

Original Article

로봇-보조 팔 훈련이 뇌졸중 환자의 팔에 근활성도와 체중지지에 미치는 영향

양대중, 이용선¹⁾

세한대학교 보건대학 물리치료학과 교수, 세한대학교 대학원 물리치료학과 대학원생¹⁾

Effects of Robot-Assisted Arm Training on Muscle Activity of Arm and Weight Bearing in Stroke Patients

Dae-jung Yang, Yong-seon Lee¹⁾

Dept. of Physical Therapy, College of Health, Sehan University

Dept. of Physical Therapy, Graduate School of Sehan University¹⁾

ABSTRACT

Background: This study investigated the effect of robot-assisted arm training on muscle activity of arm and weight bearing in stroke patients.

Methods: The study subjects were selected 20 stroke patients who met the selection criteria. 10 people in the robot-assisted arm training group and 10 people in the task-oriented arm training group were randomly assigned. The experimental group performed robot-assisted arm training, and the control group performed task-oriented arm training for 6 weeks, 5 days a week, 30 minutes a day. The measurement tools included surface electromyography and smart insole system. Data were analyzed using independent sample t-test and the paired sample t-test.

Results: Comparing the muscle activity of arm within the group, the experimental group and the control group showed significant differences in muscle activity in the biceps brachii, triceps brachii, anterior deltoid, upper trapezius, middle trapezius, and lower trapezius. Comparing the muscle activity of arms between the groups, the experimental group showed significant difference in all muscle activity of arm compared to the control group. Comparing the weight bearing within the groups, the experimental group showed significant difference in the affected side and non-affected side weight bearings and there were significant differences in anterior and posterior weight bearing. The control group showed significant difference only in the non-affected side weight bearing. Comparing the weight bearings between groups, the experimental group showed significant difference in the affected side and non-affected side weight bearings compared to the control group.

Conclusion: This study confirmed that robot-assisted arm training applied to stroke patients for 6 weeks significantly improved muscle activity of arm and weight bearing. Based on these results, it is considered that robot-assisted arm training can be a useful treatment in clinical practice to improve the kinematic variables in chronic stroke patients.

Key Words:

Muscle activity, Robot-assisted arm training, Weight bearing

교신저자: 이용선

주소: 58667, 전남 목포시 하당로 153번길 14, E-mail: hoy4124@naver.com

I. 서론

뇌졸중(stroke)은 뇌경색과 뇌출혈에 의한 뇌혈관의 장애로 인하여 발생한 신경학적 징후가 24시간 이상 지속되거나, 24시간 이내 사망하는 신경계 질환이다 (Johnson 등, 2016). 뇌혈관 질환은 암, 심장질환과 더불어 한국의 주요 사망원인으로 2003년에 10만명 당 75.5명, 2019년에 42명으로 사망률이 감소하는 추세이다(KOSIS, 2021). 조기 건강검진이나 의료기술의 발달로 인해 뇌졸중으로 인한 사망률은 감소되고 있지만, 질병 후유장애로 인해 장애인의 수가 증가하고 있어 사회적 문제로 대두되고 있다(Langhorne 등, 2011).

뇌졸중은 중추신경계 손상으로 인한 신경학적 기능에 문제가 발생하는 질환으로 운동능력, 몸감각, 신체지각, 인지능력 등에 장애가 나타난다(Graef 등, 2016). 뇌졸중 환자의 60% 이상은 마비측 팔의 기능 장애를 유발함으로써 어깨와 팔꿈치관절 주변의 작용근과 대항근에 근육의 길이변화에 대한 협응능력이 감소되고(Verheyden 등, 2009), 과제 수행 시에 비마비측의 과사용으로 인한 마비측의 움직임이 줄어들며(Winstein 등, 2004), 이로 인해 신체 중심이 비마비측으로 이동되어 비대칭적인 체중부하 및 자세부정렬을 유발하는 등 균형능력이 감소된다(Bertani 등, 2017).

로봇-보조 팔 훈련은 감각-운동 훈련을 제공할 수 있는 장비로, 팔 무게를 보조하여 비정상적인 형태의 근 시너지를 감소시켜 선택적 움직임을 유도할 수 있다(Sale 등, 2014). 또한, 과제지향적 훈련을 통해 운동학습을 촉진시키고, 일정한 강도의 반복훈련과 시각적 피드백을 통한 집중력 및 지속적인 동기부여를 제공할 수 있는 장점이 있다(Esquenazi와 Packel, 2012).

Carpinella 등(2020)은 로봇-보조 팔 훈련 후 어깨와 팔꿈치 협응력, 팔꿈치 펌, 몸통 움직임에서 향상되었고, 마비측 팔의 몸쪽 근육의 경직이 감소하였다고 보고하였다. Brauer 등(2013)은 뇌졸중 환자에게 로봇-보조 팔 훈련을 적용한 후 어깨관절의 안정성이 개선되면서 팔 기능이 향상되었다고 보고하였고, Timmermans 등(2014)은 과제중심적인 로봇-보조 팔 훈련 후 뇌졸중 환자의 팔과 손의 기능이 향상되었다고 하였다.

최근 다양한 연구들을 통해 뇌졸중 환자의 팔 기능, 어깨관절의 안정성, 경직에 감소, 근력 향상 등 로봇-보조 팔 훈련의 효과를 규명한 연구들이 이루어지고 있다. 하지만 비교적 최신의 중재 방법이기 때문에 로봇의 종류와 치료 강도, 중재 기간 등으로 인해 선행연구마다

효과에 대한 차이를 보이고 있어 로봇-보조 팔 훈련의 추가 연구가 필요하다. 또한, 뇌졸중 환자에게 로봇-보조 팔 훈련을 적용한 후 팔의 근활성도와 체중지지에 연관성에 대한 연구는 미비하고, 운동학적 요인에 대한 정량적 분석을 시행한 연구 또한 부족한 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 뇌졸중 환자에게 로봇-보조 팔 훈련을 적용하여 팔의 근활성도와 체중지지에 미치는 영향을 알아보고, 뇌졸중 환자의 독립적인 일상생활과 사회적 참여 증진을 위한 로봇-보조 팔 훈련 프로그램 개발에 기초자료를 제공하고자 한다.

II. 연구방법

1. 연구대상자

본 연구는 2021년 9월부터 2021년 10월까지 2개월간 전라남도 M시 소재 W병원과 J병원에 입원하고 있는 환자를 대상으로 시행하였다. 연구대상자는 뇌졸중으로 인해 반마비 진단을 받고 6개월 이상 24개월 미만인 뇌졸중 환자를 대상으로 본 연구의 취지와 목적을 설명한 후 자발적으로 참여하기를 동의한 자를 선정하였다.

연구대상자의 세부 선정기준은 뇌경색이나 뇌출혈의 재발 병력이 없는 자, 실험에 영향을 줄 수 있는 정형외과적 질환의 병력이 없는 자, 선 자세에서 1분 이상 유지할 수 있는 자, 한국형 간이 정신상태(Korean version of mini-mental state examination)가 24점 이상인 자를 대상으로 하였고, 심장 박동기 착용자, 부정맥, 심부전 병력이 있는 대상자는 연구에서 제외하였다.

2. 연구 설계

본 연구에서 설정한 기준에 적합한 환자 20명을 표본 추출하여 로봇-보조 팔 훈련을 적용한 실험군과 과제지향적 팔 훈련을 적용한 대조군으로 분류하여 각 그룹에 10명씩 무작위 배치하였고, 6주간 중재 후 팔의 근활성도와 체중 지지 변화를 알아보기 위해 실시하였다. 실험군과 대조군은 각각 6가지 프로그램을 6주, 주 5일, 하루 30분 동안 시행하였고, 측정 도구는 표면 근전도와 스마트 인솔 시스템을 사용하였다.

3. 중재 방법

1) 로봇-보조 팔 훈련

본 연구에서 로봇-보조 팔 훈련(robot-assisted arm training)은 가밀로(3DBT-61, Man&tel, Korea)를 이용하였고, 모니터 화면을 보면서 프로그램 지시에 따라 팔 훈련을 수행하고, 과제지향적인 동작을 수행한다. 로봇-보조 팔 훈련 프로그램은 수평면, 수직면, 경사면 총 3가지의 위치 설정 모드가 있고, 운동 강도는 수동, 능동, 저항 모드가 있으며, 개인의 동작 수행능력에 따라 위치와 훈련 모드, 강도를 선택하여 수행할 수 있도록 조절하였다(Kim, 2021).

로봇-보조 팔 훈련은 6가지 프로그램으로 구성하였고, 수동훈련에서 능동훈련, 저항훈련 순으로 1번 과제에서 6번 과제 순서로 진행하였다. 1. 수평면/수동 & 능동훈련(거북이 잡기), 2. 수평면 & 경사면/수동 & 능동훈련(유리창 닦기), 3. 수직면 능동훈련(곤충 잡기), 4. 수평면 & 경사면/능동 & 저항훈련(사격하기), 5. 수평면 & 경사면/능동 & 저항훈련(물고기 잡기), 6. 수직면/능동 & 저항훈련(게이저를 채우며 점프하기)으로 프로그램을 구성하여 각 항목 당 5분 씩 훈련을 실시하였다.

로봇-보조 팔 훈련 자세는 등받이가 있는 의자에서 앉아 양쪽 발바닥이 바닥에 닿는 자세로 엉덩관절, 무릎관절을 90°로 굽힘시키고, 대상자의 아래팔은 지지대로 보조하고, 손은 기기의 손잡이를 쥐게 하여 스트랩으로 고정한다. 대상자의 체형에 따라 프로그램 모드를 변경하여 팔의 높이를 조절하고, 대상자의 몸의 이동이나 보상작용이 발생하는 경우 치료사가 보조를 해주었다(Basteris 등, 2014).

2) 과제지향적 팔 훈련

과제지향적 팔 훈련(task-oriented arm training)은 로봇-보조 팔 훈련군과 유사한 프로그램으로 구성하여 시행하였다. 자세는 등받이가 있는 의자에 앉아 양쪽 발바닥이 바닥에 닿는 자세로 엉덩관절, 무릎관절을 90°로 굽힘시키고, 프로그램을 수행 중 대상자의 몸의 이동이나 보상작용이 발생하는 경우에는 치료사가 보조하였다.

과제지향적 팔 훈련 프로그램은 1번 과제에서 6번 과제 순서로 진행하였다. 1. 스위치 누르기(1), 2. 스위치 누르기(2), 3. 컵 좌·우로 쌓기, 4. Pegboard에서 Peg를 빼고 넣기, 5. 퍼즐 조각 맞추기, 6. 사각나무패드 옮기기 프로그램으로 구성하여 각 항목 당 5분 씩 훈련을 실시하였다(Jung, 2009).

4. 실험도구 및 측정방법

1) 팔의 근활성도 측정

본 연구에서는 팔의 근활성도를 측정하기 위해 표면 근전도 기기인 BTS Free EMG 1000(BTS Bioengineering, Italy)를 사용하였다. BTS Free EMG 1000의 구성은 표면근전도와 무선으로 제공되는 데이터를 수신하기 위한 수신기, 수집된 자료를 분석하기 위한 컴퓨터로 구성되어 있다. 수집된 디지털 신호는 BTS EMG-Analyzer 소프트웨어를 통하여 산출하였다.

근전도 신호의 표본 수집율은 1024Hz이며 20~500Hz의 대역 통과 필터를 사용하여 잡음을 제거하였다. 뇌졸중 환자의 경우 정확한 최대 수의적 등척성 근수축 값에 대한 측정이 어려움으로, 이러한 경우에는 안정 시 근전도 값의 평균을 기준 수축력으로 표준화하는 %자발적 기준 수축(% reference voluntary contraction: %RVC) 방법을 사용하여 근전도 신호를 표준화하였다.

전극은 Ag-Ag/Cl을 이용하여 부착하였고, 표면 근전도 신호에 대한 피부의 저항을 줄이기 위해 부착 부위의 털을 제모한 후, 피부를 사포로 문지르고 알코올 솜으로 닦아내어 각질을 제거하였다. 전극을 피부에 부착하고 전극을 가볍게 눌러 전극 내 근전도용 전해질 겔이 피부와 전극 사이에서 유지되게 하였다(Camara 등, 2016).

측정 근육은 위팔두갈래근, 위팔세갈래근, 앞 어깨세모근, 위 등세모근, 중간 등세모근, 아래 등세모근의 근활성도를 측정하였다.

부착 부위는 위팔두갈래근은 팔꿈치 오목(fossa cubiti)에서 어깨 봉우리 사이의 1/3 지점, 위팔세갈래근은 어깨 봉우리의 후부 능선과 자뼈팔꿈치돌기 사이의 50% 지점, 앞 어깨세모근은 어깨 봉우리의 말단과 앞쪽에 한 손가락 너비의 지점, 위 등세모근은 어깨 봉우리에서 척추뼈 C7의 50% 지점, 중간 등세모근은 날개뼈 내측 경계에서 척추뼈 T3 사이의 50% 지점, 아래 등세모근은 어깨뼈가시에서 척추뼈 T8 사이의 2/3 지점에 부착하였다(Silva 등, 2018)(Figure 1).

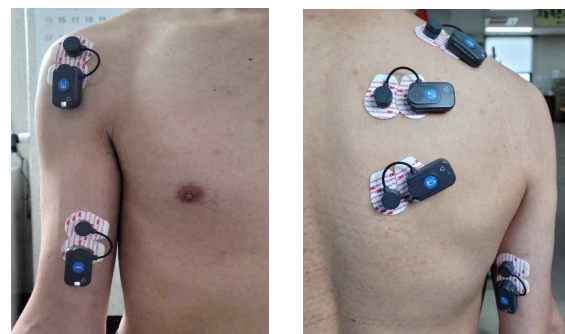


Figure 1. Electrode attachment location

특정 동작 값은 환자가 의자에 앉은 자세에서 물이 들어있는 컵을 잡은 상태에서 물을 흘리지 않고 컵을 들어 올리는 동작으로 상체와 수평이 되는 지점을 기준으로 신호를 사용하였고, 기준 수축 값은 의자에 앉은 자세에서 손을 뺀 동작 사이의 근전도 자료를 수집하였다 (Silva 등, 2018).

데이터는 3회 측정하여 얻은 결과값의 평균값을 이용하였고, 마비측의 측정값만 분석하였다. 표면 근전도는 급내 상관관계수가 ICC=.83~.94로 높은 신뢰도를 보여주는 장비이다(Jang 등, 2018).

2) 체중 지지 측정

본 연구에서는 스마트 인솔 시스템(smart insole system)(SI-GP200, Salted, Korea)을 사용하여 환자의 체중지지를 측정하였다. 스마트 인솔은 발바닥에 부착되어 발의 압력이 스마트 인솔의 센서를 통하여 데이터가 수집되며, 이 데이터는 태블릿으로 송출된다(Seo 등, 2020).

스마트 인솔의 사이즈는 뇌졸중 환자의 다양한 발의 크기를 위하여 230~270mm까지 5개의 스마트 인솔을 준비하였다. 대상자의 체중지지는 환자의 신발에 스마트 인솔을 넣어 측정하고, 5초 간 선 자세를 유지하는 동안 앞쪽과 뒤쪽, 왼발과 오른발에 체중이 지지되는 양상을 측정하여 평균값을 %로 산출하였다. 측정자 간 신뢰도는 높은 신뢰도(ICC=.77~.83)를 보였고, 측정자 내 신뢰도는 모든 발 유형에서 높은 신뢰도(ICC=.84~.94)를 보였다(Choi 등, 2021)(Figure 2).

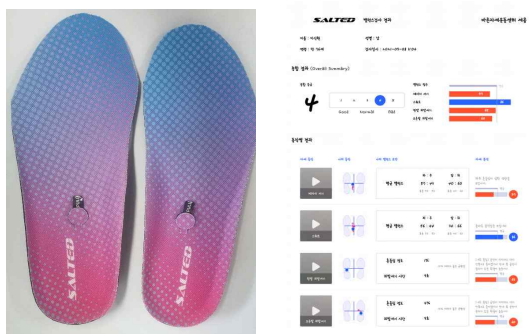


Figure 2. Smart insole system

5. 분석방법

본 연구의 결과 분석에서 수집된 자료는 SPSS

(statistical package for the social sciences) version 26.0 for window software(SPSS Inc., Chicago)를 이용하여 통계 처리하였다.

Shapiro-Wilk 검사를 통해 정규성 검정을 시행하였고, 대상자의 일반적 특성 중에 나이, 키, 몸무게는 독립 표본 t-검정을 하였고, 성별, 마비측, 발병기간, 한국형 간이 정신상태 점수는 카이제곱 검정(chi-squared test)을 시행하여 동질성 검정을 하였다.

두 그룹의 동질성을 확인하기 위해 실험군과 대조군의 치료 중재 전 팔의 근활성도와 체중 지지 측정 값에서 얻은 자료를 독립표본 t-검정(independent t-test)을 실시하였다. 두 그룹 내 중재 전·후의 변화를 비교하기 위해 대응표본 t-검정(paired t-test)을 실시하였고, 두 그룹 간 차이를 알아보기 위해 독립표본 t-검정을 시행하여 비교 분석하였다. 자료의 모든 통계 유의수준은 $\alpha = .05$ 로 하였다.

III. 연구결과

1. 연구대상자의 일반적인 특성

연구대상자는 총 20명으로 실험군, 대조군 각각 10명이었고, 나이, 키, 몸무게, 성별, 마비측, 발병기간, 한국형 간이 정신상태 점수에서 동질성 검정 결과 통계적으로 유의한 차이가 나타나지 않았다($p>.05$)(Table 1).

Table 1. General characteristics of the subjects

Groups	EG(n=10)	CG(n=10)	χ^2/t
Age(yrs)	58.50±11.23 ^a	60.50±9.92	13.333
Height(cm)	164.30±7.27	165.30±8.98	9.333
Weight(kg)	66.10±12.13	66.50±4.72	11.333
Sex (male/female)	6/4	6/4	.000
Diagnosis(infarction/hemorrhage)	6/4	7/3	.220
Affected side (Right/Left)	6/4	4/6	.800
Duration (month)	19.20±4.89	19.00±5.62	1.200
MMSE-K (score)	26.60±1.26	25.90±1.37	4.200

^aMean±SD, EG: Experimental group, CG: Control group

2. 종속변수의 사전 동질성 검정

중재 전 시행한 실험군과 대조군 간의 종속변수의 사전 동질성 검정은 팔의 근활성도를 측정한 위팔두갈래근, 위팔세갈래근, 앞 어깨세모근, 위 등세모근, 중간 등세모근, 아래 등세모근에서 두 그룹 간에 동질성 검정 결과 통계적으로 유의한 차이가 나타나지 않았다($p>.05$). 체중 지지 측정에서는 실험군과 대조군 간의 좌·우 체중지지, 앞쪽 체중지지, 뒤쪽 체중 지지에서 동질성 검정 결과 통계적으로 유의한 차이가 나타나지 않았다($p>.05$)(Table 2).

Table 2.
Homogeneity test between group before intervention

	EG(n=10)	CG(n=10)	t
BB muscle	14.38±5.22 ^a	14.39±2.65	-.002
TB muscle	13.63±7.37	12.19±3.23	.568
AD muscle	13.78±4.86	12.88±4.64	.426
UT muscle	14.46±5.59	13.67±4.63	.342
MT muscle	13.00±4.32	12.66±5.40	.156
LT muscle	13.53±4.96	13.51±3.62	.012
AS	29.00±7.93	31.80±7.89	-.792
NAS	70.60±7.09	69.20±8.85	.390
Front (%)	60.50±14.39	57.30±21.51	.391
Rear	39.50±14.39	42.70±21.51	-.391

^aMean±SD, %RVC: reference voluntary contraction, EG: Experimental group, CG: Control group, sEMG: surface electromyography, AS: Affected side, NAS: Non-affected side, BB: Biceps brachii, TB: Triceps brachii, AD: Anterior deltoid, UT: Upper trapezius, MT: Middle trapezius, LT: Lower trapezius

3. 그룹 내 중재 전·후 팔의 근활성도 변화 비교

실험군과 대조군의 팔의 근활성도를 평가하기 위해 근전도를 이용하여 연구를 진행하였고, 중재 방법에 따른 근활성도의 그룹 내 변화는 실험군의 중재 전·후 위팔두갈래근, 위팔세갈래근, 앞 어깨세모근, 위 등세모근, 중간 등세모근, 아래 등세모근에서 근활성도가 증가하였고($p<.001$), 대조군은 중재 전·후 위팔두갈래근, 위팔세갈

래근, 앞 어깨세모근, 위 등세모근, 중간 등세모근, 아래 등세모근에서 근활성도가 증가하였다($p<.01$), 실험군과 대조군 모두 중재 후 근활성도가 증가하였고, 통계학적으로 유의한 차이가 나타났다(Table 3).

4. 그룹 간 팔의 근활성도 변화량 비교

그룹 간 중재 전·후 변화량의 차이를 보면 위팔두갈래근($p<.000$), 위팔세갈래근($p<.05$), 앞 어깨세모근($p<.000$), 위 등세모근($p<.05$), 중간 등세모근($p<.000$), 아래 등세모근($p<.01$)에서 실험군은 대조군에 비해 변화량 차이가 증가하였고, 통계적으로 유의한 차이가 나타났다(Table 3).

Table 3.
Comparison of muscle activity of arm in experimental group and control group

		EG(n=10)	CG(n=10)	t
BB muscle	Pre	14.38±5.22 ^a	14.39±2.65	
	Post	26.20±4.24	19.08±5.24	
	Diff	11.82±1.77	5.03±3.38	5.627***
	t	-21.135***	-3.832**	
TB muscle	Pre	13.63±7.37	12.19±3.23	
	Post	25.01±5.63	18.77±4.57	
	Diff	11.38±4.45	6.59±4.09	2.505*
	t	-8.077***	-5.086***	
AD muscle	Pre	13.78±4.85	12.88±4.64	
	Post	27.44±5.91	16.90±6.66	
	Diff	13.66±2.49	4.03±3.34	7.318***
	t	-17.368***	-3.812**	
UT muscle	Pre	14.46±5.59	13.67±4.63	
	Post	24.88±5.16	19.68±5.73	
	Diff	10.42±2.81	6.01±5.42	2.286*
	t	-11.709***	-3.506**	
MT muscle	Pre	13.00±4.32	12.66±5.40	
	Post	22.77±2.66	16.34±6.78	
	Diff	9.77±2.49	3.67±2.60	5.339***
	t	-12.369***	-4.470**	
LT muscle	Pre	13.53±4.31	13.51±3.62	
	Post	26.61±5.17	19.42±6.25	
	Diff	13.08±3.70	5.92±4.76	3.757**
	t	-11.169***	-3.931**	

^aMean(%RVC)±SD, * $p<.05$, ** $p<.01$, *** $p<.001$, EG: Experimental group, CG: Control group, BB: Biceps brachii, TB: Triceps brachii, AD: Anterior deltoid, UT: Upper trapezius, MT: Middle trapezius, LT: Lower trapezius

5. 그룹 내 중재 전·후 체중 지지 변화 비교

실험군과 대조군의 체중 지지를 측정하기 위해 스마트 인솔 시스템을 이용하여 연구를 진행하였고, 중재 방법에 따른 체중 지지의 그룹 내 변화는 실험군의 중재 전·후 선 자세에서 마비측 발에 체중 지지 비율이 증가하였고($p<.001$), 비마비측 발에서 체중 지지 비율이 감소하였다($p<.001$). 발에 앞쪽 체중 지지 비율은 감소하였고($p<.05$), 뒤쪽 체중 지지 비율은 증가하였다($p<.05$). 대조군의 중재 전·후 선 자세에서 마비측 발에 체중 지지 비율은 증가하였고, 비마비측 발에서 체중 지지 비율은 감소하였다($p<.001$). 발에 앞쪽 체중 지지 비율은 감소하였고, 뒤쪽 체중 지지 비율은 증가하였다. 중재 후 실험군에서 체중 지지 비율에 변화가 나타났고, 대조군은 비마비측 발의 체중 지지에서만 변화를 보였으며, 통계학적으로 유의한 차이가 나타났다(Table 4).

6. 그룹 간 체중지지 변화량 비교

그룹 간 체중 지지 변화량의 차이를 보면 마비측 발($p<.05$)과 비마비측 발($p<.01$)에 체중 지지 변화량 차이가 실험군이 대조군에 비해 높았고, 통계학적으로 유의한 차이를 보였다. 그러나, 앞쪽 체중 지지, 뒤쪽 체중 지지에서의 변화량 차이는 없었고, 통계학적으로 유의한 차이를 보이지 않았다(Table 4).

IV. 고찰

본 연구는 로봇-보조 팔 훈련이 뇌졸중 환자의 팔에 근활성도와 체중 지지에 미치는 영향을 알아보고자 하였다.

팔의 근활성도에 관한 연구에서 Silva 등(2018)은 서 있는 자세에서 팔을 뻗는 동안 어깨뼈 주변의 선행적 자세조절(anticipatory postural adjustments)을 분석한 결과 뇌졸중 환자는 서 있는 동안 손을 뻗는 동작에서 몸 중심의 높이, 좁은 체중지지 영역, 발과 몸 사이의 여러 관절의 역학적 요인으로 인해 자세가 불안정하고, 이로 인해 뇌졸중 환자의 마비측 어깨뼈 주변의 앞 어깨세모근, 위 등세모근, 아래 등세모근, 넓은 등근에서 근육 활성이 지연된다고 보고하였다.

Yiou 등(2009)은 선행적 자세 조절 동안 압력 중심의 이동에 의해 불안정한 자세에 대한 보상 전략으로 수의적인 움직임과 관련된 선행적 자세 조절이 지연된다고

하였다. Pereira 등(2014)은 뇌졸중 환자는 선 자세에서

Table 4. Comparison of weight bearing in the experimental group and the control group

		EG(n=10)	CG(n=10)	t
AS	Pre	29.00±7.93 ^a	31.80±7.89	
	Post	33.50±6.47	33.10±7.89	
	Diff	4.50±2.07	2.40±1.42	2.641*
	t	-6.880**	-1.299	
NAS	Pre	70.60±7.09	69.20±8.85	
	Post	66.50±6.47	66.90±7.88	
	Diff	4.10±1.37	2.30±1.25	3.067**
	t	9.462**	5.811*	
Front	Pre	60.50±14.39	57.30±21.56	
	Post	58.10±11.54	55.10±18.06	
	Diff	2.80±1.69	2.90±2.13	-.116
	t	2.422*	1.742	
Rear	Pre	39.50±14.39	42.70±21.51	
	Post	41.90±11.54	44.90±18.06	
	Diff	3.00±2.05	2.90±2.02	.110
	t	-2.422*	-1.742	

^aMean(%)±SD, * $p<.05$, ** $p<.001$, EG: Experimental group, CG: Control group, AS: Affected side, NAS: Non-affected side

팔을 움직이는 동안 흔들림이 나타나고, 앉아서 팔을 움직이면 몸에 흔들림이 줄어든다고 하였으며, 선행적 자세 조절 손상이 압력 중심의 변화에 따라 몸통 방향과 안정성에 영향을 준다고 보고하였다.

본 연구에서는 뇌졸중 환자의 자세 불안정성에 대한 보상 전략을 줄이기 위해서 로봇-보조 팔 훈련과 과제지향적 팔 훈련군 모두 앉은 자세에서 훈련을 시행하였다.

로봇-보조 팔 훈련은 6가지 종류의 프로그램을 시행하면서 흥미와 재미를 제공하고, 훈련을 수행하는 동안 팔의 움직임을 방해하는 보상작용에 대비하여 치료사가 보조적으로 도움을 주었다. 팔에 지지대를 이용하여 움직임을 유도하였기 때문에 대상자들에게 움직임의 방향과 타이밍에 따라 프로그램이 요구하는 상황에서 맞게 훈련함으로써 몸통과 팔의 분리된 협응적 움직임이 나타났다(김, 2021).

Brauer 등(2013)은 급성기 뇌졸중 환자 75명을 대상으로 로봇-보조 팔 훈련을 적용하여 팔의 기능에 미치는 영향을 연구한 결과 팔을 뻗어 손이 목표물에 도달하기 위해서는 위팔세갈래근의 역할이 중요한데, 위팔세갈래근의 근활성도의 지연을 확인하였고, 로봇-보조 팔 훈련은 어깨뼈의 안정성을 제공하고, 위팔세갈래근의 근활성도를 높혀 뇌졸중 환자들의 팔 기능을 향상시킬 수 있다고 보고하였다.

Tavecchia 등(2016)은 뇌졸중 환자 54명을 대상으로 6주 동안 로봇-보조 팔 훈련을 적용하여 팔 기능 회복에 미치는 영향을 연구한 결과 팔의 근력이 증가하였고, 로봇-보조 팔 훈련은 팔의 기능에 영향을 미친다고 보고하였다. 본 연구에서 팔의 근활성도를 증가시키기 위한 방법으로 시행한 로봇-보조 팔 훈련은 위팔두갈래근, 위팔세갈래근, 앞 어깨세모근, 위 등세모근, 중간 등세모근, 아래 등세모근에서 근활성도가 증가되었고, 그룹 간 근활성도를 비교한 결과에서도 실험군은 대조군에 비해 측정된 팔의 모든 근육에서 근활성도가 통계적으로 유의하게 높았음을 확인하였다.

본 연구에서도 선행연구와 비슷한 결과를 확인할 수 있었는데, 로봇-보조 팔 훈련을 수행하는 동안 환자의 팔을 지지대에 고정하고, 중력에 대한 부담을 줄여 팔꿈치 굽힘이 감소됨으로써 어깨관절과 팔꿈치관절의 선택적 움직임이 더 촉진되었다. 그리고, 몸통을 제한함으로써 팔의 능동적인 사용빈도가 더 가중되었고, 몸통의 안정성이 제공되었다고 사료된다.

또한, 팔의 능동운동이 고유수용성 감각에 중요한 영향을 미치는 소뇌 기능의 활성화를 만들어 향상된 고유수용성 감각은 작용근과 대항근의 상호억제에 의한 감각신경의 활성화를 통해 관절의 위치 감각이 증가되었다고 사료된다.

Bertani 등(2017)은 로봇-보조 팔 훈련은 환자 스스로 반복 횟수를 증가시키고, 연습의 강도를 높일 수 있는 효율적인 치료법이지만, 목표로 하는 특정 관절의 움직임에만 집중되어 팔 기능의 향상에 대한 효과는 입증하지 못하였다고 보고하였다. 그러나, 본 연구에서는 능동적인 과제를 수행하였기 때문에 팔의 선행적 자세 조절 능력을 향상시켜 팔과 몸통의 근활성도가 증가하였고, 정확한 움직임을 수행할 수 있었으며, 시각적 되먹임을 받으며 스스로 운동학습을 할 수 있었기 때문에 팔 기능의 향상에 효과가 있었다고 사료된다.

체중지지에 관한 연구에서 Silva 등(2018)은 뇌졸중 환자 8명과 건강한 사람 10명을 대상으로 자세 조절 기능 장애를 평가하기 위해 앞 어깨세모근, 위 등세모근,

아래 등세모근, 넓은 등근의 근전도를 이용하여 평가하였고, 서 있는 동안 스스로 선택한 속도와 빠른 속도로 팔을 움직였을 때 측정된 근육의 선행적 자세조절과 타이밍을 비교하였다. 그 결과 뇌졸중 환자군에서 마비측의 팔과 몸통의 타이밍 사이에 관계가 있었고, 팔과 몸통 근육에서 지연된 근활성도를 보여주었다.

Baets 등(2016)은 뇌졸중 환자 18명을 대상으로 어깨뼈와 몸통의 움직임을 분석한 결과 뇌졸중 환자의 어깨관절 굽힘근을 이용하여 팔을 움직일 때 아래 등세모근과 가시아래근이 늦게 반응하였다고 보고하였다. Kim 등(2010)은 만성 뇌졸중 환자 14명을 대상으로 5주간 가상현실 기반 게임 프로그램을 중재하여 균형과 팔 기능에 미치는 영향을 연구한 결과 가상현실을 이용한 로봇-보조 훈련 그룹이 대조군에 비해 균형능력과 팔 기능에 유의하게 향상되었다.

Kim(2016)은 뇌졸중 환자 10명을 대상으로 4주간 밀기증후군(Pusher syndrome)이 있는 뇌졸중 환자에게 시각적 되먹임 기반 로봇-보조 훈련을 적용한 결과 치료 전후 변화에서 버그균형척도(Berg balance scale), 낙상지수(falling index), 일어서서 걷기 검사(Timed up and go test)가 로봇-보조 재활치료군이 대조군에 비하여 유의하게 향상되었고, 팔 기능의 회복은 균형능력의 향상과 관련이 있었다고 보고하였다.

Park(2019)은 뇌졸중 환자 30명을 대상으로 6주간 과제 중심 훈련과 가상현실 훈련을 적용하여 팔 기능, 균형능력에 미치는 영향을 연구한 결과 중재 전·후 균형능력은 두 그룹 모두 버그균형척도, 수정된 기능적 팔 뻗기, 일어나 걷기가 중재 전·후 통계학적으로 유의한 차이를 보였고($p < .05$), 가상현실 그룹에서 팔 기능과 균형능력에 더 많은 개선을 보였다고 보고하였다.

본 연구에서도 로봇-보조 팔 훈련 후 실험군에서 마비측 발의 체중 지지에 향상이 있었고, 선행연구와 비슷한 결과를 확인할 수 있었다. 실험군은 환자 스스로 연속적으로 동작을 수행하는 동안 환자의 팔에 근활성도의 증가를 제공하였고, 프로그램을 수행하는 동안 감각 되먹임을 통해 팔 동작의 오류에 대한 정보를 수정하여 움직임을 재실행하는 과정을 반복하였다(Flynn 등, 2007).

또한, 로봇-보조 팔 훈련을 하는 동안 수행해야 하는 목표의 경로와 속도, 방향에 대한 목표달성을 위한 움직임을 계획할 수 있도록 운동학습 효과를 제공하였기 때문에 팔과 몸통의 근활성도 증가가 자세 안정성에 영향을 주었고, 마비측 발과 비마비측 발의 체중 지지에 변화를 주었다고 사료된다(Song과 Park, 2016)

V. 결론

본 연구는 6주 간 로봇-보조 팔 훈련이 뇌졸중 환자의 팔에 근활성도와 체중지지에 미치는 영향을 알아보았다. 본 연구의 결과 만성 뇌졸중 환자에게 제공한 로봇-보조 팔 훈련은 팔의 근활성도와 체중지지에서 유의한 향상이 있었고, 실험군은 대조군보다 운동학적 요인이 향상되었음을 확인하였다.

1. 실험군과 대조군에서 중재 전·후 위팔두갈래근, 위팔세갈래근, 앞 어깨세모근, 위 등세모근, 중간 등세모근, 아래 등세모근의 근활성도가 증가하였고, 통계학적으로 유의한 차이가 있었다. 그룹 간 중재 전·후 변화량의 차이는 위팔두갈래근, 위팔세갈래근, 앞 어깨세모근, 위 등세모근, 중간 등세모근, 아래 등세모근에서 실험군이 대조군보다 변화량이 더 증가하여 통계적으로 유의한 차이가 있었다.
2. 실험군의 중재 전·후 선 자세에서 좌·우 체중 지지는 마비측 발에 체중 지지 비율이 증가였고, 비마비측 발에서는 체중 지지 비율이 감소였다. 발에 앞쪽은 체중 지지 비율이 감소하였고, 뒤쪽에서는 체중 지지 비율이 증가하였다. 중재 후 실험군은 체중 지지 비율에 변화가 나타났고, 대조군은 비마비측 발의 체중 지지에서만 변화를 보였으며, 통계학적으로 유의한 차이가 나타났다. 그룹 간 중재 전·후 변화량의 차이를 보면 좌·우 체중 지지는 마비측 발과 비마비측 발에 체중 지지 변화량 차이가 실험군이 대조군에 비해 높았고, 통계학적으로 유의한 차이를 보였다.

뇌졸중 환자에게 적용한 로봇-보조 팔 훈련은 팔의 근활성도와 마비측 발에 체중지지를 향상시킬 수 있는 치료로 제안할 수 있다. 본 연구를 바탕으로 로봇-보조 팔 훈련에 대한 뇌졸중 환자의 운동학적 요인 분석과 치료적 운동을 위한 기초자료를 제공하고, 효과적인 운동치료 프로그램을 통해 뇌졸중 환자의 운동기능 회복과 독립적인 신체 활동이 촉진되길 기대한다.

참고문헌

Baets LD, Deun SV, Monari D, et al. Three-dimensional kinematics of the scapula and trunk, and associated scapular muscle timing in individuals with stroke. *Hum Mov Sci.* 2016;48:82-90. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2016.04.009>.

Basteris A, Nijenhuis SM, Stienen AH, et al. Training modalities in robot-mediated upper limb rehabilitation in stroke: A framework for classification based on a systematic review. *Journal of Neuroeng Rehabil.* 2014;11(1):111. <https://doi.org/10.1186/1743-0003-11-111>.

Bertani R, Melegari C, De Cola MC, et al. Effects of robot-assisted upper limb rehabilitation in stroke patients: A systematic review with meta-analysis. *Neurol Sci.* 2017;38(9):1561-1569. <https://doi.org/10.1007/s10072-017-2995-5>.

Brauer SG, Hayward KS, Carson RG, et al. The efficacy of smart arm training early after stroke for stroke survivors with severe upper limb disability: A protocol for a randomised controlled trial. *BMC Neurol.* 2013;13:71. <https://doi.org/10.1186/1471-2377-13-71>.

Camara KD, Coburn JW, Dunnick DD, et al. An examination of muscle activation and power characteristics while performing the dead lift exercise with straight and hexagonal barbells. *The Journal of Strength & Conditioning Research.* 2016;30(5):1183-1188. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001352>.

Carpinella I, Lencioni T, Bowman T, et al. Effects of robot therapy on upper body kinematics and arm function in persons post stroke: A pilot randomized controlled trial. *J Neuroeng Rehabil.* 2020;17(1):1-19. <https://doi.org/10.1186/s12984-020-0646-1>.

Choi MC, Yang SE, Kim MJ, et al. Reliability and validity of smart insole sensor for contact time during walking. *Korean Physical Education Association For Women.* 2021;35(3):119-129. <https://doi.org/10.16915/jkapesgw.2021.9.35.3.119>.

Esquenazi A, Packel A. Robotic-assisted gait training and restoration. *Am J Phys Med*

- Rehabil. 2012;91(11):217-231. <https://doi.org/10.1097/PHM.0b013e31826bce18>.
- Flynn S, Palma P, Bender A. Feasibility of using the sony play-station 2 gaming platform for an individual poststroke: A case report. *J Neurol Phys Ther.* 2007;31(4):180-189. <https://doi.org/10.1097/NPT.0b013e31815d00d5>.
- Graef P, Dadalt MLR, Rodrigues D, et al. Transcranial magnetic stimulation combined with upper-limb training for improving function after stroke: A systematic review and meta-analysis. *J Neurol Sci.* 2016;369:149-158. <https://doi.org/10.1016/j.jns.2016.08.016>.
- Jang MH, Ahn SJ, Lee JW, et al. Validity and reliability of the newly developed surface electromyography device for measuring muscle activity during voluntary isometric contraction. *Computational and Mathematical Methods in Medicine.* 2018;40(6):4068493. <https://doi.org/10.1155/2018/4068493>.
- Johnson W, Onuma O, Owolabi M, et al. Stroke: A global response is needed. *Bull World Health Organ.* 2016;94(9):634-634A. <https://doi.org/10.2471/BLT.16.181636>.
- Jung JH. The effect of Task-Oriented Movement Therapy on Upper Extremity, Upper Extremity Function and Activities of Daily Living for Stroke Patients. Graduate school of Rehabilitation Science Daegu University. Department of Occupational Therapy. Master Thesis. 2009.
- Kim EK, Kang JH, Lee HM. Effects of virtual reality based game on balance and upper extremity function in chronic stroke patients. *Journal of Special Education & Rehabilitation Science.* 2010;49(3):131-149. <https://doi.org/G704-001516.2010.49.3.014>.
- Kim Jh. A Study on the Therapeutic Effect of the Upper Limb Rehabilitation Robot "Camillo" and Improvement of Clinical Basis in Stroke Patients with Hemiplegia. Graduate School of Dongguk University. Department of medical device industry. Master Thesis. 2021.
- Kim MS. Effect of robot assisted rehabilitation based on visual feedback in post stroke pusher syndrome. *Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society.* 2016;17(10):562-568. <https://doi.org/10.5762/KAIS.2016.17.10.562>.
- Korean Statistical Information Service (KOSIS). 2021. <https://kosis.kr/index/index.do>.
- Langhorne P, Bernhardt J, Kwakkel G. Stroke rehabilitation. *Lancet.* 2011;377(9778):1693-1702. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(11\)60325-5](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(11)60325-5).
- Park Sh, Kim Bs, Lee Mm. The effect of trunk control training using virtual reality game-based training program on balance and upper extremity function of Subacute stroke patients. *Journal of Convergence for Information Technology.* 2019;9(5):172-179. <https://doi.org/10.22156/CS4SMB.2019.9.5.172>.
- Pereira S, Silva CC, Ferreira S, et al. Anticipatory postural adjustments during sitting reach movement in post-stroke subjects. *J Electromyogr Kinesiol.* 2014;24:165-171. <https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2013.10.001>.
- Sale P, Franceschini M, Mazzolebi SE, et al. Effects of upper limb robot-assisted therapy on motor recovery in subacute stroke patients. *J Neuroeng Rehabil.* 2014;11(1):104. <https://doi.org/10.1186/1743-0003-11-104>.
- Seo MS, Shin MJ, Park TS, et al. Clinometric gait analysis using smart insoles in patients with hemiplegia after stroke: Pilot study. *JMIR Mhealth and Uhealth.* 2020;8(9):e22208. <https://doi.org/10.2196/22208>.
- Silva CF, Pereira S, Silva CC, et al. Anticipatory postural adjustments in the shoulder girdle in the reach movement performed in stand-

- ing by post-stroke subjects. *Somatosens Mot Res.* 2018;35(2):124-130. <https://doi.org/10.1080/08990220.2018.1484354>.
- Song GB, Park EC. Comparison of the effects of task-oriented training and virtual reality training on upper extremity function, balance ability, and depression in stroke patients. *Journal of the Korean Society of Physical Medicine.* 2016;11(1):115-125. <https://doi.org/10.13066/kspm.2016.11.1.115>.
- Taveggia G, Borboni A, Salvi L, et al. Efficacy of robot-assisted rehabilitation for the functional recovery of the upper limb in post-stroke patients: A randomized controlled study. *Eur J Phys Rehabil Med.* 2016;52(6):767-773.
- Timmermans AA, Lemmens RJ, Monfrance M, et al. Effects of task-oriented robot training on arm function, activity, and quality of life in chronic stroke patients: A randomized controlled trial. *Journal of Neuro Engineering & Rehabilitation (JNER)*, 2014;11(1):45-53. <https://doi.org/10.1186/1743-0003-11-45>.
- Verheyden G, Vereeck L, Truijien S, et al. Additional exercises improve trunk performance after stroke: A pilot randomized controlled trial. *Neuro Rehabilitation and Neural Repair.* 2009;23(3):281-286. <https://doi.org/10.1177/1545968308321776>.
- Winstein CJ, Rose DK, Tan SM, et al. Randomized controlled comparison of upper-extremity rehabilitation strategies in acute stroke: A pilot study of immediate and long-term outcomes. *Archives of physical medicine and rehabilitation,* 2004;85(4):620-628. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2003.06.027>.
- Yiou E, Mezaour M, Le Bozec S. Anticipatory postural adjustments and focal performance during bilateral forward-reach task under different stance conditions. *Motor Control.* 2009;13:142-160. <https://doi.org/10.1123/mcj.13.2.142>.
- 논문접수일(Date received) : 2022년 03월 30일
논문수정일(Date Revised) : 2022년 04월 21일
논문게재확정일(Date Accepted) : 2022년 04월 27일