

Effect of Uneven Surface Gait Training on Ankle Muscle Activation and Balance in Stroke Patients

Young-Ho Ji¹, Jae-Kwang Lee², Jong-Kyung Lee¹

¹Department of Physical Therapy, College of Medical Science, Catholic University of Daegu, Gyeongsan, Republic of Korea; ²Denudeun Hospital, Daegu, Republic of Korea

Purpose: The purpose of this study was to investigate the effects of regular training on the uneven surface that stroke patients encounter in their daily life on their ankle joint muscle activity and balance ability. They were divided into two groups: the gait training group on uneven surfaces and the gait training group on normal surfaces.

Methods: In this study, 30 patients diagnosed with stroke and undergoing rehabilitation were selected. 15 people in the uneven surface gait training group and 15 people in the flat gait training group were selected. The muscle activation of the ankle muscles was measured when walking again on a even surface after walking on an uneven surface and on a flat ground. After each gait training, the limit of stability and Romberg test were performed to evaluate the balance ability.

Results: As a result of the experimental results before and after walking by group, the tibialis anterior muscle activity of the paralyzed side was significantly decreased in the uneven surface walking group. As a result of measuring balance ability after training, the limit of stability in all directions was significantly increased in the uneven surface gait training group, and the area and length moved significantly decreased in the uneven surface gait training group in the Romberg test as well ($p < 0.05$).

Conclusion: After walking on uneven surface, it was confirmed that the muscle activity of the ankle joint decreased in normal flat walking, and thus the efficiency of muscle activity was increased. In addition, it was possible to confirm the improvement of the balance ability of the gait training on the uneven surface, and in conclusion, it could be confirmed that it had an effect on the improvement of the walking ability.

Keywords: Stroke, Uneven surface, Gait training, Muscle activation, Balance

서론

뇌졸중(stroke, cerebrovascular accident)은 성인에게 있어서 장애를 유발하는 주요 원인으로 뇌의 정상적인 신경계 성숙과 발달을 경험한 후 정상적인 혈액공급에 문제가 발생하여 신경학적 결손이 생기는 질환으로 뇌졸중은 전 세계 사망 원인 2위이자 장기간 신경학적 장애를 초래하는 주요 원인이다.¹

뇌졸중의 임상적 증상으로는 손상위치, 크기, 원인에 따라 다양하게 나타나며 운동장애, 인지 및 지각장애, 보행장애, 언어장애 등과 같은 신경학적 결손이 각각 또는 복합적으로 나타나며² 앉아 있거나 서기, 걷기 등 균형유지 능력이 저하된다.³ 특히, 감소된 보행능력은 가장 흔하고 중요한 기능적 제한 중 하나이다.⁴ 보행 시 비대칭적 자세로 인하여 비정상적인 보행이 나타나고 일상생활 활동에 어려움이 따르

며, 낙상과 같은 2차적인 문제점을 유발한다. 그러므로 뇌졸중 환자들의 균형 및 보행 능력을 향상시키는 것은 매우 중요하다. Kim⁵은 뇌졸중 환자의 동적 균형능력은 정적 균형능력과 다르게 기능적 균형 능력뿐만 아니라 보행 속도 및 기능과 밀접한 상관관계가 있다고 하였고, Keenan 등⁶은 균형 감각이 보행 능력과 높은 상관관계가 있음을 발견하였다. 이러한 연구들을 보더라도 균형과 보행능력에는 큰 상관관계가 있다는 것을 확인할 수 있다. 뇌졸중 재활의 궁극적 목적 중 하나인 독립적인 보행을 위해서는 보행하는 동안 자세 안정성 즉, 균형능력을 필요로 한다.

뇌졸중으로 인한 편마비는 신체 좌우의 비대칭이 나타나고 전체 체중의 61-80%가 견측 하지에 편중되어 분포한다.⁷ 이러한 비대칭은 발목근육의 약화와 불균형으로 인해 마비측의 불안정한 체중지지를 보이고 있다.

Received Jul 18, 2022 Revised Aug 28, 2022

Accepted Aug 31, 2022

Corresponding author Ji-Won Park

E-mail mylovept@hanmail.net

Copyright ©2022 The Korean Society of Physical Therapy

This is an Open Access article distribute under the terms of the Creative Commons Attribution Non-commercial License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Wolfson 등⁸은 균형감각의 소실은 발목근력의 약화와 관계가 있다고 하였고, Craig과 Sayers⁹는 발목 주변의 근력과 고유수용감각이 정상기능을 유지할 때 비로소 발목의 동적, 정적 안정성이 유지되며 균형능력 또한 향상된다고 하였으며 Park 등¹⁰은 다양한 발목의 움직임의 변화를 통한 발목의 고유수용성감각의 증가는 만성 뇌졸중 환자의 발목 근력과 균형능력 및 보행능력 향상에 효과가 있다고 하였다. 선행연구들에서 뇌졸중 환자의 균형 및 보행기능에 발목의 안정성과 고유수용감각의 정상화가 중요하다는 것을 확인할 수 있었다.

Lee와 Roh¹¹는 안정 지지면에서의 운동도 만성 뇌졸중 환자의 균형능력을 향상시키지만 불안정 지지면 운동군에서의 균형운동이 균형능력 향상에 더 효과적인 것으로 나타났다고 하였고, Lee와 Roh¹²는 보행 훈련 시 지속적인 불안정한 지면을 제공하면 보다 많은 동적균형능력이 요구되고 보행매트, 밸런스 패드 등과 같이 불안정한 지면이 가지고 있는 특성상 움직임의 흡수로 인해 일반적인 딱딱한 지면에서 보다 발목관절에서 더 다양한 움직임과 더 많은 근력을 필요로 하게 된다고 하였다. Park 등¹⁰은 다양한 발목의 움직임의 변화를 통한 발목의 고유수용성감각의 증가는 만성 뇌졸중 편마비 환자의 발목 근력과 균형능력 및 보행능력 향상에 효과가 있다고 하였으며, Hwang¹³은 모래지면에서의 보행훈련이 일반지면 보행 훈련군보다 마

비측 하지 근항성도는 감소하였고 보행능력은 향상되었다. 감소된 근활성도와 향상된 보행능력은 모래지면이 제공하는 연속적이고 불규칙한 불안정한 지지면에서 훈련을 통하여 일반지면에서 보행 시 효율적인 근육의 사용과 조절을 통해 보행능력이 향상된다고 하였다.

이와 같이 선행 연구에서는 보행매트, 발란스 패드, 모래 등과 같은 불안정한 지면에서의 중재가 대부분이었다면, 본 연구에서는 일상생활에서 경험할 수 있는 직접적인 지면의 불규칙적인 중재 방법을 사용한 훈련이 뇌졸중 환자의 발목 근육의 근활성도와 균형 및 보행기능에 미치는 영향을 알아보고자 하였다.

연구 방법

1. 연구대상

본 연구의 대상자는 대구광역시 소재 D병원에 재원 중인 뇌졸중으로 진단받고 입원 중인 환자 중 발병 후 6개월을 초과한 편마비 환자 대상으로 하였으며, 불균형한 지면 보행군과 평지 보행군 각각 15명씩 총 30명을 대상으로 실시하였다.

연구에 참여한 대상자 선정기준은 다음과 같다. 1) 발병 후 6개월 이상 된 뇌졸중 환자, 2) 시각적인 문제가 없는 자, 3) 10m 단독 보행이 가능한 자, 4) 골반 등 양하지에 정형외과적인 문제가 없는 자, 5) 의사소통과 이해가 가능한 자로 평가 및 지시에 따를 수 있는 자, 6) 한국형 간이 정신상태 판별검사(MMSE-K) 점수가 24점 이상이며, 본 연구의 취지를 이해하고 참여하겠다고 동의한 자로 선정하였다.

2. 대상자의 일반적인 특성

실험군 및 대조군의 대상자들의 성별, 나이, 키, 체중, 우측 및 좌측마비 비율에서 집단 간 유의한 차이가 없었다($p > 0.05$). 대상자들의 일반적인 특성의 집단 간 동질성이 확인되었으며, 연구대상자들의 특성과 동질성 검정 결과는 다음과 같다(Table 1). 또한 뇌졸중 이후 대부분의 환자들은 시각정보와 고유수용성 감각의 손상으로 인하여 시각 및 공간 지각이 상실되어, 균형과 보행에 어려움을 겪게 된다.¹⁴

Table 1. General characteristics of subjects (n=30)

	Uneven	Even	p
Gender (male/female)			
M	10	11	
F	5	4	0.94
Age (yr)	47.1±5.4	49.3±4.4	0.65
Height (cm)	170.9±3.2	171.6±3.5	0.89
Weight (kg)	72.0±4.6	71.4±5.5	0.91
Paretic side (Right/Left)			
Rt	6	8	0.91
Lt	9	7	0.87
One set time (months)	13.5±2.4	13.1±2.7	0.83

Mean ± standard deviation.
M: male, F: female, Rt: Right, Lt: Left.

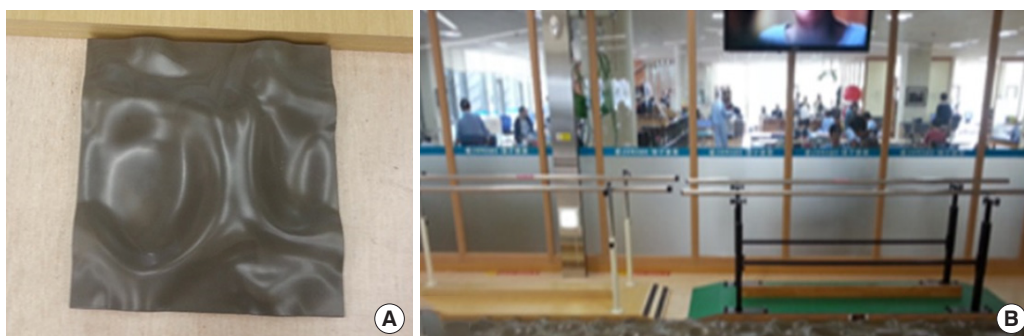


Figure 1. Uneven mats for gait training and Training Track (5M), (A) Uneven mats for gait training, (B) Training track (5M).

이에 본 연구에서는 대상자들의 고유수용성 감각의 결손을 염두하고 진행되어졌다.

3. 실험방법

1) 실험절차

본 연구에서 사용된 훈련용 보행 매트는 가로, 세로 50cm의 윗면이 불균형한 모양의 매트로 일상생활에서 밟다뜨릴 수 있는 불균형한 지면을 재현하였다(Figure 1A). 매트 10장 연결하여 총 5m에 보행트랙을 완성하여 훈련하였으며(Figure 1B), 먼저 발목근육의 근활성도 측정은 총 15m의 트랙에 첫 5m의 평지 보행 시 근활성도를 측정하고 다음 5m는 안전 바 옆에 진열된 불균형한 매트 위를 걷고 마지막 5m의 평지보행에서 다시 근활성도를 측정하여 각각을 비교하였다. 즉 불균형한 지면보행 앞과 뒤 평지보행에서의 변화된 발목근육 근활성도 차이를 비교하였고 평지보행군의 경우 15m의 평지를 걷고 앞, 뒤 5m의 근활성도를 측정하였다. 균형능력평가 시 훈련과정으로는 5m의 트랙에서 총 20분의 훈련 중 8분 보행 2분 휴식을 1 set으로 하여 총 2 set 실시하였다. 훈련 후 피로도를 고려하여 5분의 휴식을 가진 후 각각의 평가가 진행하였다.

2) 측정도구 및 방법

(1) 표면근전도

무선타입의 표면근전도 장비로써 반경 30m 이내에서 자연스럽게 측정 가능한 장비로 8개의 채널을 이용하여 근활성도를 측정할 수 있는 WEMG-8 (Laxtha, Saint Paul, MN, USA)를 사용하였으며, 은/염화은(Ag/AgCl) 전극을 사용하여 디지털 신호로 전환되어 수집된 마비측 및 비마비측 각각 2개의 근육을 채널의 표면근전도 아날로그 신호를 노트북 내 TeleScan 소프트웨어를 이용하여 처리하였다. 표면근전도 전극 부착 부위는 균형과 보행에 중요한 발목근육인 앞정강근(Tibialis Anterior), 장딴지근(Gastrocnemius, soleus) 총 2개의 근육에서 표면근전도기를 사용하여 근활성도를 측정한다. 표면근전도기 부착 부위는 선행연구를 참고하여 부착하였다. 앞정강근은 앞정강뼈 선상의 외측 2cm 부위에 부착하였고, 장딴지근[Calf Muscle (gastrocnemius, soleus)]은 슬와부 중심선에서 하행 2cm 부위에 외측에 부착을 기준으로 하고,¹⁵ 편마비 환자의 특성상 자가 최대 수축이 불가능한 마비측의 경우 바르게 선 자세를 취하게 하여 근골격계 해부학을 기초로 마비측의 부착 부위와 비교하여 해당 근육의 표면에 부착한다. 전극부착 부위는 피부저항을 최소화하기 위해 면도 후 알코올 솜을 이용하여 3회 닦은 뒤 알코올이 충분히 마르고 난 후 부착하였다. 근전도 신호의 기록 및 처리는 편마비 환자의 특성상 수직 등척성 수축이 어려워 두 발로 가만히 선 자세에서의 근활성도를 측정하여 기준 값으로 정하였으며, 불균형한 지면보행과 평지보행 전, 후 평지

보행의 각각 근활성도를 측정하여 데이터를 수집하였다. 바로 선 자세에서의 근전도 데이터는 10초간 바로 선 자세에서 앞과 뒤의 각각 3초를 제외한 중앙의 4초간의 데이터를 추출하여 데이터 값으로 사용하였다. 앞, 뒤 5m 즉 15m 보행 시 각 중재 지면을 걷기 전 5m, 걸은 후 5m를 각각 측정하였다. 평지 보행군과 불균형지면 보행군의 근전도 데이터는 비마비측을 기준으로 하여 규칙적인 보행주기를 나타내는 그래프 구간을 찾아 마비측 보행을 추정하여 총 보행시간 내에서 보행주기로 판단되는 구간을 찾고¹³ 또한 측정된 데이터는 대상자들의 보행속도에 따라 5m 보행 동안 걸린 시간이 다르므로 보행 시간을 각각 10, 20, 30초 총 3가지 보행시간을 가정하고 측정된 보행 데이터 중 10초 이내 보행한 대상자는 2초, 30초 이내는 3초, 30초 이상은 5초의 앞, 뒤 불안정한 데이터를 삭제하고 구간 내 평균을 보행 시간 내 근활성도 값으로 사용하였다. 수집된 모든 표면근전도의 신호는 개인용 컴퓨터에서 필터링과 기타 신호를 처리하였고 근전도 신호의 표본 추출률(sampling rate)은 1,000Hz로 설정하였다. 증폭된 파형은 10-500Hz 대역통과필터(band pass filter)와 60Hz 노이즈 제거를 위해 노치 필터(notch filter)를 이용하여 필터링 하였다. 수집된 모든 근전도 신호를 정량화하기 위해 실효평균값(root mean square, RMS) 처리하였다. 각 근육의 수집된 신호는 두발로 선 자세의 측정값에 대한 평지 보행 시, 불균형한 지면 보행시의 백분율 %RVC (reference voluntary contraction)로 정규화(normalization)하였다.

(2) 균형능력 측정 및 분석

본 연구에서는 류마티스질환 등의 정형외과 환자, 신경계 환자, 노인, 운동선수의 재활을 목적으로 만들어진 BIO Rescue (RM INGENIERIE, Rodez, France) 프로그램을 이용하였고 감압 플랫폼과 컴퓨터, TV 간의 접속으로 사용자의 자세와 움직임을 감지하여 대상자들의 균형능력 측정 및 훈련이 가능하다. 이를 통해 대상자의 특정한 움직임 동안 압력중심의 이동 경로를 측정하여 이동면적(mm²), 이동길이(mm), 평균속도(cm/s)를 알 수 있다.

① 안정성 한계(limit of stability) 측정 및 분석

BIO rescue 내 안정성 한계 측정 프로그램을 이용하여 대상자의 균형능력을 측정하고 하였다. 안정성 한계 측정 프로그램은 총 8방향을 가리키는 화살표를 따라 무게 중심을 이동하도록 하여 최대 이동거리를 측정하였으며 측정 시 두 발은 바닥에서 떨어지지 않도록 하였다. 측정 시 발이 떨어진 경우 다시 측정하였으며, 대상자들은 모니터 앞에 1-1.5m 떨어져 있는 감압 플랫폼 위에서 선 자세로 실험에 참여하였다. 측정 중 안전사고를 대비하여 보조자 1명을 두었고 앞과 옆에 안전장치를 설치하다. 집중력 저하를 방지하기 위해 독립적인 공간에서 진행하였으며, 장비의 조작은 연구자에 의해 진행되었다.

Table 2. The comparison of muscle activation in the ant and post-gait for each group (N=30, Unit: %RVC)

Group	Muscle	Ant (5m)	Post (5m)	t	p
Uneven	AT	459.10±209.32	332.23±152.95	3.69	0.01*
	AC	477.46±467.96	421.46±380.77	1.82	0.05
	NAT	677.23±290.63	659.31±361.51	0.51	0.50
	NAC	660.67±372.92	628.77±334.48	1.42	0.21
Even	AT	468.32±166.35	469.90±165.49	-2.70	0.87
	AC	508.72±356.96	533.75±385.49	-1.67	0.12
	NAT	684.98±455.04	818.83±740.43	-0.884	0.24
	NAC	678.74±490.94	721.81±484.13	-1.36	0.20

Mean ± standard deviation.

AT: Affected side tibialis anterior, AC: Affected side calf muscle (gastrocnemius, soleus), NAT: Non affected side tibialis anterior, NAC: Non affected side calf muscle (gastrocnemius, soleus).

*p<0.05.

② 정적 균형검사(Romberg test) 측정 및 분석

균형 감각 및 고유수용성 감각 측정을 위하여 BIO rescue 내 Romberg test를 진행하였다. 본 프로그램은 감압 플랫폼 내 두발로 선 자세에서 1분간 유지 시 두발이 유지하고 있는 체중이동의 면적 및 길이 즉, 선 자세를 유지 못하고 체중이동이 흔들려 움직인 길이와 면적을 정량화한 값을 측정하였다. 서있는 자세를 유지하지 못하고 동요 거리가 증가한다는 것은 움직인 면적과 길이가 증가했다는 것을 의미한다. 안정성 한계 검사와 동일하게 보조자를 두고, 앞과 옆에 안전장치를 설치하고 진행하였다.

3) 자료 분석

본 연구에서 수집된 자료는 SPSS 22.0 for Window를 이용하여 통계처리하였다. 각 집단에서 훈련 전·후의 차이를 비교하기 위해 대응표본(paired t-test)를 실시하였다. 변수의 정규성 검증을 위해 Shapiro-Wilks 검정을 시행하였고, 각 집단 간 차이를 확인하기 위하여 독립(independent t-test)검정을 각각 실시하였다. 통계학적 유의수준은 α=0.05로 설정하였다.

결 과

1. 보행 전, 후 근활성도 비교

1) 집단 별 보행 전, 후 근활성도 비교

총 15m의 트랙에 5m 평지보행을 측정하고 불균형한 지면 5m 보행 후 5m 평지 보행의 근활성도를 비교하였다. 불균형한 지면 보행군에서 마비측 앞정강근(tibialis anterior)의 근활성도가 보행 전 5m 보다 보행 후 5m 평지 보행의 평균값이 유의하게 감소하였다(p<0.05). 평지 보행군에서는 앞, 뒤 5m의 근활성도에서 유의한 차이가 없었다(p>0.05)(Table 2).

Table 3. The comparison of pre and post-intervention with limit of stability in each of the group (n=30, Unit: mm²)

Group	Direction	Pre-test	Post-test	t	p
Uneven	A	453.06±281.29	717.93±321.19	-6.63	0.01*
	NA	757.93±440.88	1,216.60±511.91	-6.45	0.01*
	forward	697.40±438.06	1,133.13±536.25	-4.04	0.01*
	back	459.40±241.35	744.46±294.19	-6.27	0.01*
	total	1,113.20±564.44	1,561.46±667.83	-4.25	0.01*
Even	A	400.33±169.08	472.13±172.22	-2.50	0.01*
	NA	644.86±242.30	694.00±239.79	-1.09	0.23
	forward	581.53±225.41	627.26±213.51	-1.42	0.18
	back	337.00±141.20	454.46±155.12	-3.30	0.01*
	total	1,019.80±564.14	1,141.66±296.77	0.67	0.51

A: Affected side, NA: Non Affected side.

*p<0.05.

2) 집단 간 근활성도 비교

불균형한 지면 보행군과 평지보행군 간의 집단 간 비교를 위해 독립 t 검정을 실시한 결과 마비측 앞정강근(tibialis anterior)에서 그룹 간의 유의한 차이가 있었다(p<0.05).

2. 훈련 전, 후 안정성 한계(limit of stability) 이동 범위의 비교

안정성 한계(limit of stability)란 선 자세에서 두 발을 지면에 붙이고 균형을 유지한 상태에서 무게 중심을 이동할 수 있는 최대 거리라고 규정하고 있다.¹⁶ 본 연구에서는 불균형한 지면 보행 훈련군과 평지보행 훈련군 각각의 훈련 전, 후 안정성 한계를 비교하여 각 보행훈련으로 인한 안정성 한계 이동 범위의 변화를 알아보고자 하였다.

1) 집단별 훈련 전, 후 안정성 한계(limit of stability) 비교

불균형한 지면 보행 훈련군은 훈련 전에 비해 모든 무게중심이동 방향의 모든 결과값이 유의하게 증가하였다(p<0.05). 평지보행 훈련군에서는 마비측과 후방으로의 무게중심 이동이 훈련 전보다 훈련 후 유의하게 증가하였다(p<0.05)(Table 3).

2) 집단 간 안정성 한계(limit of stability) 비교

불균형한지면 보행 훈련군과 평지보행 훈련군 간의 집단 간 비교를 위해 독립 t검정을 실시한 결과 모든 방향으로 유의한 차이가 있었다(p<0.05).

3. 보행 전, 후 Romberg test 변화 비교

Romberg test란 정적 균형검사로 눈을 뜬 상태와 감은 상태에서 두발을 모으고 1분간 서있는 자세를 유지하는 검사로 본 연구에서는 BIO rescue 내에 있는 Romberg test를 실시하였다. 본 프로그램은 두발을 감압플랫폼 위에 서서 눈을 뜨고 감은 상태에서 움직인 면적과 길이

Table 4. The comparison of pre and post-intervention with Romberg test in each of the group (open & closed eyes test) (n = 30)

Group	Pre-test	Post-test	t	p
Open eyes				
Uneven				
SA (mm ²)	100.13±54.11	52.46±33.10	6.56	0.001*
Length (cm)	21.22±4.61	16.16±3.70	8.66	0.001*
Even				
SA (mm ²)	107.20±73.30	100.60±70.39	2.00	0.066
Length (cm)	20.51±6.77	20.34±5.61	0.12	0.903
Closed eyes				
Uneven				
SA (mm ²)	135.40±61.91	89.13±42.67	7.53	0.001*
Length (cm)	23.90±8.50	15.17±2.99	4.36	0.001*
Even				
SA (mm ²)	136.13±54.55	134.66±50.30	0.36	0.724
Length (cm)	24.47±8.12	24.25±6.66	0.29	0.773

SA: surface area ellipse.
*p < 0.05.

를 측정하여 균형능력과 고유수용성 감각을 평가하는 것이다.

1) 집단별 보행훈련 전, 후 Romberg test 변화 비교(open eyes test)

불균형한 지면 보행 훈련 후 정적 균형검사를 실시한 결과 훈련 전 움직임 면적이 훈련 후 유의하게 감소하였고, 움직임 길이도 유의하게 감소하였다(p < 0.05). 평지보행 훈련군에서는 훈련 전, 후 정적 균형검사를 실시한 결과 훈련 전, 후 유의한 차이가 없었다(p > 0.05)(Table 4).

2) 집단 간 Romberg test 변화 비교(open eyes test)

불균형한 지면 보행 훈련군과 평지보행 훈련군 간의 집단 간 비교를 위해 독립 t검정을 실시한 결과 모두 유의한 차이가 있었다(p < 0.05).

3) 집단별 보행훈련 전, 후 Romberg test 변화 비교(closed eyes test)

불균형한 지면 보행 후 눈을 감고 정적 균형검사를 실시한 결과 움직임 면적과 움직임 길이의 평균값이 유의하게 감소하였고(p < 0.05), 평지보행 훈련군에서는 두 가지 모두 유의한 차이가 나타나지 않았다(p > 0.05)(Table 4).

4) 집단 간 Romberg test 변화 비교(closed eyes test)

불균형한 지면 보행 훈련군과 평지보행 훈련군 간의 집단 간 비교를 위해 독립 t검정을 실시한 결과 모두 유의한 차이가 있었다(p < 0.05).

고 찰

불균형한 지면은 일상생활에서 빈번하게 맞닥뜨릴 수 있는 환경이

다. 뇌졸중 환자들에게 나타나는 균형능력의 감소와 보행능력 저하는 이러한 불균형한 지면에서의 보행에 어려움을 주고 2차적인 사고로 이어질 수 있는 상황이다. Yelnik 등¹⁷은 균형 장애는 뇌졸중 후 발생하는 주요 문제점 중 하나이라고 하였고, 편마비 환자들은 균형 장애로 인해 낙상의 위험도가 높으며, 재활기간이 길고, 일상으로의 복귀도 늦어진다고 하였다.¹⁸

이에 본 연구는 불균형한 지면에서의 보행훈련을 통해 발목근육의 활성화 변화와 보행능력 향상, 나아가 일상생활에서 맞이하는 불균형한 지면에서의 대처능력 향상을 기대하였다. 보행은 균형 및 자세 조절능력과 관계가 있으며, 보행 중 평형상태를 유지하기 위해 감각입력통합이 매우 중요하다는 Smania 등¹⁹의 연구와 같이 본 연구에서는 불균형한 지면에서의 보행훈련을 통해 자세조절에 중요한 역할을 하는 발목 근육의 근활성도와 균형능력 향상도를 확인하였다. 먼저 집단 별 보행 후 근활성도 측정에서 불균형한 지면 보행군의 환측 앞정강근의 근활성도가 유의하게 감소하였다. 이는 모래지면 보행 훈련군의 일반지면 보행 시 마비 측 넙다리곧은근과, 마비 측 앞정강근의 근활성도가 유의하게 감소하였다는 선행연구와 같은 결과가 나타났다. 앞정강근은 입각기 초기인 발뒤꿈치가 땅에 닿는 시기부터 중간 입각기에 이를 때 가장 많이 작용되며 특히 발이 땅에 끌리지 않게 하기 위해 가장 많이 사용된다²⁰는 연구에서 확인할 수 있듯 불균형한 지면에서의 보행으로 앞정강근의 근활성도가 증가되고 다시 일반지면으로 다시 내려왔을 때 발목을 보다 작게 들어 올려도 보행이 가능해지고 발뒤꿈치가 닿기 시작함과 동시에 체중이 지지되고 지면이 받쳐 줌으로써 불균형한 지면에서 만큼 앞정강근의 사용이 필요치 않게 되었을 것이고 따라서 감소된 근활성도에도 큰 어려움 없이 보행을 할 수 있었을 것으로 사료된다.

또한 Lim 등²¹은 불안정한 지지면에서의 훈련이 평류안뜰자극에 의한 균형유지의 어려움에도 불구하고, 균형능력의 향상으로 근 활동 시 빠른연축섬유의 동반 비율을 줄여 전체적인 근활성도가 감소하였다는 연구 또한 본 연구결과를 뒷받침하는 근거라 할 수 있다. 이러한 불균형한 지면에서의 보행훈련이 발목근육 근활성도의 효율성을 높이고 평지에서의 보다 안정된 보행이 이루어졌을 것으로 사료된다. 다양한 발목의 움직임의 변화를 통한 발목의 고유수용성감각의 증가는 만성 뇌졸중 편마비 환자의 발목 근력과 균형능력 및 보행능력 향상에 효과가 있다고 하였다¹⁰는 연구결과를 바탕으로 본 연구에서는 불균형한 지면에서의 발목의 움직임변화에 대한 균형능력의 향상도를 측정하기 위해 두 가지 방법으로 진행하였는데 먼저 안정성 한계(limit of stability) 이동 범위를 통해 선 자세에서 방향에 따른 무게중심 이동 능력을 평가하였다. 실험결과 불균형한 지면 보행훈련군은 훈련 전, 후 안정성 한계 변화에서 훈련 후 마비측, 비마비측, 앞, 뒤 모든 방향으로의 무게중심이동이 유의하게 증가하였고, 평지

보행 훈련군에서는 마비측 방향과 후방으로의 무게중심이동에서만 유의하게 증가하였다. 불안정지지면은 안정지지면에 비해 전후방향으로 자세동요가 증가하게 되므로, 이를 훈련에 적용하였을 때 전후방향에서의 안정성이 증가하게 되며, 감각 통합능력을 향상시켜 균형능력이 향상된다고 하였으며,²²⁻²⁴ Bac 등²⁵은 뇌졸중 환자를 대상으로 불안정한 지지면에서 균형 운동을 실시한 후 실험 전, 후 자세동요와 좌 우 체중지지율에 있어 유의한 개선효과를 나타냈다고 하였다. 위 연구 결과를 분석하면 불안정한 지면에서의 훈련은 여러 방향에서의 자세동요와 체중지지율의 개선으로 균형능력이 향상된다는 것을 확인하였으며 본 연구에서도 유사한 결과를 관찰할 수 있었다.

좀 더 확실한 균형능력 향상을 위해 Romberg 균형검사를 진행하였는데 눈을 뜨고 감은 두 가지 상황에서 정적 균형유지 능력을 평가하였다. 일반적인 Romberg 검사는 정적 균형유지 시간을 측정하지만 본 연구에서는 좀 더 객관적인 검사를 위해 BIO rescue 내 프로그램으로 대상자가 서있는 자세에서 두 발의 체중이동이 동요된 면적과 거리를 측정하여 감압 플랫폼 내에서 균형능력을 측정하였다. 먼저 눈을 뜨고 한 검사결과 불균형한 지면 보행훈련군은 움직인 면적과 움직인 거리 모두 유의하게 감소하였고, 평지보행 훈련군에서는 훈련 전, 후 유의한 차이가 없었다. 또한 눈을 감고 한 검사에서도 불균형한 지면 보행 훈련군에서 움직인 면적과 움직인 거리 모두 유의하게 감소하였고, 평지 보행 훈련군에서는 훈련 전, 후 유의한 차이가 나타나지 않았다. 실험결과 안정성 한계(limit of stability) 검사와 같이 Romberg 균형검사에서도 균형능력이 향상되었음을 확인할 수 있었다. 눈을 뜨고, 감고 한 각각의 검사에서 차이가 났던 것은 뇌졸중 환자들은 균형을 유지하기 위하여 시각적 정보에 의존하는 경향이 강하며, 시각을 차단하게 되면 균형 유지에 어려움을 겪기 때문에 시각적 정보에 의존하여 균형을 유지하려 한다는 Bonan 등²⁶의 연구결과에서 확인할 수 있듯이 본 연구에서도 눈을 뜬 상태에서 동요면적과 길이 모두 눈을 감은 상태에서의 평균값보다 낮게 측정되었다. 즉 눈을 뜬 상태에서 균형을 더 잘 잡을 수 있었고 눈을 감은 상태에서 더 큰 균형능력과 고유수용성 감각이 필요로 하기 때문에 고유수용성 감각이 손상된 환자들로서는 눈을 감고 선 자세를 유지하는 것에 어려움이 있었기에 이러한 차이가 있었다고 볼 수 있다.

이와 같이 본 연구와 선행연구들을 종합해 보면 불균형한 지면에서의 보행훈련이 발목근육의 근활성도와 균형능력 향상, 고유수용성 감각을 증가시키며 나아가 보행능력 향상에도 영향을 미쳤을 것이라 생각된다. 발란스 보드, 모래지면 등과 여러가지 불안정한 환경에서의 중재법을 제시한 선행연구들과 유사한 결과가 나온 본 연구의 중재법 또한 뇌졸중 편마비 환자가 적용할 수 있는 좋은 방법을 제안했다고 생각된다. 하지만 본 연구에서 보행훈련 후 즉각적인 반응과 효과에 대한 연구라는 점, 그리고 연구를 위해 제시된 보행훈련

의 기준에 의뢰기관 및 개인이 하는 재활훈련 방법 및 시간은 통제하지 않은 한계점이 있다고 생각한다. 긴 중재기간과 개개인 재활훈련의 통일성을 두고 연구를 진행한다면 좀 더 명확하고 신뢰성 있는 중재법이 제안될 수 있다고 생각한다.

REFERENCES

1. Virani SS, Alonso A, Benjamin EJ et al. Heart disease and stroke statistics-2020 update: a report from the american heart association. *Am Heart Assoc.* 2020;141(9):139-596.
2. Ekman LL. *Neuroscience: Fundamentals for rehabilitation.* 3rd ed. St. Louis, Mo, Saunders Elsevier, 2007:46-512.
3. Jung HY, Kim TH, Park JH. Relationship between berg balance scale and functional independence measure in stroke patients. *J Korean Acad Rehab Med.* 2005;29(2):167-70.
4. Moreland JD, DePaul VG, DeHueck AL et al. Needs assessment of individuals with stroke after discharge from hospital stratified by acute functional independence measure score. *Disabil Rehabil.* 2009;31(26):2185-95.
5. Kim JH. A study on the correlation between static, dynamic standing balance symmetry and walking function in stroke. *J Kor Phys Ther.* 2012;24(2):73-81.
6. Keenan MA, Perry J, Jordan C. Factors affecting balance and ambulation following stroke. *Clin Orthop.* 1984;182:165-71.
7. Sackley CM. Falls, sway, and symmetry of weight-bearing after stroke. *Int Disabil Stud.* 1991;13(1):1-4.
8. Wolfson L, Judge J, Whipple R et al. Strength is a major factor in balance, gait, and the occurrence of falls. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci.* 1995;50 Spec No:64-7.
9. Craig RD, Sayers JM. Can chronic ankle instability be prevented? rethinking management of lateral ankle sprains. *J Athl Train.* 2002; 37(4):430-5.
10. Park YH, Kim YM, Lee BH. An ankle proprioceptive control program improves balance, gait ability of chronic stroke patients. *J Phys Ther Sci.* 2013;25(10):1321.
11. Lee JY, Roh HL. Comparison of balance ability between stable and unstable surfaces for chronic stroke patients. *J Kor Acad coop Soc.* 2011; 12(8):3587-93.
12. Lee GJ, Lee SW, Lee SW et al. The effect of low extremity strengthening enhanced gait mat training on unstable surface on gait parameter and low extremity strength in elderly. *J Spe Educ Rehabil Sci.* 2011;50(4):419-35.
13. Hwang BH. The effects of gait training on sand surfaces on chronic stroke patients with hemiplegia's paretic lower extremity muscle activity and ambulatory ability. Daegu University. Dissertation of Master's Degree. 2014.
14. Kim CM, Eng JJ. The relationship of lower-extremity muscle torque to locomotor performance in people with stroke. *Phys Ther.* 2003;83(1): 49-57.
15. Schulthies SS, Ricard MD, Alexander KJ et al. An electromyographic investigation of 4elastic-tubing closed kinetic chain exercises after anterior cruciate ligament reconstruction. *J Athl Train.* 1988;33(4):328-35.

16. Heo SH. The effects of plantar proprioceptive training using feedback on hemiplegic patients' plantar pressure and dynamic balance. Daegu University. Dissertation of Master's Degree. 2014.
17. Yelnik AP, Le Breton F, Colle FM et al. Rehabilitation of balance after stroke with multisensorial training: a single-blind randomized controlled study. *Neuro Rehabil Neural Repair*. 2008;22(5):468-76.
18. Perennou D, El Fatimi A, Masmoudi M et al. Incidence, circumstances and consequences of falls in patients undergoing rehabilitation after a first stroke. *Ann Readapt Med Phys*. 2005;48(3):138-45.
19. Smania N, Picelli A, Gandolfi M et al. Rehabilitation of sensorimotor integration deficits in balance impairment of patients with stroke hemiparesis: a before/after pilot study. *Neurol Sci*. 2008;29(5):313-9.
20. Koo BO, Kim HB, Nam KS et al. *Clinical kinematics*. 2nd ed. Seoul, Yeongmunsa, 2004: 32-401.
21. Lim SW, Kim SH, Kim YN et al. The effect of balance training on balance ability and ankle joint muscle activity. *J Kor Acad Clin Elec*. 2010; 8(2):13-8.
22. Bayouk JF, Boucher JP, Leroux A. balance training following stroke: effects of task-oriented exercises with and without altered sensory input. *Int J Rehabil Res*. 2006;29(1):51-9.
23. Lomaglio MJ, Eng JJ. Muscle strength and weight-bearing symmetry relate to sit-to-stand performance in individuals with stroke. *Gait Posture*. 2005;22(2):126-31.
24. Patel M, Fransson P, Lush D et al. The effect of foam surface properties on postural stability assessment while standing. *Gait Posture*. 2008;28(4):649-56.
25. Bae SC, Kim KJ, Yoon HI. The effects of the balancing training on the unstable surface for the CVA patients. *J Korean Acad Orthop Man Phys Ther*. 2001;7(2):5-22.
26. Bonan IV, Colle FM, Guichard JP et al. Reliance on visual information after stroke. part I: balance on dynamic posturography. *Arch Phys Med Rehabil*. 2004;85(2):268-73.