

장기간의 로봇 보조 스텝훈련이 만성 뇌졸중 환자의 하지 근력과 보행속도에 미치는 영향: 예비 연구

오세정 · 차용준¹ · 황중석^{2†}

대전대학교 대학원 물리치료학과, ¹대전대학교 보건의료과학대학 물리치료학과,
²영남대학교 생활과학연구소

Long-term Effect of Robot-assisted Step Training on the Strength of the Lower Extremity and Gait Speed in a Chronic Stroke Patient: A Preliminary Study

Se-Jung Oh, PT, MS · Yong-Jun Cha, PT, PhD¹ · Jongseok Hwang, PT, PhD^{2†}

Department of Physical Therapy, Graduate School, Daejeon University

¹Department of Physical Therapy, College of Health and Medical Science, Daejeon University

²Institute of Human Ecology, Yeungnam University

Received: October 11 2022 / Revised: October 11 2022 / Accepted: October 22 2022

© 2022 J Korean Soc Phys Med

| Abstract |

PURPOSE: The present research examined the effects of progressive robot-assisted step training on the strength of the lower extremity and gait speed of an individual with stroke through changes between the baseline and the intervention stage (1, 3, 6, 9, and 12 months).

METHODS: A single-subject (A-B) design was performed for a chronic stroke patient aged 70 years old. The robot-assisted step training was conducted three times a week during 12 months (40 minutes/session), and the assessment was conducted a total of seven times between the

baseline and the intervention (No. 1, 3, 6, 9, and 12 months) to determine the effect of the intervention.

RESULTS: As a result of the intervention, the muscle strength at the lower extremity of the paralysis side increased by the greatest extent 12 months after the intervention compared to the baseline, and the gait speed via the 10-meter walk test was increased as well.

CONCLUSION: Long-term robot-assisted step training might be an effective intervention for improving the strength of the paretic lower extremity muscles and gait speed in stroke patients with difficulty walking independently. Further studies with sufficient sample sizes and a randomized control group will be needed to evaluate the long-term effects of robotic stepping rehabilitation.

†Corresponding Author : Jongseok Hwang

sfcscf44@naver.com, <http://orcid.org/0000-0003-3376-5619>

This is an Open Access article distributed 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.

Key Words: Gait speed, Robot-assisted step training, Strength, Stroke

I. 서론

뇌졸중은 뇌에 혈액을 공급하는 혈관에 이상이 생겨 혈류흐름 장애로 인한 국소적 뇌 조직의 대사장애로 뇌손상을 일으키는 질병이다[1]. 뇌졸중 환자는 대뇌와 소뇌의 운동 감각 피질 피라미드로의 손상으로 근력 저하를 일으키고 운동조절능력과 협응능력의 저하로 보행 능력을 감소시켜 독립적인 보행과 보행속도를 감소시키고 이는 일상 생활동작 능력을 감소시켜 삶의 질 저하까지 일으키게 된다[2].

이러한 근력과 보행속도를 회복하기 위해 기존에 널리 신경발달치료와 고유감각신경근육촉진법이 널리 사용되어왔다[3,4]. 신경발달치료와 고유감각신경근육촉진법은 주로 치료사의 손을 이용하여 환자를 치료하는 방식으로 환자에게 피부와 근육 및 관절에 다양한 감각자극을 주며 움직임 가이드를 주거나 움직임에 도움 주어 환자로 하여금 적절한 체중 부하 상태에서 이상적인 움직임을 경험하여 운동 학습과, 운동 발달이 이루어질 수 있도록 하는 기법이다[3,4]. 하지만 이러한 치료 방법은 치료사의 요추부와 무릎, 발목 및 손목에 많은 스트레스를 준다. 이러한 전통적인 치료는 노동집약적으로 치료사에게 육체적인 스트레스를 주고 환자에게도 낙상으로 인한 골반뼈와 넓다리뼈의 골절의 위험성을 높인다. 뇌 가소성이 일어나기 위한 운동의 충분한 횟수의 반복을 주기가 어렵다[5]. Lang 등[6]은 고식적 운동치료에서는 한 회당 292회 보행주기를 훈련을 하는 것으로 보고 하였다. 이와 달리 로봇 보행 훈련에서는 1800회 이상의 보행주기를 훈련하는 것이 가능하다고 보고 되었다[7,8].

상기 문제를 해결하기 위하여 로봇 보조 스텝훈련(Robot-assisted step training) 기기와 로봇 보조 보행훈련(Robot-assisted gait training) 기기가 개발되었다. 로봇 보조 보행 기기(Robot-assisted gait training)는 주로 부분적 체중부하가 없거나 있는 트레드밀을 사용한 전기기계식 장치로 신경계손상 환자들에게 보행보조 장비로 사용되어왔다[9-11]. 로봇 보조 훈련은 관절 및 근육간의 상호작용 및 과제-지향적 접근으로 반복적 고강도 수준의 훈련이 가능한 방법이며[12], 뇌졸중 이후 근육

의 약화 및 마비, 협응 등의 문제로 인한 균형 및 보행능력 저하를 위해 최대한 빠른 로봇 보조 훈련은 보행에 긍정적인 효과가 있었음이 보여주었다[13,14]. 최근 고찰연구에서 뇌졸중 환자들에게 전기기계식 보행보조 장치를 이용한 훈련과 함께 전통적인 운동치료는 전통적인 운동치료만 실시한 집단에 비해 보행 및 균형에 도움이 될 수 있음이 보고되었고[15], 뇌졸중 환자들의 독립적인 보행을 성취하는데 확률적으로 도움을 주었지만 보행속도 및 보행 거리와 관련된 변수들의 향상에는 근거가 부족함이 보고되었다[16]. 게다가, 로봇 보조 보행훈련의 장치는 부피가 매우 크고 가격이 고가이며, 유지비도 있는 등 환자들이 개인적으로 소유하기도 어려운 비용의 문제로 대중성의 문제가 보고되어 왔다[17].

반면, 로봇 보조 스텝훈련(Robot-assisted step training)은 로봇 보조 보행 훈련기기보다 부피도 작고, 가격이 훨씬 저렴하며 대중적이며, 다음과 같은 이점이 있다. 로봇 보조 스텝훈련은 이른 수직화의 효과와 보행과 같은 움직임을 통해 뇌졸중 환자들에게 안전하고 효과적인 도구로 알려졌다[18]. 최근엔 주로 심각한 외상성 뇌손상환자들에게 중환자실에서 로봇 보조 스텝훈련이 혈압 및 심혈관계와 의식수준의 개선에 효과적임을 보여주었다[2,19]. 재활에서 뇌졸중 환자의 중력에 대하여 다리의 순환효과는 고유수용성 감각 입력 촉진과 근위축의 방지에 큰 도움이 되며[20], 다리기능 회복에 도움이 될 수 있다. 따라서 재활에서 경사침대 등을 이용한 이른 체중부하운동은 심혈관계 능력의 향상을 유도하여 기립성 저혈압의 방지 또는 감소에 효과적이며[21,22], 골격 및 관절의 부하능력의 증가와 신체 이미지 회복에 기여한다 보고되었다. 또한 이른 체중부하운동으로 균형 또는 보행을 위한 근육의 운동감각의 경험과 근긴장도 회복에 도움을 줄 수 있다 보고되었다[23]. 하지만, 이러한 장점에도 초기 뇌졸중 환자의 단기 연구가 주를 이루고[2,18,24-26], 아직까지 기능수준이 낮은 독립적인 보행이 어려운 대상자에게 뇌졸중 재활로 로봇 보조 스텝훈련의 장기간 효과를 확인한 연구는 아직까지 미흡하다.

그리하여 본 연구는 독립적으로 보행이 어려운 뇌졸중 환자를 대상으로 장기간의 로봇 보조 스텝훈련

이 하지의 근력과 보행속도에 미치는 효과를 확인하고자 한다.

II. 연구방법

1. 연구대상

본 연구의 대상자는 2020년 1월에 좌뇌의 바다핵 뇌내출혈로 뇌졸중이 발병하였다. 대전광역시 소재한 재활병원에서 로봇 보조 스텝훈련을 시작한 시점인 2021년 6월경에는 뇌졸중이 발병된지 15개월이 경과한 만성 뇌졸중 환자였다(Table 1). 연구 대상자는 한국판 간이정신상태 검사(Mini Mental State Examination-Korean version, MMSE-K) 결과 24점으로 인지능력 저하는 없었다. 한글판 수정바텔지수(Korean version of modified Barthel index, K-MBI)는 49점으로 일상생활활동은 보호자에게 중증 의존도(severe dependency) 상태였다. 입원 당시 독립적인 보행은 불가능하였고, 치료사의 감독하(supervision)에 발목의 안정성을 위해 발목보조기를 착용한 상태에서 네발 지팡이로 보행이 가능했다. 하지의 경직정도는 수정된 애쉬워스 척도(modified Ashworth scale; MAS)의 1도로 관절가동범위의 끝 부분에서 약간의 저항이 느껴지는 상태였다. 약간의 구음장애(dysarthria)가 있지만, 의사소통에는 지장이 없었다. 대상자에게 헬싱키 선언에 따라 본 연구의 목적과 방법에 대해 충분히 설명하였으며, 대상자는 자발적으로 참여하기로 서면에 동의하였다.

Table 1. General characteristics of a subject

	Participant
Age (years)	70
Gender	Male
Height (cm) / Weight (kg)	165 / 70
Onset (months ago)	15
Hemiparetic side	Right
MMSE-K (scores)	24
K-MBI (scores)	49

MMSE-K: Mini-Mental State Examination-Korean version

K-MBI: Korean version of the modified Barthel index.

2. 실험 절차

본 연구는 독립적으로 보행이 어려운 뇌졸중 환자에게 로봇 보조 훈련을 적용하여 효과를 알아보기 위해 단일 사례설계(single-subject design)에서 A-B 실험설계 방법을 사용하였다. 실험 절차는 기초선(2번)과 중재기간(1, 3, 6, 9, 12개월)동안 총 7번을 평가하였고, 로봇 보조 스텝훈련은 일주일에 3회 씩, 40분 간 12개월간 실시하였다. 대상자는 로봇 보조 병원에서 실시하는 매트 및 기능적 운동으로 구성된 중추신경계 발달치료로 구성된 기본물리치료를 매일 30분과 작업치료 30분을 실시하였다.

3. 평가도구와 측정 방법

1) 하지 근력

연구 대상자의 마비측 하지의 엉덩관절 펌, 엉덩관절 벌림, 무릎관절 펌, 무릎관절 굽힘, 발등굽힘 근력 측정을 하였다. 근력을 측정하기 위해 휴대용 전자식 근력측정기(Hand-held dynamometer; MicroFET2, Hoggan Health Industry, Salt Lake, USA)을 사용하였다. 휴대용 전자식 근력측정기에서 사용한 변수는 최고 힘(peak force)으로 단위는 뉴턴(N)으로 측정하였다. 최대 등척성 수축(maximal isometric voluntary contraction) 상태에서 5초간 측정하였고, 측정 간 휴식시간은 30초, 총 3 번 실시하여 평균으로 결과 값으로 정하였다. 각 근육의 측정 방법은 Kendall 등이 제시한 근력검사방법으로 실시하였고, 대상자의 근력이 부족하여 측정할 수 없는 경우는 중력을 제거한 자세에서 실시하였다[27]. 엉덩관절 펌 근력측정은 대상자가 엎드려 다리를 펴기 어려워 옆으로 누워 몸통은 고정을 하고 무릎관절을 굽히고 뒤쪽의 무릎관절 6 cm 위에 근력측정기를 위치시켜 펌 근력을 측정하였고, 엉덩관절 벌림(hip abduction) 근력측정은 옆으로 누워 측정하기엔 근력이 부족하여 바로 누운 자세에서 몸통과 반대다리를 고정시키고 근력측정기를 무릎관절 6 cm 위쪽의 넓적다리 측면에 위치시키고 벌림 근력을 측정하였다. 무릎관절 펌 근력측정은 앉은 자세에서 발목관절 6 cm 위에서 측정기를 위치시켜 완전 펌에서 30도 굽혀 측정하였고[28], 무릎관절 굽힘 근력측정은 옆으로 누운자세에서

몸통과 넓적다리를 고정시키고 발목관절 6 cm 위에서 측정기를 위치시켜 측정하였다. 발등굽힘(dorsiflexion)의 근력 측정은 앉은 자세에서 발등에 발허리뼈머리(metatarsal heads)에 측정기를 위치시켜 근력을 측정하였다[29].

2) 보행속도

보행속도는 10미터 보행검사(10 m walk test, 10MWT)로 측정하였다. 10MWT는 평평한 직선 14미터의 거리를 네발 지팡이를 사용하여 걸으며, 가속기 처음 2미터와 감속기 마지막 2미터를 제외하고 중간 10미터에서의 보행시간을 초시계를 이용하여 측정하였다. 총 3회 반복 측정하여 평균 값을 구하였다. 10MWT의 뇌졸중 환자에 대한 신뢰도와 타당도는 높은 것으로 보고되어 있다[30,31]. 10MWT 측정 시 대상자의 안전사고 예방을 위하여 측정자는 항상 대상자 옆에 있었다.

4. 중재방법

본 연구는 로봇 보조 스텝훈련을 실시하기 위해 경사침대를 포함한 로봇 스텝 기전의 훈련도구인 Erigo(Hocoma AG, Volketswil, Switzerland) 장치를 사용하였다(Fig. 1). 본 운동 장비는 신경계손상, 기립성 저혈압을 가진 환자들에게 이른 가동화와 강한 감각운동성 자극을 위해 유용하게 사용되는 장비이며, 기능적 전기 자극을 동시에 실시하여 더욱 근육 활성도를 향상시킬 수 있도록 고안되었다[19]. 점진적인 훈련 프로토콜을 위해 조절할 수 있는 요인은 경사각도(tilt angle), 부하힘(loading force), 보행률(cadence)이며, 대상자의 심혈

관 상태, 피로도, 집중도 등의 결과에 따라 요인들을 조절하여 난이도(the degree of difficulty)를 설정하였다 [32](Fig. 2).

로봇 보조 스텝훈련은 각 훈련 전 환자의 체중에 맞게 조정되었다. 피험자가 경사침대에 누우면 피험자의 다리를 넣고 발에 하중을 가할 수 있도록 커프를 조정하였다. 각 다리의 고관절과 무릎 관절의 관절 가동 범위는 훈련기기에 내장된 센서를 사용하여 측정되었으며, 훈련기기의 소프트웨어는 관절가동범위 제한 내에서 로봇 다리 움직임을 제어하였다.

경사각도는 대상자의 심혈관 상태(기립성 저혈압 등) 또는 피로도에 따라 0도에서 90도까지 조절하였다. 경사각도는 처음 20에서 시작하여 40, 60 및 80으로 증가시키며 이완기 혈압, 수축기 혈압 통증유무를 판단하였다. 이완기 혈압이 60 mmHg 이하가 되거나 수축기 혈압이 160 mmHg 이상이 되거나 통증 발생시 즉시 중단하거나 각도를 낮추었다. 대상자의 걸음 동작은

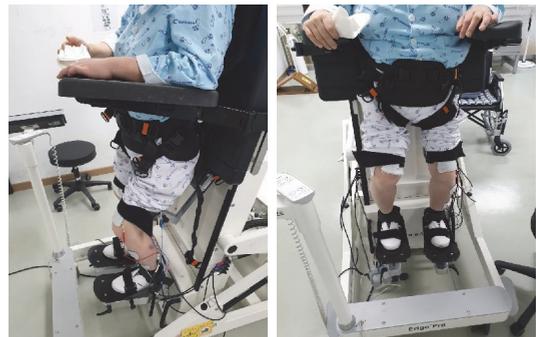


Fig. 1. Robot-assisted step training device (Erigo).

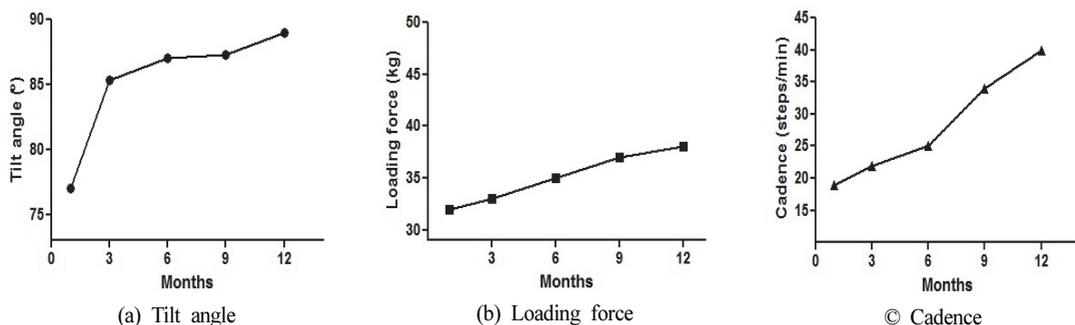


Fig. 2. Progressive setting according to time (months) of robot-assisted step training.

보행률(steps/min)을 이용하여 조절하였고, 점진적으로 보행률을 80까지 높였으며, 이완기 혈압이 60 mmHg 이하가 되거나 수축기 혈압이 160 mmHg 이상이 되거나 통증 발생시 즉시 중단하거나 보행율을 낮추었다. 로봇 보조 스텝훈련 중에 치료사는 대상자의 곁에서 안전을 확인하였고, 효과적인 훈련과 체중지지 능력의 향상을 위해 다리의 운동학적 피드백과 수행결과에 대한 피드백을 실시간으로 제공하였다.

5. 자료 분석

본 연구는 예비연구로써 로봇 보조 스텝훈련을 적용하여 효과를 알아보기 위해 단일 사례설계(single-subject design)의 A-B 실험설계 방법을 사용하였다. 기초선(2번)과 중재기간(1, 3, 6, 9, 12개월)동안 5번, 총 7번을 평가하였다. 기초선(baseline) 단계는 A, 중재(intervention) 단계는 B로 정하고, 마비 측 하지 근력 및 10미터 보행을 평가하기 위해 측정된 자료들을 선 그래프로 비교 및 추세검정을 하였다. 또한 기초선과 비교하여 가장 차이가 큰 구간과 평가 중 가장 큰 차이를 보이는 구간을 분석하였다.

III. 연구결과

1. 하지 근력의 변화

하지 근력의 변화를 측정하기 위하여 마비측 하지의 엉덩관절 펴, 엉덩관절 벌림, 무릎관절 펴, 무릎관절 굽힘, 발등굽힘 근력 측정을 하였다

마비 측 엉덩관절 펴 근력의 기초선(A) 단계에서 16 N에서 중재 후 12개월에서 37.8 N으로 21.8 N의 가장 큰 증가를 보였다. 기초선과 중재 후 1개월(21 N) 사이에서 5 N 차이로 가장 기간대비 가장 빠르게 근력이 증가하였다. 중재 후 1개월과 3개월(25.7 N) 사이에서 근력이 4.7 N이 증가하여 그 다음으로 크게 증가하였다. 마비 측 엉덩관절 벌림 근력의 변화는 기초선 24 N에서 12개월 중재 후 37.1 N으로 최대로 증가(13.1 N)하였다. 중재 후 9개월(33.4 N)과 12개월(37.1 N) 사이 구간 3개월간 3.5 N으로 가장 빠르게

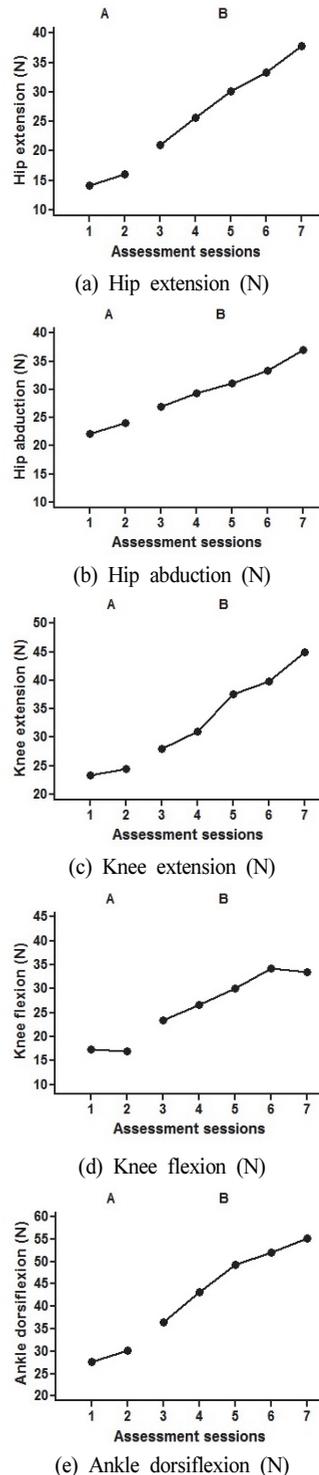


Fig. 3. Muscle strength at baseline [A] (1,2) and intervention [B] (3-7 refer to 1/3/6/9/12 months).

증가하였다. 무릎관절 펌 근력은 기초선 24.4 N에서 12개월 중재 후 45 N으로 20.6 N차를 보이며 최대로 증가하였다. 중재 후 3개월(31 N)과 6개월(37.6 N) 사이에서 6.6 N으로 3개월간 가장 빠르게 근력이 증가였고, 중재 후 9개월(39.8 N)과 12개월(45 N) 사이에서 5.2 N으로 다음으로 근력이 빠르게 증가하였다. 무릎관절 굽힘 근력의 변화로는 기초선 16.9 N에서 비교하여 9개월 중재 후 34.2 N으로 17.3 N차로 최대로 증가하였으며, 중재 후 6개월 30 N으로 9개월 34.2 N으로 4.2 N차를 나타내며 가장 빠르게 근력이 증가하였다. 발목관절의 발등굽힘 근력은 기초선 30.1 N으로 12개월 중재 후 55.1 N과 25 N차를 나타내며 최대로 증가하였다. 중재 후 1개월(36.4 N)과 3개월(43.1 N) 사이에서 6.7 N으로 가장 큰 차이를 보여 기간대비 가장 빠르게 증가하였고, 다음으로는 빠르게 증가한 구간은 중재 후 3개월과 6개월(49.3 N)이었다. 무릎관절 굽힘 중재 단계에서만 9개월과 12개월 사이 0.7 N의 감소를 보였다(Fig. 3).

2. 보행속도의 변화

10미터 보행검사(10MWT)의 변화과정을 보면, 기초선(111초)과 비교하여 중재 후 12개월(81초)에서 최대로 감소(30초)하였으며, 중재 후 1개월(102초)과 3개월(95초) 사이와 9개월(89초)과 12개월(81초) 사이에서 모두 7초의 차이로 가장 큰 차이를 보였다(Fig. 4). 시간에 따른 마비측 하지 근력과 10MWT의 선그래프의 변화는 안정적 가속화 추세(stable accelerating trend)를 보였다.

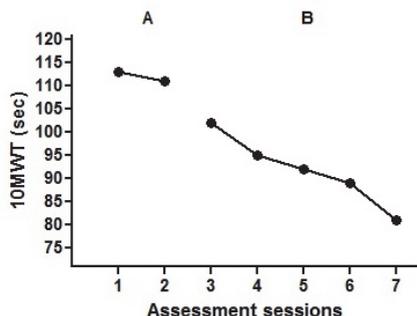


Fig. 4. 10 MWT change at baseline [A] (1,2) and intervention [B] (3-7 refer to 1/3/6/9/12 months).

IV. 고찰

본 연구의 목표는 독립적으로 보행이 어려운 만성 뇌졸중노인에게 12개월 로봇 보조 스텝훈련을 하였을 때 하지 근력과 보행속도에 효과가 있는지 알아보고자 하였다. 분석을 하여 얻은 결과의 고찰은 다음과 같다.

장기간의 로봇 보조 스텝훈련은 중증 뇌졸중 환자의 마비측 하지 근력을 증가시키는데 효과적이었다. 이러한 연구는 기존의 단기 연구의 결과와 일치한다[2,26]. Kumar 등[26]은 110명의 뇌졸중 환자에게 55명씩 전통적 물리치료 그룹과 로봇 보조 스텝훈련 그룹 두 그룹으로 나누어 실험을 진행 하였다. 전통적 물리치료 그룹에게는 관절 가동범위 운동, 근력강화, 균형운동을 적용 하였고 로봇 보조 스텝훈련 그룹에게는 Erigo 로 훈련을 진행하였다. 두 그룹 모두 한달간 40분간의 주 6회 총 24회훈련결과 그룹과 로봇 보조 스텝훈련 그룹이 전통적 물리치료 그룹보다 하지근력이 통계적으로 유의하게 향상되었음을 보고하였다. 또한 Kuznetsov 등[2]이 뇌졸중 환자 103명을 대상으로 전통적 물리치료 그룹과 로봇 보조 스텝훈련 그룹으로 나누어 실험을 진행 하였다. 전통적 그룹은 신체활동과 마사지 및 운동치료를 30 - 60분간 30회 받았고 로봇 보조 스텝훈련 그룹은 20 - 30분간 30회의 훈련을 받았다. 훈련 결과 로봇 보조 스텝 훈련 그룹이 전통적 물리치료 그룹보다 하지근력이 유의하게 향상되었음을 보고 하였다. 또한 100명의 뇌졸중 연구에서 한달간의 Erigo 로봇 보조 스텝훈련 결과 하지 근력이 향상되었음을 보고 하였다 [33]. Dias 등[34]은 40명의 뇌졸중 환자가 25회의 로봇 보조 스텝훈련 결과 하지의 운동 지수 점수가 증가하였다 보고하였다. 이는 로봇 보조 스텝훈련이 단순한 수동적 관절 운동만 일어나는 것이 아니라 하지의 근육이 능동적으로 훈련에 동원됨을 알 수 있다. 이 같은 결과는 중증 뇌졸중 환자들을 대상으로 경사침대의 수직화와 교대적 다리의 움직임이 뇌졸중 환자의 마비측 하지의 체중지지와 교대적 움직임이 근력강화로 이어졌음이 사료된다[2]. 발판의 상호 교대적 움직임으로 비 마비측의 발목 관절과 발등굽힘, 무릎 굽힘, 엉덩관절 굽힘이 일어날 때 마비측의 엉덩관절 펌, 무릎관절의 펌,

발목관절의 발바닥 굽힘근이 활성화된다. 반대로 마비측의 발목 관절과 발등굽힘, 무릎 굽힘, 엉덩관절 굽힘이 일어날 때 마비측의 엉덩관절 펴, 무릎관절의 펴, 발목관절의 발바닥 굽힘근이 활성화 되었으리라 생각된다[35].

또한 마비측의 스텝 훈련이 마비측의 근력 강화에 도움이 되었을 것이다. Weiller 등[36]과 Dragert 등[37]의 연구에서 마비측의 신체를 훈련하거나 자극하였을 때 손상측의 일차 운동 피질이 활성화 됨을 확인할 수 있었고, 이러한 대뇌피질의 활성화가 뇌가소성을 촉진시켜 마비측 하지의 운동 조절을 강화시켜 마비측의 근력강화로 이어졌을 것이다.

장기간의 로봇 보조 스텝훈련은 중증 뇌졸중 환자의 보행속도를 높였다. 이러한 연구결과는 기존의 로봇 보조 스텝훈련과도 일치하였다. 기존 연구는 장기 훈련 연구한 연구는 존재하지 않고 단기연구만 존재하였으나 단기훈련에서도 본 연구의 결과와 일치하였다[24]. Smania 등[38]이 18명의 신경계 환자에게 로봇 보조 스텝훈련을 2주간 10회 적용 결과 10미터걸기 검사에서 평균속도가 .08 m/s가 증가하였으며 통계적으로 유의한 차이 있었다. 그리고 Daunoraviciene 등[24]은 신경계 손상 환자에게 10회의 로봇 보조 스텝훈련을 적용한 결과 뇌졸중환자의 보행속도가 향상되었음을 보고 하였다. 이는 본 연구의 결과와 일치한다. 보행 속도가 증가된 원인으로서는 몇 가지를 유추해 볼 수 있다. 첫째로 Erigo의 로봇 보조 스텝훈련은 발판이 스텝훈련 중 발목관절의 발등 굽힘의 각도를 증가시켰다는 연구 결과가 있다[26]. 따라서, 증가된 발등굽힘 각도가 중간입각기(Mid-stance)부터 말기 입각기(Terminal stance)까지 지지된 다리에서 발등굽힘을 허용하였고, 활보장을 늘렸기 때문에 보행 속도가 증가된 것으로 사료된다. 또한 훈련이후 증가된 근력의 변화가 보행 속도에 영향을 주었으리라 사료된다[39].

이러한 마비측 하지 근력 증가와 보행속도의 증가는 12개월간의 로봇 보조 스텝 훈련이 뇌졸중 환자에게 집중적이고도 반복적인 운동과 체중지지를 가능하게 하고 이는 충분한 감각 되먹임을 가능하게 하고 뇌 가소성을 일으켰기 때문이라 추측된다[40].

본 연구는 누구보다 경사침대 적용이 더 필요한 중증 뇌졸중 환자들을 대상으로 12 개월 간의 장기 로봇 보조 스텝 훈련을 통하여 이용한 하지의 근력과 보행속도 변화를 본 연구이다. 12개월인 중재는 환자의 입원과 퇴원, 사망 다른 요양병원이나 요양원으로 전원 등이라는 변수로 환자의 모집, 중재 및 평가에 많은 어려움이 있다. 그러나 이러한 장기간의 중재 결과는 현장의 물리 치료사, 임상 로봇 재활 치료사, 환자 및 보호자에게 장기 로봇보조 재활훈련의 시사점을 제시할 수 있다. 이러한 큰 장점에도 불구하고 연구는 몇 가지 제한점이 있다.

첫째, 본 연구는 본 연구는 한 명의 대상자로 중재 효과를 파악한 단일 사례 연구이기 때문에 이로 인한 본 연구의 결과를 일반화한 해석 및 적용에는 제한 사항이 많다. 둘째, 본 연구에서 측정된 종속변수도 마비측 하지의 근력 및 보행에만 국한되어 있기 때문에 보다 다양한 기능에 미치는 영향을 파악하지 못한 제한점이 있다. 하지만, 향후 연구에서는 본 연구에서의 제한점을 보완하여 중증 뇌졸중 환자의 기능 회복을 위한 프로토콜을 설정하여 로봇 보조 스텝훈련의 효과를 규명할 연구들이 이루어질 수 있기를 기대한다.

V. 결론

본 연구는 독립적으로 보행이 어려운 만성 뇌졸중 환자에게 12개월간의 장기간 로봇 보조 스텝훈련을 하였을 때 마비측 하지 근력과 보행속도의 효과를 실험 전후로 비교하였다. 연구 결과, 로봇 보조 스텝훈련 중재 후 피험자의 마비측 하지 근력과 보행 속도가 향상되었다. 후속 연구에서는 장기간 로봇 보조 스텝훈련의 효과를 확인하기 위해 많은 수의 피험자 연구와 무작위적 대조군 연구가 필요할 것으로 사료된다.

References

- [1] Lo EH, Dalkara T, Moskowitz MA. Mechanisms, challenges and opportunities in stroke. *Nat Rev Neurosci*. 2003;4(5):399-415.

- [2] Kuznetsov AN, Rybalko NV, Daminov VD, et al. Early poststroke rehabilitation using a robotic tilt-table stepper and functional electrical stimulation. *Stroke Res Treat*. 2013;946056.
- [3] Mikołajewsk EJAiC, Medicine E. Associations between results of post-stroke NDT-Bobath rehabilitation in gait parameters, ADL and hand functions. *Adv Clin Exp Med*. 2013;22(5):731-8.
- [4] Guiu-Tula FX, Cabanas-Valdes R, Sitja-Rabert M, et al. The Efficacy of the proprioceptive neuromuscular facilitation (PNF) approach in stroke rehabilitation to improve basic activities of daily living and quality of life: a systematic review and meta-analysis protocol. *BMJ Open*. 2017;7(12):e016739.
- [5] Schwartz I, Sajin A, Fisher I, et al. The effectiveness of locomotor therapy using robotic-assisted gait training in subacute stroke patients: A randomized controlled trial. *PM R*. 2009;1(6):516-23.
- [6] Lang CE, MacDonald JR, Gnip C. Counting repetitions: an observational study of outpatient therapy for people with hemiparesis post-stroke. *J Neurol Phys Ther*. 2007;31(1):3-10.
- [7] Boyd LA, Winstein CJJoNPT. Explicit information interferes with implicit motor learning of both continuous and discrete movement tasks after stroke. *J Neurol Phys Ther*. 2006;30(2):46-57.
- [8] Fine MS, Thoroughman KA. Motor adaptation to single force pulses: sensitive to direction but insensitive to within-movement pulse placement and magnitude. *J Neurophysiol*. 2006;96(2):710-20.
- [9] Werner C, Von Frankenberg S, Treig T, et al. Treadmill training with partial body weight support and an electromechanical gait trainer for restoration of gait in subacute stroke patients: A randomized crossover study. *Stroke*. 2002;33(12):2895-901.
- [10] Hwang J, Shin Y, Park JH, et al. Effects of Walkbot gait training on kinematics, kinetics, and clinical gait function in paraplegia and quadriplegia. *NeuroRehabil*. 2018;42(4):481-9.
- [11] Hwang J, Effect of an end-effector type of robotic gait training on stand capability, locomotor function, and gait speed in individuals with spastic cerebral palsy. *J Korean Soc Phys Med*. 2021; 16(3): 123-30.
- [12] Stein JJAjopm, rehabilitation. Robotics in rehabilitation: technology as destiny. *Am J Phys Med Rehabil*. LWW. 2012.199-203.
- [13] Morone G, Bragoni M, Iosa M, et al. Who may benefit from robotic-assisted gait training? A randomized clinical trial in patients with subacute stroke. *Neurorehabilit Neural Repair*. 2011;25(7):636-44.
- [14] Bruni MF, Melegari C, De Cola MC, et al. What does best evidence tell us about robotic gait rehabilitation in stroke patients: A systematic review and meta-analysis. *J Clin Neurosci*. 2018;48:11-7.
- [15] Mehrholz J, Pohl M. Electromechanical-assisted gait training after stroke: a systematic review comparing end-effector and exoskeleton devices. *J Rehabil Med*. 2012;44(3):193-9.
- [16] Mehrholz J, Thomas S, Kugler J, et al. Electromechanical-assisted training for walking after stroke. *Cochrane Database Syst Rev*. 2020;10(10): CD006185.
- [17] Lefmann S, Russo R, Hillier S. The effectiveness of robotic-assisted gait training for paediatric gait disorders: systematic review. *J Neuroeng Rehabil*. 2017;14(1):1.
- [18] Calabro RS, Naro A, Russo M, et al. Do post-stroke patients benefit from robotic verticalization? A pilot-study focusing on a novel neurophysiological approach. *Restor Neurol Neurosc*. 2015;33(5):671-81.
- [19] Saengsuwan J, Huber C, Schreiber J, et al. Feasibility of cardiopulmonary exercise testing and training using a robotics-assisted tilt table in dependent-ambulatory stroke patients. *J Neuroeng Rehabil*. 2015;12(1):88.
- [20] Solopova IA, Tihonova DY, Grishin AA, et al. Assisted leg displacements and progressive loading by a tilt table combined with FES promote gait recovery in acute stroke. *NeuroRehabil*. 2011;29(1):67-77.

- [21] Kautz SA, Brown DA. Relationships between timing of muscle excitation and impaired motor performance during cyclical lower extremity movement in post-stroke hemiplegia. *Brain*. 1998;121(3):515-26.
- [22] Furlan R, Porta A, Costa F, et al. Oscillatory patterns in sympathetic neural discharge and cardiovascular variables during orthostatic stimulus. *Circulation*. 2000; 101(8):886-92.
- [23] Czell D, Schreier R, Rupp R, et al. Influence of passive leg movements on blood circulation on the tilt table in healthy adults. *J Neuroeng Rehabil*. 2004;1(1):4.
- [24] Daunoraviciene K, Adomaviciene A, Svirskis D, et al. Necessity of early-stage verticalization in patients with brain and spinal cord injuries: Preliminary study. *Technol Health Care*. 2018;26(S2):613-23.
- [25] Ancona E, Quarenghi A, Simonini M, et al. Effect of verticalization with Erigo® in the acute rehabilitation of severe acquired brain injury. *Neurol Sci*. 2019; 40(10):2073-80.
- [26] Kumar S, Yadav RJAop. Comparison between Erigo tilt-table exercise and conventional physiotherapy exercises in acute stroke patients: a randomized trial. *Arch Physiother*. 2020;10(1):1-9.
- [27] Kendall FP, McCreary EK, Provance PG, et al. *Muscles: testing and function with posture and pain*. Lippincott, Williams, & Wilkins. Lippincott Williams & Wilkins Baltimore, MD. 2005.
- [28] Kwon O, Shin W-SJotKSoPM. Effects of closed and open kinetic chain exercises on knee extensor strength and balance in patients with early stroke. *PM&R*. 2014;9(2):223-31.
- [29] Mentiplay BF, Perraton LG, Bower KJ, et al. Assessment of lower limb muscle strength and power using hand-held and fixed dynamometry: A reliability and validity study. *PLoS One*. 2015;10(10):e0140822.
- [30] Collen FM, Wade DT, Bradshaw CM. Mobility after stroke: reliability of measures of impairment and disability. *Int Disabil Stud*. 1990;12(1):6-9.
- [31] Tyson S, Connell L. The psychometric properties and clinical utility of measures of walking and mobility in neurological conditions: a systematic review. *Clin Rehabil*. 2009;23(11):1018-33.
- [32] Wieser M, Haefeli J, Butler L, et al. Temporal and spatial patterns of cortical activation during assisted lower limb movement. *Exp Brain Res*. 2010;203(1):181-91.
- [33] Yadav R, Potturi GS, Kumar S, et al. Comparison between Erigo robotic tilt table exercises and Traditional exercises in rehabilitation of stroke patients: A follow up study. *BJMHs*. 2020;2(8):371-9
- [34] Dias D, Láins J, Pereira A, et al. Can we improve gait skills in chronic hemiplegics? A randomised control trial with gait trainer. *Eura Medicophys*. 2007;43(4):499-504.
- [35] Bhagchandani N, Schindler-Ivens S. Reciprocal inhibition post-stroke is related to reflex excitability and movement ability. *Clin Neurophysiol*. 2012;123(11):2239-46.
- [36] Weiller C, Chollet F, Friston KJ, et al. Functional reorganization of the brain in recovery from striatocapsular infarction in man. *Ann Neurol*. 1992;31(5):463-72.
- [37] Dragert K, Zehr EP. High-intensity unilateral dorsiflexor resistance training results in bilateral neuromuscular plasticity after stroke. *Exp Brain Res*. 2013;225(1):93-104.
- [38] Smania N, Bonetti P, Gandolfi M, et al. Improved gait after repetitive locomotor training in children with cerebral palsy. *Am J Phys Med Rehabil*. 2011;90(2):137-49.
- [39] Dorsch S, Ada L, Sorial T, et al. The relationship between strength of the affected leg and walking speed after stroke varies according to the level of walking disability: A systematic review. *Phys Ther*. 2021;101(12):1-8.
- [40] Kolb B, Whishaw IQ. Brain plasticity and behavior. *Annu Rev Psychol*. 1998;49(1):43-64.