

손 재활 로봇의 적용이 만성 뇌졸중 환자의 손 기능 향상에 미치는 영향

Effect of Robot-Assisted Hand Rehabilitation on Hand Function in Chronic Stroke Patients

박진혁¹

Park Jin-Hyuck¹

Abstract The purpose of this study was to investigate effect of robot-assisted hand rehabilitation(Amadeo®) on hand motor function in chronic stroke patients. This study used a single-subject experimental design with multiple baselines across individuals. Three chronic stroke survivors with mild to sever motor impairment took part in study. Each participants had 2 weeks interval of starting intervention. Participants received robot-assisted therapy(45min/session. 3session/wk for 6wks). Finger active range of motion(AROM) was assessed by Range of Assessment program in Amadeo®, and test-retest reliability was verified using Pearson correlation analysis. To investigate effect of Amadeo®, finger AROM was measured immediately after each sessions and Fugl-Meyer Assessment of Upper extremity, Motor Activity Log, Nine hole peg board test and Jebsen-Taylor hand motor function test were assessed at pre-post intervention. Results were analyzed by visual analysis and comparison of pre-post tests. The test-retest reliability of Range of Assessment was good($r=.99$). After robot-assisted therapy, finger AROM of participant 1, 2, and 3 was respectively improved by 18%, 3.6%, and 6% each. Hand motor function of participant 1, 3 was improved on all four tests, but not effect in participant 2. Robot-assisted hand rehabilitation could improve finger AROM and effect on hand motor function in chronic stroke patients.

Keywords: robot-assisted therapy, chronic stroke, hand function, finger AROM

1. 서론

뇌졸중은 후유 장애를 가지게 되는 만성질환이며 운동 장애가 많이 남고 특히 상지 기능 장애가 심한 것으로 보고되고 있다¹⁾. 발병 초기 뇌졸중 환자의 다수가 상지 기능에 장애를 보이며, 절반 이상이 발병 3-6개월 후에도 상지기능에 문제를 보인다고 하였다²⁾.

뇌졸중 환자 치료에 있어서 최근의 경향은 뇌가소성을 이론을 바탕으로 한 강제유도운동치료, 전기적 뇌자극, 상상연습훈련, 거울치료, 가상현실치료, 로봇보조치료 등이 있다³⁾. 뇌졸중 환자의 손 기능 향상에 효과적인 치료는 집중적이며 반복적인 능동 움직임에 초점을 맞춘 것이야 하며 치료를 통해서 손상 측으로 과제를 수행 시 정확성, 근

력, 가능성을 증진 시킬 수 있어야 한다. 로봇보조치료는 이런 치료 접근 방법 중의 하나이다⁴⁻⁸⁾.

전통적인 치료방식과 비교해서 로봇보조치료는 많은 장점이 있다⁹⁾. 장시간 동안 치료사의 체력적인 부담 없이 정밀하고 일관적인 치료를 제공 할 수 있으며 간단한 조작을 통해 다양한 치료 프로그램을 제공할 수 있다. 또한 매번 치료의 결과를 측정, 저장 할 수도 있다¹⁰⁻¹⁴⁾.

로봇에 대한 많은 연구들이 이루어져 왔으며 로봇의 종류에는 Massachusetts Institute of Technology(MIT)-Manus, Assisted Rehabilitation and Measurement(ARM) Guide, Mirror Image Motion Enabler(MIME), Neurorehabilitation Robot(NeRebot), REHAROB, Arm Coordination Training 3-D, 그리고 ARMin등이 있으며 대부분의 로봇은 손상 측 상지의 근위부 치료를 위해 제작된

것이다¹⁵⁾.

뇌졸중 환자의 상지 치료에 로봇보조치료의 효과가 외국의 많은 연구에서 밝혀지고 있으며^[16-19,9,13], 대부분의 연구들은 상지의 근위부에 초점을 맞춘 것이다²⁰⁾. 상지의 근위부 치료에 대한 로봇보조치료의 적용은 대부분 효과적인 것으로 받아들여지는 반면 원위부 치료에 대한 연구는 최근에 들어서야 연구자들에 의해 주목 받고 있다. Takahashi 등(2008)은 로봇보조치료의 연구가 원위부에 초점을 맞춰야하며, 이것이 기능적 향상에 영향을 줄 수 있는지에 대해 연구 되어야한다고 하였다. Takahashi 등(2008)이 만성 뇌졸중 환자를 대상으로 손 치료에 초점을 맞춘 The Hand Wrist Assistive Rehabilitation Device (HWARD)를 사용하여 손 기능과 대뇌피질의 변화를 분석하였고, 그 결과 손 기능 향상을 보였으며 fMRI 결과 또한 치료 전 보다 치료 후 대뇌의 감각운동 영역이 더 활성화 되어있음을 밝혔다.

현재 국내에 소개되어 있는 상지 로봇은 어깨와 팔꿈치에 대한 훈련을 담당한 InMotion(Interactive Motion Technologies, Inc), ReoGo(Motorika Medical, Ltd) 장비가 있으며, 원위부에 대한 로봇보조치료 도구는 최근에 소개된 Amadeo®(Trymotion, Austria)가 있다.

Amadeo®는 손 재활 로봇으로 5개의 자유도를 가진 엔드 이펙터 로봇이다. 간단한 조작으로 작동 가능하며, 시각, 청각적인 피드백과 함께 손가락의 집중적인 훈련이 가능하다. 각 환자의 수준에 맞게 프로그램의 설정이 가능하며 수동, 능동보조, 능동운동의 훈련을 통하여 뇌졸중 환자의 손 재활을 돕는다. 17명의 아급성기 및 만성기 성인 뇌졸중 환자를 대상으로 Amadeo®를 이용해 손 재활을 실시한 결과 모든 대상자들의 손 기능이 향상되었고^[21], Amadeo®를 이용해 손 재활을 실시한 또 다른 연구에선 7명의 성인 뇌졸중 환자의 손 기능 및 일상생활활동 수행능력의 향상을 보고하였다^[22].

이처럼 외국에서는 로봇보조치료에 대한 연구들이 시도되고 있으나 아직 국내에 보고된 연구들은 많지 않은 상태이다^[23]. 특히 원위부에 초점을 맞춘 상지 로봇에 대해 연구된 것은 매우 부족한 상태이며, 임상적용에 대한 지침 역시 제한적인 상태이다.

이에 본 연구는 손 재활 훈련 로봇 중 하나인 Amadeo®를 사용하여 만성 뇌졸중 환자의 손 기능 향상에 미치는 영향을 알아보고, 임상적용에 대한 기초자료를 제공하고 하였다.

2. 연구 방법

2.1 연구 대상

뇌졸중으로 인한 편마비 진단을 받고 외래 치료를 받고 있는 3명의 환자(남자 2명, 여자 1명)를 대상으로 실시하였다. 신경학적 회복에 의한 치료 효과를 배제하기 위해 초기 기능적 회복 기간인 6개월 지난 자를 대상으로 선정하였다^[24,25]. 연구 전 연구 대상자에게 연구 목적 및 방법에 대하여 충분히 설명하고, 동의를 얻은 후에 연구를 실시하였다.

연구대상자 선정 기준은 다음과 같다.

- 1) 손상 측 손가락 중 하나 이상에서 손허리손가락 관절의 능동적 관절가동범위가 10도 이상으로 Fugl-Meyer Assessment(FMA) 점수가 2점 이상인자
- 2) 손상 측 손에 관절 구축이 없는 자
- 3) 한국판 간이 정신상태 검사(Mini-Mental State Examination: MMSE) 25점 이상으로 로봇치료에 있어 간단한 지시사항을 이해 할 수 있고 본 연구에 포함된 검사 시행이 가능한 자
- 4) 우울증, 불안장애 등 심리학적 요인을 가지지 않는 자

본 연구에 참여한 대상자의 일반적 특성은 Table 1과 같다. 대상자 모두 뇌졸중 발병 전에 우세손은 오른손이었으며, 마비측 상지의 FMA 결과 2점 이상이었다. 또한 대상자 모두 인지손상은 없었다.

Table 1. Subject Demographics

Subject	Sex	Age(yr)	Side of Lesion	Post-stroke	FMA
1	M	70	Left	3years	28
2	M	72	Right	13years 3months	23
3	F	57	Right	8months	46

2.2 연구 설계

본 연구는 개별실험 연구방법 중 다중 기초선 설계를 사용하였다. 실험은 기초선 과정, 치료 과정으로 나누어 진행하였다. 기초선 과정에는 로봇보조치료를 적용하지 않고 1일 1회 Amadeo®를 통해 총 3회 관절가동범위를 측정하였다. 치료 시작은 각 대상자 마다 2주 간격을 두었으며 치료과정은 6주 총 18회 동안 일일 45분씩 로봇 치료를 실시하였다. 손 기능 향상에 대한 평가는 뇌졸중의 회복단계에 따라 상지기능을 평가할 수 있는 FMA, 수행시간 측정을 통해 빠르고 간단하게 손 기능을 평가할 수 있는 구공막대

검사, 일상생활에서 많이 쓰이는 동작을 얼마나 정확하고 빠르게 수행하는지 측정하는 Jebsen-Taylor 손 기능 검사, 일상생활활동에서의 마비측 상지의 사용 빈도와 움직임의 질을 평가하는 운동활동지표(Motor Activity Log)를 사용하여 치료 전후에 각각 1회씩 검사자 1명에 의해 평가하였다.

2.3 실험 도구

2.3.1 Amadeo®

손 재활 로봇(Amadeo®)은 컴퓨터, 모니터, Grips software, 손가락을 굽힘 및 신전 할 수 있는 슬리지, 자석, 손목 및 아래팔 보조 장치, 높이 조절 장치로 구성되어 있으며 4개 손가락의 굽힘, 신전과 엄지의 굽힘, 신전을 도와 주는 2개의 자유도를 가진 엔드 이펙터 로봇이다 (Figure 1, 2, 3). 각 대상자는 컴퓨터 모니터를 바라보며 의자에 앉는다. 아래팔과 손목은 로봇의 지지대에 지지하며 가죽 끈으로 고정된 후 손가락 끝부분에는 테이프로 로봇의 자석과 로봇 손가락에 해당하는 대상자의 손가락을 고정한다. 각 프로그램 설정에 따라서 대상자의 손가락은 굴곡, 신전의 반복적인 움직임을 훈련한다. Windows에 기반을 둔 Grip software는 간단한 조작으로 로봇의 조절과 사용을 가능하게 한다. 자신 손가락의 움직임을 모니터에 표시되는 화면과 스피커로 시각, 청각적인 피드백을 받을 수 있으며 손가락의 움직임은 부호화되어 컴퓨터에 저장, 인출 가능하다.

본 연구에 사용된 프로그램은 크게 두 가지로 구분된다. 첫째, CPM(Continuous Passive Movement) plus로 로봇 자석에 고정된 대상자의 손가락이 로봇의 움직임에 따라 굴곡과 신전의 수동적인 운동을 하면서 능동적인 움직임을 유도하는 수동운동 프로그램이다. 둘째, Assistive therapy로 대상자는 능동적 손가락 운동을 하고 만약 초기 설정한 관절가동 범위만큼 움직이지 못하면 로봇이 수동적으로 움직임을 도와주며 끝까지 움직일 경우 움직임의 반대 방향

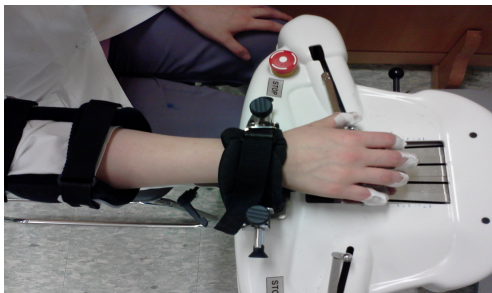


Fig. 1. Subject performing. Unilateral movement with Amadeo®



Fig. 2. Robot-assisted hand therapy prototype



Fig. 3. The Amadeo® robot facilitates unilateral therapeutic exercise in 3modes.

으로 저항을 주는 능동보조운동 프로그램이다. 대상자는 각각의 프로그램동안 자신 손가락의 움직임에 대한 청각, 시각적인 피드백을 받을 수 있다²⁶⁾.

2.3.2 상지 FMA

FMA는 뇌졸중으로 인한 편마비 환자에서 Brunnstrom의 회복단계를 분류하고, 기능의 회복정도를 검사하기 위해 사용되고 있는 도구이다²⁷⁾. Brunnstrom의 편마비 환자의 회복 6단계에 따른 50가지의 세부적인 움직임을 정의하여 평가도구를 개발하였다²⁸⁾. 평가항목의 수행정도에 따라 0-2점을 부여한다. 0점은 수행하지 못함, 1점은 부분적으로 수행함, 2점은 완전 수행함으로 나눈다. 전체 점수는 0-100점으로 상하지를 모두 포함한다. 상지에 해당하는 검사는 33항목으로 만점은 66점이며, 회복의 정도를 백분율로 나타낼 수도 있다. 본 연구에서는 편마비 환자의 상지 기능을 평가하기 위해 상지검사 항목만을 사용하였다. 상지검사의

세부 항목을 어깨, 팔꿈치, 아래팔 18항목, 손목 5항목, 손(손가락) 7항목, 상지 협응능력 3항목이었다^[28]. 상지검사의 검사자간 신뢰도를 .96으로 보고하였다^[29].

2.3.3 운동활동지표(Motor Activity Log: MAL)

운동활동지표는 손상 측 팔을 어떻게 사용하는지 알기 위한 반구조화된 면담 측정법으로, 검사자가 환자나 보호자를 통해 손상 측 상지를 얼마나, 어떻게 독립적으로 사용했는지를 알아보기 위해 30가지 일상생활활동으로 이루어져 있다^[30,31]. 각 활동시 손상 측 팔을 사용하는 양(Amount of Use: AOU)과 움직임의 질(Quality of Movement: QOM)을 측정하게 된다. AOU 점수는 0점(전혀 사용하지 않음)에서 5점(발병 전 만큼 손상측을 사용함)까지, QOM 점수는 0점(활동에 손상 측을 사용할 수 없음)에서 5점(발병 전과 같은 손상 측 사용할 수 있음)까지 6점 척도로 되어 있다. 각 30가지 활동의 점수를 모두 합한 후, 평균점수(0-5점)를 구하며 2.5점 미만일 경우 손상 측 사용의 저하로 판단한다^[32]. 본 연구에서는 치료사가 질문지를 설명하고 환자가 답변하는 식으로 설문하였다. 결과는 AOU, QOM 평균값으로 제시하였다.

2.3.4 구공막대 검사

구공막대 검사는 평가가 단순하고 짧은 시간이 소요되고 상지의 기능 변화에 민감하다는 장점이 있지만 손상이 심할 때는 사용할 수 없다는 점도 고려해야 한다. 이 검사는 9개의 막대를 판에 끼우고 빼는 동안의 시간을 측정하는 것으로 우세손을 먼저 측정하고 비우세손을 나중에 측정하도록 구성되어 있다. 본 연구에서는 PIC5309 version을 사용하였으며, 해당 도구의 신뢰도는 오른손과 왼손 각각 .98, .99로 높은 검사자간 신뢰도를 보였다^[33].

2.3.5 Jebsen-Taylor 손 기능 검사

Jebsen-Taylor 손 기능 검사는 일곱 가지의 하위검사로 표준화되어 있고 일상생활에서 가장 많이 사용하는 손 기능을 포함하는 객관적인 평가도구이다. 이 평가도구는 1969년 Jebsen 등에 의해 발표되었고, Jebsen 등(1969)은 이 검사를 이용하여 손 기능 장애를 측정할 수 있고, 치료 과정에 의해 얻어진 손 기능의 개선을 평가하는 데에도 가치가 있다고 하였다. 또 각 연령층의 정상인을 대상으로 한 표준화 자료와 검사-재검사자간 신뢰도가 제시되어 있는데 우세손의 경우에는 신뢰도가 .65-.99의 범위를 가지고, 비우세손의 경우 .60-.92의 범위를 갖는다^[34].

2.4 실험 과정

외부적 자극에 의한 오염을 통제하기 위해 조용한 치료실에서 시행하였으며 로봇보조치료 동안 일반적인 작업치료를 제공하지 않았다. 기초 자세는 등받이가 있는 의자에 몸통을 지지하고 발바닥이 바닥에 닿은 상태로 무릎이 90° 굽힌 상태를 유지하고, 손상 측 아래팔, 손목을 지지대에 올려놓고 가죽 끈으로 고정 후 대상자가 편안함을 느낄 있도록 자세 유지하였다(Figure 2).

2.4.1 Amadeo®를 통한 관절가동범위 측정의 신뢰도

로봇보조치료의 효과를 정확히 검증하기 위해 뇌졸중 환자 10명을 대상, 2주 간격 검사-재검사로 신뢰도를 조사하였다. 먼저 대상자의 손을 로봇 위에 올려놓고, 로봇의 손가락, 손목의 축에 맞게 대상자의 손허리손가락 관절과 손목 관절을 정렬한다. 이 때 검사자는 미리 각 대상자들의 손목 관절의 중심축과 검지의 끝부분과의 거리를 측정하여 대상자들에 맞게 로봇을 적용하였다. 사용된 프로그램은 Amadeo®의 Range of Motion Assessment로 대상자 손가락의 최대 수동적 관절가동범위에 대한 능동적 관절가동범위의 백분율로 측정값은 %로 표시된다.

2.4.2 기초선 과정

기초선 측정은 각 대상자 마다 1일 1회씩 Amadeo®의 Range of Motion Assessment로 관절가동범위를 3번씩 측정하였다.

2.4.3 Amadeo® 치료 과정

각 대상자들은 총 6주, 주 3회, 1일 1회, 45분간 실시하였으며 작업치료사 1명이 전담하였다. 처음 검사자는 각 대상자 손가락의 최대 수동적 관절가동범위를 측정하여 저장하고 매 회마다 측정해 놓은 각 대상자 손가락의 최대 수동적 관절가동범위 내에서 치료 프로그램을 적용하였다. 각 대상자들은 CPM plus 프로그램(수동 운동 프로그램)을 15분 동안 적용하였으며, Assistive therapy 프로그램(능동보조 운동 프로그램)을 30분 동안 적용, 총 45분 치료를 진행하였다. 매 치료 후 바로 관절가동범위를 기록하였다.

2.5 분석 방법

본 연구에서는 시각적 분석을 통해 매일 측정된 관절가동범위 측정값의 변화를 보았고 치료 잔후로 손 기능을 평가한 값을 표로 제시하였다. 또한 Amadeo®을 통한 관절가동범위의 측정의 신뢰도를 분석하기 위해 Pearson 상관계수를 사용하였다. 통계분석은 SPSS 12.0을 사용하였다.

3. 연구 결과

3.1 신뢰도

뇌졸중 환자 10명에게 검사-재검사 신뢰도 측정결과 .99로 나타났다.(Table 2).

Table 2. Test-retest reliability of Amadeo® ROM assessment (%)

N	ROM		
	Test (Mean±SD)	Retest (Mean±SD)	Pearson correlation
10	36.06±34.53	36.55±34.84	0.99*

* $p < 0.01$, SD : standard deviation

3.2 관절가동범위

Amadeo®를 이용한 관절가동범위 측정에서 중재 후 최대 수동관절가동 범위에 대한 능동 관절가동범위가 대상자 1에서 18%, 대상자 2에서는 3.6% 그리고 대상자 3에서는 6%씩 향상을 보였다(Figure 4).

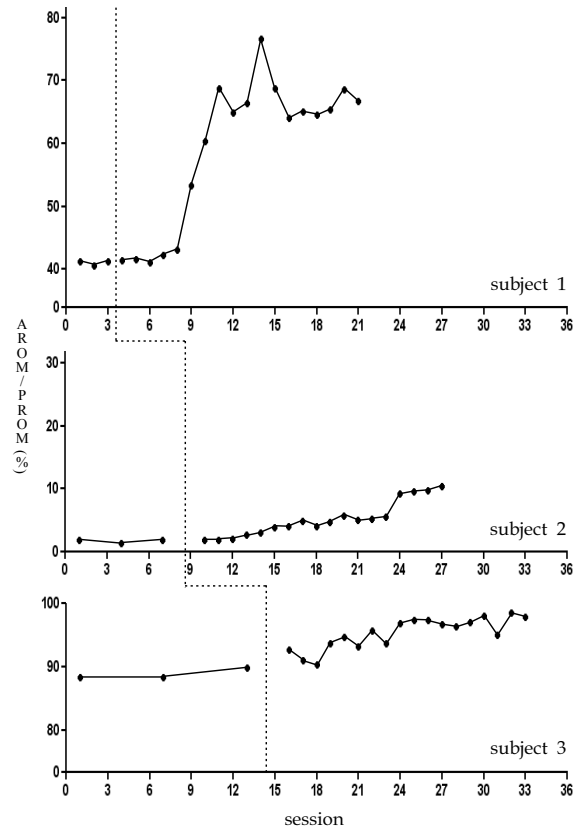


Fig. 4. Amadeo® ROM of three subjects during the baseline and the training sessions

3.3 기능적 변화

상지의 FMA 점수에서 대상자 2를 제외한 두 명의 대상자 모두 치료 후 향상을 보였으며 운동활동지표 검사에서는 대상자 2를 제외하고 나머지 두 명의 대상자 모두 AOU, QOM 항목에서 향상을 보였다. Jebsen-Taylor 손 기능 검사의 경우 대상자 2는 모든 평가가 어려운 상태였으며 대상자 1의 경우 작은 물건 잡기를 제외한 나머지 항목에서 향상을 보였으며 대상자 3은 모든 항목에서 치료 후 향상을 보였다(Table 3).

4. 고찰

본 연구에서는 손 재활 로봇을 이용한 치료가 만성 뇌졸중 환자의 상지 기능에 미치는 영향을 알아보려고 하였다. 이를 위해 만성 뇌졸중 환자 3명을 대상으로 손 재활 로봇인 Amadeo®을 적용하였다. 연구 결과 모든 대상자들의 능동적 손가락 관절가동범위가 증가하였으며, 대상자 1명을 제외한 2명은 기능 평가에서 향상을 보였다.

최근의 로봇연구는 원위부에 초점을 맞추고 있었으며 다양한 로봇에 대한 효과가 보고되고 있다³⁵⁾. 손과 손목에 초점을 맞춘 로봇은 cable-controlled glove, EMG-controlled hand exoskeleton, augmented-reality body-powered finger orthosis, MR-compatible exercise, 3By6 Finger Device, The Hand Wrist Assistive Rehabilitation Device (HWARD) 등이 있으며 각각의 특유의 장치와 조합을 가지고 있다. 이중 손목과 손에 초점을 맞춘 로봇인 HWARD를 이용한 연구에선 능동보조운동, 능동운동 2가지 프로그램을 사용하여 손 기능과 대뇌피질의 변화를 분석하였고 그 결과 손 기능에 향상이 있었으며 fMRI 결과 또한 치료 전 보다 치료 후 대뇌의 감각운동 영역이 더 활성화 되어 있음을 밝혔다⁷⁾. 손에 초점을 맞춘 로봇인 Reha-Digit을 이용한 연구에선 만성기 뇌졸중 환자 2명과 아급성기 뇌졸중 환자 8명을 대상으로 수동운동 프로그램을 사용하여 만성기 환자들의 손과 손목의 경직 감소와 아급성기 환자들의 FMA 점수 향상을 보고하였다³⁶⁾. Rutgers Master II-ND를 가상현실과 접목시켜 뇌졸중 환자 8명을 대상으로 능동운동 프로그램을 사용하여 손 재활을 실시한 결과 8명 대상자 모두 손가락의 관절가동범위 및 Jebsen-Taylor 손 기능 검사의 향상을 보고하였다³⁷⁾. 하지만 각각의 로봇 치료 도구들은 뇌졸중 치료에 개개마다 다른 접근법과 프로그램을 사용하고 있고, 치료 기전 역시 명확하게 밝혀지지 않았으며, 또한 최고의 효과를 내기 위한 최상의 접근법 역시

불분명하다. 또한 연구의 결과로 제시한 평가들도 각각 달랐다^[7]. 본 연구에 사용된 접근법은 기존 연구에서 추천되었던 능동보조운동을 포함시켰으며^[38-41], 연구 대상자의 특성상 강직의 완화가 요구되었고, 지속적인 손의 수동 신전이 능동적 관절가동범위를 증가시킨다는 기존 연구를 바탕으로 치료 초기에 수동운동을 조합하여 시행하였다^[42].

로봇보조치료의 효과로 관절가동범위 측정에 Amadeo®의 Range of Assessment 검사를 사용하고자 하였으며, 해당 장비의 신뢰도 근거가 없어 사전 검사-재검사 신뢰도 검정을 시행하였고, 그 결과 높은 신뢰성을 보였다($r=.99$). 로봇 중재에 따른 능동적 손가락 관절가동범위 측정은 기초선 측정과 비교할 때, 대상자 1은 18%, 대상자 2는 3.6%, 대상자 3은 6% 치료 후 향상을 보였다. 또한 중재에 따른 측정값의 기울기를 통하여 시간의 흐름에 따른 관절가동범위의 향상을 확인할 수 있었다. 많은 연구에서 로봇보조치료 후 기능의 향상에 대해 보고하고 있으나 직접적으로 능동적 손가락 관절가동범위에 대한 세밀히 분석한 연구들은 부족하였다. 본 연구와 같이 로봇 중재에 따른 능동적 손가락 관절가동범위에 대해 분석한 연구로 HandSOME 로봇을 사용한 연구가 있으며, 이 로봇은 손가락의 자발적인 신전이 어려운 환자들을 대상으로 하며 일상생활에서도 계속적으로 착용이 가능하고 손가락의 신전을 수동적으로 유도

한다. 로봇보조치료 후 모든 대상자의 능동적 손가락관절 가동범위가 증가하였으며, 기능 평가에서도 향상을 보였다^[43]. 다른 로봇보조치료 연구에서는 손목 관절의 변화를 측정된 경우가 있었으며, 본 연구와 동일한 로봇을 사용한 연구에서는 손가락 관절가동범위에 대해서는 보고하고 있지 않았다^[7,41].

원위부에 대한 로봇보조치료의 연구들에서 치료 후 기능 평가를 통해 향상을 보고하고 있다^[15]. 본 연구에서도 이와 같이 대상자 2명에서 기능 향상이 있었으며, 상지의 FMA 점수 결과 대상자 1은 28점에서 32점으로, 대상자 3에서는 48점에서 61점으로 향상되었다. 향상된 부분을 살펴보면, 대상자 1의 경우 근위부에서 1점, 원위부에서 3점이 향상되었으며, 대상자 3에서는 근위부에서 3점, 원위부에서 10점이 향상되어, 점수 향상이 대부분 원위부에서 나타난 것을 알 수 있었다. 구공막대검사에서와 Jepsen-Taylor 손 기능 검사에서도 대상자 2를 제외한 나머지 2명 모두 향상을 보였으며, 특히 대상자 1은 Jepsen-Taylor 손 기능 검사의 하위 항목인 카드뒤집기와 작은 물건잡기, 대상자 3은 작은 물건잡기, 이와 같이 쥐기, 농기와 관련된 동작에서 많은 향상이 있음을 알 수 있었다. 마지막으로 운동활동 지표 검사에서도 역시 대상자 1, 3에서 치료 전후 양적, 질적 점수 향상이 있었다. Amadeo®를 제외한 대부분의 손

Table 3. Changes between pre and post assessment.

		Subject 1		Subject 2		Subject 3	
		Pre	Post	Pre	Post	Pre	Post
FMA	Shoulder/Elbow/Forearm	17	18	18	18	32	35
	Wrist	1	2	0	0	4	9
	Hand	5	7	0	1	7	12
	Coordination	5	5	5	4	5	5
	Total	28	32	23	23	48	61
MAL	AOU	0.6	1.6	0	0	1.1	1.3
	QOM	0.9	1.0	0	0	0.5	1.2
Nine hole pegboard test(seconds)		24"5	23"26	NT	NT	1'49"91	1'38"80
Jepsen-Taylor hand function test (seconds)	Writing	NT	NT	NT	NT	1'24"93	1'09"13
	Turning the cards	NT	35"49	NT	NT	35"09	20"83
	Picking up small objects	20"9	38"57	NT	NT	1'28"74	30"58
	Simulated feeding	NT	1'03"52	NT	NT	22"10	13"31
	Stacking checkes	46"1	30"91	NT	NT	19"48	13"64
	Picking up large light objects	14"9	13"44	NT	NT	23"49	13"27
Picking up large heavy objects	14"9	14"59	NT	NT	18"72	11"10	

NT : Not testable

재활 로봇을 사용한 연구에서는 손의 관절가동범위, 근력, FMA 등 신체적인 기능회복을 주로 결과로 제시하였다 [21,22,34,36,37]. 하지만 본 연구를 포함한 Amadeo®를 사용한 다른 연구에서는 FMA 점수향상을 보고와 동시에 운동활동지표를 통해 기능 향상이 일상생활에서 얼마나 영향을 주는지 알아보았다^[44]. 또한 이 연구에서 치료부위가 아닌 근위부의 향상에 대해서는 특정 상지를 치료했을 경우, 상지의 다른 부분에도 영향을 줄 수 있다는 기존 연구의 결과들과 일치하였다. 본 연구를 통하여 손 재활 로봇의 적용이 상대적으로 원위부에 보다 큰 치료 효과를 보았으며, 이는 기능적인 쥐기 능력을 향상시켰다.

연구에 참여한 대상자들은 치료 초기 서로 다른 기능 수준을 보였으며, 이것에 의해 치료 결과가 달라짐을 확인할 수 있었다. 대상자 1과 2의 경우 상지 FMA 총점에서는 각각 28점, 23점으로 큰 차이가 없었으나, 손 부분만을 비교할 때, 대상자 1의 경우 집단 굽힘, 신전이 부분적으로 가능하였고 대상자 2의 경우는 집단 굽힘, 신전이 나오지 않았다. 또한 대상자 1의 경우 기초선 평가에서 최대 수동 관절가동범위의 40% 정도의 능동적 손가락 관절가동범위를 보였으나, 대상자 2의 경우는 기초선 평가에서 5% 미만의 능동적 손가락 관절가동범위를 보였다. 치료 결과 대상자 1에서는 여러 기능 평가에서 향상을 보였지만, 대상자 2에서는 초기 기능 수준이 낮은 상태로 치료 후 검사에서도 여전히 검사 시행이 어려운 상태였다. 연구 대상자 선정과 관련하여 기존 연구에서는 두 번째 손허리손가락 관절의 능동적 관절가동범위가 10도 이상이며, FMA의 손부분의 점수가 2-20인 대상자를 정하였으며, 다른 연구에서는 손의 신전근의 근력이 도수근력검사 상 trace 이상의 미미한 움직임이 있는 대상자를 포함한 연구도 있었다^[7,44]. 본 연구 결과 최소한의 집단 굽힘, 신전이 가능한 대상자를 선정하여야 효과적인 치료가 가능할 것으로 판단된다. 하지만 대상자 2에서도 지속적인 능동적 손가락 관절가동범위의 향상을 보였으며, 이에 대한 장기간의 치료효과 검증이 요구된다.

본 연구에서 가장 큰 효과를 보인 대상자 3은 상대적으로 다른 대상자들에 비해 높은 기능 수준을 보였으며, 상지 FMA 총점 48점, 기초선에서 능동적 손가락 관절가동범위는 최대 수동관절가동범위의 90% 수준으로 치료 전 중등도 이상의 기능 수준을 가지고 있었다. Takahashi 등(2008)은 만성 뇌졸중 환자의 운동 기능이 중등도 이상일 때 로봇 치료가 최대의 효과를 낼 수 있다고 하였으며, 본 연구에서

도 이와 같이 중등도 이상의 운동 기능을 가진 대상자 3에서 가장 큰 효과를 보였다.

본 연구의 제한점은 대상자가 적어 연구의 결과를 다양한 증상을 가진 뇌졸중 환자에게 일반화시키기에는 문제점이 있다는 것이다. 하지만 기능 수준이 다른 세 명의 대상자를 통하여 제한적이거나 대상자 선정과 임상 적용에 대한 기초를 제공하였다. 두 번째 제한점으로는 연구 기간을 6주로 제한하여 지속적인 향상이 보고되었음에도 추가적인 증재와 평가를 시행하지 못했다는 점이다. 추후 장시간의 연구기간을 설정한 연구를 통하여 치료 효과를 살펴볼 필요가 있다. 마지막으로 로봇보조치료를 통한 기능 향상이 작업수행 또는 일상생활의 독립성의 향상 등에 미치는 지 여부를 살펴보지 못한 점이다. 추후 연구에서는 작업수행과 일상생활에의 참여의 증가 등과 같은 작업영역에 대한 연구가 필요할 것으로 생각된다.

5. 결론

본 연구는 손 재활 로봇이 만성 뇌졸중 환자의 손 기능 향상에 미치는 영향을 알아보았다. 연구 결과, 손 재활 로봇을 적용한 대상자 모두 능동적 관절가동범위의 향상을 보였으며 대상자 1명을 제외한 나머지 2명에서 치료 후 손 기능 향상을 보였다. 이에 본 연구는 손 재활 로봇의 임상적 적용에 대한 근거를 제시하며, 다른 국내 연구를 위한 기초자료로 활용될 것으로 기대한다.

References

- [1] V.M. Parker, D.T. Wade, R.L. Hower, "Loss of arm function after stroke: Measurement, frequency, and recovery", *International Rehabilitation Medicine*, Vol. 8, No. 2, pp 69-73, 1986.
- [2] T.S. Oslen, "Arm and leg paresis as outcome predictors in stroke rehabilitation", *Stroke*, Vol. 21, No. 2, pp. 247-251, 1990.
- [3] B.B. Johansson, "Current trends in stroke rehabilitation. A review with focus on brain plasticity", *Acta Neurologica Scandinavica*, Vol. 123, No. 3, pp. 147-159, 2011.
- [4] C. Butefisch, H. Hummelsheim, P. Denzler, K.H. Mauritz, "Repetitive training of isolated movements improves the outcome of motor re-

- habilitation of centrally paretic hand", *Journal of Neurological Science*, Vol. 130, No. 1, pp. 59-68, 2005.
- [5] J. Carey, T. Kimberley, S. Lewis, F. Auebach, L. Dorsey, P. Rundquis, "Analysis of fMRI and finger tracking training in subjects with chronic stroke", *Brain*, Vol. 125, No. 4, pp. 773-788, 2002.
- [6] E. Taub, N.E. Miller, T.A. Novack, E.W. Cook, W.C. Fleming, C.S. Nepomuceno, "Technique to improve chronic motor deficit after stroke", *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, Vol. 74, No. 4, pp. 347-354, 1993.
- [7] C. Takahashi, L. Der-Yeghiaian, V. Le, S.C. Cramer, "Robot-based hand motor therapy after stroke", *Brain*, Vol. 131, No. 2, pp. 425-437, 2008.
- [8] S.L. Wolf, C.J. Winstein, J.P. Miller, E. Taub, G. Uswatte, D. Morris, "Effect of constraint-induced movement therapy on upper extremity function 3 to 9 months after stroke: the EXCITE randomized clinical trial", *Journal of the American Medical Association*, Vol. 296, No. 17, pp. 2095-2104, 2006.
- [9] P.S. Lum, C.G. Burgar, P.C. Shor, M. Majmundar, M. Van der Loos, "Robot-assisted movement training compared with conventional therapy techniques for the rehabilitation of upper limb motor function after stroke", *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, Vol. 83, No. 7, pp. 951-959, 2002.
- [10] C.G. Bugar, P.S. Lum, P.C. Shor, H.F. Machiel Van der Loos, "Development of robots for rehabilitation therapy: The Palo Alto VA/Stanford experience", *Journal of Rehabilitation Research and Development*, Vol. 37, No. 3, pp. 663-673, 2000.
- [11] B.H. Dobkin, "Strategies for stroke rehabilitation", *Lancet Neurology*, Vol. 3, No. 9, pp. 528-536, 2004.
- [12] S.E. Fasoli, H.I. Krebs, J. Stein, N. Hogan, "Robotic technology and stroke rehabilitation: Translating research into practice", *Topic in Stroke Rehabilitation*, Vol. 11, No. 4, pp. 11-19, 2004.
- [13] D. Reinkensmeyer, J. Emken, S. Cramer, "Robotics, motor learning, and neurologic recovery", *Annual Review of Biomedical Engineering*, Vol. 6, pp. 497-525, 2004.
- [14] B.T. Volpe, M. Ferraro, D. Lynch, P. Christos, J. Krol, C. Trudell, "Robotics and other devices in the treatment of patients recovering from stroke", *Current Neurology and Neuroscience Reports*, Vol. 5, No. 6, pp. 465-470, 2005.
- [15] G.B. Prange, M.J. Jannink, C.G. Groothuis-Oudshoorn, H.J. Hermens, M.J. Ijzerman, "Systematic review of the effect of robot-aided therapy on recovery of the hemiparetic arm after stroke", *Journal of Rehabilitation Research and development*, Vol. 43, No. 2, pp. 171-184, 2006.
- [16] M.L. Aisen, H.I. Krebs, N. Hogan, F. McDowell, B.T. Volpe, "The effect of robot-assisted therapy and rehabilitative training on motor recovery following stroke", *Archives of Neurology*, Vol. 54, No. 4, pp. 443-446, 1997.
- [17] M. Ferraro, J.J. Palazzolo, J. Krol, H.I. Krebs, N. Hogan, B.T. Volpe, "Robot-aided sensorimotor arm training improves outcome in patients with chronic stroke", *Neurology*, Vol. 61, No. 11, pp. 1604-1607, 2003.
- [18] L.E. Kahn, P.S. Lum, W.Z. Rymer, D.J. Reinkensmeyer, "Robot-assisted movement training for the stroke-impaired arm: Does it matter what the robot does?", *Journal of Rehabilitation Research & Development*, Vol. 43, No. 5, pp. 619-630, 2006.
- [19] H.I. Krebs, B.T. Volpe, M. Ferraro, S. Fasoli, J. Palazzolo, B. Rohrer, "Robot-aided neuro-rehabilitation: From evidence-based to science-based rehabilitation", *Topics in Stroke Rehabilitation*, Vol. 8, No. 4, pp. 54-70, 2002.
- [20] S. Hesse, H. Schmidt, C. Werner, A. Bardeleben, "Upper and lower extremity robotic devices for rehabilitation and for studying motor control", *Current Opinion in Neurology*, Vol. 16, No. 6, pp. 705-710, 2003.
- [21] C.H. Hwang, J.W. Seong, D.S. Son, "Individual

- finger synchronized robot-assisted hand rehabilitation in subacute-chronic stroke: a prospective randomized clinical trial of efficacy", *Clinical Rehabilitation*, Vol. 26, No. 8, pp. 696-704, 2012.
- [22] P. Sale, V. Lombardi, M. Franceschini, "Hand robotics rehabilitation: feasibility and preliminary results of a robotic treatment in patient with hemiparesis", *Stroke Research and Treatment*, Vol. 2012, Article ID: 820931, 2012.
- [23] K.H. Jung, H.G. Ha, H.J. Shin, S.H. Ohn, D.H. Sung, K.W. Lee, Y.H. Kim, "Effect of robot-assisted gait therapy on locomotor recovery in stroke patients", *Korean Academy of Rehabilitation Medicine*, Vol. 32, No. 3, pp. 258-266, 2008.
- [24] P.W. Duncan, L. Goldstein, D. Matchar, G. Divine, J. Feussner, "Measurement of motor recovery after stroke: Outcome assessment and sample size requirement", *Stroke*, Vol. 23, No. 8, pp. 1084-1089, 1992.
- [25] H. Nakayama, H.S. Jorgenson, H.O. Raaschou, T.S. Oslen, "Compensation in recovery of upper extremity function after stroke: The copenhagen stroke study", *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, Vol. 75, No. 8, pp. 852-857, 1994.
- [26] SMEDEA Co., Ltd, "Professional Rehabilitation Catalog", Seoul, 2010.
- [27] C.A. Tromboly, M.V. Radomski, "Occupational Therapy for Physical Dysfunction (5th ed.)", Baltimore: Lippincott Williams & Wilkins, 2002.
- [28] A.R. Fugl-Meyer, L. Jaasko, I. Leyman, S. Olsson, S. Steglind, "The post-stroke patient. 1. a method for evaluation of physical performance", *Scandinavian Journal of Rehabilitation Medicine*, Vol. 7, No. 1, pp. 13-31, 1975.
- [29] J. Stanford, J. Moreland, L.R. Swanson, P.W. Stratford, C. Gowland, "Reliability of the Fugl-Meyer Assessment for testing motor performance in patients following stroke", *Physical Therapy*, Vol. 73, No. 7, pp. 447-454, 1993.
- [30] S.J. Page, P. Levine, S. Sisto, Q. Bond, M.V. Johnston, "Stroke patient's and therapist's opinions of constraint-induced movement therapy", *Clinical Rehabilitation*, Vol. 16, No. 1, pp. 55-60, 2002.
- [31] J.H. van der Lee, H. Beckerman, D.L. Knol, H.C. de Vet, L.M. Bouter, "Clinimetric properties of motor activity log for the assessment of arm use in hemiparetic patients", *Stroke*, Vol. 35, No. 6, pp. 1410-1414, 2004.
- [32] G. Uswatte, E. Taub, D. Morris, K. Lighth, P.A. Thompson, "The Motor Activity Log-28: Assessing daily use of the hemiparetic arm after stroke", *Neurology*, Vol. 67, No. 7, pp. 1189-1194, 2006.
- [33] A. Mitchell, S. Muniz, M.A. Vollmer, "Adult norm for a commercially available Nine Hole Peg Test for finger dexterity", *American Journal of Occupational Therapy*, Vol. 57, No. 3, pp. 570-574, 2003.
- [34] R.H. Jebsen, N. Taylor, R.B. Trieschmann, M.J. Trotter, L.A. Howard, "An objective and standardized test of hand function", *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, Vol. 50, No. 6, pp. 311-319, 1969.
- [35] S.K. Charles, H.I. Krebs, B.T. Volpe, D. Lynch, N. Hogan, "Wrist rehabilitation following stroke: Initial clinical results", Chicago: Omnipress, 2005.
- [36] S. Hesse, H. Kuhlmann, J. Wilk, C. Tomelleri, S.G. Kirker, "A new electromechanical trainer for sensorimotor rehabilitation of paralysed fingers: a case series in chronic and acute stroke patients", *Journal of Neuroengineering and rehabilitation*, Vol. 5, pp. 21-26, 2008.
- [37] S. Adamovich, A. Merians, R. Boian, M. Recce, M. Tremanine, H. Poizner, "A virtual reality based exercise system for hand rehabilitation post-stroke: transfer to function", *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc*, Vol. 7, pp. 4936-4939, 2004.
- [38] V. Brooks, S. Stoney, "Motor mechanisms: The role of the pyramidal system in motor control", *Annual Review of Physiology*, Vol. 33, No. 1, pp. 337-392, 1971.
- [39] D. Humphrey, E. Schmidt, W. Thompson, "Predicting measures of motor performance from multiple cortical spike trains", *Science*, Vol. 170, No. 3959, pp. 758-762, 1970.
- [40] F. Miles, E. Evart, "Concepts of motor organ-

ization", Annual Review of Psychology, Vol. 30, No. 1, pp. 327-362, 1979.

- [41] D. Waldvogel, P. van Gelderen, K. Ishii, M. Hallett, "The effect of movement amplitude on activation in functional magnetic resonance imaging studies", Journal of Cerebral Blood Flow and Metabolism, Vol. 19, No. 11, pp. 1209-1212, 1999.
- [42] C.E. Cruze, S.L. DeJong, J.A. Beebe, "Use of a novel robotic interface to study finger motor control", Annals of Biomedical Engineering, Vol. 38, No. 2, pp. 259-268, 2009.
- [43] E.B. Brokaw, I. Black, R.J. Holley, P.S. Lum, "Hand Spring Operated Movement Enhancer (HandSOME): A portable, passive hand exoskeleton for stroke rehabilitation", IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering, Vol. 19, No. 4, pp. 391-399, 2011.
- [44] J. Stein, L. Bishop, G. Gillen, R. Helbok, "Robot-Assisted Exercise for Hand Weakness After Stroke: A Pilot Study", American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation, Vol. 90, No. 11, pp. 887-894, 2011.



박진혁

2010 연세대학교 작업치료학과
(작업치료학사)

2012~현재 인제대학원대학교
보건경영학 작업치료전공
석사 과정

관심분야 : Bio-Robotics