

뇌졸중 환자의 로봇 보행 훈련이 고유수용성감각, 균형과 보행 능력에 미치는 영향

김태형, PT, MS¹, 오승준, PT, PhD²

¹경운대학교 일반대학원 물리치료학과, ²경운대학교 간호보건대학 물리치료학과

The Effect of Robot-Assisted Gait Training on Proprioception, Balance, and Walking Ability in Stroke Patients

Tae-Hyeong Kim, PT, MS¹, Seung-Jun Oh, PT, PhD²

¹Dept. of Physical Therapy, Graduate school of Kyungwoon University, Republic of Korea

²Dept. of Physical Therapy, Kyungwoon University, Republic of Korea

Purpose The aim of this study was to investigate the effects of robot-assisted gait training on proprioception, balance, and walking ability in stroke patients. This study also aimed to apply more effective treatments in clinical settings. **Methods** A total of 24 stroke patients were divided into two groups: an experimental group receiving robot-assisted gait training, and a control group receiving treadmill training. Both interventions were conducted for 30 minutes per session, three times a week, over four weeks. **Results** In the proprioception assessment, the experimental group's joint position sense score decreased from 10.61 ± 6.06 to 5.86 ± 1.85 , while the control group's score decreased from 5.60 ± 3.09 to 4.28 ± 2.85 . No significant differences were found within or between the groups ($p > .05$). In the balance assessment, there were no significant changes in either group after the intervention ($p > .05$). Walking ability improved in both groups, but the control group showed a significant increase from 32.17 ± 14.90 to 40.92 ± 14.20 ($p < .05$), with a significant difference between the two groups ($p < .05$). **Conclusion** Both robot-assisted gait training and treadmill training did not significantly improve proprioception or balance in stroke patients. However, the control group showed significant improvements in walking ability. This suggests that treadmill training may be more effective for improving walking ability, while robot-assisted training may have limited impact on proprioception and balance. Future research should focus on longer interventions and more precise assessments of proprioception's role in recovery.

Key words Stroke patients, Balance, Gait, Proprioception, Robot-assisted gait training, Lokomat

Corresponding author Seung-Jun Oh (seung-jun55@hanmail.net)

Received date 06 October

Revised date 14 October

Accept date 21 October

This work was supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Korea government (MSIT - Ministry of Science and ICT) (No. RS-2022-00166617)

1. 서론

세계보건기구(WHO)의 뇌졸중은 뇌의 혈류가 중단되어 뇌 조직이 손상되는 심각한 의학적 상태이며 24시간 이상 지속되거나 사망을 초래하는 급속히 발달하는 국소(또는 전신) 뇌 기능 장애의 임상 징후로 정의된다.¹⁾ 또한 글로벌 질병 부담 보고서는 뇌졸중이 여전히 주요 사망원인이며 사망과 장애를 합한 세 번째 주요 원인임을 보여준다. 뇌졸중 발병의 연령대가 낮아지고 발병률이 증가하였다는 것을 보여주며 다양해지는 발병 연령대와 증가하는 발병률로 인해 생산성 손실과 의

료자원 사용 증가로 인해 사회에 훨씬 높은 부담을 가져오게 된다.²⁾ 그러한 이유로 뇌졸중 환자의 재활을 통한 사회복귀는 필수적 요소라고 할 수 있다.

뇌졸중의 발병은 다양한 문제를 동반한다. 특히나 고유수용성 감각의 손상은 많은 문제를 초래할 수 있다. 고유수용성 감각 정보는 근방추, 골지건 기관, 관절 및 피부 수용체에서 신체의 위치와 움직임에 대한 정보를 받아 조정된 운동과 자세 제어를 가능하게 한다.³⁾ 따라서 고유수용성 감각의 손상은 균형 장애와 독립적인 보행 능력 회복의 제한 및 전반적인 기능 회복 예후의 저하를 발생시킬 수 있다.⁴⁾

균형과 보행의 장애는 뇌졸중 환자에게서 흔하게 나타나는 증상이다.⁵⁾ 균형이란 기저면(Base Of Support, BOS) 위에

<http://dx.doi.org/10.17817/JCMSH.2024.28.3.8>

서 신체 질량 중심(Center Of Mass, COM)을 유지하거나 되돌림으로써 중력장 내에서 평형을 유지하는 과정이며 자발적인 활동과 외부 교란에 대한 반응으로 위치를 유지하는 자세 조정으로 조절되는 복잡한 과정이다.⁶⁾ 뇌졸중 환자의 균형 능력의 감소는 낙상 위험도를 증가시키며 보행 조절에 영향을 미치는 것으로 알려져 있다.⁷⁾

안정적인 보행은 낙상을 초래하지 않는 보행으로 정의되며, 기저면과 관련된 신체 질량 중심의 위치를 제어해야 한다.⁸⁾ 뇌졸중 환자의 보행 양상은 특정 시공간적 패턴으로 특징지어지며, 이는 건강한 사람의 보행과 차이가 난다.⁹⁾ 따라서 보행의 장애는 이동성 제한을 초래하여 독립성 상실로 이어질 수 있으므로,¹⁰⁾ 보행 능력의 회복은 뇌졸중 후 환자를 위한 재활의 주요 치료 목표 중 하나이다.

보행을 치료하기 위해서 현재 사용되는 방법은 신경 발달 치료 (Neurodevelopmental Treatment, NDT)와 체중 지지 트레드밀 훈련(Body-Weight Supported Treadmill, BWSTT)이 사용되고 있다. 두 치료의 제한점은 체력적인 소모와 시간의 소비가 많이 필요로 하기에 치료사가 다수의 환자를 치료하기 힘들고 일정한 강도로 운동을 시켜 줄 수 없으므로,¹¹⁾ 효율성이 낮고 치료사의 일에 강도가 높아 치료를 일반적으로 적용하는데 제한이 있다.¹²⁾ 하지만 기존 치료의 단점을 보완하는 보행보조로봇이 등장하게 되며 최근 신경 재활에서 보행 훈련을 자동화하는 수단으로 등장했다. 로코맷(Lokomat)과 같은 로봇 보조 보행 훈련(Robot Assisted Gait Training, RAGT)은 환자의 능력 수준에 가장 적합한 개별 훈련 프로토콜을 설정할 수 있으며, 사전 프로그래밍이 된 대칭 보행 패턴을 제공할 수 있다. 그리고 로봇보조 훈련은 간단한 조작을 통해 다양한 프로그램으로 치료를 제공할 수 있어 동기 유발적으로 집중력을 제공할 수 있고, 환자의 안전을 보장할 수 있는 장점이 있다.¹³⁾ 또한 의존적인 환자에서 보행 훈련을 초기에 시작할 수 있어 물리치료사의 노력이 적게 들며, 보행의 지속 시간과 강도가 더 높은 치료를 제공한다.^{14,15,16)}

이러한 장점을 이용하여 독립적인 보행 능력, 보행 속도, 균형 및 장애 측면에서 더 나은 개선을 제공한다는 많은 연구가 있다. 한편, 또 다른 연구에서는 로봇보조보행훈련 중 과도한 체중 지지(body weight support, BWS)는 균형과 보행의 개선에 유의하지 않다는 결과가 나왔으며, 원인으로 체중 부하의 감소라고 말하고 있다. 인간은 구심성 정보를 수신하고 그에 따라 신체를 제어하지만,¹¹⁾ 체중의 70%나 50%와 같이 체중을 과도하게 지지하는 경우에는 지구로부터 받는 구심성 정보가 감소하며, 감각 정보의 불안정과 촉진을 어렵게 한다.¹²⁾ 기존의 연구에서는 균형과 보행에 대해서 개선된 결과를 보여줬지만 체중지지가 고유수용성감각에 대한 영향으로

인해 균형과 보행에 미치는 영향을 연구한 자료는 부족한 실정이며, 임상적 측면에서 뇌졸중 환자들에게 더욱 효과적인 치료를 적용하기 위함이다.

II. 연구 방법

1. 연구 대상

본 연구는 경운대학교 기관생명윤리위원회의 승인(KW-2024-12)을 받아서 2024년 5월 1일부터 9월 20일까지 대구 소재의 K병원에서 입원하여 포괄적인 재활치료를 받는 환자를 대상으로 진행하였다. 또한 연구의 대상자 수를 결정하기 위해 4명의 대상자로 사전 연구를 진행하였고, 사전 연구 데이터를 토대로 'G-power 3.1 program'를 사용하여 효과크기는 0.95, 1종 오류 허용범위는 0.05, 검정력은 0.6으로 설정하여 나온 24명에 탈락률 10%를 감안하여 26명을 무작위 배정하였다. 연구 목적 및 실험 방법에 대해 설명을 한 후 연구에 자발적으로 참여하겠다는 동의한 대상자 중 선정기준과 제외기준에 부합하는 편마비 환자를 대상으로 실시하였다.

연구에 참여한 대상자의 선정 기준은 다음과 같다.¹²⁾

- 1) 뇌졸중 진단을 받은 자
- 2) 간이 한국형 간이정신상태검사(K-MMSE)에서 24점 이상인 자
- 3) 보조기나 이동 보조 기구를 사용하여 10M이상 걸을 수 있는 자
- 4) 충분한 설명을 듣고 연구 참여에 동의한 자
대상자의 제외기준은 다음과 같다.^{12,17)}
- 1) 개방성 피부질환이 있는 자
- 2) MAS(modified Ashworth scale) G1이상, 하지의 관절 가동범위에 제한이 있는 자
- 3) 신장 150CM이하 및 체중 135KG이상에 해당하는 자
- 4) 기립성 저혈압 또는 전정기관 등의 문제로 어지러움을 호소하는 자
- 5) 근전도 검사에서 말초 신경의 이상 소견이 있는 자
- 6) 근골격계의 질환 및 이전의 무릎 손상 및 수술 병력이 있는 경우는 제외(단, 골관절염이 있는 경우 무릎의 방사선 촬영에서 Kellgren-Lawrence 등급이 I 혹은 II이면서 통증이 없는 경우는 연구 대상에 포함)

2. 연구 절차

본 연구는 선정 기준에 따라 26명을 대상으로 선정하였으나 2명의 대상자는 건강상의 이유로 탈락하였다. 따라서 총 24명의 환자를 무작위 분배 프로그램(Random allocation software 2.0, University of Medical Sciences, Iran, 2008)을 이용

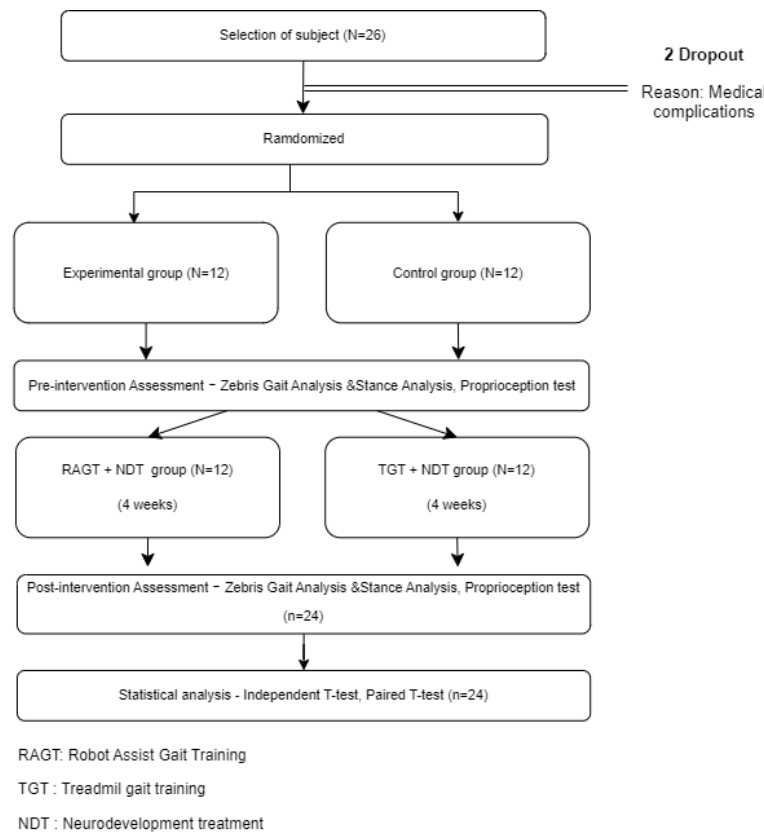


Figure 1. Study flow chart

하여 실험군과 대조군을 각 12명과 12명 나누어 진행하였다. 이후 대상자의 일반적 특성을 조사하였고 사전 검사를 실시하였다. 실험군은 로봇보조보행훈련을 30분씩, 주 3회, 4주간, 총 12회 실시하였으며, 대조군은 트레드밀 훈련을 30분씩, 주 3회, 4주간, 총 12회 실시하였다. 또한 실험군과 대조군 각각 중추신경계발달치료를 30분씩, 주 5회, 4주간 실시하였다. 모든 그룹은 치료 일과 후 중재를 실시하였으며 4주간의 중재 후 사후검사를 실시하였다(Figure 1).

3. 중재 방법

1) 로봇보조보행훈련

실험군은 Lokomat® Nanos (Hocoma AG, Zurich, Switzerland)을 사용하여 로봇 보조 보행 훈련에 사용되었다. 체중을 지지하는 하네스 시스템, 보행 중 하지의 올바른 움직임과 정렬을 안내하는 트레드밀 시스템 등으로 구성되어 있다. 로봇 보조 보행 훈련은 다음과 같이 진행되었다. 먼저 줄자를 이용하여 환자의 체중, 키, 다리길이를 측정하였고, 측정된 값이 로봇 하드웨어에 입력된 후 환자를 위해 설정되었다. 그런 다음 현수 장치를 사용하여 벨트를 환자 위에 놓고 벨트로 환자를 들어 올렸다. 환자를 바닥에서 약 10cm 정도 매달

린 상태에서 로봇 외골격을 고관절, 무릎관절, 발목관절 순으로 환자 위에 올려 놓고, 로봇의 움직임에 따라 환자의 관절 위치를 정렬하고 트레드밀을 작동시켰다. 트레드밀의 속도와 로봇의 움직임 속도를 조절한 후 매달린 환자를 천천히 낮추어 트레드밀 위를 걸을 수 있는 높이를 조절하였다. 로봇 보조 보행 훈련은 Hocoma 매뉴얼을 사용하여 Hocoma 인증 치료가 결정된 환자의 수행 수준에 따라 최대 속도를 설정한 후 수행되었다. 트레드밀은 이전에 설정한 최대 속도로 가속하기 전에 편안한 속도로 시작했다. 트레드밀 속도는 환자의 보폭과 트레드밀 벨트 속도가 치료사의 개입과 일치하는 지점으로 설정되었다. 또한 안전을 위해 두명의 치료사가 참여하였으며, 30분 동안 환자의 보행 상태를 지속적으로 모니터링하였다(Figure 2).¹²⁾

2) 트레드밀 보행훈련

대조군은 트레드밀 보행훈련을 진행하였다. 트레드밀 훈련 시 만일의 안전사고를 예방하기 위해 물리치료사의 감독을 통해 안전하게 진행하였다. 또한 안전바와 다양한 비상정지 기능이 가능한 재활치료용 트레드밀(Fitex 6080, Fitex, Korea)을 사용하며 보행 보조 자켓(ShumaDA-2700, 대안의료기)을 착용



Figure 2. Robot assist gait training



Figure 3. treadmill gait training

용하고 치료사 한명과 함께 안전사고를 예방하였다. 훈련은 30분씩, 주 3회, 4주간 총 12회 진행하였고 트레드밀 속도는 환자의 보폭과 트레드밀 벨트 속도가 치료사의 개입과 일치하는 지점으로 설정하였다(Figure 3).

3) 중추신경계발달재활치료

실험군과 대조군은 각각 중추신경계발달재활치료(Neurodevelopment Treatment, NDT)를 30분씩 주 5회, 4주간 실시하였다. NDT 치료는 중추신경계 손상 환자를 대상으로 일반적으로 중재하는 보바스 접근법 또는 고유수용성신경근축진법을 바탕으로 신경발달치료, 근력강화운동, 관절가동범위 운동, 균형 훈련, 보행 훈련 등의 프로그램을 대상자 개별의 기능적 수준을 고려하여 임상 3년차 이상의 물리치료사가 1:1로 실행하였다.

4. 측정 도구

1) 고유수용성감각 측정

본 연구는 고유수용성감각 측정을 위해 무릎 관절 위치 감각 (joint Position Sense, JPS) 측정하였으며 측정 방법은 이미지 캡처 방식을 사용하여 실시하였다. 검사자 간 신뢰도는 ICC=0.98, 검사자 내 신뢰도는 ICC=0.96이다.¹⁸⁾ 참가자들은 반바지를 입고 환측 다리의 양말과 신발을 벗었다. 치료용 침대 끝에 앉아 눈가리개를 쓴 채 위치했다. 이미지 캡처 데이터 수집을 위해 참가자들은 대퇴부의 넙다리근돌기에서 가쪽 위관절융기를 이은 선의 중간부위와 가쪽 위관절 융기, 그리고 환측 다리의 가쪽 복사뼈에 마커를 부착했다.¹⁸⁾ 측정 전, 참가자는 30°를 숙지하기 위해 HALO Digital

Goniometer(Halo Medical Devices, Subiaco, Western Australia)를 이용하였다. HALO Digital Goniometer는 검사자 내 신뢰도는 ICC=0.82에서 0.91이며, 검사자 간 신뢰도는 ICC=0.89에서 0.98이다.¹⁹⁾

참가자는 0°의 시작 각도에서 30°에서 60°의 무릎 굴곡상태까지 초당 10°의 각속도로 수동 이동시킨다. 이후 5초간 정지하여 환자에게 이 각도를 기억하게 한 후 시작 자세로 돌려 놓는다. 목표 각도는 무작위로 할당되었으며 참가자는 시작 자세에서 초당 5°의 각속도로 수동 신전 시키면서 목표 자세에 이르렀다는 것을 감지하는 순간 “여기”를 외친다. 측정자는 사진을 촬영하고 참가자의 환측 다리를 시작 위치로 되돌린다. 이 과정은 6회 반복되었으며, 목표 각도에 대한 각도차의 평균을 구하였다(Figure 4).



Figure 4. Joint position sense test

2) 균형과 보행 능력 평가

Zebris FDM-T 트레드밀(Zebris Medical GmbH, 독일)을 사용하여 균형(stance analysis)과 보행(gait analysis)의 시공간 매개변수를 측정하였다. 전용 소프트웨어는 힘 신호를 통합하고 정적 자세와 보행 중 압력 중심(Center of pressure, COP) 궤적을 포함한 주요 시공간 매개변수의 2D/3D 그래픽 표현을 제공한다.²⁰⁾ 이 측정 도구의 신뢰도는 ICC=0.91-1.00이다.²¹⁾

균형 능력은 95% confidence ellipse area로 측정되었으며 2차원 데이터(예: 앞뒤 움직임, 좌우 움직임)에서 데이터를 표현할 때, 그 분포를 타원 형태로 시각화 하는 방법이다. 타원의 크기는 작을수록 움직임이 적은 안정적인 상태를 의미한다. 대상자는 독립적으로 일어난 자세에서 30초간 정면을 응시하고 1회 측정하며 맨발로 실시하였다. 안전사고를 예방하기 위해 측정도구에 대한 숙련도가 높은 치료사가 보조하였다(Figure 5).

보행 능력은 한발짝 길이(Step length)로 측정되었으며 한 발이 땅에 닿은 후 다른 발이 땅에 닿을 때까지의 거리를

의미. 대상자는 신발을 착용하지 않고 맨발로 실시하였으며, 트레드밀 옆을 잡고 실시하였다. 대상자가 편하다고 느끼는 속도에서 1분간 걸어 측정하였다.

5. 자료 분석

수집된 자료는 SPSS version 27.0 for window software(SPSS Inc., Chicago)을 이용하여 처리할 것이며, 모든 검정에서 통계적 유의수준은 p=.05로 한다.

본 연구에서 고유 감각, 균형 및 보행 능력에 대한 그룹 간 실험 전과 후의 차이를 알아보기 위해 독립표본 t-검정(independent t-test)을 실시하였고, 그룹 내 실험 전과 후 효과를 알아보기 위해 대응표본 t-검정(paired t-test)을 실시하였다. 또한 대상자의 일반적인 특성은 범주형 변수는 카이 제곱(chi-square test)과 독립표본 t-검정을 실시하여 동질성 검정을 하였으며 연구 대상자의 일반적 특성은 다음과 같다(Table 1).

정규성 검정을 실시하여 정규분포를 확인하였다.

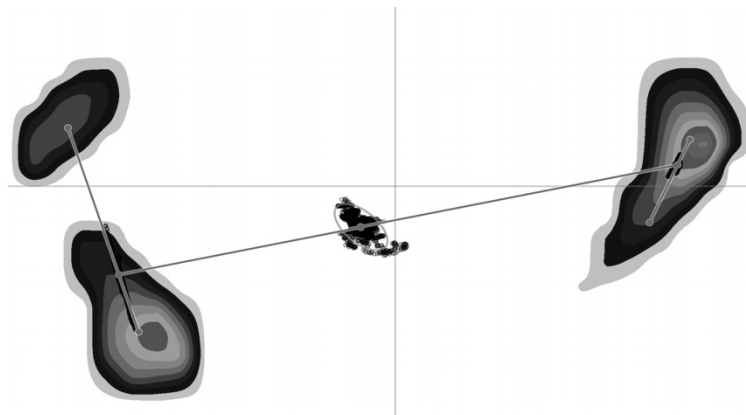


Figure 5. COP 95% confidence ellipse area

Table 1. General characteristics of the subjects

Variables	EG(n=12)	CG(n=12)	t/X ²	p
Gender (M/F)	11/1	9/3	1.200	.273
Paretic side(R/L)	7/5	7/5	.000	1.000
Type of stroke(H/I)	4/8	5/7	.178	.673
Age (years)	a54.92±13.28	55.08±13.58	-0.30	.976
Time since onset (month)	12.34±4.81	21.73±26.24	-1.220	.236
BMI (kg/m ²)	23.92±3.23	26.53±3.31	-1.945	.065
MMSE-K (score)	28.25±1.96	27.92±2.61	.354	.727

^aMean±SD;

Note. EG: Robot assist gait training, CG: Treadmill training, M: Male, F: Female, R:Right, L: Left, H: Hemorrhage, I: Infaction, MMSE-K: Mini mental state examination-Korean

Table 2. comparison of Proprioception test, balance, gait ability

Variables		EG(n=12)	CG(n=12)	t (p)
Proprioception test (JPS test) (Unit: °)	Pre	10.61±6.06 ^a	5.60±3.09	1.615
	Post	5.86±1.85	4.28±2.85	
	t	2.987*	1.166	
	Change	-4.75±5.51	-1.32±3.91	
balance ability (95% confidence ellipse area) (Unit:mm ²)	Pre	650.33±461.65	447.75±336.14	1.739
	Post	977.91±736.04	537.83±476.15	
	t	-1.548	-0.815	
	Change	327.58±732.93	90.08±382.92	
gait ability (step length) (Unit: cm)	Pre	24.92±10.70	32.17±14.90	-3.103*
	Post	25.08±10.53	40.92±14.20	
	t	-1.01	-4.459*	
	Change	0.17±5.72	8.76±6.80	

*p<.05 ^aMean±SD; ^bPost - pre;
Note. JPS: joint Position Sense

III. 결 과

고유수용성감각 평가의 결과는 실험군은 10.61±6.06에서 5.86±1.85로 감소하였고, 대조군은 5.60±3.09에서 4.28±2.85로 감소하였다. 두 그룹 모두 중재 후 감소하였지만 유의한 차이는 없었다(p>.05), 또한 그룹 간 비교에서도 유의한 차이는 없었다(p>.05)(Table2).

균형 능력 평가의 결과에서는 실험군은 650.33±461.65에서 977.91±736.04 증가하였고 대조군은 447.75±336.14에서 537.83±476.15로 증가하였다. 두 그룹 모두 중재 후 증가하였으며, 유의한 차이는 없었다(p>.05). 또한 그룹 간 유의한 차이는 없었다(p>.05)(Table2).

보행 능력 평가의 결과에서는 실험군은 24.92±10.70에서 25.08±10.53으로 증가하였고 대조군은 32.17±14.90에서 40.92±14.20 증가하였다. 두 그룹 모두 중재 후 증가하였고 특히나 대조군의 보행 능력은 유의하게 증가하였다(p<.05). 또한 그룹 간 유의한 차이가 있었다(p<.05)(Table2).

IV. 고 찰

본 연구에서는 뇌졸중 환자를 대상으로 로봇보조보행훈련이 고유수용성 감각, 균형, 보행 능력에 미치는 영향을 알아보고자 하였다. 이를 위해 로봇 보조 보행 훈련을 받은 실험군과 전통적인 트레드밀 훈련을 받은 대조군을 비교하였다. 연구 결과, 고유수용성 감각과 균형 능력 측면에서 두 그룹 모두 유의미한 변화가 없었으나, 보행 능력 측면에서 대조군이 유

의미한 개선을 보였다.

뇌졸중 환자는 대부분 고유수용성감각의 손상을 가지고 있다. 정상인과 편마비 환자를 대상으로 무릎관절의 위치감각을 이용하여 고유수용성감각을 평가한 논문에 의하면 30°의 측정에서 정상인 그룹은 5.1±3.39, 편마비 그룹은 19.2±16.18으로 유의한 차이가 있었으며, 고유수용성 감각의 손상을 가지고 있음을 뒷받침한다.¹⁷⁾ 나아가 균형과 보행에도 영향이 있다는 연구 결과가 있다. 뇌졸중 환자의 몸통에 대한 위치감각과 균형, 보행을 평가한 논문에서 고유수용성 감각의 변화는 유의미한 결과가 있었고,²²⁾ 다른 연구에서도 다양한 관절의 고유수용성감각은 유의미한 변화와 함께 균형과 보행의 결과에서도 개선이 있었다.²³⁾ 본 연구에서는 고유수용성감각의 변화는 실험군과 대조군 모두 중재 후 감소했지만 두 그룹간 유의한 차이는 없었다. 이는 로봇보조보행훈련이 고유수용성 감각 개선에 있어 크게 기여하지 못했음을 시사하지만 소폭 개선되었다. 다양한 연구에서는 고유수용성 감각 같은 구심성 감각들이 균형과 보행 능력의 회복에 중요한 역할을 한다고 강조되었다. 또한 하지 근육에 대한 피질 척수로에 미치는 영향을 조사하기 위한 연구에서는 트레드밀에서 체중의 40%를 지지하는 지면 걷기(Ground stepping)와 체중을 100% 지지하지 않는 공중 걷기를 비교한 결과, 수동적인 지면 걷기 동안 앞정강근의 피질척수로 흥분성이 촉진되지만, 수동적인 공중 걷기 동안에는 그렇지 않음을 보여준다.²⁴⁾ 따라서 충분한 중재 효과를 보기 위해서는 장기적인 관점에서의 연구가 필요할 것으로 보인다.

균형과 보행에 있어서는 다양한 연구에서 기존의 물리치료보다 더 효과적인 개선이 있었다는 연구가 많다. 가쪽솔림보

행이 있는 이급성기 뇌졸중 환자를 대상으로 로봇보조보행훈련을 적용한 연구에 따르면 균형과 가쪽쓸림보행의 개선에 효과적이었다는 결과가 있었다.²⁵⁾ 또한 성인 뇌졸중 환자를 대상으로 외골격 또는 중단형 보행보조로봇을 이용하여 연구한 33개의 논문을 비교한 메타분석 연구에 따르면 보행 속도, 보행 지구력, 버그 균형 척도(Berg balance scale, BBS), 기능적 보행 지수(Functional ambulation categories, FAC), 일어서서 걷기 검사(Timed Up and Go, TUG) 중 보행속도와 버그 균형 척도에서 더 큰 개선을 보였다.²⁶⁾

본 연구의 결과에서는 균형 능력 역시 두 그룹 모두 중재 후 소폭 변화하였지만 유의한 차이는 없었다. 이는 로봇 보조 보행 훈련과 트레드밀 훈련 모두 균형 능력 회복에 긍정적인 영향을 미치지 않지만, 로봇 훈련이 균형 개선에서 탁월한 효과를 보이지 않았다는 것을 나타낸다. 이전의 연구에서는 과도하게 체중을 지지할수록 균형 능력의 상승이 다른 그룹에 비해 작았다고 보고되었다.¹²⁾ 로봇 훈련 시 체중 지지 시스템이 균형에 필요한 적절한 근육 사용과 균형 잡기 능력의 개선을 저해할 수 있다는 지적이 이전 연구에서 제기된 바 있다.

보행 능력 측면에서는 대조군이 실험군에 비해 유의미하게 개선된 결과가 나타났다. 체중 지지가 제공되는 로봇보조보행 훈련에 비해 트레드밀 보행훈련은 부하를 비교적 많이 받게 되며 부하와 관련한 구심성 감각의 입력이 보행 장애를 위한 훈련 동안 중요한 역할을 할 수 있다는 개념과 일치할 수 있다.

보행과 밀접한 연관이 있는 한 발짝 길이의 증가로 보행속도가 개선되었을 가능성을 시사한다. 일반적으로 보행속도는 보폭과 보행 빈도에 의해 결정되며, 이 두 요소는 보행속도를 증가시키거나 감소시키는 중요한 역할을 한다. 또한 한 연구에 따르면 체중 지지가 제공되었을 때 속도 효과는 감소했다고 보고되었다.²⁷⁾

결론적으로, 본 연구는 로봇보조보행훈련이 고유수용성 감각과 균형 개선에 있어서 제한적인 효과를 보였으며, 보행 능력의 회복에서는 트레드밀 훈련이 더 유의미한 효과를 나타낸 것을 확인하였다. 이는 로봇 보조 보행 훈련이 단일 치료 방법으로 모든 기능회복을 달성하기 어려울 수 있으며, 균형과 보행 능력의 회복을 위해 다양한 훈련 방법을 병행할 필요성을 시사한다. 또한 로봇이 가진 여러 가지 시스템을 환자 개개인에게 맞게 설정하여 최적의 치료를 할 수 있어야 한다.

본 연구의 제한점은 환자들의 모집 시 뇌졸중 발병 기간을 정해 놓지 않아 외적인 차이를 완전히 배제하지 못했으므로 일반화하기 어렵다는 것이다. 그리고 고유수용성에 대한 평가 도구가 부족하였다. 또한 충분한 효과를 확인하기 위해서는 중재 기간을 더욱 길게 설정하여 진행해야 할 것이다. 향후에는 더 명확한 대상자와 고유수용성에 대한 객관적인 평가도구

를 이용하여 연구 진행이 되어야 할 것이다.

References

1. Sacco RL, Kasner SE, Broderick JP, et al. An updated definition of stroke for the 21st century: a statement for healthcare professionals from the American Heart Association/American Stroke Association. *Stroke*. 2013;44(7):2064-89.
2. Luengo-Fernandez R, Violato M, Candio P, et al. Economic burden of stroke across Europe: A population-based cost analysis. *European Stroke Journal*. 2020;5(1):17-25.
3. Blum KP, VerSteeg C, Sombeck J, et al. Proprioception: a sense to facilitate action. *Somatosensory Feedback for Neuroprosthetics*. Las Vegas, Elsevier, 2021: 41-76.
4. Kim GH, Yoon TL. The Effects of Somatosensory Enhancement Stabilization Exercise of Neck on Dynamic Balance, Falls Efficacy, Neck Disability, and Quality of Life in Patients with Stroke. *Journal of Korea Society for Neurotherapy*. 2022;26(3):11-8.
5. Tyson SF, Hanley M, Chillala J, et al. Balance disability after stroke. *Physical therapy*. 2006;86(1):30-8.
6. Niam S, Cheung W, Sullivan PE, et al. Balance and physical impairments after stroke. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*. 1999;80(10):1227-33.
7. Ellmers TJ, Maslivec A, Young WR. Fear of Falling Alters Anticipatory Postural Control during Cued Gait Initiation. *Neuroscience*. 2020;438:41-9.
8. Bruijn SM, Van Dieën JH. Control of human gait stability through foot placement. *Journal of The Royal Society Interface*. 2018;15(143):20170816.
9. Wang Y, Mukaino M, Ohtsuka K, et al. Gait characteristics of post-stroke hemiparetic patients with different walking speeds. *International Journal of Rehabilitation Research*. 2020;43(1):69-75.
10. Delbaere K, Crombez G, Vanderstraeten G, et al. Fear-related avoidance of activities, falls and physical frailty. A prospective community-based cohort study. *Age and ageing*. 2004;33(4):368-73.
11. Kim JH. Effects of Robot-assisted Therapy on Lower Limb in Patients with Subacute Stroke. *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*2016; 17(7):459-66.
12. Choi W. Effects of robot-assisted gait training with body weight support on gait and balance in stroke patients.

- International journal of environmental research and public health. 2022;19(10):5814.
13. Park J, Lee D, Kim J, et al. Effects of Robot-Assisted Training on Balance and Foot Pressure in Stroke Patients. *Neurotherapy*. 2020;24:1-7.
 14. Schwartz I, Meiner Z. Robotic-assisted gait training in neurological patients: who may benefit? *Annals of biomedical engineering*. 2015;43:1260-9.
 15. Low K, editor Robot-assisted gait rehabilitation: From exoskeletons to gait systems. 2011 Defense Science Research Conference and Expo (DSR); 2011: IEEE.
 16. Westlake KP, Patten C. Pilot study of Lokomat versus manual-assisted treadmill training for locomotor recovery post-stroke. *Journal of neuroengineering and rehabilitation*. 2009;6:1-11.
 17. Hwang JS, Lee DS, Cho YJ, et al. Measurement of Proprioception of the Knee in Hemiplegic Patients Using an Isokinetic Dynamometer. *Journal of the Korean academy of rehabilitation medicine*. 2010;34(1):27-33.
 18. Relph N, Herrington L. Criterion-related validity of knee joint-position-sense measurement using image capture and isokinetic dynamometry. *Journal of sport rehabilitation*. 2015;24(1).
 19. Connell LA, Lincoln N, Radford K. Somatosensory impairment after stroke: frequency of different deficits and their recovery. *Clinical rehabilitation*. 2008;22(8): 758-67.
 20. Kalron A, Dvir Z, Frid L, et al. Quantifying gait impairment using an instrumented treadmill in people with multiple sclerosis. *International Scholarly Research Notices*. 2013;2013(1):867575.
 21. Donath L, Faude O, Lichtenstein E, et al. Validity and reliability of a portable gait analysis system for measuring spatiotemporal gait characteristics: comparison to an instrumented treadmill. *Journal of neuroengineering and rehabilitation*. 2016;13:1-9.
 22. Jung K, Kim Y, Chung Y, et al. Weight-Shift Training Improves Trunk Control, Proprioception, and Balance in Patients with Chronic Hemiparetic Stroke. *The tohoku journal of experimental medicine*. 2014;232(3):195-9.
 23. Mao Y, Gao Z, Yang H, et al. Influence of proprioceptive training based on ankle-foot robot on improving lower limbs function in patients after a stroke. *Frontiers in neurorobotics*. 2022;16:969671.
 24. Kamibayashi K, Nakajima T, Takahashi M, Akai M, Nakazawa K. Facilitation of corticospinal excitability in the tibialis anterior muscle during robot-assisted passive stepping in humans. *European Journal of Neuroscience*. 2009;30(1):100-9.
 25. Yun NR, Joo MC, Kim S, et al. Robot-assisted gait training effectively improved lateropulsion in subacute stroke patients: a single-blinded randomized controlled trial. *European journal of physical and rehabilitation medicine*. 2019;54 6:827-36.
 26. Moucheboeuf G, Griffier R, Gasq D, et al. Effects of robotic gait training after stroke: a meta-analysis. *Annals of physical and rehabilitation medicine*. 2020;63(6): 518-34.
 27. Van Kammen K, Boonstra A, Reinders-Messelink H, et al. The combined effects of body weight support and gait speed on gait related muscle activity: a comparison between walking in the Lokomat exoskeleton and regular treadmill walking. *Public library of science ONE*. 2014;9(9):e107323.