족저압력 측정

실험대상자들이 평지 보행과 장애물 보행을 할 때 입각기 발의 족저압을 측정하기 위해 족저압력 분포측정기(Pedar-X System, Novel GmbH, 독일)를 사용하였다. 이 장비는 직접적으로 발과 신발 사이, 신발과 지면 사이의 압력이나 힘, 접촉시간 등을 측정할 수 있으며, 하나의 인솔센서에는 99개의 독립된 셀(cell)이 내장되어 있다. 측정 시 sampling rates는 초당 50 Hz로 하였고, 각 대상자의 신발사이즈와 일치하는 인솔 센서 모델을 사용하였으며, 신발은 바닥에 굴곡이 없는 일반적인 운동화를 치수별로 준비하여 신도록 하였다.

2) 측정방법

성인여성과 노인여성에서 장애물 높이에 따른 입각기 발의 족저압 변화를 측정하기 위해 대상자에게 평지보행과 본인 신장의 10%, 20%, 30% 높이에 해당하는 장애물 보행을 하도록 하였다. 본 연구에서 사용한 장애물은 두 개의 지지대와 고무밴드로 구성되었으며, 지지대 사이를 가로 100 cm, 직경 1 cm의 고무밴드로 연결하여 장애물의 높이를 조절하였다. 장애물은 지정된 보행로에 설치하였으며, 각 지지대에 0.5 cm 수직간격으로 못을 고정하여 지면으로부터 높이를 자유롭게 조정할 수 있게 설계하였다.

대상자들은 장애물 보행 시 비우세발을 지지한 상태에서 우세발로 먼저 장애물을 넘도록 하였으며 이 때 지지한 발의 전체 입각기 동안 족저압력을 측정하여 분석하였다. 각 대상자의 우세발을 알아보기 위하여 연구자가 축구공을 굴려 대상자가 차도록 유도하는 동작을 3회 실시하였고, 공을 찬 발을 우세발로 선정하였다. 대상자들은 평지보행과 다양한 높이의 장애물 보행을 각 1회씩 연습하여 편하게 걸을 수 있도록 하고, 각 조건에서 3회씩 보행을 실시하여 입각기

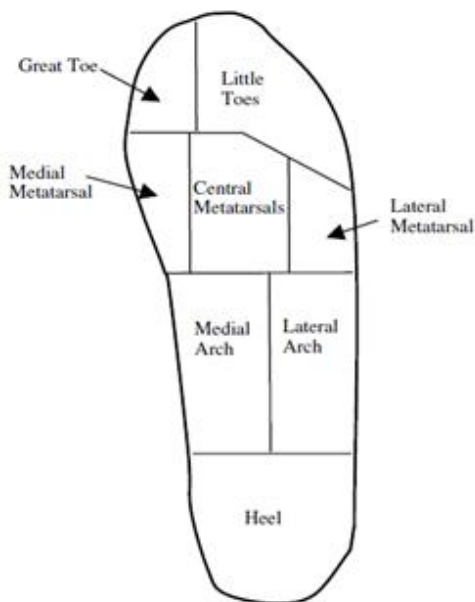


Figure 1. Distribution of plantar area

발의 족저압력을 측정하였다. 대상자들이 장애물을 넘는 순서는 무작위로 실시하였다.

발바닥은 Figure 2와 같이 발뒤꿈치(Heel), 안쪽 활(Medial Arch), 바깥쪽 활(Lateral Arch), 안쪽 발허리뼈(Medial Metatarsal), 중간 발허리뼈(Central Metatarsal), 바깥쪽 발허리뼈(Lateral Metatarsal), 엄지 발가락(Great Toe), 기타 발가락(Little Toe)을 포함하는 부위로 총 8개의 영역으로 구분하였다. 발의 영역별 최고 압력치를 측정하였고 결과물의 각 항목별 자료 분석은 Pedar-X system에서 제공되는 Pedar-M online 소프트웨어를 이용하여 데이터를 수집하였으며, Novel사에서 제공되는 소프트웨어를 이용하여 데이터를 가공 및 정리하였다.

3. 자료분석

성인여성과 노인여성의 평지보행과 장애물보행에서 장애물 높이에 따른 지지발의 영역별 족저압력을 비교하기 위해 SPSS 19.0을 사용하여 이요인 반복측정 (two-way repeated measure)을 이용하여 통계처리 하였다. 또한 각 높이에서 그룹 간의 비교를 위해서 대응비교 t-검정을 이용하였다. 유의수준 α 는 0.05로 하였다.

III. 결과

1. 연구 대상자의 일반적인 특징

실험에 참여한 대상자는 총 18명으로(성인여성 9명, 노인여성 9명) 성인여성의 연령은 28.4 ± 4.6 세, 노인여성의 연령은 67.6 ± 5.9 세였다. 성인여성의 신장은 161.8 ± 7.1 cm이고 노인여성의 신장은 153.1 ± 3.6 cm였으며, 성인여성의 체중은 55.8 ± 10.1 kg, 노인여성의 체중은 57.0 ± 6.9 kg 이었다 (Table 1).

2. 각 그룹의 영역별 최고 압력값 비교

장애물 높이에 따른 성인과 노인의 여성에서 발의 영역별로 족저압을 측정한 결과 영역1과 영역2, 영역5에서 그룹간 유의한 차이가 나타났으며, 영역2에서 장애물 높이가 높아질수록 유의하게 족저압이 높아지는 결과를 보였다(Table 2).

영역 1에서 성인에서 노인에 비해 족저압이 유의하게 높게 나타났으며 특히 장애물높이가 높아질수록 성인에서는 족저압이 높아졌으나 노인에서는 크게 차이가 없는 것으로 나타났다. 장애물높이가 높아질수록 유의한 차이가 나타나지는 않았지만 대응별 비교 결과 평지와 20% 높이, 평지와 30% 높이에서 유의한 차이를 보였다. 영역2에서는 노인이 성인에 비해 유의하게 족저압이 높게 나타났고 장애물 높이에 따라 서로 역시 유의한 차이가 나타났는데 평지에 비해 장애물을 넘을 때 족저압이 높게 나타났다. 영역 3에서는 그룹간에 유의한 차이가 없었으며 장애물높이에 따른 유의한 차이도 나타나지 않았다. 영역4는 성인에서 노인에 비해 유의하게 높은 족저압을 보였다. 장애물높이에 따른 유의한 차이는 나타나지 않았지만 대응별 비교 결과 평지와 10%, 평지와 30%높이에서 유의한 차이를 보였다. 영역 5, 6, 7, 8은 모두 그룹간 유의한 차이도 장애물높이에 따른 유의한 차이도 나타나지 않았다. 하지만 영역 7에서 대응별 비교 결과 평지와 10%, 평지와 20%간에 유의한 차이를 보였다. 모든 족저영역에서 상호작용은 나타나지 않았다.

IV. 고찰

노화에 의한 신체적인 특성으로 인하여 연령 증가에 따라 낙상에 대한 공포감을 많이 느끼게 되고,⁸ 근력 소실과 균형능력의 감소가 보행과 자세 조절에 부정적인 영향을 미치게 되며, 이동이나 장애물을 넘는 등의 일상생활에 어려움이 나타날 수 있다.⁵ 이에 본 연구는 장애물 넘는 동안 장애물의 높이에 따라 노인과 정상 성인의 족저압의 변화를 통해 발에서의 자세 조절의 변화를 알아보려고 하였다.

본 연구에서 나이와 장애물의 높이의 차이에 의한 족저압의

Table 1. General characteristics of subjects (mean ± SD)

	adult group (n=9)	elderly group (n=9)
Age (years)	28.37 ± 4.62	67.62 ± 5.92
Height (cm)	161.81 ± 7.14	153.10 ± 3.59
Weight (kg)	55.75 ± 10.07	56.95 ± 6.92

Table 2. Results of peak foot pressure according to obstacle height (unit : KPa)

PA		0%	10%	20%	30%	p
Area 1	adult	176.80 ± 32.12	191.29 ± 39.03	223.33 ± 27.06	230.74 ± 38.06	0.00*
	elderly	145.58 ± 39.00	135.83 ± 23.27	152.22 ± 38.09	138.70 ± 27.70	
Area 2	adult	51.38 ± 9.01	61.48 ± 15.91	56.66 ± 18.70	59.37 ± 16.46	0.05*
	elderly	53.88 ± 22.91	63.73 ± 14.72	64.62 ± 11.27	63.70 ± 14.38	
Area 3	adult	83.73 ± 13.87	79.57 ± 31.46	82.04 ± 21.35	87.78 ± 24.86	0.09
	elderly	82.87 ± 37.77	86.57 ± 16.47	91.20 ± 20.19	99.72 ± 24.35	
Area 4	adult	153.53 ± 81.69	184.53 ± 49.74	174.53 ± 60.32	201.57 ± 60.60	0.11
	elderly	110.98 ± 44.61	164.94 ± 63.32	170.74 ± 73.30	127.22 ± 36.10	
Area 5	adult	152.80 ± 36.89	156.01 ± 48.34	151.57 ± 44.51	153.24 ± 33.70	0.02*
	elderly	136.49 ± 63.86	149.23 ± 37.32	141.20 ± 38.43	134.91 ± 42.79	
Area 6	adult	125.87 ± 20.88	113.87 ± 45.16	120.96 ± 47.42	117.12 ± 24.44	0.15
	elderly	106.01 ± 53.59	110.83 ± 29.63	111.85 ± 32.41	124.35 ± 44.74	
Area 7	adult	176.41 ± 83.64	242.40 ± 83.90	246.48 ± 114.46	254.66 ± 93.11	0.23
	elderly	164.99 ± 85.68	238.33 ± 105.51	220.74 ± 82.37	189.27 ± 86.38	
Area 8	adult	124.30 ± 37.25	131.01 ± 52.28	130.09 ± 44.46	132.22 ± 38.26	0.36
	elderly	118.82 ± 54.88	150.24 ± 32.61	137.59 ± 33.54	133.80 ± 34.94	

*P<0.05

Area 1: Great toe, Area 2: Little toes, Area 3: Medial metatarsal head, Area 4: Central metatarsals, Area 5: Lateral Metatarsal, Area 6: Medial Arch, Area 7: Lateral Arch, Area 8: Heel

분포를 분석하기 위해서 장애물을 넘는 동안에 장애물 넘는 발의 앞부분이 떨어져서 장애물을 넘어 발이 처음 닿는 부분까지의 족저압을 분석한 결과 엄지발가락, 네발가락, 그리고 바깥 발허리 영역에서 노인과 정상 성인에서 차이를 보였다. 그리고 네발가락 영역에서는 높이에 따라 족저압의 값이 증가하였다. 나이에 의한 효과에서 노인은 높이에 따라 족저압의 크기의 차이가 많이 나지 않았으나 정상 성인은 장애물 높이가 증가함에 따라 족저압도 함께 많이 증가하였고, 높이에 따른 차이는 전반적으로 장애물의 높이가 높아질수록 전체 족저압의 크기가 증가하는 것을 볼 수 있었다.

Hahn 등^{9,10}은 장애물의 높이가 증가함에 따라 시상면에서 엉덩 관절과 발목 관절의 관절 각도가 노인에게서 유의하게

증가하였다고 보고하였다. 노인과 정상 성인 모두 장애물의 높이가 증가하게 됨에 따라 장애물을 넘기 위해 발을 높이 들어야 되고 이에 따라 전체적인 족저압이 증가하였다. 그리고 장애물의 높이가 높아지면 다리를 들고 유지하는 시간이 길어지게 됨에 따라 족저압의 압력이 더 크게 나오게 되고, 넘어질 위험이 크게 된다. 따라서 장애물을 넘기 위해서 충분한 근력과 균형 능력 등의 신체 안정성을 유지한다면 낙상의 위험으로부터 신체를 보호할 수 있다.

노인은 이마면에서 동적인 안정성을 유지하기 위해 안쪽으로 신체 중심이 이동하는 것을 감소시키게 되고, 이것은 노인에서 흔하게 일어나는 옆으로 넘어지면서 발생하는 엉덩 관절 골절을 일으키는 위험 요소 중의 하나를 감소시키는

것이다.¹¹ 따라서 앞발의 안쪽으로 족저압이 크게 나타나지 않는 것은 정상 노인에서 옆으로 넘어지지 않고 장애물을 넘어갈 수 있는 유용한 전략이다.^{12,13} 본 연구에서도 정상 성인에 비해 네발가락과 바깥 발허리 영역에서 높은 족저압을 보였으며, 정상 보행과는 다르게 신체 중심이 이동하는 방향이 바깥에서 안쪽으로 이동하지 않고 앞쪽 발의 전체적인 면을 함께 지지하여 안정성을 증가시켜 신체 동요를 감소시키는 것으로 생각된다. 또한 바깥으로 체중 이동이 되면서 발가락을 이용하여 넘어지지 않기 위해 바닥쪽을 강하게 누르게 되어 압력이 높아질 것으로 생각된다.

Lowrey 등¹⁴은 나이에 따른 toe clearance를 확인 한 연구에서는 먼저 장애물을 넘는 다리의 toe clearance는 나이에 영향을 많이 받지 않는 다고 하였지만, Lu 등¹⁵은 나이와 장애물의 높이에 따라 toe clearance 차이가 있으며 노인에서 장애물의 높이가 높아질수록 toe clearance가 증가한다고 하였다. 또한 노인은 장애물을 넘기 위해서 보행 속도가 느려지고, 보폭이 짧아졌으며 장애물을 넘기 전과 후에 장애물 근처로 최대한 접근해서 넘은 다음 기저면을 줄이기 위해 장애물 가까이에서 발을 놓는 양상을 보였다.⁶ 이 전략은 지지하는 다리가 균형을 유지하기에 어려움이 있기 때문에 최대한 짧은 거리를 이동을 하게 되며, 이는 체중 이동으로 인한 지지발의 족저압이 정상 성인에 비해 적게 증가하게 되어 본 연구의 결과처럼 노인의 족저압 최고값이 정상 성인에 비해 전체값이 낮은 것을 확인할 수 있다.

본 연구를 통하여 정상 노인의 장애물 넘기 동안 발에서의 족저압의 변화를 통하여 신체의 안정성 유지하고 낙상을 예방하기 위한 기전을 알게 되었으며 임상에서 노인 환자를 평가하고 치료하는데 있어서 발에서의 움직임과 체중분포에 대해 좀더 관심을 가지게 될 것으로 생각된다. 하지만 연구대상자가 많지 않았으며 다리의 움직임이나 근육의 활성도와 이동 속도를 정확하게 알아보기에 어려움이 있었다.

따라서 보행의 일반적인 변수와 함께 확인을 하고 낙상의 경험이 있는 노인을 대상으로 연구를 시행하여 자세 조절의 방법의 차이를 확인하여 노인 환자의 치료에 이용하도록 할 것이며, 노인의 낙상을 예방하기 위한 다양한 측면에서의 관찰과 접근이 필요할 것이다.

참고문헌

1. Winter DA, Human balance and posture control during standing and walking. *Gait Posture*, 1995;3(4):193-214.

2. Lee KJ, Roh JS, Choi HS et al. The effects of eye movement training on the static balance and fall efficacy in the elderly. *J Korean Soc Phys Ther*. 2012;24(4):268-75.

3. Jeong TG, Park JS, Choi JD et al. The effects of sensorimotor training on balance and muscle activation during gait in older adults. *J Korean Soc Phys Ther*. 2011;23(4):29-36.

4. Barbieri FA, dos Santos PC, Simieli L et al. Interactions of age and leg muscle fatigue on unobstructed walking and obstacle crossing. *Gait Posture*. 2014;39(3):985-90.

5. Lee HS, Lee CH. The effect of progressive resistance training with elastic band on grip strength and balance in middle elderly women. *J Korean Soc Phys Ther*. 2013;25(2):110-6.

6. Galna B, Peters A, Murphy AT et al. Obstacle crossing deficits in older adults: A systematic review. *Gait Posture*. 2009;30(3):270-5.

7. Chou LS, Kaufman KR, Brey RH et al. Motion of the whole body's center of mass when stepping over obstacles of different heights. *Gait Posture*. 2001;13(1):17-26.

8. Jung MS, Park JW. The relationship between balance test and fear of falling in community dwelling elderly. *J Korean Soc Phys Ther*. 2012;24(1):23-8.

9. Hahn ME, Chou LS. Age-related reduction in sagittal plane center of mass motion during obstacle crossing. *J Biomech*. 2004;37(6):837-44.

10. Chen HL, Lu TW. Comparisons of the joint moments between leading and trailing limb in young adults when stepping over obstacles. *Gait Posture*. 2006;23(1):69-77.

11. Wei TS, Hu CH, Wang SH et al. Fall characteristics, functional mobility and bone mineral density as risk factors of hip fracture in the community-dwelling ambulatory elderly. *Osteoporos Int*. 2001;12(12):1050-5.

12. Huang SC, Lu TW, Chen HL et al. Age and height effects on the center of mass and center of pressure inclination angles during obstacle-crossing. *Med Eng Phys*. 2008;30(8):968-75.

13. Lee HJ, Chou LS. Detection of gait instability using the center of mass and center of pressure inclination angles. *Arch Phys Med Rehabil*. 2006;87(4):569-75.

14. Lowrey CR, Watson A, Vallis LA. Age-related changes in avoidance strategies when negotiating single and multiple obstacles. *Exp Brain Res*. 2007;182(3):289-99.

15. Lu TW, Chen HL, Chen SC. Comparisons of the lower limb kinematics between young and older adults when crossing obstacles of different heights. *Gait Posture*. 2006;23(4):471-9.