

Effects of Robotic Gait Training with Lower Extremity Restraint on Static Balance, Lower Extremity Function, Gait Ability in Subacute Stroke Patients

Yun-Su Kang^a, Won-Seob Shin^{a,b}

^aDepartment of Physical Therapy, Graduate school of Health and Medicine, Daejeon University

^bDepartment of Physical Therapy, College of Health and Medical Science, Daejeon University

Objective: The purpose of this study is to compare the effect of static balance, lower extremity function, and gait ability between a lower extremity restraint robot gait training and a general robot gait training in subacute stroke subjects.

Design: Two-group pretest-posttest design.

Methods: A total of 12 subacute stroke patients were randomly divided into an Experimental group (n = 6) and a control group (n = 6). Both groups were performed for four weeks, three times a week, for 20 minutes. To compare the Static balance function, the center of pressure (COP) path-length and COP velocity were measured. The Fugl-Meyer assessment lower extremity (FMA-LE) were evaluated to compare the Lower Extremity function. 2D Dartfish Program and 10 Meter Walking Test (10 MWT) on Gait ability were evaluated to compare the gait function.

Results: In the intra-group comparison, Experimental groups showed significant improvement in COP path-length, velocity, Lower Extremity Function, 10 MWT, Cadence, by comparing the parameters before and after the intervention ($p < 0.05$). Comparison of the amount of change between groups revealed significant improvement for parameters in the COP path-length, velocity, Lower extremity function, 10 MWT by comparing the parameters before and after the intervention ($p < 0.01$).

Conclusions: The Experimental group showed enhanced efficacy for variables such as COP path-length, velocity, Lower extremity function, 10 MWT as compared to the control group.

Key Words: Stroke, Subacute, Robot, Restraint, Gait

서론

뇌졸중 위험 요인 중 고혈압의 진단과 개선으로 뇌졸중 발생율은 감소하였지만, 한국에서의 식습관, 고령 인구의 증가, 원인질환의 치료 미비 등으로 뇌졸중의 발병률이 증가하고 있다[1]. 뇌졸중은 뇌혈관 문제로 감각 및 운동 기능, 인지, 지각 및 심리적 영역에 영향을 미치게 되며 [2], 보행 장애는 뇌졸중 환자의 독립적 삶을 제한하고 뿐만 아니라 낙상 관련 부상 및 이차적 손상에 관련이 있다 [3]. 따라서, 뇌졸중 환자의 보행능력을 회복하는 것은 뇌졸중 재활 프로그램에서의 가장 중요한 목표이다[4].

뇌졸중 환자의 보행능력을 회복하기 위한 과제지향적

접근법 훈련 중 하나인 체중지지 트레드밀 보행 훈련은 체중을 지지하여 자세, 균형 그리고 보행에 필요한 근육 사용을 최소화하여 반복적으로 운동 조절을 할 수 있는 효과적인 훈련 방법이다[5]. 반복적으로 훈련을 할 수 있는 체중지지 트레드밀 보행 훈련은 신경회로를 새로 조직화하고, 아직 보행을 하지 못하거나 천천히 보행하는 환자들에게서 보행 회복의 중요한 역할을 하였다[6]. 그러나, 보행 장애가 있는 뇌졸중 환자에게 체중지지 트레드밀에서 정상적인 보행 패턴을 훈련하기 위해서는 다수의 숙련된 물리치료가 필요하고, 치료사의 보조가 매일 일정하지 않기 때문에 환자는 운동 조절 전략을 계속해서 변경해야 하는 어려움이 있으며, 뇌졸중 환자의 신경 가

Received: Aug 9, 2021 Revised: Aug 29, 2021 Accepted: Aug 31, 2021

Corresponding author: Won-Seob Shin(ORCID <https://orcid.org/0000-0002-6515-7020>)

Won-Seob Shin, Department of Physical Therapy, Applied Science Building, 62, Daehak-ro, Dong-gu, Daejeon [34520]

Tel: + 82-42-280-2290, Fax: + 82-42-280-2295, E-mail: shinws@dju.kr

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://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.

Copyright © 2021 Korean Academy of Physical Therapy Rehabilitation Science

소성의 변화를 주기 위해서는 반복적으로 일정하게 운동을 제공해야 하기 때문에 이러한 문제를 해결하기 위해 대칭적이고 반복적인 보행 훈련을 제공할 수 있는 로봇 보조 장치가 개발되었다[7].

로봇 보조 보행 훈련은 트레드밀 속도, 체중 지지(body weight support; BWS), 유도 우력(guidance force; GF)을 조절하여 최적화된 훈련 강도를 통해 재활 과정 초기에 반복적인 보행 훈련을 가능하게 한다[8]. 사전에 입력된 보행 패턴은 보행 주기의 타이밍, 하지 관절의 조절, 적절한 체중지지를 통한 정상적인 보행 훈련을 지원하며[9], 대칭적인 근육의 활성을 촉진하여 반복적인 훈련을 통해 중추 신경계의 신경 가소성 변화를 유도할 수 있다[10]. 고식적인 재활치료와 결합된 로봇 보조 보행 치료는 보행에 완전히 의존하는 아급성기 뇌졸중 환자에게 효과적인 치료 방법이다[11]. 하지만, 로봇 보조 보행 훈련이 아급성기 뇌졸중 환자의 보행 속도와 독립할 가능성을 증가시키지만, 보행능력을 증가시키지는 않는다고 보고하였다[12].

강제 유도 운동 치료는 비 마비 측 신체 부위 제한을 기반으로 상지에 효과적인 재활인 것으로 나타났다[13]. 이와는 대조적으로, 비 마비측 신체 부위를 제한을 기반으로 하는 접근방식이 보행에 미치는 영향은 거의 연구되지 않았다[14]. 최근 연구에서는 뇌졸중 환자의 비 마비측의 움직임 억제하는 것은 운동 개선을 위한 유용한 기술이 될 수 있다고 제안하였다[15]. 제한을 기반으로 하는 움직임 치료는 보통 비 마비측의 사용을 제한하고 마비측의 연습을 통해 정상적인 협응된 움직임을 촉진함으로써 기능적인 운동 회복을 목표로 이루어진다[16]. 선행 연구는 보행 중 비 마비측 하지의 완전한 고정으로 보행이 불가능 하기 때문에 비 마비 측 발목에 무게를 부착하는 방법을 사용하였지만[14], 이는 보행능력을 향상시키기 위한 효과적인 접근법이 아니라고 하였다[15]. 이와 대조적으로 Lokomat®을 이용한 비 마비 측 다리에 제한을 이용한 훈련은 만성 뇌졸중 환자의 보행능력 개선을 위한 유용한 재활 기술이 될 수 있으며, 뇌졸중 환자의 운동학적 보행 매개변수를 개선하기 위한 새로운 재활 접근방식을 구성할 수 있다고 보고하고 있다[17]. 이렇게 만성 뇌졸중 환자를 대상으로 하는 비 마비 측 하지 제한을 이용한 강제 유도 운동 치료의 연구가 이루어지고 있지만, 아급성기 뇌졸중 환자의 정적 균형, 하지 기능, 보행능력 개선을 위한 연구는 부족한 실정이다.

이에 본 연구의 목적은 로봇 보조 보행 훈련과 비 마비측 하지 제한을 이용한 마비측의 집중적인 움직임 보행 훈련이 아급성기 뇌졸중 환자 대상으로 정적 균형, 하지 기능, 보행능력의 개선에 도움을 주는지 알아보고자 한다.

연구 방법

연구 대상

본 연구의 대상자는 대전광역시 소재하는 W 재활병원에 입원중인 6개월 미만의 아급성기 뇌졸중 환자 12명을 대상으로 하였다. 대상자의 선정 조건은 다음과 같다. 첫째, 입원 중인 발병 6 개월 이내의 아급성기 뇌졸중 환자, 둘째, 기능적 보행 지수 점수가 2점 이하로 10 m 보행이 가능한 자, 셋째, 본 연구를 이해하고 자발적으로 동의한 자, 넷째, 한국판 간이 정신상태 검사(MMSE-K) 점수가 24점 이상인 자로 하였다[18]. 제외조건은 다음과 같다. 첫째, 하지의 관절 가동 범위의 제한, 경직으로 엉덩관절, 무릎관절, 발목관절에 구축이 있는 자, 둘째, 갈비뼈 골절 및 피부 질환으로 하네스 착용에 제한이 있는 자, 셋째, 저혈압 또는 심혈관 질환이 있는 자이다. 본 연구는 대전대학교 기관생명윤리위원회의 승인을 받은 후에 연구가 진행되었다(IRB:1040647-202104-HR-002-03).

연구 절차

본 연구는 두 그룹 사전사후 검사 설계(Two-Group Pre-Posttest Design)로 선정된 대상자는 R studio program (R Studio Desktop 1.2.5033)을 이용하여 무작위로 하지 제한 로봇 보행 군(n=6), 비교집단인 일반적 로봇 군(n=6)으로 배정하였으며 4주 동안 주 3회 20분 동안 시행하였다. 사전 검사를 실시한 후 총 12명이 4주간 훈련 후 사후 검사를 실시하였다(Figure 1).

중재 방법

로봇 보행 훈련

하지 제한 로봇 보행 훈련과 일반적 로봇 보행 훈련을 위해 로봇보행장치(Lokomat®Nanos model, Hocoma AG, Switzerland)를 사용하였다(Figure 2). Lokomat®은 로봇 보조 보행과 체중 지원시스템, 트레드밀(Woodway GmbH, Weil am Rhein, Germany)로 구성되어 있으며, 미리 프로그램된 생리학적 보행 패턴을 적용한다. 하네스를 이용하여 환자의 체중을 지지한 상태에서 엉덩관절, 무릎관절, 발목관절 순으로 정해진 순서에 따라 Lokomat®과 결합하며, 엉덩관절, 무릎관절의 상호적인 힘의 정도는 설정 프로그램으로 설정한다. 유도 우력(guidance force)은 0%에서 100%까지 조절할 수 있으며, 트레드밀 속도는 0~3 km/h까지 조절할 수 있다[19].

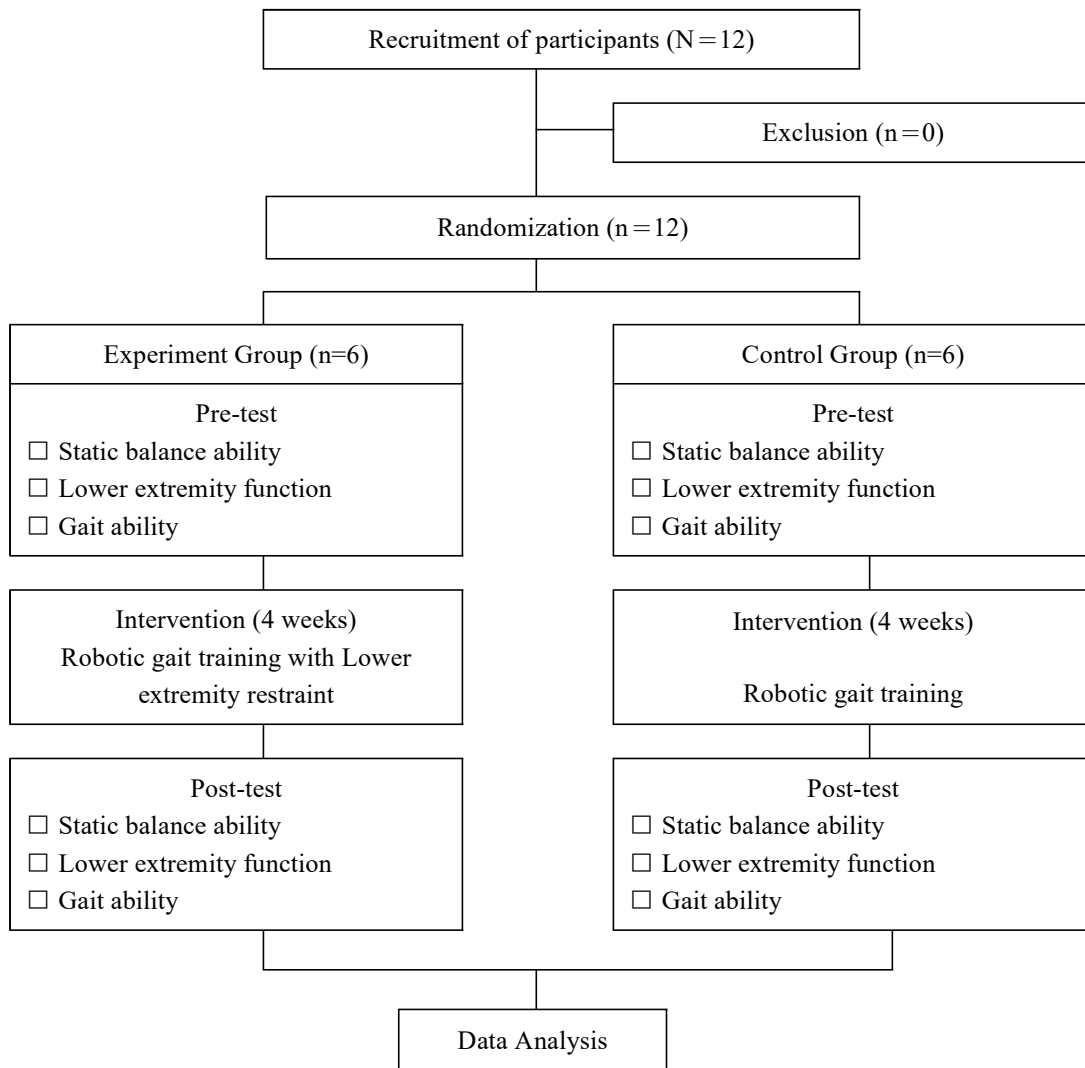


Figure 1. Flow chart



Figure 2. Robot assisted gait training using the Lokomat®

하지 제한 로봇 보행 훈련

하지 제한 로봇 보행 훈련군에 적용한 하지 제한의 동작범위는 Lokomat®의 안전 시스템을 작동시키지 않고, 최대 운동학적 비대칭을 유도하도록 설정하였다. 최대 운동학적 비대칭 방법으로는 비 마비 측 하지의 엉덩관절 및 무릎관절 굽힘, 폼에 대한 최소한의 움직임을 설정하고, 마비 측 하지의 엉덩관절 및 무릎관절 굽힘, 폼에 대한 최대한의 움직임을 설정하였다. 모든 실험군은 20분 중재 동안 체중 지원 30~40%, 유도 우력 100%, 보행속도 1.5 km/h로 동일하게 적용하였다[17].

일반적 보행 훈련

일반적 로봇 보행 훈련군에 적용한 중재 방법은 선행연구에서 제시된 Lokomat®에 기본적으로 설정된 운동학적

대칭 패턴을 기반으로 일반적 로봇 보행 훈련을 적용하였으며, Lokomat®에 기본적으로 설정된 생리학적 동작범위는 엉덩관절 45°, 무릎관절 60°로 설정하였다. 모든 대조군은 20분 중재 동안 체중 지원 30~40%, 유도 우력 100%, 보행속도 1.5 km/h로 동일하게 적용하였다[17].

평가 방법 및 측정 도구

정적 균형

Nintendo사에서 개발한 위(Wii) 균형판(Wii Balance Board, Nintendo, Japan)는 가정용 체중계 모양 게임기로 사각형 판의 각 모서리 4개의 압력 센서를 이용해 체중분포와 압력 중심(Center of pressure: COP)를 측정할 수 있다. 대상자들은 30 cm × 45 cm 크기의 위(Wii) 균형판 위에 두 발을 맞춰 올라선 후 4개의 모서리의 내부 압력센서를 통해 압력 중심 정보가 측정되며 블루투스에 연결된 컴퓨터로 X, Y축에 대한 체중분포, 이동 거리 및 속도 등의 결과 정보가 나타난다. 본 연구에서는 이동 거리(mm)와 총 평균속도(m/s)를 사용하며, 측정방법으로는 편안하게 서 있는 자세를 유지하도록 하며 시선의 변화에 따라 발생하는 자세 동요를 제한하기 위해 전방에 있는 원점을 주시하도록 하고 안정된 자세가 되면 1회당 30초씩, 총 3회 측정하고 평균값을 사용한다[20]. 측정자 내 신뢰도는 ICC = 0.92~0.98로 높게 나타났다[21]. 발란시아 프로그램(Balanacia software ver.2.0, Mintosys, Korea)을 통해 COP 이동 거리 및 속도를 측정하여 모든 자료는 100Hz로 샘플링 하여 추출하였다. 검사 재검사의 측정자 내 신뢰도는 ICC = 0.79~0.96로 높은 신뢰도를 보인다[22].

하지 기능

Fugl Meyer Assessment Lower Extremity(FMA-LE)는 뇌졸중 환자의 주동근과 협력근, 협응, 하지 운동 기능 장애와 반사를 평가하는데 사용되고 있다. FMA-LE는 총 34점 만점으로 17개 항목으로 구성되어 있으며, 각 항목당 0~2점이다. ≤ 17점은 중증장애, 18~22점은 현저한 장애, 23~28점은 중등도 장애, 29~33점은 경미한 장애, 34점은 정상으로 분류된다[23]. 측정자간 신뢰도는 ICC = 0.83~0.95로 높은 신뢰도를 보인다[24].

보행 능력

1. 2D다트피쉬 프로그램

보행 분석은 다트피쉬 프로그램(Dartfish Pro Suite 5.5, Dartfish express, Swiss)을 사용하여 대상자의 보행

주기를 동영상으로 촬영하여 훈련 전(pre)과 훈련 후(post)에 분속 수(step/min)와 마비 측 다리의 움직임 중 가장 대칭적인 보행 주기를 선정하여 보폭(m)을 측정하였다. 동영상 촬영은 핸드폰 거치대에 스마트 장치(Apple I phone 12mini, Apple, USA)를 거치하여 3 m 거리에서 속도 60 FPS로 대상자의 10 m 보행을 시상면에서 촬영하였으며, 태블릿PC(I pad pro 2, Apple, USA)와 다트피쉬 프로그램을 이용하여 촬영된 동영상을 분석하였다. 다트피쉬의 신뢰도는 0.81로 보이며[25], 3차원 동작 분석과 비교하였을 때 최대 6% 정도의 오차가 있다고 보고되었다[26].

2. 10 m 걷기 검사(10Meter Walking Test; 10 MWT)

10 m 걷기 검사는 뇌졸중 환자가 보행을 하는 동안 걷기 능력 평가하기 위해 사용되며, 측정방법은 보조도구 또는 치료사의 도움, 감독하에 편안한 속도로 걷게 하고 총 14 m 중 처음 2 m와 마지막 2 m는 가속, 감소를 고려하여 4 m는 측정에서 제외하였다. 소요된 시간 측정은 핸드폰 스톱워치를 이용하였으며, 1회 연습 과정을 거친 후 근육의 피로를 방지하기 위해 1분 동안 휴식 후 3회 반복 측정하여 평균값을 사용하였다[27]. 검사자 간 신뢰도는 ICC = 0.87, 측정자 내 신뢰도 ICC = 0.89~1.00로 매우 높은 수준이다[28].

자료 분석

본 연구를 통해 수집된 자료는 IBM SPSS(SPSS ver. 25.0, IBM Co., USA)를 사용하여 통계분석을 실시하였다. 대상자의 일반적 특성은 기술 통계를 이용하여 평균과 표준편차를 계산하였다. 그룹 내 전후 비교를 위하여 비모수 검정인 윌콕스 부호-순위 검정(Wilcoxon signed-rank test)와 그룹 간의 차이를 비교하기 위하여 비모수 검정인 맨-휘트니 U 검정(Mann-Whitney U test)을 사용하였다. 모든 통계분석에서 유의수준(α)은 0.05로 하였다.

연구 결과

본 연구에 참여한 대상자들의 일반적인 특성은 다음과 같다(Table 1).

정적 균형 능력 변화에 대한 COP 동요거리의 그룹 내 전-후 비교에서는 실험군과 대조군 모두 유의한 차이가 나타났다($p < 0.05$), 그룹 간 전-후 비교에서는 실험군이 대조군에 비해 유의한 차이가 나타났다($p < 0.05$). 그룹 간 변화량의 비교에서는 실험군이 대조군에 비해 유의한 차이를 확인할 수 있었다($p < 0.01$). COP 동요속도에 대한 그룹 내 전-후 비교에서는 실험군과 대조군 모두 유의한

Table 1. The General Characteristics of subjects

(n = 12)

Variables	Experimental group (n=6)	Control group (n=6)	p
Sex (M/F)	4/2	5/1	0.523
Hemi-side (Lt./Rt.)	4/2	5/1	0.523
Age (years)	60.33 (15.59)	58.67 (11.78)	0.872
Height (cm)	165.50 (8.31)	165.17 (3.06)	0.808
Weight (kg)	68.83 (18.33)	61.51 (7.92)	0.470
Onset Duration (days)	107.33 (40.38)	112.17 (33.61)	0.631
MMSE-K (scores)	25.67 (1.63)	26.00 (1.67)	0.742
FAC (scores)	1.17 (0.40)	1.00 (0.00)	0.317

Values are expressed as Mean (SD)

MMSE-K: Mini-mental state examination-Korea, FAC: Functional ambulation category

차이가 나타났으며($p < 0.05$), 그룹 간 변화량의 비교에서는 실험군이 대조군에 비해 COP 동요속도에서 유의한 차이를 확인할 수 있었다($p < 0.01$). 하지기능에 대한 그룹 내 전-후 비교에서는 실험군과 대조군 모두 유의한 차이가 나타났으며($p < 0.05$), 그룹 간 변화량의 비교에서는 실험군이 대조군에 비해 하지기능의 유의한 차이를 확인할 수 있었다($p < 0.01$)(Table 2).

보행능력의 분속 수에 대한 그룹 내 전-후 비교에서는

실험군에서만 유의한 차이를 확인할 수 있었다($p < 0.05$). 10 MWT의 변화에 대한 그룹 내 전-후 비교에서는 실험군과 대조군 모두 유의한 차이가 나타났으며($p < 0.05$), 그룹 간 전-후 변화량의 비교에서는 실험군이 대조군에 비해 10 MWT의 유의한 차이가 나타났다($p < 0.01$). 그룹 간 변화량의 비교에서는 실험군이 대조군에 비해 10 MWT에서 유의한 차이를 확인할 수 있었다($p < 0.01$)(Table 3).

Table 2. Comparison of Staticbalance,LowerExtremityFunctionwithin the group and between group

(n = 12)

Variables	Experimental group (n=6)	Control group (n=6)	Z
COP path-length (cm)			
Pre	117.05 (14.17)	114.90 (19.55)	-0.320
Post	80.05 (11.33)	96.78 (12.00)	-2.166*
Z	-2.207*	-2.201*	
Change	-37.00 (6.77)	-18.12 (9.79)	-2.887**
COP Velocity (cm/s)			
Pre	4.57 (0.73)	4.29 (0.59)	-1.121
Post	2.88 (0.69)	3.58 (0.47)	-1.761
Z	-2.201*	-2.201*	
Change	-1.70 (0.42)	-0.71 (0.39)	-2.882**
FMA-LE (score)			
Pre	20.67 (2.66)	20.17 (4.36)	-0.080
Post	27.67 (1.97)	24.00 (4.56)	-1.636
Z	-2.214*	-2.232*	
Change	7.00 (1.67)	3.83 (0.75)	-2.842**

Values are expressed as Mean (SD), * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$,

COP: center of pressure, FMA-LE: Fugl-Meyer assessment lower extremity

Table 3. Comparison of Gait parameters within the group and between group (n = 12)

Variables	Experiment group (n=6)	Control group (n=6)	Z	Effect Size
Cadence (step/min)				
Pre	20.17 (2.48)	20.67 (3.93)	-0.081	
Post	26.50 (4.41)	24.00 (3.16)	-1.129	
Z	-2.214*	-1.897		
Change	6.33 (4.41)	3.33 (3.98)	-1.457	0.751
Steplength (cm)				
Pre	48.50 (8.12)	49.33 (5.61)	-1.121	
Post	56.83 (14.78)	57.00 (8.08)	-1.761	
Z	-1.363	-1.782		
Change	8.33 (14.73)	7.67 (7.81)	-0.321	0.058
10MWT (sec)				
Pre	86.73 (5.83)	84.40 (6.44)	-1.288	
Post	54.57 (8.20)	72.78 (5.67)	-2.882**	
Z	-2.201*	-2.201*		
Change	-38.83 (12.91)	-14.95 (6.63)	-2.722**	2.444

Values are expressed as Mean (SD), * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, 10MWT: 10 meter walking test

논의

본 연구는 하지 제한 로봇 보행 훈련을 발병 6개월 미만의 아급성기 뇌졸중 환자에게 적용해 대상자들의 정적 균형, 하지 기능, 보행 능력에 어떠한 효과를 미치는지 알아보고자 연구를 하였다. 본 연구에서 비 대칭적인 보행 훈련을 적용하기 위해 Lokomat®을 사용하였으며, 비 마비 측에 최소한의 움직임, 마비 측에는 최대한의 움직임을 적용하여 마비 측의 반복적인 훈련을 유도하였다. 본 연구의 결과 정적 균형, 하지 기능, 보행 능력의 10 MWT에서 일반적 로봇 보행을 적용한 군보다 그룹간 변화량에서 유의한 개선을 확인할 수 있었다. 뇌졸중 재활에서 강제유도운동치료는 기능과제의 반복적인 실천을 통해 뇌졸중 환자의 기능을 촉진하는 효과적인 방법이며 [13], 뇌졸중 환자의 신경 가소성 증대를 위해서는 많은 수의 같은 동작을 반복적으로 수행하는 것이 중요하다고 하였다[29]. 로봇 보행 훈련은 컴퓨터 시스템을 대상자의 특성에 맞게 엉덩관절, 무릎관절, 발목관절의 가동범위 조절과 보폭을 설정하여 동일한 보행치료환경을 반복적으로 훈련을 하여 정확한 자극을 제공할 수 있다[8].

선행 연구에서 아급성기 뇌졸중 환자를 대상으로 기립경사대 로봇 훈련을 적용하였을 때 훈련 전 실험군의 정적 균형 COP 동요거리 평균 값은 126.12 cm, 동요속도

의 평균 값은 4.22 cm/s에서 훈련 후 84.24 cm, 2.81 cm/s로 유의한 감소를 확인할 수 있었으며, 그룹간 변화량을 비교하였을 때 실험군의 평균 값은 -42.88 cm, -1.41 cm/s이었으며, 대조군의 평균 값은 -28.05 cm, -0.93 cm/s로 실험군과 대조군을 비교하였을 때 실험군에서 유의한 차이를 보여주었다[20]. 본 연구에서 하지 제한 로봇 훈련을 적용하였을 때 훈련 전 실험군의 정적 균형의 COP 동요거리 평균 값은 107.05 cm, 동요속도의 평균 값은 4.57 cm/s에서 훈련 후 80.05 cm, 2.88 cm/s로 유의한 감소를 확인할 수 있었으며, 그룹간 변화량을 비교하였을 때 실험군의 평균 값은 -37.00 cm, -1.70 cm/s, 대조군의 평균 값은 -18.12 cm, -0.71 cm/s 실험군과 대조군을 비교하였을 때 실험군에서 유의한 차이를 보여주었다. 균형은 기저면 위에서 두발로 중력 중심을 유지하며 무게 중심과 자세를 유지하기 위해 지속 적으로 자세 조절을 하는 적응과정을 의미한다[30]. 이는 로봇을 이용한 훈련은 아급성기 뇌졸중 환자의 보행 능력에 따라 기능을 설정할 수 있고, 마비 측에 반복적으로 동일한 자극을 제공한 결과 정적균형 능력에 긍정적인 효과를 미쳤을 것으로 사료된다.

로봇 보행 훈련 후 아급성기 뇌졸중 환자의 시공간 보행 매개변수가 개선되지 않았으며[31], 뇌졸중 환자의 마비측 발목의 중량에 의한 제한은 어떠한 변화도 확인하지

못하였다[15]. 이와 대조적으로 하지 제한 보행 훈련을 만성 뇌졸중 환자에게 적용하였을 때 분속 수와 보폭 모두에서 유의한 차이를 보여주었으며[21], 본 연구에서 하지 제한 보행 훈련을 적용하였을 때 아급성기 뇌졸중 환자의 분속 수에서 유의한 차이를 확인할 수 있었으며, 10 MWT 에서도 유의한 차이를 확인할 수 있었다. 고식적인 재활 치료와 일반적 로봇 보행 훈련의 10 MWT를 비교하였을 때 훈련 후 각 평균 값은 30.1초, 34.9초로 유의한 차이를 발견하지 못하였으며, 일반적 로봇 보행 훈련이 고식적인 재활 치료와 큰 차이가 없다고 하였다[29]. 하지만, 본 연구에서 하지 제한 로봇 보행훈련을 적용한 결과 훈련 전 실험 군의 10 MWT 평균 값은 86.73초에서 훈련 후 54.57초로 유의한 감소를 확인할 수 있었으며, 그룹간 변화량을 비교하였을 때 실험군의 평균 값은 -38.83초, 대조군의 평균값은 -14.95초로 대조군과 비교하였을 때 실험군에서 유의한 개선을 보여주었다. 보행 속도가 증가한 것은 마비 측 하지의 움직임이 로봇에 의해 유도 되었으며, 비 마비 측 하지에 최소한의 움직임을 제공하는 것은 보행의 개선에 유용한 재활 기술이 될 수 있다고 하였다[17]. 이는 마비 측 하지의 반복적인 훈련에 대한 효과로 인해 분속 수와 10 MWT의 유의한 개선되었으며, 일반적 로봇 보행을 적용하는 방법 보다 보행 능력을 개선시키는데 효과적인 방법인 것으로 사료된다.

본 연구에서 실시한 하지 제한 로봇 보행 훈련이 아급성기 뇌졸중 환자의 정적 균형, 하지 기능, 보행 능력의 분속 수, 10 MWT에서 일반적 보행 훈련 보다 효과적이라는 것을 확인할 수 있었다. 향후 아급성기 뇌졸중 환자의 기능 수준에 맞춰 일정한 반복적인 훈련을 제공할 수 있고 치료사의 육체적인 부담을 감소하여 뇌졸중 환자의 재활 참여도와 기능 회복을 위한 기존 재활 치료의 단점을 보완할 수 있는 로봇을 이용한 다양한 재활치료에 대한 연구가 지속적으로 이루어져야 할 것이다.

본 연구의 제한점은 다음과 같다. 첫째, 연구 대상자의 수가 적고 선정 기준에 적합한 아급성기 뇌졸중 환자 대상자 모집에 어려움이 있어, 뇌졸중 환자에게 일반화하기 어렵다. 둘째, 4주간의 짧은 실험기간의 중재 적용으로 장기 효과의 규명하기 어려우며, 추적 관찰, 재평가를 하지 않았기 때문에 명확한 효과에 대한 판단이 어렵다. 이러한 제한점을 보완하여 장기간 중재를 적용하고 추적관찰을 통한 더욱 발전된 연구가 이루어져야 할 것이다.

이해 충돌

본 연구의 저자들은 연구, 저작권, 및 출판과 관련하여 잠재적인 이해충돌이 없음을 선언합니다.

참고 문헌

1. Choi S, Lee BH. The correlations between fall experience, balance, mobility and confidence in persons with stroke. *Phys Ther Rehabil Sci* 2020; 9:178-83.
2. Midha D, Arumugam N. Targeting motor and cognitive networks with multichannel transcranial direct current stimulation along with peripheral stimulation in a subacute stroke survivor. *Phys Ther Rehabil Sci* 2020;9:318-23.
3. Bang DH, Shin WS. Effects of robot-assisted gait training on spatiotemporal gait parameters and balance in patients with chronic stroke. *Neuro Rehabilitation* 2016;38:343-49.
4. Lim CG. Effects of trunk control robot training on balance and gait abilities in persons with chronic stroke. *Phys Ther Rehabil Sci* 2020;9:105-12.
5. Miller EW, Quinn ME, Seddon PG. Body weight support treadmill and overground ambulation training for two patients with chronic disability secondary to stroke. *Phys Ther* 2002;82:53-61.
6. Bogey R, Hornby TG. Gait training strategies utilized in poststroke rehabilitation: Are we really making a difference. *Top Stroke Rehabil* 2007;14:1-8.
7. Kim MK, Chung SH, Kim SS. The influence of dual task oriented robot assisted gait training on balance and gait ability in chronic stroke patients. *J Korean Acad Ther* 2016;8:7-20.
8. Lin J, Hu G, Ran J, Chen L, Zhang X, Zhang Y. Effects of bodyweight support and guidance force on muscle activation during Lokomat walking in people with stroke: A cross-sectional study. *J Neuroeng Rehabil* 2020;17:1-9.
9. Westlake KP, Patten C. Pilot study of Lokomat versus manual-assisted treadmill training for locomotor recovery post-stroke. *J Neuroeng Rehabil* 2009;6:1-11.
10. Riener R, Lünenburger L, Maier IC, Colombo G, Dietz V. Locomotor training in subjects with sensori-motor deficits: An overview of the robotic gait orthosis Lokomat. *J Healthc Eng* 2010;1:197-216.
11. Han EY, Im SH, Kim BR, Seo MJ, Kim MO. Robot-assisted gait training improves brachial ankle pulse wave velocity and peak aerobic capacity in subacute stroke patients with totally dependent ambulation: Randomized controlled trial. *Medicine*

- 2016;95:41.
12. Mehrholz J, Pohl M, Kugler J, Elsner B. Electromechanical-Assisted Training for Walking after Stroke: Update of the Evidence. *Stroke* 2021; 52:153-54.
 13. Bang DH, Shin WS, Choi HS. Effects of modified constraint-induced movement therapy with trunk restraint in early stroke patients: A single-blinded, randomized, controlled, pilot trial. *Neuro Rehabilitation* 2018;42:29-35.
 14. Regnaux JP, Pradon D, Roche N, Robertson J, Bussel B, Dobkin B. Effects of loading the unaffected limb for one session of locomotor training on laboratory measures of gait in stroke. *Clin Biomech* 2008;23:762-68.
 15. Bonnyaud C, Pradon D, Zory R, Bussel B, Bensmail D, Vuillerme N, et al. Effects of a gait training session combined with a mass on the non-paretic lower limb on locomotion of hemiparetic patients: A randomized controlled clinical trial. *Gait Posture* 2013;37:627-30.
 16. Marklund I, Kläsbo M. Effects of lower limb intensive mass practice in poststroke patients: Single-subject experimental design with long-term follow-up. *Chlin Rehabil* 2006;2:568-76.
 17. Bonnyaud C, Zory R, Boudarham J, Pradon D, Bensmail D, Roche N. Effect of a robotic restraint gait training versus robotic conventional gait training on gait parameters in stroke patients. *Exp Brain Res* 2014;232:31-42.
 18. Park JH, Kwon YC. Standardization of Kprean Version of the Mini-Mental State Examination (MMSE-K) for Use in the Elderly. Part II. Diagnostic Validity. *J Korean Neuropsychiatr Assoc*. 1989;28:508-13.
 19. Husemann B, Müller F, Krewer C, Heller S, Koenig E. Effects of locomotion training with assistance of a robot-driven gait orthosis in hemiparetic patients after stroke: A randomized controlled pilot study. *Stroke* 2007;38:349-54.
 20. Kwon SC, Shin WS. Comparison of Robotic Tilt-table Training and Body Weight Support Treadmill Training on Lower Extremity Strength, Balance, Gait, and Satisfaction with Rehabilitation, in Patients with Subacute Stroke. *J Korean Soc Phys Med* 2020;15:163-74.
 21. Holmes JD, Jenkins ME, Johnson AM, Hunt MA, Clark R. Validity of the Nintendo Wii® balance board for the assessment of standing balance in Parkinson's disease. *Chlin Rehabil* 2013;27:316-66.
 22. Park DS, Lee DY, Choi SJ, Shin WS. Reliability and Validity of the Balancia using Wii Balance Board for Assessment of Balance with Stroke Patients. *J Korea Acad Coop Soc* 2013;14:2767-72.
 23. Balasubramanian CK, Li CY, Bowden MG, Duncan PW, Kautz SA, Velozo CA. Dimensionality and Item-Difficulty Hierarchy of the Lower Extremity Fugl-Meyer Assessment in Individuals With Subacute and Chronic Stroke. *Arch Phys Med Rehabil* 2016;97:582-89.
 24. Duncan PW, Propst M, Nelson SG. Reliability of the Fugl-Meyer assessment of sensorimotor recovery following cerebrovascular accident. *Phys Ther* 1983;63:1606-10.
 25. Borel S, Schneider P, Newman CJ. Video analysis software increases the interrater reliability of video gait assessments in Children with cerebral palsy. *Gait Posture* 2011;33:727-29.
 26. Eltoukhy M, Asfour S, Thompson C, Latta L. Evaluation of the Performance of Digital Video Analysis of Human Motion: Dartfish Tracking System. *IJSER*. 2012;3:1-6.
 27. Kim DY, Choi JD, Ki Kl. A Reliability Study of Sit-to-walk for Dynamic Balance Assessment in Stroke Patient. *J Korean Soc Phys Ther* 2013; 25:303-10.
 28. Steffen TM, Hacker TA, Mollinger L. Age-and gender-related test performance in community-dwelling elderly people: Six-Minute Walk Test, Berg Balance Scale, Timed Up & Go Test, and gait speeds. *Phys Ther* 2002;82:128-37.
 29. Kim JH. Effects of Robot-assisted Therapy on Lower Limb in Patients with Subacute Stroke. *J Korea Acad Coop* 2016;17:459-566.
 30. Park JH, Lee DY, Kim JS, Hong HJ. Effects of Robot-Assisted Training on Balance and Foot Pressure in Stroke Patients. *Neurotherapy* 2020;24:1-7.
 31. Hidler J, Nichols D, Pelliccio M, Brady K, Campbell DD, Kahn JH, et al. Multicenter randomized clinical trial evaluating the effectiveness of the Lokomat in subacute stroke. *Neurorehabil Neural Repair* 2009;23:5-13.