



# 대한물리치료과학회지

Journal of Korean Physical Therapy Science  
2025. 12. Vol. 32, No.4 pp. 70-80

## 점진적인 속도의 로봇보행훈련이 뇌졸중 환자의 하지근력 및 균형 능력에 미치는 영향

박재호

충남대학교병원 재활센터

## The Effects of Progressive Velocity Robot-Assisted Gait Training on Lower Extremity Muscle Strength and Balance Abilities in Stroke Patients

Jae Ho Park, Ph.D., P.T.

*Dept. of Rehabilitation Center, Chung Nam National University Hospital*

### Abstract

**Background:** Balance disturbance is a common disability in stroke patients. Robot-assisted gait training offers potential therapeutic benefits in improving lower extremity strength and balance and gait ability after stroke. To improve these impairments, the purpose of this study was to investigate the effects of progressive velocity increase robot-assisted gait training on balance and walking ability in stroke patients.

**Design:** Randomized Controlled Trial.

**Methods:** All subjects were randomly divided into three groups: Progressive velocity increase robot-assisted gait training group (PRG=25), comfortable speed robot-assisted gait training group (CRG=26), and control group (control=24). Additionally, all subjects participating in this study were patients with subacute stroke for more than 6 months. The robot used in this study was the Lokomat Pro, and subjects from PRG and CRG received robot-assisted walking training for 30 minutes, three times a week for 6 weeks. Muscle strength (Medical Research Council, MRC) and balance abilities (Berg Balance Scale, BBS) (Timed Up and Go test, TUG) were measured before and after the intervention to compare their effectiveness.

**Results:** The study results showed that all subjects showed significant differences in all measurements post-intervention ( $p<0.05$ ). Additionally, PRG was

found to significantly improve in MRC and BBS compared to CRG, and CRG showed significant differences compared to the control group in MRC, BBS and TUG ( $p<0.05$ ). PRG also exhibited significant differences in all measurement in the between-group comparison with the control group ( $p<0.05$ ).

**Conclusion:** These results suggest that PRG may be effective strategy to improve muscle strength and balance ability for with stroke.

**Key words:** Balance, Muscle strength, Rehabilitation, Stroke

### 교신저자

박재호

대전광역시 중구 문화로 266 충남대학교병원 재활센터

T: 042-338-2135, E: pjh12290@naver.com

## I. 서론

뇌졸중은 뇌혈관 질환의 이상으로 인해 혈류 공급이 차단되거나 출혈이 발생함으로써 국소적인 뇌 조직 손상을 유발하는 질환이다. 이러한 뇌 손상은 근력 약화, 운동 조절 능력 상실, 근 긴장 이상 등의 문제를 초래하며, 이로 인해 균형 능력이 저하되고 비정상적인 보행 패턴이 나타나 정상적인 보행을 어렵게 만든다(Oh 등, 2022). 이러한 운동기능의 손상을 회복시키기 위해 전통적으로는 치료사의 손을 이용한 신경발달치료(Neurodevelopmental treatment)나 고유감각신경근촉진법(Proprioceptive Neuromuscular Facilitation)과 같은 물리치료 기법이 활용되어 왔다. 그러나 이러한 치료는 치료사의 높은 숙련도를 요구하며, 치료사의 신체적 부담이 크고, 반복적 훈련의 재현성과 강도 조절이 어려운 한계가 있다(Kwon & Shin, 2020). 특히 뇌졸중 환자의 운동 회복 및 뇌 가소성 촉진을 위해 반복적이고 집중적인 훈련이 필요하지만, 이는 치료사의 피로도를 증가시키고, 일정한 강도의 훈련을 유지하기 어렵게 만든다(Park과 Chung, 2018).

이러한 한계를 극복하기 위하여 최근 로봇 재활을 활용한 중재 방법들이 주목받고 있다. 로봇 재활은 크게 치료용 로봇(therapeutic robot)과 보조용 로봇(assistive robot)으로 구분되며, 이 중 보행 기능 회복을 위한 훈련용 로봇은 외골격형(exoskeleton type)과 단말작동기형(end-effector type)으로 나뉜다(Poli 등, 2013). 대표적인 외골격형 로봇인 Lokomat Pro는 트레드밀과 로봇 장치를 결합하여, 미리 저장된 정상 보행 패턴을 기반으로 환자의 움직임을 유도하는 기능을 제공한다. 여러 선행 연구에 따르면, 로봇을 활용한 보행 훈련은 뇌졸중 환자의 보행 능력 개선에 효과적이라 언급하고 있다(Park, 2015). Dias(2007)등은 로봇 보행 훈련이 보행 능력 향상에 효과적임을 보고하였고, Mayr(2007)등은 근력과 지구력의 향상도 함께 나타났다고 밝혔다. Bonnyaud(2014)등은 로봇보행훈련이 비대칭 보행을 개선하여 기능 회복을 촉진한다고 보고하였다. 이처럼 로봇보행훈련은 뇌졸중 환자의 기능 회복과 보행 능력 향상에 효과적인 도구로 활용되고 있다. 그러나 반복적이며 장시간 지속된 로봇보행훈련은 장치의 수동적인 보조로 인해 점차 훈련 효과가 감소하고, 환자의 집중력 저하가 발생할 수 있다고 보고하였다(Pennycott 등, 2012).

과거 연구에 따르면, 재활 훈련에서 운동 강도에 대한 조절이 운동피질의 재조직화를 촉진하고, 훈련에 대한 집중도를 향상시켜 보다 효과적인 운동 기능 회복을 유도할 수 있다고 보고하였다(Lee & Kim, 2012). 로봇보행훈련에서 강도조절은 일반적으로 보행 속도, 체중지지율(Body Weight Support, BWS), 유도력(Guidance Force, GF)의 조절을 통해 이루어진다. 특히 BWS 34% 이하, GF 70% 이하, 빠른 속도와 같은 조건에서 훈련 효율이 가장 높다는 보고가 있다(Kim 등, 2023). 여기서 보행 속도의 증가는 에너지 소비량을 증가시키며, 보행 양상은 물론 심폐 기능과 근력 향상에도 긍정적인 영향을 미친다고 언급하였다(Seo & Yang, 2021). 선행 연구에 따르면 트레드밀을 이용한 다양한 속도의 보행 훈련 중 빠른 속도의 중재 방법이 느린 속도보다 보행 기능 개선에 더 효과적인 것으로 나타났다(Sullivan 등, 2002). Hesse(2001)등은 빠른 속도의 트레드밀 보행 훈련이 항중력근의 근활성도를 증가시켜 이동 효율을 높인다고 보고하였으며, Lee(2015)는 속도 변화를 통한 보행 훈련이 에너지 소비량과 산소 소비량 등 심폐 기능의 유의미한 개선을 유도하였다고 밝혔다.

그러나 이러한 로봇 보행 훈련의 적용 및 강도 조절의 장점에도 불구하고, 기존 연구들은 주로 트레드밀을 이용한 보행 속도 변화에 국한되어 있으며, 로봇보행훈련에 점진적인 속도 변화를 적용한 연구는 드물다. 이에 본 연구는 뇌졸중 환자를 대상으로 점진적인 속도의 로봇 보행 훈련을 적용하고, 그에 따른 하지 근력과 균형 능력의 변화를 측정함으로써 보다 효과적인 로봇 재활 전략을 제시하고자 한다.

## II. 연구방법

### 1. 연구대상

본 연구는 사전-사후 무작위 대조군 연구설계(pretest-posttest control group design)를 기반으로 하였다. 연구에 참여한 대상자 산정을 위해 G-Power version 3.1, Heinrich-Heine University, Düsseldorf, Germany)을 활용한 결과, 유의수준 0.05, 효과크기 0.80, 검정력 80%를 기준으로 분석한 결과, 각군별로 최소 20명 이상의 대상자가 필요한 것으로 나타났다. 중도 탈락률 10%를 고려하여, 군별 최소 22명 이상을 모집하여 연구를 진행하였다. 최종적으로 본 연구에는 충남대학교병원 재활센터에 입원 중인 뇌졸중 환자 95명이 참여 하였다. 대상자는 SPSS 프로그램(25.0 버전; IBM Co., Armonk, NY, USA)의 무작위 표본 추출 방법을 활용하여 무작위로 세 그룹으로 나누어졌다. 훈련에 참가한 대상자는 훈련 과정과 훈련 정보를 이해하는 환자로 충분한 설명을 바탕으로 동의를 얻어 시작하였다. 연구에 참여한 대상자의 선정 조건은 다음과 같은 기준으로 모집하였다. (1) 자연적인 치유로 인한 통계적인 오차를 최소화하기 위하여 뇌졸중을 진단받고 최소 6개월이 지난 환자, (2) 균형 능력의 문제를 가진 환자(max Berg balance scale score 45), (3) 치료사에 대한 구두 지시와 훈련에 대해 이해할 수 있는 충분한 인지 능력을 갖춘 환자 (Mini-Mental State Examination >24)를 포함하였다. 제외 기준에는 (1) 뇌졸중 진단을 받지 않은 환자와 (2) 골절과 같은 개방성 손상이나 신경학적 또는 의학적으로 불안정한 상태의 환자를 제외 조건으로 하였다. 대상자들은 연구를 진행하는 과정에서 모집된 인원의 95명의 대상 환자 중 연구를 시작하기 이전 5명의 대상 환자는 갑작스런 심경의 변화와 스케줄의 변경으로 인하여 훈련에서 배제되었으며, 훈련을 진행 하는 도중 갑작스런 퇴원( $n=7$ ) 혹은 컨디션 저하( $n=8$ )등의 이유로 15명이 중도 탈락하였다. 각군별 탈락자 분포는 점진적인 속도의 로봇보행훈련군에서는 4명의 대상자가 건강상의 이유로 중도 탈락하였고 1명은 갑작스런 타 병원으로 이동으로 탈락하였다. 또한 편안한 속도의 로봇보행훈련을 활용한 그룹은 3명의 퇴원과 1명의 건강상의 이유로 중도탈락하였으며 대조군은 각 각 3명씩 총 6명의 대상 환자가 타 병원의 전원과 컨디션 저하로 훈련을 불참하였다(Figure 1). 연구의 객관성을 높이기 위하여 훈련을 시작하기 이전 사전 평가와 훈련이 후 사후 평가를 진행하였으며, 훈련을 진행하는 치료사와 평가를 진행하는 치료사를 달리 배정하여 연구결과에 영향을 줄 수 있는 오차를 예방하였다. 본 연구는 삼육대학교 생명윤리위원회 (2-1040781-AB-N-01-2016113HR)의 승인을 얻은 후 진행 되었으며, 연구에 참여한 모든 대상자는 연구에 대한 자세한 설명을 들은 후 동의서에 서명한 후 연구를 진행하였다.

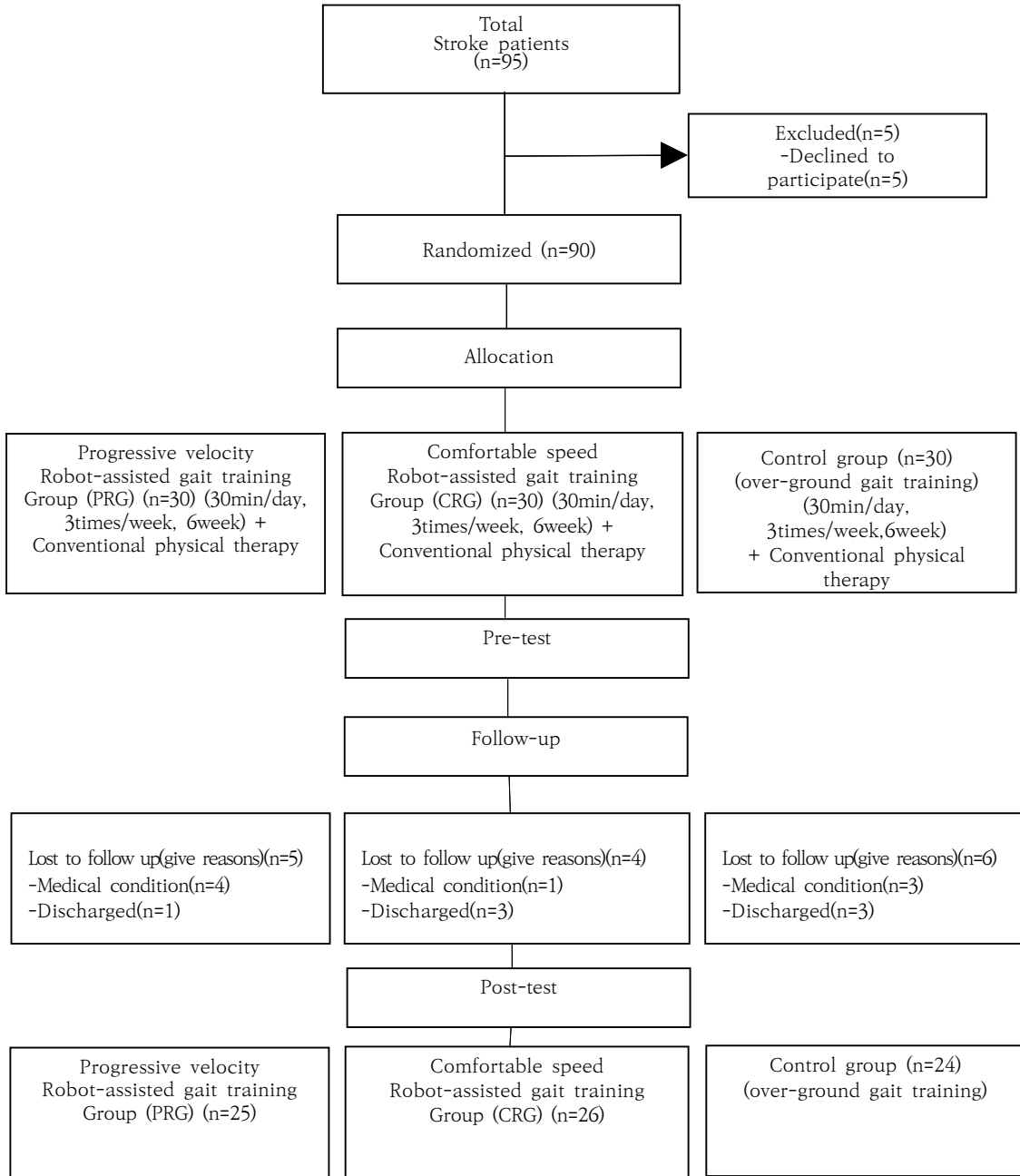


Figure 1. Enrollment of stroke patients

## 2. 중재방법

본 연구는 로봇 보행 훈련에 대한 경험이 없는 뇌졸중 환자로 구성되었으며, 로봇을 착용하고 작동하여 훈련하는 과정에서 교육이 필요하며 숙련도에 따라 많은 시간이 소요되는 이유로 원활한 훈련 진행을 위해 로봇 재활 분야에서 3년 이상의 경험이 있는 물리치료사가 훈련을 진행하였다. 로봇을 착용하고 훈련을 진행하는 과정에서 낙상예방과 안전을 위하여 1명의 보조 인원이 치료사를 도와 훈련에 참여하였다. 훈련에 사용된 로봇은 인간의 골격 구조와 가장 유사한 형태를 보이는 외골격계형 로봇으로 Lokomat Pro(Lokomat Pro, Hocoma AG, 취리히, 스위스, 2012)를

활용하여 수행하였다. 로봇의 초기보행속도는 훈련 초기 각 환자에게 가장 편안한 속도인 1.0~2.0km/h로 설정하여 진행하였으며, 체중 지지(Body Weight Support, BWS)는 30~40%로 설정하여 진행하였다(Kim 등, 2023). 로봇보행훈련의 유도력(Guidance Force)은 100%를 설정하여 속도 이외의 강도에 대한 변수를 차단하였다. 훈련 간의 훈련 기간은 6주 동안 주 3회, 30분 동안 진행되었다. 로봇 보행 훈련 외에도 6주 동안 매일 30분씩 보편적인 물리치료를 받았다.

(1) 점진적인 속도증진의 로봇보행훈련

(Progressive velocity Increase Robot-assisted gait training Group: PRG)

PRG는 로봇을 활용한 보행훈련으로 10분 간격으로 두 번의 10%의 점진적인 속도의 보행 훈련을 의미한다. 초기 보행속도는 연구에 참여한 대상자의 편안한 보행 속도로 훈련을 시작하기 이전 5분간 로봇을 가동하면서 환자가 느꼈을 때 가장 편안한 속도를 설정하였다(Lee, 2014).

(2) 편안한 속도의 로봇보행훈련

(Comfortable speed Robot-assisted gait training Group: CRG)

속도의 변화를 주지 않은 로봇보행훈련을 의미하며 훈련에 적용되는 보행 속도는 환자가 느끼는 편안한 속도로 훈련을 수행하였다(Lee, 2014)

(3) 대조군(Control group)

대조군은 앞선 두 실험군과 동일한 빈도와 시간 동안 지상 보행 훈련을 수행하였다. 또한 두 실험군과 마찬가지로 6주 동안 주 5회, 30분씩 보편적인 물리치료를 받았으며, 지상보행훈련 동안 낙상을 예방하기 위해 훈련은 3년 이상의 임상 경력을 가진 물리치료사의 감독 하에 보행 훈련을 수행하였다(Park & Chung, 2018).

### 3. 측정방법

(1) 하지근력

하지근력 평가는 임상에서 가장 보편적으로 많이 활용되고 있는 근력 평가 도구인 Medical Research Council(MRC)(ICC=0.95)를 활용하여 평가가 이루어졌다. 하지근력평가의 항목은 총 6개 항목을 평가하였으며 5점 척도로 30점 만점으로 기록하였다. 평가가 이루어진 세부 항목은 고관절 굴곡, 신전, 무릎 굴곡, 신전, 발목 발등 굴곡, 발바닥 굴곡으로 6가지 동작을 평가하였다. 모든 측정은 앉은 자세에서 측정하였다. 고관절 굴곡근은 발뒤꿈치에 축지 후 무릎을 굽히도록 지시 후 측정하였고, 슬관절 신전근은 발목 앞을 축진해서 무릎을 펴도록 지시 후 측정하였다. 족관절 측정은 무릎을 편 앉은 자세에서 측정하였고, 배측굴곡근은 발등의 원위부 저측굴곡근은 발바닥의 원위부를 축지 후 측정하였다. 각각 3번 측정하여 평균값을 구하였고, 측정 간 30초의 휴식을 취하여 피로도를 최소화 하였다 (Gregson 등, 2000).

(2) 균형 및 보행 능력평가

본 연구에서 균형 능력의 평가는 버그균형검사(Berg Balance Scale, BBS) (ICC=0.99) 와 일어서서 걷기 검사(Timed Up and Go, TUG) (ICC=0.99)를 활용하여 평가를 진행하였다. BBS와 TUG는 임상에서 가장 흔히 사용되는 평가방

법으로 다양한 난이도의 과제 수행과 이동성을 평가하고 채점하는 방법으로 간단한 균형 평가일 뿐만 아니라 이동 능력에 대한 객관적인 통찰력을 제공하며 보행 회복에 대한 강력한 예측 지표 역할을 할 수 있다. TUG는 총 3회 실시하여 그 평균값을 기록하였다. BBS와 TUG 모두 입원 운동치료실에서 평가를 하였으며 정확한 평가와 평가를 진행하는 동안 낙상을 예방하기 위하여 3년 이상의 임상 경험을 가진 숙련된 평가자와 보조자 1명이 평가를 실시하였다(Berg, Wood-Dauphinee & Williams, 1995; Podsiadlo & Richardson, 1991).

#### 4. 자료 분석

본 연구는 SPSS ver. 25.0 program (IBM Co., Armonk, NY, USA) 을 활용하여 자료 분석을 하였다. 나이, 키, 몸무게, 발병 기간과 같은 연구에 참여한 대상자의 일반적 특성을 분석하기 위하여 기술 통계를 시행하였고, 각 집단의 중재 전 후 변화에 대한 분석을 위해 대응 표본 *t*-test를 사용하여 분석하였다. 모든 훈련이 끝나는 6주 후 세 그룹 간의 하지 근력과 균형 능력에 대하여 통계적으로 유의미한 차이가 있는지 확인하기 위해 반복측정분산분석(repeated measures ANOVA)을 사용하였고, Duncan method를 사용하여 사후분석을 실시 하였다. 본 연구의 통계적인 유의 수준은  $p < 0.05$ 로 설정하였다.

### III. 연구결과

#### 1. 대상자의 일반적인 특성과 의학적 특성

본 연구는 최종적으로 총 75명의 뇌졸중 환자가 훈련에 참여하였다. 연구에 참여한 대상자의 성별은 PRG( $n=25$ )는 여성 12명과 남성 13명, CRG( $n=26$ )는 여성 15명과 남성 11명, 대조군( $n=24$ )에는 여성 16명과 남성 8명이 참여하였다. 대상자의 평균 연령은 PRG는 57.68세, CRG는 54.72세, 대조군은 58.65세로 균등하게 분포하였다. 또한 각 그룹의 평균 신장과 체중은 PRG는 162.31cm와 68.92kg, CRG는 165.68cm와 72.11kg 그리고 대조군은 161.28cm와 68.18kg로 나타났다. 그리고 각 그룹의 MMSE-K점수는  $29.33 \pm 1.07$ ,  $27.16 \pm 1.74$ ,  $27.37 \pm 0.95$ 로 나타났다. 대상자의 평균 발병 기간은 각 각 7.33개월, 7.33개월, 7.75개월로 6개월 이상의 뇌졸중 환자들로 구성하였다. 또한 연구에 참여한 대상자들은 Brunnstrom's Stage 4~5단계의 환자들로 구성되어있으며, PRG는 4단계 13명 5단계 12명, CRG는 4단계 15명 5단계 11명, 대조군은 4단계 15명 5단계 9명으로 구성되었다. 이처럼 연구에 참여한 모든 대상자의 일반적인 특성과 의학적 특성은 표에 상세하게 기록되었으며 정규분포 하였다(Table 1).

Table 1. Clinical characteristics of participants

	PRG( <i>n</i> =25)	CRG( <i>n</i> =26)	대조군( <i>n</i> =24)	<i>F</i>	<i>P</i>
Age(year)	57.68±8.42	54.72±5.39	58.65±9.90	.172	.812
Height(cm)	162.31±6.84	165.68±5.40	161.28±7.83	.338	.721
Weight(kg)	68.92±4.16	72.11±5.05	68.18±9.10	.733	.848
Onset(months)	7.33±1.15	7.33±1.72	7.75±1.77	.192	.812
MMSE-k	29.33±1.07	27.16±1.74	27.37±0.95	.994	.688
Brunnstrom (stage)	stageIV: 13 stageV: 12	stageIV: 15 stageV: 11	stageIV: 15 stageV: 9	.312	.192
Gender (male/female)	13/12	11/15	8/16	.882	.162
Hemiplegic side (Lt/Rt)	15/10	12/14	10/14	.748	.224
Mechanism (Hemorrhage/ Infarction)	12/13	12/14	11/13	.232	.121

PRG:Progressive velocity increase Robot-assisted gait training Group, CRG: Comfortable speed Robot-assisted gait training Group,

MMSE-K: Mini-Mental State Examination Korean,  $p < .05$

## 2. 평가 항목에 관한 결과

### (1) 하지근력

본 연구의 결과 연구에 참여한 대상자 모두 증재 이후 MRC에서 유의한 차이를 나타냈다( $p < 0.05$ ). 특히 PRG는  $14.96 \pm 0.96$ 점에서  $20.76 \pm 0.87$ 점으로  $6.20 \pm 1.08$ 점의 유의한 향상을 보였다( $p < 0.05$ ). 이는 각 각  $4.96 \pm 1.31$ 점,  $3.50 \pm 0.97$ 점의 변화를 나타낸 CRG와 대조군 비교하여 유의한 차이를 보이며 근력 향상의 결과를 나타냈다( $p < 0.05$ )(Table 2).

### (2) 균형능력

본 연구의 결과 연구에 참여한 대상자 모두 증재 이후 BBS에서 유의한 차이를 나타냈다( $p < 0.05$ ). 특히 PRG는  $38.88 \pm 2.52$ 점에서  $49.60 \pm 2.16$ 점으로  $10.72 \pm 2.99$ 점의 유의한 향상을 보였다( $p < 0.05$ ). 이는 각 각  $8.61 \pm 2.74$ 점,  $7.20 \pm 1.86$ 점의 변화를 보인 CRG와 대조군 비교하여 더 큰 변화를 보이며 유의한 차이를 나타냈다( $p < 0.05$ )(Table 2). 또한 TUG 결과 PRG은  $29.12 \pm 2.06$ 초에서  $17.56 \pm 2.93$ 초로  $-11.56 \pm 2.12$ 초의 변화를 보이며 유의한 차이를

나타냈다( $p < 0.05$ ). 이는 각각  $-11.46 \pm 4.17$ 초,  $-8.87 \pm 3.53$ 초의 변화를 보인 CRG와 대조군에 비하여 더 큰 변화를 보였으나 그룹간의 비교에서는 대조군과 비교에서는 유의한 차이를 보였으나( $p < 0.05$ ), CRG와 비교에서는 유의하지 않았다( $p > 0.05$ )(Table 2).

Table 2. Changes in outcome measures of the participants in this study

	PRG( $n=25$ )		CRG( $n=26$ )		Control group( $n=24$ )		F	P
	Pre-test	Post-test	Pre-test	Post-test	Pre-test	Post-test		
MRC (score)	14.56±0.96	20.76±0.87	14.88±0.86	19.84±1.18	14.45±0.83	17.95±0.85		
Difference (post-pre)	6.20±1.08* †		4.96±1.31*		3.50±0.97		34.615	<0.001
t	-28.700		-19.299		-17.532			
p	<0.001		<0.001		<0.001			
BBS (score)	38.88±2.52	49.60±2.16	40.41±5.21	48.16±1.80	39.12±2.00	46.33±2.09		
Difference (post-pre)	10.72±2.99* †		8.61±2.74*		7.20±1.86		11.438	<0.001
t	-17.907		-16.013		-18.940			
p	<0.001		<0.001		<0.001			
TUG (sec)	29.12±2.06	17.56±2.93	29.07±3.14	17.61±4.14	28.83±4.06	19.95±2.89		
Difference (post-pre)	-11.56±2.12*		-11.46±4.17*		-8.87±3.53		4.912	0.010
t	27.227		13.987		12.316			
p	<0.001		<0.001		<0.001			

PRG: Progressive velocity increase Robot-assisted gait training Group, CRG: Comfortable speed Robot-assisted gait training Group, MRC: Medical Research Council, BBS: Berg Balance Scale, TUG: Timed Up and Go test. †: Significant difference ( $p < 0.05$ ) between PRG and CRG, \*: Significant difference ( $p < 0.05$ ) between PRG and Control, CRG and Control

## IV. 고찰

뇌졸중 환자는 일반적으로 하지 근력의 약화로 인해 자세 조절 능력이 저하되며, 그로 인해 비대칭적인 균형과 불안정한 자세를 보이게 된다. 이러한 상태는 낙상 위험을 증가시키는 주요 요인으로 작용한다(De Oliveira 등, 2008; Srivastava 등, 2009). 본 연구는 이러한 문제를 해결하기 위해 점진적인 속도의 로봇보행훈련이 뇌졸중 환자의 하지 근력과 균형 능력에 미치는 영향을 분석하고, 효과적인 로봇 재활 전략을 제시하고자 수행되었다.

첫째, 본 연구 결과 로봇보행훈련은 뇌졸중 환자의 하지 근력과 균형 능력 향상에 효과적인 것으로 나타났다. 로봇보행훈련을 적용한 실험군(PRG, CRG)은 증재 후 하지 근력과 균형 능력에서 유의한 향상을 보였으며( $p < 0.05$ ), 두 실험군 모두 대조군과 비교하여 통계적으로 유의미한 개선을 나타냈다( $p < 0.05$ ). 로봇보행훈련은 트레드밀과 로봇 장치를 결합하여 반복적인 운동 학습을 유도하며, 이러한 반복 훈련은 운동기술 습득 및 뇌 가소성 촉진에 기여한다고 알려져 있다(Kwon & Shin, 2020; Lee & Kim, 2012). Mayr (2007) 등은 로봇보행훈련이 근 긴장도를 감소시켜 근력 및 근 수행 능력을 향상시킨다고 보고하였다. 이는 반복적인 움직임을 통해 족저굴곡근의 과도한 신장반사가 감소하여, 그 결과 전후방 방향으로의 무게중심 이동이 용이해져 동적 균형 능력이 향상된다고 분석하였다. Dias(2007) 등의 연구에서도 40명의 뇌졸중 환자를 대상으로 로봇 보조 보행훈련을 실시한 결과 하지 근력 및 능동적 운동 기능이 유의하게 향상되었으며, 이는 반복적 보행 자극이 손상된 일차 운동피질을 활성화하여 신경 가소성을 촉진하고, 이로 인해 운동 조절 능력과 근력이 개선된 것으로 해석된다고 보고하였다. 또한 Bonnyaud(2014) 등은 로봇보행훈련이 보행 시 대칭성을 회복시켜 균형 능력 개선에 긍정적인 영향을 미친다고 보고한 바 있다. 본 연구에서도 PRG와 CRG는 하지 근력 평가에서 각각  $6.20 \pm 1.08$ 점,  $4.96 \pm 1.31$ 점의 향상을 보였으며, 대조군의  $3.50 \pm 0.97$ 점에 비해 더 큰 변화를 보이며 선행 연구의 결과를 뒷받침하였다. 이러한 근력 향상은 BBS 및 TUG 검사에서도 대조군 대비 유의한 향상을 나타내어( $p < 0.05$ ), 로봇보행훈련의 전반적인 효과를 증명하였다.

둘째, 본 연구 결과에 따르면 점진적인 속도의 로봇보행훈련이 속도의 변화를 주지 않은 로봇보행훈련과 비교하여 하지 근력과 정적 균형 능력의 회복에서 더욱더 효과적인 결과를 나타냈다. 뇌졸중 환자의 기능 회복을 위해서는 재활 치료의 시기, 구성, 강도 등의 요소가 중요하며, 이 중에서도 치료 강도는 운동피질의 재 조직화와 운동학습에 중요한 영향을 미친다고 보고되었다(Lee & Kim, 2012). 로봇보행훈련에서는 보편적으로 속도, 체중지지율, 유도력 등을 조절하여 운동 강도를 변화시킬 수 있으며, 빠른 속도의 트레드밀 훈련은 항중력근의 활성도를 증가시키고 에너지 소모율을 촉진시켜 효과적인 증재 방법으로 제시되고 있다(Kim 등, 2023; Hesse 등, 1995). 속도 증가에 따라 환자의 능동적인 운동 참여가 유도되며, 이는 보다 대칭적인 보행 패턴과 향상된 균형 조절로 이어질 수 있다(Kim & Choi, 2013). Lamontagne & Fung(2004) 또한 트레드밀 기반 로봇보행훈련이 과제 지향적이며 속도 의존적인 증재임을 강조하며, 보행 속도가 증가함에 따라 근 활성화, 협응성, 자세 조절 능력이 향상된다고 보고하였다. 본 연구에서도 PRG는 하지 근력에서 CRG보다 더 큰 향상을 보였으며, 이는 속도 변화가 근력 증진에 긍정적 영향을 주었음을 의미한다고 할 수 있다( $p < 0.05$ ). Lee(2015)는 인위적인 속도 변화를 활용한 보행 훈련이 에너지 소비뿐 아니라 운동에 대한 지각에도 영향을 미친다고 보고하였다. 이는 본 연구에서 속도 변화가 장시간 로봇보행훈련 수행에 따라 나타나는 로봇 장치의 수동적 도움으로 인한 운동효과가 감소하는 것을 줄이고, 환자의 능동적 참여를 유도하여 운동 효율과 근력 향상에 기여했음을 시사한다. 실제로 PRG는 BBS에서  $10.72 \pm 2.99$ 점의 향상을 보여  $8.61 \pm 2.74$ 점을 기록한 CRG보다 유의미하게 우수한 균형 개선 효과를 나타냈다( $p < 0.05$ ). 반면, TUG 검사에서는 PRG와 CRG 간 유의한 차이가 나타나지 않았다( $p > 0.05$ ). 이는 점진적인 속도 변화가 정적 균형에는 효과적이었으나, 동적 균형 및 이동성을 평가하는 TUG에서는 동일한 효과를 보이지 않았다는 점에서 주목할 필요가 있다. 일반적으로 고관절과 슬관절과 같은 체중부하관절은

정적 균형과 안정성에 중요한 역할을 하며, 발목관절과 같은 작은 관절은 보행 속도와 동적 균형에 더 밀접하게 연관되어 있다(Punt et al., 2017). 본 연구에서는 PRG와 CRG 모두 하지 근력 향상을 보였으나, 주로 체중부하관절 중심의 근력 증가에 그쳤기 때문에 발목과 같은 작은 관절 기능에는 큰 차이를 보이지 않았고, 이로 인해 TUG 결과에 차이가 나타나지 않았을 가능성이 있는 것으로 분석 할 수 있다.

한편, 본 연구는 연구 대상자 모집 과정에서 예상치 못한 중도 탈락과 병원의 환경적 제약으로 인해 충분한 훈련 기간을 확보하지 못하였다는 한계가 있다. 또한 평가 도구의 선택에 있어 보다 정량적이고 객관적인 측정 장비를 사용하지 못한 점은 결과 해석의 일반화 가능성을 낮추는 요인으로 작용할 수 있다. 연구에 참여한 대상자는 중재의 특성상 로봇보행훈련과 지상보행훈련을 실시하는 군을 각 각 따로 관리를 하거나 참여자의 동기부여 측면에서 연구의 특성을 완벽하게 독립할 수 없었던 것이 어느 정도 연구 결과에 영향을 주었을 것이라 사료된다. 따라서 향후 연구에서는 표본 수를 확대하고, 중재 기간을 충분히 확보하여 연구를 진행하는 동안 각 그룹에 대한 충분한 통제와 서로의 독립성을 확보하여 서로의 영향을 최대한 줄이는 연구가 되었으면 하는 바램이며 측정하는 평가요소에서도 객관적이며 다양한 근력 및 균형 측정 장비를 포함시켜 보다 정밀한 분석이 이루어지길 바란다.

## V. 결 론

본 연구를 통해 점진적인 속도 조절이 적용된 로봇보행훈련이 뇌졸중 환자의 하지 근력 및 균형 능력 향상에 효과적임을 확인할 수 있었다. 또한 두 실험군과 지상 보행 훈련을 시행한 대조군 간의 비교를 통해, 로봇보행훈련이 지상 보행보다 하지 근력 및 균형 능력 개선에 있어 더 우수한 중재 방법임이 입증되었다. 이러한 결과는 점진적인 속도 변화가 적용된 로봇보행훈련이 뇌졸중 환자의 하지 기능 회복 및 균형 능력 향상을 위한 효과적이고 효율적인 재활 전략으로 활용될 수 있음을 시사한다.

## 참고문헌

- SJ Oh, YJ Cha, JS Hwang. 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. *J Korean Soc Phys Med.* 2022;17(4):65-73.
- SC Kwon, WS Shin. 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(4):163-174.
- JH Park, YJ Chung. The effects of robot-assisted gait training using virtual reality and auditory stimulation on balance and gait abilities in persons with stroke. *NeuroRehabilitation* 2018;43(2):227-235.
- Poli P, Morone G, Rosati G. Robotic technologies and rehabilitation: New tools for stroke patients' therapy. *Biomed Res Int.* 2013;2013:-153872.
- SY Park. The Effects of Robot-Assisted Gait Training for the Patient with Post Stroke: A Meta-Analysis.

- Phys Ther Korea. 2015;22(2):30-40.
- Dias D, Lains J, Pereira A, et al. Can we improve gait skills in chronic hemiplegics?. A randomised control trial with gait trainer. *Eura Medicophys* 2007;43:499-504.
- Mayr A, Kofler M, Quirbach E, et al. Prospective, blinded, randomized crossover study of gait rehabilitation in stroke patients using the Lokomat gait orthosis. *Neurorehabil Neural Repair*. 2007; 21:307-314.
- Bonnaud C, Pradon D, Boudarham J, et al. Effects of gait training using a robotic constraint (Lokomat®) on gait kinematics and kinetics in chronic stroke patients. *J Rehabil Med* 2014; 46:132-8.
- Pennycott A, Wyss D, Vallery H, et al. Towards more effective robotic gait training for stroke rehabilitation: A review. *J Neuroeng Rehabil* 2012;7(9):65.
- JM Lee, BR Kim. Role of Intensity and Repetition in Rehabilitation Therapy. *Brain & NeuroRehabilitation*. 2012;5(1):6-11.
- YG Kim, SH Park, MM Lee. The Effects of Robot-Assisted Gait Training on the Gait Pattern and Balance Ability of Patients with Chronic Stroke. *Phys Ther Rehabil Sci* 2023;12:372-81.
- DY Seo, YP Yang. The Effect of Speed-Change Gait Training on Cardiopulmonary Function of Stroke Patients. *KAIS*. 2021;22(5):303-309.
- Sullivan KJ, Knowlton BJ, Dobkin BH. Step training with body weight support: Effect of treadmill speed and practice paradigms on poststroke locomotor recovery. *Archives of physical medicine and rehabilitation*. 2002;83(5):683-91.
- Hesse S, Bertelt C, Jahnke M et al. Treadmill training with partial body weight support compared with physiotherapy in non-ambulatory hemiparetic patients. *Stroke*. 1995;26(6):976-81.
- H I Lee, The Effect of Artificial Change of Velocity in Walking Exercise on Energy Consumption, Oxygen Consumption, Blood Pressure, Heart Rate, Awareness of Exercise and Respiratory Exchange Ratio. Kun-kook University, Dissertation of Master's Degree, 2015.
- HS Lee. The Effect of gait pattern in hemiplegia patients through progressive speed increase treadmill training. *Journal of The Korean Society of Integrative Medicine*, 2014;2(1):23-34
- Gregson, J. M., Leathley, M. J., Moore, A. P., et al. Reliability of measurements of muscle tone and muscle power in stroke patients. *Age Ageing*. 2000;29(3):223-228.
- Berg K, Wood-Dauphinee S, Williams JI. The Balance Scale: reliability assessment with elderly residents and patients with an acute stroke. *Scand J Rehabil Med*.1995;27(1):27-36.
- Podsiadlo, D., & Richardson, S. The timed "Up & Go": A test of basic functional mobility for frail elderly persons. *J Am Geriatr Soc*, 1991;39(22):142-148.
- SH Kim, JD Choi. The effect of gait training of progressive increasing in body weight support and gait speed on stroke patients. *J Korean Soc Phys Ther*. 2013;25(5):252-259.
- A Lamontagne, J Fung. Faster is better: Implications for speed-intensive gait training after stroke. *Stroke*, 2004;(11)35:2543-2548.
- Punt M, Bruijn SM, Wittink H, et al. Virtual obstacle crossing: Reliability and differences in stork survivors who prospectively experienced falls or no falls. *Gait Posture*. 2017; 58:533-8.
-