

급성기 뇌졸중 환자에서의 로봇 보조 상지 훈련의 효과 : 무작위 대조 예비 연구

정유진*, 정경만**, 주민철***

*원광대학교 의과대학병원 작업치료실

**원광대학교 의과대학병원 물리치료실

***원광대학교 의과대학병원 재활의학과

국문초록

목적: 본 연구는 급성기 뇌졸중 환자에서 로봇 보조 상지 훈련의 효과를 알아보고자 실시하였다.

연구방법: 2015년 6월 1일부터 2015년 8월 30일까지 전북 익산 소재의 W 대학병원에 입원한 급성기 뇌졸중 환자 14명을 실험군과 대조군으로 무작위 할당하였다. 두 군 모두 전통적인 작업치료를 실시하였다. 추가적으로 실험군에는 로봇 보조 상지 훈련을 대조군은 전통적 작업치료를 각 1일 1회 30분, 주 5회, 총 4주간 실시하였다. 치료 중재 전·후 상지기능을 측정하기 위해 Fugl-Meyer 평가척도(Fugl-Meyer Assessment-Upper Extremity; FMA-UE), 상지 기능 검사(Manual Function Test; MFT)를 사용하였고 일상생활활동 수행능력을 평가하기 위해 한국판 수정된 바텔 지수(Korean version of Modified Barthel Index; K-MBI)를 사용하였고 장악력을 평가하기 위해 Jamar dynamometer를 사용하였다.

결과: 4주 치료 후 두 그룹 모두에서 중재 전·후 상지 기능, 일상생활활동 수행능력, 장악력에서 유의한 차이가 나타났으며($p < .05$) 중재 후 두 그룹 간 변화량의 차이에서는 모두 유의한 차이가 나타나지 않았다($p > .05$).

결론: 본 연구 결과 로봇 보조 상지 훈련이 급성기 뇌졸중 환자의 상지 기능, 일상생활활동 수행능력, 장악력을 향상시킬 수 있는 중재 방법으로 나타났다. 그러므로 로봇 보조 상지 훈련은 뇌졸중 환자의 상지 재활에 초기부터 안정적이고 신뢰적인 장비로 표준화된 치료를 지원할 수 있는 중재 방법으로 사용될 수 있을 것이다.

주제어: 급성기 뇌졸중, 로봇 보조 상지, 상지 기능, 일상생활활동 수행능력, 훈련

I. 서론

뇌졸중은 뇌 조직에 혈액을 공급하는 뇌혈관이 막히거나 터져서 발생하는 질환으로 신체 전반에 걸쳐 다양한

신경학적 장애를 유발한다(Chang, Tung, Wu, & Su, 2006). 뇌졸중 환자의 85% 에서 운동, 감각, 지각 및 인지장애 등을 포함한 편마비 증상이 나타나며 그 중 69% 이상의 환자에서 상지 기능 장애가 유발된다(Luke,

ORCID: Jung, Yu-Jin, <http://orcid.org/0000-0003-2451-1633>

Corresponding author: Jung, Kyeoung-Man (future1347@naver.com/Dept. of Physical Therapy, Wonkwang University School of Medicine & Hospital)

Received 30 April 2017; Revised version received 26 May 2017; Accepted 24 June 2017

Dodd & Brock, 2004; Wolf et al., 2001). 특히 뇌졸중 발병 초기에 마비측 상지의 심각한 운동장애를 보이는 환자 중 20% 정도에만 상지기능이 일부 회복되었고 5% 미만에서 상지기능이 완전 회복되므로 상지 기능 회복은 긍정적이지 못한 편이다(Hayward, Barker, & Brauer, 2010). 뇌졸중 환자의 상지 기능 장애는 조작하기, 먹기, 쓰기, 씻기, 기기, 걷기, 균형 등과 같이 인간의 삶에 가장 기본적인 일상생활동작을 방해하는 주요 원인으로 작용하기 때문에 환자의 사회적 독립성을 방해하고 삶의 질 저하를 초래한다(Michaelsen, Dannenbaum, & Levin, 2006). 또한 인간의 상지는 위험한 상황에서 자신을 보호하는 수단, 의사표현의 수단, 다양한 인지 활동에도 중요하게 사용된다(Buccino, Solodkin, & Small, 2006). 따라서 뇌졸중 환자에게 있어 상지 기능의 회복은 인간으로써 살아가는데 필요한 독립적 일상생활을 수행하는데 있어 하지의 보행 기능 못지않게 중요하다고 볼 수 있다(Sheng & Lin, 2009). 뇌졸중 환자의 운동능력 및 기능수준의 회복은 발병 초기에 가장 많이 일어나고 발병 후 3~6개월까지는 점차적으로 향상된다고 하였다(Chambers, Norris, Shurvell, & Hachinski, 1987). 이는 뇌졸중 환자들의 기능 향상을 극대화시키기 위해 다양한 치료적 접근법도 중요하지만 회복력이 가장 뚜렷한 발병 초기 환자들을 대상으로 시행되는 재활치료는 시기적으로 중요한 의미를 갖는다는 점을 시사한다(Hashimoto, Higuchi, Nakayama, & Abo, 2007).

상지 기능은 대부분 항 중력 방향으로 일어나기 때문에 하지에 비해 더 많은 근력과 관절 간 협응력 및 조절력이 요구된다(Roh, Rymer, Perreault, Yoo, & Beer, 2013). 하지의 일반적 움직임이 유각기와 입각기가 반복되는 보행이라면 상지는 들어올리기, 팔 뻗기, 조작기능이라고 할 수 있다(Krabben et al., 2012). 어깨관절 복합체는 견갑골을 중심으로 근육 간 협력수축과 동적 조절력을 통해 근위부의 안정성을 제공하는데 뇌졸중으로 인한 다양한 신경학적 손상은 상지 움직임 시 굴곡과 신전의 불수의적인 근 시너지를 발생시켜 의도한 수의적 움직임을 수행하지 못하여 수의적 움직임 수행에 있어 실패를 경험한다(Kung, Lin, & Ju, 2010). 비정상적인 골곡 시너지는 주관절의 토크를 발생시켜 신전을 제한하고 상지 거상을 어렵게 하여 시간이 경과될수록 어깨관

절 주변 근육에 무용성 근 위축을 초래할 수 있다(Krabben et al., 2012). 그러므로 환측 상지에 일부 기능이 잔존해 있더라도 사용하지 않게 되고 건측 상지를 습관적으로 더 사용하게 되는 학습된 무용(disuse)현상이 발생한다(Chang et al., 2006).

뇌졸중 환자의 상지기능 회복을 위해 시행된 치료적 접근법으로는 신경생리학적 운동접근법, 과제 지향적 접근법, 강제유도운동치료, 가상현실을 이용한 상지훈련, 거울치료 등이 실시되고 있으며 이런 방법들은 상지 기능 향상에 효과성이 입증되었다(Klimkiewicz, Kubsik, Jankowska, & Woldańska-Okońska, 2014; Peurala et al., 2012; Samuel, Oey, Van Dongen, & Ng, 2016; Thieme, Mehrholz, Pohl, Behrens, & Dohle, 2013; Winstein et al., 2016). 그러나 신경생리학적 운동접근법은 운동 중 환자에 대한 생리적 정보를 정량적으로 얻기 어렵고 치료사 간 차이가 많으며 강제유도운동치료는 건측 상지의 사용제한으로 근 위축과 심리적 압박감이 유발될 수 있어 치료에 대한 거부감과 손 기능에 대한 효과는 상대적으로 떨어져 이에 대한 치료가 필요하며 거울치료는 단독으로 사용되기 보다는 다른 치료와 결합되었을 때 치료의 효과가 더 크게 나타나는 제한점을 가지고 있다(Blanton, & Wolf, 1999; Cheng, Zhou, Zuo, & Fan, 2011; Thieme et al., 2013).

최근에는 생활수준의 향상과 과학의 발달로 재활 분야에 로봇이 활용되고 있는데 그 중 상지 로봇은 상지에 부과되는 중력을 보상해 줌으로써 비정상적인 패턴의 근 시너지 감소와 선택적 움직임을 촉진할 수 있는 환경을 제공할 수 있으며 다양한 종류의 운동과 강도 조절이 가능하며 집중력과 동기유발을 높일 수 있는 치료 방법으로, 과제지향적인 운동을 통해 운동 학습에 기여하는 것으로 알려져 있다(Sale et al., 2014b). 로봇 보조 상지 치료 효과에 대한 연구 중 아급성 뇌졸중 환자들을 대상으로 한 연구에서 실험군에 1일 30분, 주 5회, 총 4주 동안 로봇치료를 시행한 결과 실험 전·후 유의한 향상을 보였으나 전통적인 작업치료만 시행한 대조군과 비교에서는 유의한 차이가 없다고 하였다(Joo et al., 2014). 그러나 Lum, Burgar, Van der Loos, & Shor (2006)에서는 아급성 뇌졸중 환자에게 상지 재활 로봇치료가 전통적 치료에 비해 운동 기능을 향상하는데 있어 효과

적이라고 보고하였다. 이런 결과의 차이는 적용한 로봇의 종류, 치료 시작 시점, 운동프로그램의 강도 및 적용기간에 따라 달라질 수 있다(Joo et al., 2014). 그러나 아직까지 국내에는 급성기 뇌졸중 환자를 대상으로 한 상지 재활 로봇 연구는 부족한 상태이다. 따라서 본 연구는 발병 1개월 이내의 급성기 뇌졸중 환자를 대상으로 로봇 보조 상지 훈련이 상지 기능과 일상생활활동 수행능력에 미치는 효과를 알아보고자 하였다.

II. 연구 방법

1. 연구 대상

본 연구는 2015년 6월 1일부터 2015년 8월 30일까지 3개월 동안 전북 익산에 위치한 W대학 병원 재활의학과에 입원치료 중인 급성기 뇌졸중 환자 14명을 대상으로 실시하였다. 연구대상자는 본 연구의 선정기준에 부합되는 자로 본 연구의 목적과 절차에 대한 충분한 설명을 듣고 실험 참여에 자발적으로 서면 동의한 자를 대상으로 하였다. 대상자의 선정 및 제외 기준은 다음과 같다.

1) 선정 기준

- (1) 뇌졸중으로 진단 받은 지 1개월 미만인 환자 중 재발되지 아니한 자.
- (2) 도수근력평가에서 마비측 어깨관절 근위부의 근력이 중력 제거 상태에서 능동적 관절 운동이 가능한 Poor 이상인 자.
- (3) 수정된 Ashworth 척도(Modified Ashworth Scale; MAS)가 2 미만인 자.
- (4) 한국형 간이정신상태 판별검사(Korean Mini-Mental State Examination; MMSE-K) 점수가 24점 이상인 자.

2) 제외 기준

- (1) 정형외과적 문제, 피부질환, 심혈관 질환이 있는 자.
- (2) 로봇 치료를 적절히 수행할 수 없는 기저질환이 있는 자.

2. 연구 도구

1) 장악력 검사

장악력 검사는 쥐기(power grip)로 측정하였다. 쥐기 검사는 악력 측정은 Sammons Preston사에서 개발한 Jamar dynamometer를 이용하여 측정하였다. 측정 자세는 미국 수부치료사협회에서 제시한 자세로 앉은 상태에서 어깨관절을 내전시켜 몸통에 붙이고 주관절은 90도 굴곡, 전완은 중립위, 손목은 0~30도, 0~15도 내 척측 편위가 되도록 하였다. 검사로인해 피로를 느끼지 않게 하기 위해 각 측정 사이에 20초간의 휴식시간을 두었다. 측정은 비마비측 부터 시작하여 좌, 우 양측을 각각 총 3회씩 측정하여 평균값을 기록하였다(Mathiowetz et al., 1985).

2) Fugl-Meyer 평가 척도

(Fugl-Meyer Assessment; FMA)

FMA는 뇌졸중 환자의 운동기능, 균형, 감각 관절 가동범위, 통증의 정도를 양적으로 평가하기 위해 고안된 측정도구이다(Fugl-Meyer, Jääskö, Leyman, Olsson, & Steglind, 1974). 상지와 하지 두 영역으로 나누어져 있고 평점은 개별로 사용 된다. 본 연구에서 사용한 상지 영역의 세부 항목에는 어깨, 팔꿈치, 아래팔이 있고 각각 18항목, 손목5항목, 손(손가락)7항목으로 이루어졌으며 상지 협응능력은 3항목 이었다. 마비측과 비마비측을 3회씩 실시하여 높은 점수를 채택하였으며 수행정도에 따라 0~2점을 부여하였다(0점은 수행하지 못함, 1점은 부분적으로 수행함, 2점은 완전 수행함). 상·하지 모두 포함한 전체 점수는 100점으로 상지에 해당하는 검사는 33항목으로 최대 66점이며 회복 정도를 백분율로 나타낼 수도 있다(Duncan et al., 1994). 측정자 간 신뢰도와 측정자 내 신뢰도는 .94와 .99로 높은 신뢰도가 보고되었으며 상지 영역의 검사만을 시행하였을 경우도 검사자 간 신뢰도가 .96으로 높은 신뢰도를 보였다(Sanford, Moreland, Swanson, Stratford, & Gowland, 1993).

3) 상지 기능 검사(Manual Function Test; MFT)

뇌졸중 환자의 상지 기능 검사 도구인 MFT는 일본 동북 대학 의학부 리하연구소에서 개발한 검사도구이다.

뇌졸중 환자의 조기 재활 중 상지 기능 및 동작 능력 측정에 주로 사용되며 짧은 시간 동안에 측정할 수 있다는 장점이 있다. 검사 항목으로는 상지 운동 4항목, 손을 쥐는 힘 2항목, 손가락 조작 2항목이 있다. 세부 항목마다 수행 시 1점, 불가능할 시 0점으로 기록하는데 어깨 굽힘(4점), 어깨 벌림(4점), 후두부에 손 닿기(4점), 등에 손 닿기(4점), 쥐기(3점), 집기(3점), 입방체 운반(4점), 페그 보드에 꽂기(6점)로 총점은 32점 만점으로 한다(Nakamura & Moriyama, 2000). 검사자간 신뢰도와 검사-재검사 신뢰도는 .95으로 높게 보고되고 있다(Miyamoto, Kondo, Suzukamo, Michimata, & Izumi, 2009).

4) 한국판 수정된 바델 지수

(Korean version of Modified Barthel Index; K-MBI)

기본적 일상생활활동의 기능적 수준을 평가하는 도구로 K-MBI는 Shah, Vanclay와 Cooper (1989)이 개정한 수정된 바델 지수(Modified Barthel Index; MBI) 제5판을 한국 상황에 맞게 일부 항목을 수정 및 보완하여 표준화 한 것이다(Shah et al., 1989). 수정된 바델 지수는 총 10가지 항목으로 구성되어 있으며 각 항목별 점수는 5점 척도로 총점은 100점이다. 100점 만점으로 0~24점은 완전 의존성, 25~29점은 최대 의존성, 50~74점은 부분 의존성, 75~90점은 약간 의존성, 91~99점은 최소 의존성, 100점은 완전 독립성을 의미한다. 검사자 간 신뢰도는 .95, 검사-재검사 신뢰도는 .89로 보고되고 있다(Granger, Albrecht, & Hamilton, 1979).

3. 치료 중재

1) 로봇 보조 상지 훈련

(Robot-Assisted Upper Limb Training; RAULT)

본 연구의 상지 로봇은 Hocoma사에서 개발한 Armeo®Spring을 사용하였다. 로봇 훈련은 해당 회사로부터 로봇사용 방법에 대한 교육을 이수하고 자격증을 부여 받은 경력 5년 이상의 작업 치료사가 시행하였다. 훈련 전 환자에게 충분한 설명과 주의사항을 교육 한 후 손잡

이 위치, 하부 팔의 길이, 상부 팔의 길이를 조정하여 마비된 팔을 로봇 외골격에 착용 후 팔굽 관절이 90도 굴곡이 가능하고 팔꿈치 동작 축과 팔꿈치 관절이 일직선이 되는지 확인하였다. 환자의 초기 중력 보상의 정도는 마비측 상지에서 어깨관절 45도 굴곡과 팔굽 관절 90도 굴곡의 표준화 된 자세를 유지하는 능력을 기초로 하였으며 편안한 손위치를 위해 핸드 모듈을 조정하였다. 핸드 모듈의 잠금 장치를 통해 내전 및 외전 동작을 방지 하였으며 모든 조절 지표들은 매주 첫 번째 훈련을 통해 환자의 근력, 기능 상태에 대한 지표들에 따라 적절하게 설정하였다. 각 프로그램은 개인의 상태와 목적에 맞게 설정되었으며 어깨, 팔굽, 전완 및 손에 있는 관절들을 사용하면서 과제 지향적 운동을 할 수 있도록 선정하였다. 특히 프로그램은 뺨기, 들어 올리기, 옮기기, 펴기, 쥐기 등의 연결성이 있는 기능적 동작을 통해 강화될 수 있거나 훈련될 수 있도록 하였다. 운동의 강도는 운동자각도를 이용하여 1~2주차에서는 RPE 13(약간 힘들다)에서 3~4주에서는 RPE 15(힘들다)로 조절 하였다. 훈련은 1일 30분, 주 5회, 4주간 총 20회를 시행 하였다(Figure 1).

2) 실험 장비

본 연구에 사용된 Armeo®Spring 상지 로봇은 뇌졸중, 외상성 뇌손상 및 신경학적 손상 등으로 마비나 장애가 있는 상지 재활을 위해 고안된 장비로 집중적이고 고강도의 반복적인 훈련을 제공할 수 있다. 스프링 원리를 이용해 상지 무게를 조절할 수 있으며 특정 운동을 수행하는 동안 중력을 보상하여 팔을 보조해 주는 시스템이

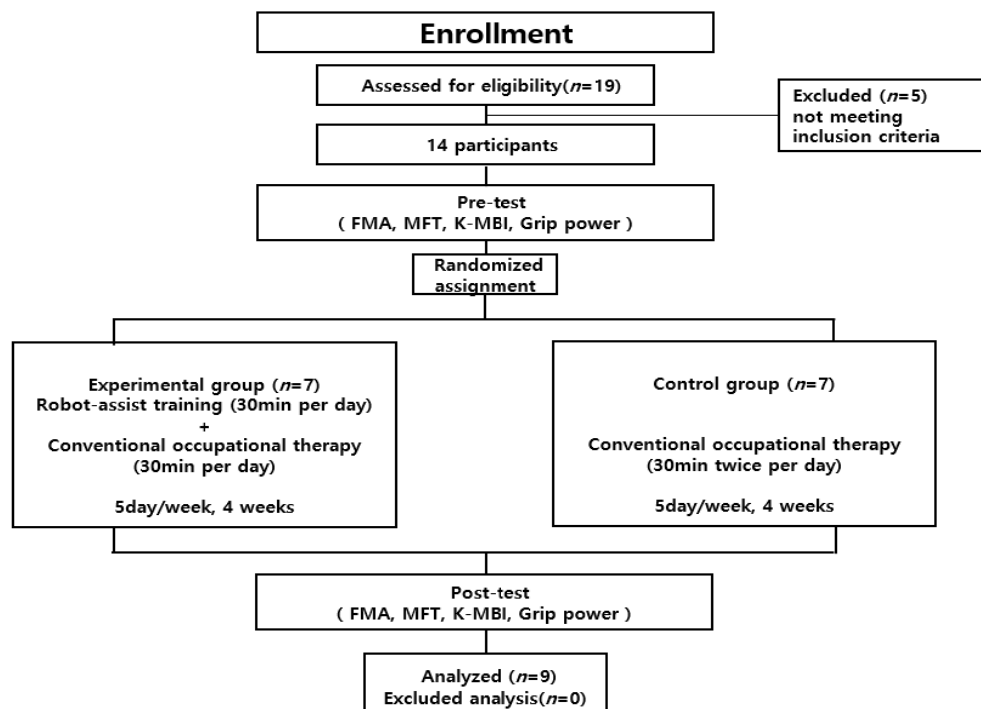


Figure 1. Robot-Assisted Rehabilitation Therapy

다. 이는 환자들로 하여금 남아있는 상지의 능동적 움직임과 기능적 수준을 점진적으로 증가시킬 수 있는 기회를 제공해준다. 로봇 관절은 어깨 3개, 팔굽 1개, 전완 1개로 총 5도의 자유도를 가지며 3차원 공간에서의 다양한 능동적 움직임이 가능하고 압력에 민감한 손 쥐기 동작을 통해 단계적인 쥐기와 펴기 동작을 수행할 수 있다. 위치 센서와 소프트웨어를 통해 제공되는 가상현실 학습 환경은 훈련 중 청각 정보와 시각적 피드백을 제공하여 기능적 과제를 달성하게 해준다. 가상현실 프로그램은 과제 지향적 접근법으로 구성되어 있으며 움직임의 방향, 속도, 범위에 따라 다른 수준의 난이도를 제공한다. 환자의 능동적 움직임 수준에 따라 훈련 공간을 보정할 수 있으며 움직임에 대한 저항, 근력, 관절가동범위, 협응력에 대한 정보가 제공되며 이러한 정보를 통해 각 개인에 맞는 적합한 운동 프로그램을 제공할 수 있다(Figure 1).

4. 연구 절차

연구 대상자는 2016년 6월 1일부터 2016년 8월 30일까지 19명의 대상자 중 본 연구의 선정기준에 부합하는 14명의 환자를 대상으로 하였다. 검사 결과에 부합되는 급성기 뇌졸중 환자 14명을 대상으로 Matlab 소프트웨어의 무작위 난수 발생 기능을 이용하여 무작위로 로봇 보조 상지훈련을 하는 실험군(7명)과 일반적 작업 치료를 시행하는 대조군(7명)으로 나누어 배정하였다. 중재 전 사전평가와 중재 후 사후평가는 5년 이상의 임상경력을 가진 동일한 작업치료사가 실시하였다. 실험에 참가한 모든 대상자는 신경생리학적 이론에 근거한 관절가동범위 증진 훈련, 과제 지향적 훈련, 일상생활활동 훈련을 포함한 일반적 작업치료를 회복 단계에 맞게 실시하였고 추가적으로 실험군은 1일 1회 30분, 주 5회, 4주간 로봇 보조 재활 훈련을 실시하였고 대조군에는 1일 1회 30분, 주 5회, 4주간 일반적 작업치료를 실시하였다. 전반적인 연구 절차는 다음과 같다(Figure 2).



FMA: Fugl-Meyer Assessment, K-MBI: Korean version of Modified Barthel Index,
MFT: Manual Function Test

Figure 2. Flow Diagram

5. 분석 방법

측정하여 수집된 자료는 SPSS Version 19.0 통계 프로그램을 이용하여 분석하였다. 중재 전 실험군과 대조군의 일반적 특성은 기술통계량을 이용해 평균과 표준편차를 제시하였고 동질성 검정을 위해 명목척도는 χ^2 과 순서척도는 맨 휘트니(Mann-Whitney) U 검정을 이용하였다. 두 군간 비교를 위해서 맨 휘트니(Mann-Whitney) U 검정을 이용하였고 군 간 중재 전후를 비교하기 위해서 비모수 검정 방법인 윌콕슨 부호순위(Wilcoxon Signed-ranks) 검정을 이용하였고 두 군별 각 측정 변수들의 중재 전후 비교와 중재 전후 변화량을 비교하기 위해 맨 휘트니(Mann-Whitney) U 검정을 이용하였다. 통계적 유의 수준 p 값은 .05로 하였다.

Ⅲ. 연구 결과

1. 연구 대상자의 일반적 특성

연구 대상자의 일반적 특성은 Table 1과 같다. 중재 전 두 군간 일반적 특성에 대한 동질성 검증을 실시한 결과 통계학적 유의한 차이가 없었다($p>.05$) (Table 1).

2. 두 군간 중재 전·후 상지 기능, 일상생활 활동 수행능력, 장악력 수준 비교

두 군에서 중재 전에 측정된 FMA, MFT, K-MBI, Grip power 점수들은 동질성 검사에서 유의한 차이가 없었다($p>.05$) (Table 2). 두 군간 중재 전과 후를 비교한 결과 두 집단 모두에서 측정된 FMA, MFT, K-MBI, Grip power 에서 유의한 차이가 나타났다($p<.05$) (Table 2).

3. 두 군간 중재에 따른 상지 기능, 일상생활 활동 수행능력, 장악력 변화량 비교

중재 후 두군 간의 상지 기능(FMA, MFT), 일상생활 동작 수행능력(K-MBI), 장악력(Grip power)의 변화량을 비교한 결과, 두 군간 유의한 차이가 나타나지 않았다($p>.05$) (Table 3).

Ⅳ. 고 찰

본 연구의 목적은 급성기 뇌졸중 환자를 대상으로 로봇 보조 상지 재활훈련이 상지기능, 일상생활활동 수행능력, 장악력에 미치는 효과를 알아보는 것이었다. 이를

Table 1. General Characteristics of the Subjects

Characteristics		Pre-treatment		χ^2/z (p)
		RAULT group ($n=7$)	CTL group ($n=7$)	
Gender (n)	Male	5	4	1.14 (.29)
	Female	2	3	
Affected side (n)	Left	3	2	.29 (.59)
	Right	4	5	
Onset duration (day, $M \pm SD$)		17.71 $\pm$ 1.49 ^c	17.86 $\pm$ 1.34	-.19 (.84)
Age(yr, $M \pm SD$)		58.86 $\pm$ 9.17	60.57 $\pm$ 5.62	-.26 (.79)
Body weight(kg, $M \pm SD$)		59.93 $\pm$ 9.22	59.91 $\pm$ 8.04	-.06 (.94)
MMSE-K(score, $M \pm SD$)		26.86 $\pm$ 1.77	25.71 $\pm$ 0.75	-1.33 (.18)

CTL: Control, MMSE-K: Korean version of Mini-Mental Status Examination,

RAULT: Robot-assisted Upper limb Training,

* $p<.05$

Table 2. Results of Between-Group and Within-Group Comparison on Each Clinical Evaluation

Items	Assessment	RAULT group (<i>n</i> =7)	CTL group (<i>n</i> =7)	<i>z</i> (<i>p</i>)
FMA-UE (score)	Pre-test (<i>M</i> ± <i>SD</i>)	16.71 ± 2.14	15.57 ± 2.37	-.97 (.33)
	Post-test (<i>M</i> ± <i>SD</i>)	31.00 ± 3.79	27.14 ± 2.27	-1.92 (.06)
	<i>z</i> (<i>p</i>)	-2.38 (.01*)	-2.38 (.01*)	
MFT (score)	Pre-test (<i>M</i> ± <i>SD</i>)	13.43 ± 2.69	11.86 ± 2.34	-1.16 (.24)
	Post-test (<i>M</i> ± <i>SD</i>)	22.43 ± 3.45	19.43 ± 1.98	-1.63 (.10)
	<i>z</i> (<i>p</i>)	-2.37 (.02*)	-2.38 (.02*)	
K-MBI (score)	Pre-test (<i>M</i> ± <i>SD</i>)	31.00 ± 4.76	27.43 ± 3.86	-1.35 (.17)
	Post-test (<i>M</i> ± <i>SD</i>)	54.00 ± 4.83	48.71 ± 3.54	-1.86 (.06)
	<i>z</i> (<i>p</i>)	-2.37 (.01*)	-2.37 (.02*)	
Grip power (kg)	Pre-test (<i>M</i> ± <i>SD</i>)	3.29 ± 1.11	3.43 ± 1.27	-.19 (.84)
	Post-test (<i>M</i> ± <i>SD</i>)	8.14 ± 2.85	8.00 ± 2.64	-.32 (.81)
	<i>z</i> (<i>p</i>)	-2.37 (.01*)	-2.38 (.02*)	

CTL: Control, FMA-UE: Fugl-Meyer Assessment-Upper Extremity, K-MBI: Korean version of Modified Barthel Index, MFT: Manual Function Test, RAULTG: Robot-Assisted Upper Limb Training Group

**p*<.05

Table 3. Results of Between-Group Comparison in the Change Value of Each Parameter of Subjects

Items	RAULT group (<i>n</i> =7) <i>M</i> ± <i>SD</i>	CTL group (<i>n</i> =7) <i>M</i> ± <i>SD</i>	<i>z</i> (<i>p</i>)
FMA-UE(score)	14.29 ± 2.50	11.57 ± 2.44	-1.76 (.08)
MFT(score)	8.86 ± 2.19	7.57 ± 1.39	-1.18 (.23)
K-MBI(score)	23.00 ± 3.37	21.29 ± 3.20	-.85 (.39)
Grip power(kg)	4.86 ± 2.03	4.57 ± 1.90	-.65 (.52)

CTL: Control, FMA-UE: Fugl-Meyer Assessment-Upper Extremity, K-MBI: Korean version of Modified Barthel Index, MFT: Manual Function Test, RAULT: Robot-Assisted Upper Limb Training

**p*<.05

위해 본 연구에 참여한 급성기 뇌졸중 환자를 대상으로 실험군에는 로봇 보조 상지 훈련과 일반적 작업치료를 각각 30분씩 적용하였고 대조군에는 일반적 작업치료를 30분씩 1일 2회 적용하였다. 본 연구에 사용된 Armeo®Spring 상지 로봇은 대표적인 외골격 로봇으로 중력을 보상할 수 있어 근육 저하로 독립적인 상지 운동이 불가

능한 환자에게 능동적 훈련을 유도할 수 있다. 또한 모니터를 통해 제공되는 가상현실은 과제 지향적 운동 학습 이론에 기초하여 다양한 수준의 반복훈련과 강도를 통해 최적의 상지 재활 환경을 제공한다(Kim, Park, Lee, & Seo, 2015). 상지 로봇은 치료사에 의해 제공되는 일반적인 작업치료에 비해 움직임에 대한 정확성이 매우 높

고 치료사의 지도 감독이 적은 상태에서 독립적인 훈련을 지속적으로 수행할 수 있으며 수행능력을 객관적으로 측정할 수 있거나 측정도구로써의 기능 또한 내장되어 있기 때문에 재활치료 분야에 다양하게 사용될 수 있다 (Sale et al., 2014a). 본 연구의 결과에서 로봇 보조 상지 훈련을 수행한 실험군과 일반적 작업치료를 수행한 대조군 모두에서 중재 후 검사 결과 상지 기능(FMA-UE, MFT), 일상생활활동 수행력(K-MBI), 장악력(Grip power) 수준이 유의하게 향상되었으나($p < .05$) 치료 후 두 그룹 간 변화량을 비교한 결과 모든 측정 변수에서 유의한 차이는 나타나지 않았다($p > .05$). 급성기 뇌졸중 환자를 대상으로 로봇 보조 상지 훈련을 시행한 기존의 연구를 살펴보면 Sale 등(2014a)은 급성기 뇌졸중 환자 20명을 대상으로 주 5회 4주간 집중적인 상지 로봇 재활치료를 실시한 실험군과 집중적인 작업치료를 실시한 대조군을 비교한 결과 두 군 모두 상지 기능(FMA-UE)과 손의 굴근과 신근의 근력이 유의하게 향상되어 급성기 뇌졸중 환자의 상지 치료를 위해 로봇 치료가 안정적이고 신뢰할 만한 장비임을 입증하였다. Masiero, Celia, Rosati와 Armani (2007)은 급성기 뇌졸중 환자 35명을 대상으로 어깨와 팔굽관절이 조절 가능한 상지 로봇 보조 재활훈련을 주 4시간, 5주간 실시하였고 일반적 작업치료만 실시한 대조군에 비해 상지 기능과 상지 근력이 향상된 결과가 나타나 로봇 보조 상지 치료가 급성기 뇌졸중 환자에 상지 재활을 위해 효과적인 방법임이 입증하였다. 또한 Aisen, Krebs, Hogan, McDowell와 Volpe (1997)은 급성기 뇌졸중 환자 20명 중 실험군에 로봇 보조 재활치료를 실시하였고 대조군 보다 상지 기능과 일상생활 활동 능력, 근위부 상지 근력에서 더 유의한 향상이 있었음을 보고하였다. Rabadi 등(2008)은 뇌졸중 발병 4주 미만의 환자 30명을 대조군, 상지 자전거 운동군과 로봇 치료군에 각각 10명씩 배정하여 1일 1회 40분씩 총 12회 동안 추가적으로 능동 운동을 기반으로 하는 치료를 세 그룹에 적용한 결과 모든 그룹에서 중재 후 상지 기능, 상지 근력, 일상생활 활동 수행 능력이 향상되었지만 그룹 간의 유의한 차이는 없었다고 하였다. 이러한 연구 결과는 본 연구의 결과와 유사하거나 일치하는 결과를 보였다. 본 연구의 결과로 로봇 보조 상지 훈련이 급성기 뇌졸중 환자의 상지 기능의 향상과

일상생활활동 능력, 장악력에 효과적인 방법임을 입증되었다.

본 연구의 결과, 근력 약화로 중력에 대하여 독립적인 상지 기능 훈련을 못하는 환자의 팔을 로봇에 장착하면 팔의 무게가 로봇에 의해 지지됨으로써 중력에 대한 부담이 줄어들어 굴곡 시너지가 감소하므로 선택적 움직임이 촉진 될 수 있는 것으로 나타났다. 또한 모니터를 통해 제공되는 과제 지향적 기반의 가상현실은 흥미와 동기를 높여 능동적인 참여를 유발할 수 있었다. 본 연구에서는 운동 자각도를 이용하여 급성기 환자의 신체적 부담감과 피로감을 조절할 수 있도록 하였으며 집중된 훈련(high-dose intensive training)과 특화된 기능적 과제의 반복적 실행(repetitive practice of specific functional tasks)을 통해 상지 기능, 일상생활 활동 수행력, 장악력이 향상하였다. 그러나 뇌졸중 환자를 대상으로 로봇 보조 상지 훈련의 효과에 대한 무작위 대조군 연구를 메타분석 한 결과 일상생활 수행능력의 향상만 유의한 것으로 나타나 아직 까지 로봇치료의 효과를 단정 하기는 어렵기 때문에 전통적인 작업치료를 병행하지 않고 로봇 치료만 단독으로 시행하기에는 근거가 부족한 실정이다(Mehrholz, Hädrich, Platz, Kugler, & Pohl, 2012). 이렇듯, 로봇 보조 상지 훈련에 관한 연구 결과들의 차이는 치료 시작 시점, 표준화 및 비 표준화된 반복횟수와 고강도의 훈련 프로그램 적용 유무, 로봇의 종류 등에 의해 발생된다고 하였다(Sale et al., 2014b). 2016년 로봇 보조 상지 재활 치료에 대한 무작위 대조군 연구를 분석한 메타분석 결과 뇌졸중 발병 3개월 이후 시행된 연구들에서는 상지 기능과 임상적 측정 변수들의 효과성이 입증된 반면 뇌졸중 발병 3개월 이내에 시행된 연구들에서는 측정 변수들의 효과성이 적다는 결론이 나타났는데 이는 급성기 환자를 대상으로 한 연구들이 무작위 대조군 연구로 설계되지 않았기 때문이라고 보고하였으며 향후 진행될 연구는 뇌졸중 발병 3개월 이내의 환자들을 대상으로 무작위 대조군 설계를 통한 연구들이 필요하다고 하였다(Veerbeek, Langbroek-Amersfoort, van Wegen, Meskers, & Kwakkel, 2016). 이에 본 연구는 국내에서는 급성기 환자를 대상으로 한 상지 로봇 연구가 극히 드물기 때문에 급성기 뇌졸중 환자를 대상으로 무작위 대조군 예비 연구를 실시한 것에 임상적인 가치

가 있다고 볼 수 있다. 또한, Burgar, Garber와 Van der Loos (2011)는 급성기 환자를 대상으로 로봇 연구를 시작하였으나 운동량의 적절한 강도 조절을 실패하였기 때문에 본 연구에서는 운동자각지수를 이용하여 1~2주차에서는 RPE 13(약간 힘들다), 3~4주에서는 RPE 15(힘들다)로 운동 강도를 표준화 하였다. Shin, Kim, Lee와 Shin (2014)의 뇌졸중 환자의 상지 재활치료에 대한 한국형 표준 진료 지침을 운동치료의 강도의 증가, 운동 학습과 신경 생리적 접근 등을 환자의 상태에 맞게 개별적으로 적용, 근력 강화, 과제 지향적 훈련, 운동 및 기능 훈련 등을 권고수준 A, 근거수준 1+~1++로 제시하였다. 본 연구의 결과 실험군과 대조군의 종속변수의 변화량의 차이에서 유의한 차이가 나타나지 않았지만 실험군이 더 향상된 것으로 나타났다. 이는 로봇 보조 상지 훈련이 컴퓨터를 통한 정확한 강도와 난이도를 제공할 수 있으며, 상지 훈련 시 과제를 통한 동기유발과 흥미를 높여 상지 기능 향상에 도움이 된 것으로 생각된다. 이렇듯, 로봇 보조 상지 훈련은 안정적이고 신뢰할만한 장비로 치료의 강도를 체계적으로 조절하여 집중적인 훈련을 제공할 수 있고 과제 지향적 훈련의 반복적 실행을 통해 신경학적 회복을 강화할 수 있는 장점들이 임상에서 상지 로봇 장비를 활용하는 이유라 할 수 있다. 따라서 본 연구는 국내의 급성기 뇌졸중 환자를 대상으로 로봇 보조 상지 훈련의 효과를 일반적 작업치료를 받은 대조군과 무작위 배정하여 비교하였다는 데 의의가 있다. 그러나 대상자의 수가 14명으로 예비연구로 진행되었으며, 4주 이후의 평가만 이루어 졌고 그 이후 장기간의 효과까지는 알아보지 못했기 때문에 모든 환자를 대상으로 일반화하기는 어렵다. 또한 연구 선정기준에 포함되는 대상자의 상지 기능 수준 범주가 넓어 기능 수준에 대한 차이에 의한 오차를 감안하지 못한 제한점이 있다.

V. 결 론

본 연구는 급성기 뇌졸중 환자를 대상으로 로봇 보조 상지 훈련의 효과를 알아보고자 실시하였다. 두 그룹은 전통적인 작업치료를 받고 추가적으로 1일 30분씩 4주간 주 5회 실험군은 로봇 보조 상지 재활 훈련을, 대조군은

전통적인 작업치료를 실시하였다. 4주 치료 이후 두 그룹 모두에서 중재 전·후 상지 기능, 일상생활활동 수행력, 장악력에서 유의한 차이가 나타났지만($p < .05$), 중재 후 두 그룹 간 변화량의 차이에서는 모두 유의한 차이가 나타나지 않았다($p > .05$). 본 연구를 통해 급성기 뇌졸중 환자에게 상지 로봇 훈련 후 상지 운동 기능과 일상생활활동 수행력에 효과가 있음을 확인하였다. 이는 안정적이고 신뢰적인 로봇 보조 장비를 통한 표준화된 중재 프로그램 제공이 급성기 환자의 상지 재활에 중요한 토대가 될 것이다. 향후 급성기 환자에 대한 더 많은 대상자와 무작위 대조군 연구들이 지속적으로 이뤄져야 할 것이다.

References

- Aisen, M. L., Krebs, H. I., Hogan, N., McDowell, F., & Volpe, B. T. (1997). The effect of robot-assisted therapy and rehabilitative training on motor recovery following stroke. *Archives of Neurology*, 54, 443-446. doi:10.1001/archneur.1997.00550160075019
- Blanton, S., & Wolf, S. L. (1999). An application of upper-extremity constraint-induced movement therapy in a patient with subacute stroke. *Physical Therapy*, 79, 847-853. doi:10.1093/ptj/79.9.847
- Buccino, G., Solodkin, A., & Small, S. L. (2006). Functions of the mirror neuron system: Implications for neurorehabilitation. *Cognitive and Behavioral Neurology*, 19, 55-63.
- Burgar, C. G., Garber, S. L., & Van der Loos PhD, H. M. (2011). Robot-assisted upper-limb therapy in acute rehabilitation setting following stroke: Department of veterans affairs multisite clinical trial. *Journal of Rehabilitation Research and Development*, 48, 445-458. doi:10.1682/JRRD.2010.04.0062
- Chambers, B. R., Norris, J. W., Shurvell, B. L., & Hachinski, V. C. (1987). Prognosis of acute

- stroke. *Neurology*, 37, 221–221. doi:10.1212/WNL.37.2.221
- Chang, J. J., Tung, W. L., Wu, W. L., & Su, F. C. (2006). Effect of bilateral reaching on affected arm motor control in stroke - with and without loading on unaffected arm. *Disability and Rehabilitation*, 28, 1507–1516. doi:10.1080/09638280600646060
- Cheng, X., Zhou, Y., Zuo, C., & Fan, X. (2011). Design of an upper limb rehabilitation robot based on medical theory. *Procedia Engineering*, 15, 688–692. doi:10.1016/j.proeng.2011.08.128
- Duncan, P. W., Goldstein, L. B., Horner, R. D., Landsman, P. B., Samsa, G. P., & Matchar, D. B. (1994). Similar motor recovery of upper and lower extremities after stroke. *Stroke*, 25, 1181–1188. doi:10.1161/01.STR.25.6.1181
- Fugl-Meyer, A. R., Jääskö, L., Leyman, I., Olsson, S., & Stegling, S. (1974). The post-stroke hemiplegic patient. 1. A method for evaluation of physical performance. *Scandinavian Journal of Rehabilitation Medicine*, 7, 13–31.
- Granger, C. V., Albrecht, G. L., & Hamilton, B. B. (1979). Outcome of comprehensive medical rehabilitation: Measurement by PULSES profile and the barthel index. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 60, 145–154.
- Hashimoto, K., Higuchi, K., Nakayama, Y., & Abo, M. (2007). Ability for basic movement as an early predictor of functioning related to activities of daily living in stroke patients. *Neurorehabilitation and Neural Repair*, 21, 353–357. doi:10.1177/1545968306297870
- Hayward, K., Barker, R., & Brauer, S. (2010). Interventions to promote upper limb recovery in stroke survivors with severe paresis: A systematic review. *Disability and Rehabilitation*, 32, 1973–1986. doi:10.3109/09638288.2010.481027
- Joo, M. C., Park, H. I., Noh, S. E., Kim, J. H., Kim, H. J., & Jang, C. H. (2014). Effects of robot-assisted arm training in patients with subacute stroke. *Brain and Neurorehabilitation*, 7, 111–117. doi:10.12786/bn.2014.7.2.111
- Kim, J., Park, S. W., Lee, Y., & Seo, H. (2015). Clinical outcomes of robot-assisted arm rehabilitation in stroke patients. *Brain and Neurorehabilitation*, 8, 46–52. doi:10.12786/bn.2015.8.1.46
- Klimkiewicz, P., Kubsik, A., Jankowska, A., & Woldańska-Okońska, M. (2014). The effect of neurorehabilitation on the functional state and muscle tone of upper limb in patients after ischaemic stroke. *Polski Merkuriusz Lekarski: Organ Polskiego Towarzystwa Lekarskiego*, 36, 191–194. doi:10.2522/ptj.20150665
- Krabben, T., Prange, G. B., Molier, B. I., Stienen, A. H., Jannink, M. J., Buurke, J. H., & Rietman, J. S. (2012). Influence of gravity compensation training on synergistic movement patterns of the upper extremity after stroke, a pilot study. *Journal of Neuroengineering and Rehabilitation*, 9, 44. doi:10.1186/1743-0003-9-44
- Kung, P. C., Lin, C. C. K., & Ju, M. S. (2010). Neuro-rehabilitation robot-assisted assessments of synergy patterns of forearm, elbow and shoulder joints in chronic stroke patients. *Clinical Biomechanics*, 25, 647–654. doi:10.1016/j.clinbiomech.2010.04.014
- Luke, C., Dodd, K. J., & Brock, K. (2004). Outcomes of the Bobath concept on upper limb recovery following stroke. *Clinical Rehabilitation*, 18, 888–898. doi:10.1191/0269215504cr793oa
- Lum, P. S., Burgar, C. G., Van der Loos, M., & Shor, P. C. (2006). MIME robotic device for upper-limb neurorehabilitation in subacute stroke subjects: A follow-up study. *Journal of Rehabilitation Research and Development*, 43, 631–642. doi:10.1682/JRRD.2005.02.0044

- Masiero, S., Celia, A., Rosati, G., & Armani, M. (2007). Robotic-assisted rehabilitation of the upper limb after acute stroke. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 88, 142–149. doi:10.1016/j.apmr.2006.10.032
- Mathiowetz, V., Kashman, N., Volland, G., Weber, K., Dowe, M., & Rogers, S. (1985). Grip and pinch strength: Normative data for adults. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 66, 69–74.
- Mehrholz, J., Hädrich, A., Platz, T., Kugler, J., & Pohl, M. (2012). Electromechanical and robot-assisted arm training for improving generic activities of daily living, arm function, and arm muscle strength after stroke. *Cochrane Library*, 6. doi:10.1002/14651858.CD006876.pub3
- Michaelsen, S. M., Dannenbaum, R., & Levin, M. F. (2006). Task-specific training with trunk restraint on arm recovery in stroke. *Stroke*, 37, 186–192. doi:10.1161/01.STR.0000196940.20446.c9
- Miyamoto, S., Kondo, T., Suzukamo, Y., Michimata, A., & Izumi, S. I. (2009). Reliability and validity of the manual function test in patients with stroke. *American journal of Physical Medicine and Rehabilitation*, 88, 247–255. doi:10.1097/PHM.0b013e3181951133
- Nakamura, R., & Moriyama, S. (2000). *Manual Function Test (MFT) and functional occupational therapy for stroke patients*. Tokorozawa, Japan: National Rehabilitation Center for the Disabled.
- Peurala, S. H., Kantanen, M. P., Sjögren, T., Paltamaa, J., Karhula, M., & Heinonen, A. (2012). Effectiveness of constraint-induced movement therapy on activity and participation after stroke: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Clinical Rehabilitation*, 26, 209–223. doi:10.1177/0269215511420306
- Rabadi, M. H., Galgano, M., Lynch, D., Akerman, M., Lesser, M., & Volpe, B. T. (2008). A pilot study of activity-based therapy in the arm motor recovery post stroke: A randomized controlled trial. *Clinical Rehabilitation*, 22, 1071–1082. doi:10.1177/0269215508095358
- Roh, J., Rymer, W. Z., Perreault, E. J., Yoo, S. B., & Beer, R. F. (2013). Alterations in upper limb muscle synergy structure in chronic stroke survivors. *Journal of Neurophysiology*, 109, 768–781. doi:10.1152/jn.00670.2012
- Sale, P., Franceschini, M., Mazzoleni, S., Palma, E., Agosti, M., & Posteraro, F. (2014a). Effects of upper limb robot-assisted therapy on motor recovery in subacute stroke patients. *Journal of Neuroengineering and Rehabilitation*, 11, 104. doi:10.1186/1743-0003-11-104
- Sale, P., Mazzoleni, S., Lombardi, V., Galafate, D., Massimiani, M. P., Posteraro, F., ... Franceschini, M. (2014b). Recovery of hand function with robot-assisted therapy in acute stroke patients: A randomized-controlled trial. *International Journal of Rehabilitation Research*, 37, 236–242. doi:10.1097/MRR.0000000000000059
- Samuel, G. S., Oey, N. E., Van Dongen, A. M., & Ng, Y. S. (2016). Combining levodopa and virtual reality-based therapy for the rehabilitation of upper limb after acute stroke: Pilot study part II. *Singapore Medical Journal*, 1, 25. doi:10.11622/smedj.2016111
- Sanford, J., Moreland, J., Swanson, L. R., Stratford, P. W., & Gowland, C. (1993). Reliability of the Fugl-Meyer assessment for testing motor performance in patients following stroke. *Physical Therapy*, 73, 447–447.
- Shah, S., Vanclay, F., & Cooper, B. (1989). Improving the sensitivity of the Barthel index for stroke rehabilitation. *Journal of Clinical*

- Epidemiology*, 42, 703–709. doi:10.1016/0895-4356(89)90065-6
- Sheng, B., & Lin, M. (2009). A longitudinal study of functional magnetic resonance imaging in upper-limb hemiplegia after stroke treated with constraint-induced movement therapy. *Brain Injury*, 23, 65–70. doi:10.1080/02699050802635299
- Shin, M. J., Kim, S. H., Lee, C. H., & Shin, Y. I. (2014). Optimal strategies of upper limb motor rehabilitation after stroke. *Brain and Neurorehabilitation*, 7, 21–29. doi:10.12786/bn.2014.7.1.21
- Thieme, H., Mehrholz, J., Pohl, M., Behrens, J., & Dohle, C. (2013). Mirror therapy for improving motor function after stroke. *Stroke*, 44, e1–e2. doi:10.1161/STROKEAHA.112.673087
- Veerbeek, J. M., Langbroek–Amersfoort, A. C., van Wegen, E. E., Meskers, C. G., & Kwakkel, G. (2016). Effects of robot-assisted therapy for the upper limb after stroke: A systematic review and meta-analysis. *Neurorehabilitation and Neural Repair*, 31, 107–121. doi:10.1177/1545968316666957
- Winstein, C. J., Wolf, S. L., Dromerick, A. W., Lane, C. J., Nelsen, M. A., Lewthwaite, R., ... Azen, S. P. (2016). Effect of a task-oriented rehabilitation program on upper extremity recovery following motor stroke: The ICARE randomized clinical trial. *Jama*, 315, 571–581. doi:10.1001/jama.2016.0276
- Wolf, S. L., Catlin, P. A., Ellis, M., Archer, A. L., Morgan, B., & Piacentino, A. (2001). Assessing Wolf motor function test as outcome measure for research in patients after stroke. *Stroke*, 32, 1635–1639. doi:10.1161/01.STR.32.7.1635

Abstract

Effects of Robot-Assisted Upper Limb Training in Patients With Acute Stroke: Randomized Controlled Pilot Study

Jung, Yu-Jin*, M.P.H., O.T., Jung, Kyeoung-Man**, M.S., P.T.,
Joo, Min-Cheol***, Ph.D., M.D.

*Dept. of Occupational Therapy, Wonkwang University School of Medicine & Hospital

**Dept. of Physical Therapy, Wonkwang University School of Medicine & Hospital

***Dept. of Rehabilitation Medicine and Institute of Wonkwang Medical Science

Objective : This study was to determine the effect of Robot-assisted Upper limb Training in patients with acute stroke.

Methods : Fourteen inpatients were randomly allocated into the experimental group ($n=7$), who received Robot-assisted Upper limb Training, and the control group ($n=7$), who received a conventional occupational therapy. Each intervention consisted of a 30 min session once a day, five times a week, for four weeks. To measure the functions of the upper limbs and performance capacities in the activities of daily living and grip power, the Fugl-Meyer assessment-Upper Extremity (FMA-UE), Manual Function Test (MFT), Korean-Modified Barthel index (K-MBI), Grip power were used before and after the intervention.

Results : After intervention, both the groups showed significant increased FMA-UE, MFT, K-MBI, Grip power ($p<.05$). But change values in terms of FMA-UE, MFT, K-MBI, Grip power exhibited a no statistically significant difference compared with conventional group ($p>.05$).

Conclusion : In patients with upper limb deficits after acute stroke, the Robot-assisted upper limb training was an effective intervention method to facilitate motor and functional recovery of upper limb. Therefore, robot-assisted upper extremity training can be used as an intervention method to support standardized treatment using stable equipment from the beginning of the upper extremity rehabilitation of stroke patients.

Key words : Activity daily living, Acute stroke, Robot-assisted upper limb training, Upper extremity function