

아급성기 뇌졸중 환자에서의 상지 재활 로봇 치료의 효과

원광대학교 의과대학 재활의학교실

주민철 · 박효인 · 노세응 · 김지희 · 김현준 · 장철환

Effects of Robot-assisted Arm Training in Patients with Subacute Stroke

Min Cheol Joo, M.D., Hyo In Park, M.D., See Eung Noh, M.D., Ji Hee Kim, M.D., Hyun Jun Kim, M.D. and Chul Hwan Jang, M.D.

Department of Rehabilitation Medicine and Institute of Wonkwang Medical Science, Wonkwang University College of Medicine

Objective: To investigate the effects of robot-assisted arm training on motor and functional recovery of upper limb in patients with subacute stroke.**Method:** Thirty one subacute stroke patients were randomly divided into 2 groups. Robot-assisted arm training group received robot-assisted therapy using Armeo[®] Spring (Hocoma Inc., Zurich, Switzerland) for thirty minutes per day and five times every week during four weeks while control group received conventional arm training with same duration and frequency as robotic group. Outcome measures were used manual muscle test (MMT) for motor strength, Fugl-Meyer assessment (FMA), Manual function test (MFT) for arm function, Korean-modified Barthel index (K-MBI) for activities of daily living, Korean-mini mental state examination (K-MMSE) and Computerized Neuro-Cognitive Function test software-40 (CNT-40) for cognitive function. All recruited patients underwent these evaluations before and after four weeks robot-assisted arm training.**Results:** Robot-assisted training on upper limb after subacute stroke showed improvement on motor strength, arm function, and activities of daily living. But change values in terms of MMT, FMA, MFT, K-MBI exhibited a no statistically significant difference compared with conventional group ($p > 0.05$).**Conclusion:** In patients with upper limb deficits after subacute stroke, Robot-assisted arm training was considered to facilitate motor and functional recovery of upper limb. But robot-assisted arm training did not significantly improve motor and arm function at 4 weeks compared with conventional arm training group. Further research is required about the comparison of conventional rehabilitation therapy group and the questions about the duration, severity of stroke. (**Brain & NeuroRehabilitation 2014; 7: 111-117**)**Key Words:** subacute stroke, robot, upper limb, rehabilitation

서론

뇌졸중 환자에서 상지 기능의 저하는 일상 생활 동작 수행을 방해하여 환자의 독립성을 저해하는 중요한 원인 중 하나이다. 뇌졸중 환자의 85%가 상지의 근력 저하를 호소하고,¹ 발병 5년 이후에도 25%의 환자가 적절한 상지

사용의 어려움을 호소하는 것으로 알려져 있다.² 이는 뇌졸중 이후 상지 기능의 회복이 일반적으로 느리고 다른 움직임의 회복보다 덜 완전하기 때문이다.^{3,4}

뇌졸중 환자의 상지에 대한 치료로는 중추신경발달치료(neurodevelopmental therapy),⁵ 감각운동통합치료(sensorimotor integration),⁶ 신경촉진치료(neurofacilitatory physical therapy),⁷ 근전도를 이용한 되먹이기 치료⁸ 등이 사용되고 있으나 단일 치료 요법이 다른 치료 방법에 비해 뚜렷한 효과가 있다는 보고는 없으며,⁹⁻¹² 신경학적 회복을 위한 가장 중요한 요소는 자발적 운동을 위한 환자의 의지와 구심성 자극을 위한 반복적 운동으로 알려져 있다.¹³

Received: February 13, 2014, Revised (1st): April 13, 2014,
Accepted: July 29, 2014

Correspondence to: Min Cheol Joo, Department of Rehabilitation
Medicine and Institute of Wonkwang Medical Science, 895
Muwang-ro, Iksan 570-974, Korea
Tel: 063-859-1621, Fax: 063-843-1385
E-mail: mcjoo68@wku.ac.kr

하지만 대부분의 환자의 경우 자발적인 운동을 시행할 수 없는 경우가 많아 건측 상지 운동을 제한한 치료법(constraint-induced movement therapy, CIMT),¹⁴ 근전도를 이용한 전기 자극 요법(EMG mediated electrical stimulation),¹⁵ 및 치료사에 의한 고식적 재활 치료 등이 사용되고 있다.

뇌졸중 환자의 상지 기능을 위한 고식적 재활 치료는 운동 기능 및 독립적 일상생활 동작 수행에 효과적인 것으로 알려져 있는 반면 한 사람의 치료사가 한 사람만 치료할 수 있으므로 효율성이 낮고 치료사의 일의 강도가 높으며, 매일 일정한 강도로 운동을 시켜줄 수 없고, 운동 중 환자에 대한 생리적 정보를 정량적으로 얻기 어렵다는 제한점이 있다.¹⁶

이러한 제한점을 극복하기 위한 방안 중 하나로 최근에는 로봇을 이용한 치료법이 대두되고 있는데, 로봇을 이용한 치료는 상지의 목적적인 움직임을 고강도로 반복적으로 실시하게 도와줌으로써 운동 학습에 기여하는 것으로 알려져 있다.

상지 재활 로봇 치료의 효과에 대한 연구 중 만성 뇌졸중 환자를 대상으로 하였을 때 로봇 재활 치료군 및 대조군에 차이가 없다는 보고와 로봇 재활 치료군에서 Fugl-Meyer assessment (FMA), Wolf motor function test (WMFT), Stroke impact scale (SIS) 등에서 대조군에 비해 높은 운동기능 향상을 보이나, 같은 강도로 치료사가 실시하였을 때와는 비슷한 효과를 나타내었다는 다양한 결과가 보고되고 있다.^{17,18} 아급성기 뇌졸중 환자를 대상으로 한 연구에서는 상지 재활 로봇 치료가 고식적 치료에 비해 운동 기능 및 비정상적 공력에 효과적이라는 보고가 있다.¹⁹

2008년 뇌졸중 환자에서 상지 재활 로봇을 이용한 재활 치료의 효과에 대한 무작위 대조군 연구를 메타분석한 결과는 고식적 재활치료에 비해 일상생활 동작 수행능력의 향상에는 차이가 없었지만 상지 근력 및 운동기능에는 효과적이라는 보고가 있었으나,²⁰ 2012년 뇌졸중 환자에서 상지 재활 로봇을 이용한 재활 치료의 효과에 대한 무작위 대조군 연구를 메타분석한 결과는 일상생활 동작 수행능력의 향상만 유의한 것으로 보고되었다.²¹ 이러한 연구 결과의 차이는 적용한 로봇 치료의 종류, 뇌졸중 발병 후 로봇 치료를 시작한 시점, 치료의 강도 및 기간, 환자의 순응도 등의 다양한 인자에 의해 결정되는 것으로 생각된다.

그러나 아직 국내에는 아급성기 뇌졸중 환자에서 상지 재활 로봇을 이용한 연구가 보고되지 않은 상태이다. 이에 본 연구에서는 발병 1개월 이상 발병 3개월 이내의 아급성기 뇌졸중 환자를 대상으로 상지 재활 로봇을 이용한

치료를 실시하고 고식적 재활 치료를 실시한 대조군과 근력, 운동기능 및 일상생활 동작 능력 회복을 비교하여 로봇 보조 장치를 이용한 상지 재활 치료의 상지 운동 회복과 상지 기능 향상에 대한 효과를 알아보고자 하였다.

연구대상 및 방법

1) 연구대상

2011년 3월부터 2012년 12월까지 본원 재활의학과에서 뇌경색 또는 뇌출혈로 입원 치료를 받은 환자 중 연구포함 기준에 해당되는 56명을 대상으로 중도탈락자를 제외한 31명을 대상으로 하였다. 연구포함 기준은 만 16에서 80세의 초발 뇌졸중 환자로 병변측 근위부의 도수근력 측정(Medical Research Council of Great Britain, MRC)에서 중력 제거 상태에서 능동적 관절 운동이 가능한 MRC 1을 초과하며, 상지의 경직도가 MAS 2 미만인 환자로 발병일로부터 1개월이 경과하였으나 3개월이 지나지 않은 아급성기 환자로 하였다. 모든 대상자는 간이정신상태검사(K-mini mental status exam, K-MMSE)에서 15점 이상이고 두 단계의 명령 수행이 가능하고, 실험을 충분히 이해하고 자발적 참여의사를 지니고 있으며 연구 참여에 동의한 환자로 하였다. 상지의 골절, 피부손상, 욱창이 있는 경우, 심혈관 질환이나 심부전, 악성 질환, 폐질환, 신경계 질환 등 로봇 치료를 적절히 수행 할 수 없는 기타 기저 질환이 있는 경우는 연구에서 제외하였다. 연구 기간 중 필요한 경우 작업 치료, 언어치료, 인지치료를 받는 것은 허용하였다.

2) 연구방법

상지 재활 로봇은 Armeo[®]Spring (Hocoma Inc, Zurich, Switzerland)를 사용하여 상지 재활 훈련을 실시하였다



Fig. 1. Armeo[®]Spring robot.

(Fig. 1). T-WREX의 Armeo[®]Spring은 편마비측의 상지를 훈련하기 위해 고안된 것으로 이것은 로봇 작동기가 없이 견관절에서 3개, 주관절에서 1개, 전완에서 1개의 자유도가 있는 수동적 시스템이다. 조정 가능한 기계 팔은 여러 가지 스프링 원리에 의하여 지지되어 다양한 정도의 중력을 허용하게 한다. 이것은 환자들로 하여금 남아있는 상지 기능을 사용할 수 있게 하고, 3차원 공간 안에서 도움 없이 좀 더 큰 능동적 움직임을 가능하게 한다. 추가적으로 압력에 민감한 손쥐기의 통합은 단계적인 쥐기와 펴기 동작의 수행을 가능하게 한다. 내장된 위치센서와 소프트웨어의 기기를 통하여, Armeo[®]Spring는 입력기를 통하여 의미 있는 컴퓨터 스크린에 나오는 가상현실의 학습 환경에서 연습 시행 중과 시행 후에 청각적 제공과 시각적 행동 되먹임을 통하여 기능적 과제를 달성하게 해준다.

연구 대상은 로봇 재활 치료군과 대조군으로 나누었으며, 로봇 재활 치료군은 1일 1회 로봇 치료와 1일 1회 고식적 재활 치료를 각 30분씩 시행하였고, 대조군은 같은 기간 동안 매일 30분씩, 2회의 고식적 재활 치료를 시행하였다. 각각의 프로그램은 개인의 상태와 목적에 맞게 운영되었으며 근력 운동, 스트레칭, 쥐기 및 옮기기 등의 기능적인 움직임을 포함하였다. 로봇 재활 치료군은 Armeo[®]Spring (Hocoma Inc, Zurich, Switzerland)를 이용하였으며, 로봇 상지 재활 훈련 시간은 하루 45분이었으나 장치를 착용하며 컴퓨터를 조절하는 시간을 제외한 실제 훈련 시간은 하루 30분이었으며, 4주간 주 5회, 총 20회를 시행하였다. 로봇 재활 치료군에서 중도 퇴원, 뇌졸중의 재발, 경제적인 이유로의 치료 중단, 신경학적 증상의 악화 및 근골격계 통증의 호소 등으로 20회의 로봇 상지 재활 치료를 시행하지 못한 경우는 모두 탈락으로 처리하여 대상자에서 제외하였다. 숙련된 작업 치료사가 치료 시작 전에 각 환자에 맞게 저항을 조절하고 적절한 수준의 활동을 조절하고 치료 방법을 충분히 설명한 후 치료를 시행하고 치료 중 지속적인 보호 관찰 및 적절한 수행을 반복 지지하였다. 손잡이 위치, 하부 팔의 길이, 상부 팔의 길이를 조정된 후에 주관절이 90도로 구부러 지고 보조기의 팔꿈치 동작 축과 팔꿈치 관절이 일직선이 되는지 확인하였다. 요구되는 지지 단계를 결정하기 위해 하부 팔의 무게 부하를 조절하고 상부 팔 무게 부하를 조절한 후에 핸드 모듈을 조정하여 환자에게 편안한 손위치를 부여하였다. 또한 핸드 모듈의 잠금 장치를 통해 내전 및 외전 동작을 방지하였으며 모든 조절 지표들은 환자의 근력, 기능의 호전에 따라 점진적으로 조절하였다.

두 군에서 치료 시작 전과 4주간 치료 후 상지 근력 측정을 위한 도수근력검사(Manual muscle test (MMT), 상지

기능 평가를 위한 Fugl-Meyer assessment (FMA), Manual function test (MFT), 일상생활동작 수행 능력을 측정하기 위해 K-Modified Barthel Index (K-MBI)를 측정하였다. 인지기능의 평가는 한국판 약식정신 상태검사(Korean version of mini-mental state examination, K-MMSE)와²⁴ 전산화 신경인지검사(Computerized Neuro-Cognitive Function Test software-40, CNT-40, (주)맥스메디카)를 측정하였다. 전산화 신경인지검사는 언어성 기억력 평가를 위해서 digit span test, 시공간 기억력 평가를 위해서 visual span test, 그리고 시각운동 협응평가를 위해 trail making test를 실시하였다.

두 군의 훈련 전 평가 점수를 비교하기 위해 Mann Whitney U-test를 사용하였고, 치료 전 후의 차이를 확인하기 위해 Wilcoxon signed rank test를 시행하였다. 환자의 치료 전 평가 척도가 높고 낮음에 따라서 같은 척도 변화량도 임상적 의미가 다르므로 상지 재활 로봇 치료군 전통적 재활 치료보다 효과적인가를 확인하기 위하여 연구 참가자 개인의 실험 전 점수를 기준으로 재활 치료로 인한 변화량을 비율로 계산하고 “변화율=(실험후-실험전)*100/실험전” 이라고 정의하였다. 두군의 변화율의 차이는 Mann Whitney U-test를 시행하였다. 훈련 전의 평가 척도와 변화율의 관계를 파악하기 위해 Spearman rank correlation coefficient를 각 군별로 산출하였다. 통계학적 분석은 Window SPSS version 19.0를 이용하였으며, 통계적 유의 수준은 p<0.05로 하였다.

결 과

1) 대상자의 일반적 특성

환자 선정 기준에 부합하는 31명을 대상으로 상지 로봇 치료에 동의한 23명을 상지 재활 로봇 치료군으로, 동의

Table 1. General Characteristics of the Subjects

Variables	Robot group	Control group	p-value
Sex (female:male)	8:15	5:3	0.228
Age (yrs)	58.51 ± 13.97	71.63 ± 9.18	0.013*
Affected side (Rt.:Lt.)	12:11	5:3	0.698
Duration (days)	28.39 ± 2.73	31.50 ± 6.85	0.617
Proximal-MMT	1.65 ± 1.15	1.75 ± 0.89	0.981
Distal-MMT	1.30 ± 1.11	1.13 ± 0.83	0.743
FMA	19.39 ± 16.79	17.38 ± 16.94	0.619
MFT affected	12.35 ± 7.83	7.38 ± 8.75	0.113
MBI	35.18 ± 10.70	26.13 ± 10.83	0.080

Values are mean ± standard deviation. *Denotes significant difference between robot-assisted arm training and control group (p<0.05). MMT: Manual Muscle Test, FMA: Fugl-Meyer assessment, MFT: Motor Function Test, K-MBI: K-Modified Barthel Index, K-MMSE: K-mini mental status exam.

Table 2. Outcome of Robot-assisted Arm Training Group and Control Group

	Robot group			Control group		
	Pre	Post	p-value	Pre	Post	p-value
FMA	13.0 (5.0~38.0)	39.0 (15.0~54.0)	<0.0001** [†]	7.5 (4.0~34.5)	28.5 (7.8~53.0)	0.017* [†]
MFT affected	10.0 (7.0~18.0)	17.0 (11.0~26.0)	<0.0001** [†]	5.0 (0.0~15.8)	18.5 (3.0~21.3)	0.018* [†]
Proximal-MMT	2.0 (0.0~3.0)	3.0 (2.0~3.0)	0.001** [†]	2.0 (1.3~2.0)	3.0 (2.0~3.0)	0.038* [†]
Distal-MMT	1.0 (0.0~2.0)	3.0 (2.0~3.0)	<0.0001** [†]	1.0 (0.3~2.0)	2.5 (2.0~3.0)	0.016* [†]
MBI	38.0 (28.0~42.0)	74 (65.0~83.0)	<0.0001** [†]	20.0 (17.5~25.8)	52.0 (32.0~60.0)	0.012* [†]
MMSE	25.0 (20.3~27.0)	28.0 (24.0~29.0)	0.002** [†]	17.0 (13.0~22.5)	18.5 (12.5~28.5)	0.285 [†]

Values are median and quartiles of the dependent variables. *The p-values are for Mann Whitney U-tests as appropriate (*p<0.05, **p<0.01). [†]Wilcoxon signed rank test. MMT: Manual Muscle Test, FMA: Fugl-Meyer assessment, MFT: Motor Function Test, K-MBI: K-Modified Barthel Index, K-MMSE: K-mini mental status exam.

Table 3. Clinical variables between Robot-assisted Arm Training Group and Control Group

	Mean difference		
	Robot group	Control group	p-value
Proximal-MMT	0.0 (0.0~50.0)	50.0 (0.0~100.0)	0.382
Distal-MMT	50.0 (0.0~100.0)	100.0 (37.0~125.0)	0.209
FMA	65.0 (18.0~185.0)	57.0 (23.0~131.0)	0.735
MFT affected	37.0 (12.0~100.0)	22.0 (2.0~105.0)	0.652
K-MBI	96.0 (52.0~167.0)	65.0 (39.0~164.0)	0.485
K-MMSE	8.0 (3.0~25.0)	0.0 (0.0~14.0)	0.112

Values are median and quartile of the change ratio: change ratio=(100*the change d/t experiment)/ baseline measurement. MMT: Manual Muscle Test, FMA: Fugl-Meyer assessment, MFT: Motor Function Test, K-MBI: K-Modified Barthel Index, K-MMSE: K-mini mental status exam.

하지 않은 8명을 대조군으로 분류하였다. 두 군간의 일반적인 특성은 차이를 보이지 않았으나, 나이는 상지 재활 로봇 치료군이 58.51±13.97, 대조군이 71.63±9.18로 대조군에서 유의하게 많았다. 상지 로봇 치료군 23명 중 남자가 15명, 여자가 8명이었으며, 좌측 편마비가 11명, 우측 편마비가 12명 이었다. 대조군 8명중 남자가 3명, 여자가 5명이었으며, 좌측 편마비가 3명, 우측 편마비가 5명이었다. 전체 대상자중 뇌경색이 24명, 뇌출혈이 7명이었다. 발병 후 평균 유병 기간은 상지 로봇 치료군에서 28.39±2.73일, 대조군에서 31.50±9.18일 이었다(Table 1).

2) 임상 지표의 변화 비교

상지 로봇 재활 치료군과 대조군의 치료 전후 비교는 두 군 모두에서 근위부와 원위부의 MMT, FMA, MFT 및 K-MBI는 통계학적으로 유의한 호전을 보였다(Table 2). 그러나 두 군간의 치료 전후 변화율을 비교하였을 때 MMT, FMA, MFT 및 K-MBI의 변화율은 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다(Table 3).

3) 인지 기능의 변화 비교

인지기능의 평가를 위한 K-MMSE는 상지 재활 로봇 치료군은 치료 전 평균 23.10에서 치료 후 26.05으로 2.95의 증가를 보였고, 대조군은 치료 전 평균 18.13에서 치료 후 19.75로 1.63의 증가를 보였으나, 두 군간의 유의한 차이를 보이지 않았다. 집중도 분석을 위한 CNT-40에서 치료 전후 실험군에서 digit span의 역방향과 visual span의 정방향에서 의미 있는 향상을 보였으나 대조군과 비교시 유의미한 향상은 없었다(Table 4).

고 찰

뇌졸중 환자에게 스스로 일상 생활 동작을 할 수 있게 하는 것은 가족의 부담을 덜고 스스로의 만족을 위해 중요하다. 이를 위해서는 상지 기능의 회복이 중요하나 상지의 움직임은 체중 지지 및 보행 기능을 하는 하지에 비해 더 복잡한 동작이 요구된다. 또한 상지 기능의 회복 과정에서 굴근 협력 작용이 나타나는데 이것은 상지의 기능적 운동 시에 손목과 손가락의 신전 운동을 방해하여 신전 기능이 필요한 많은 일상생활동작을 수행할 수 없게 하는 요인이 된다.²⁵ 하지는 양측 모두를 사용하여야 기능적 동작이 가능하기 때문에 불편하더라도 마비측을 사용할 수밖에 없는 반면에 상지는 한쪽만을 사용하여 일상 생활을 수행할 수 있기 때문에 주로 건측만을 사용하게 되어 마비측 상지는 회복할 수 있는 기회를 잃게 되는 것도 상지 기능 회복이 더딘 주요한 요인이다.²⁶

이를 극복하기 위한 CIMT는 6시간 동안의 집중적인 작업치료를 제공하기 어렵고 손목 신전의 근력이 어느 정도 회복되어야 한다는 적용의 제한점이 있다.²⁷ 고식적 재활 치료는 치료사가 다수의 환자를 치료하기 힘들고 매일 일정한 강도로 운동을 시켜줄 수 없으며, 한 사람의 치료사가 한 번에 한 사람만 치료 할 수 있으므로 효율성이 낮고

Table 4. Comparisons of Changes in CNT-40 between Robot-assisted Arm Training Group and Control Group

		Robot group			Control group		
		Pre	Post	p-value	Pre	Post	p-value
Digit span	정방향	2.0 (1.0~2.0)	2.0 (1.0~3.0)	0.166	1.0 (1.0~1.0)	1.0 (1.0~1.0)	0.317
	역방향	2.0 (1.0~2.0)	2.0 (1.0~3.0)	0.034*	1.0 (1.0~2.0)	1.0 (1.0~1.75)	0.157
Visual span	정방향	2.0 (1.0~2.0)	2.0 (2.0~3.0)	0.007*	1.0 (1.0~2.0)	1.5 (1.0~2.0)	0.564
	역방향	2.0 (2.0~2.0)	2.0 (2.0~3.0)	0.480	2.0 (1.0~2.0)	2.0 (2.0~2.0)	0.083
Trail span	정방향	1.0 (1.0~2.0)	1.0 (1.0~2.0)	0.257	1.0 (1.0~1.0)	1.0 (1.0~1.0)	0.317
	역방향	1.0 (1.0~2.0)	1.0 (1.0~2.5)	0.096	1.0 (1.0~1.0)	1.0 (1.0~1.8)	0.157

Values are median and quartiles of the dependent variables. *Denotes significant difference in clinical parameters between pre and post treatment in both groups (*p<0.05). MMT: Manual Muscle Test, FMA: Fugl-Meyer assessment, MFT: Motor Function Test, K-MBI: K-Modified Barthel Index, K-MMSE: K-mini mental status examination.

치료사의 일의 강도가 높으며, 운동 중 환자에 대한 생리적 정보를 정량적으로 얻기 어렵다는 제한점이 있다.¹⁶

이러한 제한점을 극복하고자 최근에는 로봇을 이용한 상지 재활 치료의 긍정적인 측면들이 보고되고 있으나 기존의 고식적 재활 치료를 대신 할 수 있는지는 논란의 여지가 있다.²⁸ 상지 로봇 재활 치료가 기존의 치료법과 비교하여 가지고 있는 장점은 다음과 같다. 첫째 고강도 반복 훈련을 긴 시간 적용하여 많은 양의 훈련(massed practice)을 실시할 수 있다. 둘째 일정한 강도의 힘의 되먹임(force feedback)과 시각적 되먹임(visual feedback)을 제공할 수 있다. 셋째 훈련 시간의 상당 부분을 자동화할 수 있으며 넷째 환자 개개인의 특성 및 호전 정도에 따라 점진적으로 저항을 가미하여 치료를 제공할 수 있다. 다섯째 환자의 근력을 더욱 정확하고, 객관적으로 측정하는 것이 가능하다. 마지막으로 상지 원위부 근력의 회복이 되지 않은 환자에게도 적용할 수 있어 치료의 적용 범위가 넓다.

뇌 손상 이후 회복 기전으로는 손상된 뇌의 회복과 보상 기전이 관여한다고 알려져 있다. 이 중 뇌의 회복에 따른 대뇌 피질의 변화는 단순한 동작의 반복으로는 발생하지 않으며, 새로운 운동 기술의 습득을 통해 유도되며, 운동 마비에 대한 보상은 반복적인 운동 학습에 의해 이루어진다. 따라서 뇌손상 이후의 회복 기전은 운동 학습에 의한 과정이라고 볼 수 있으며 운동 수행 능력은 근본적으로 훈련의 양에 따라 개선된다.

본 연구에서 사용한 Armeo[®]Spring은 외골격 로봇의 종류 중 하나로 단순한 관절 동작의 훈련 대신 운동 학습 이론에 근거하여 훈련의 최종 목적인 실제 움직임과 유사한 환경을 제공하고 집중적으로 반복 훈련을 할 수 있도록 고안된 장치라는 점에서 로봇 재활 치료로서의 의미를 부여할 수 있다. 화면에 나타난 운동 내용에 따라 환자가 동작을 하면 센서에 의하여 수행한 내용이 컴퓨터로 전송되어 운동의 상황을 모니터에 보여줌으로서 정해진 움직임

을 촉진하여 목적이 있는 기능적인 동작을 반복적으로 수행할 수 있게 한다.

Armeo[®]Spring을 이용한 상지 재활 치료는 다양한 과제 특이적인 운동을 반복적으로 제공하여 운동 학습을 하는 것으로 생각된다. 재활치료의 양을 증가시키고 고식적 재활 치료를 확장시키며 환자들이 치료를 지속적으로 받을 수 있게 하는 것이다.²⁹

본 장비를 이용한 이전의 연구^{30,31}는 만성기 뇌졸중 환자들을 대상으로 이루어졌으나 재활 치료의 효과를 극대화 시킬 수 있는 급성기 또는 아급성기의 효과에 대한 연구는 거의 없다. 또한 2011년 Burgar 등³²의 병변 발생 이후 7~21일이 경과한 환자를 대상으로 한 연구에서는 급성기 환자들이 운동량을 소화하지 못하면서 양 조절에 실패하는 사례가 있었다. 이에 본 연구에서는 뇌졸중 발생 이후 1개월에서 3개월 사이의 아급성기 환자를 대상으로 연구를 진행하였다.

본 연구 결과 로봇 재활 치료군과 대조군 모두 4주간 치료 후 평가한 근위부와 원위부 MMT, MFT, FMS, K-MBI는 통계적으로 유의한 호전을 보였다. 그러나 두 군간의 근위부와 원위부 MMT, MFT, FMS, K-MBI 등 모든 임상 지표에서 호전 정도는 통계학적으로 유의한 차이를 보이지 않았다. 이는 로봇 재활 치료가 고식적 재활 치료에 비해 근력, 기능, 일상생활 동작 수행 능력의 증진에 유의미한 차이가 없다는 이전 연구³³ (2011년 Masiero) 결과와 일치하는 것으로 아급성기 뇌졸중 환자에서 로봇 재활 치료가 기존의 재활 치료를 완전히 대체할 수는 없을 것으로 생각된다.

아급성기 환자의 상지 로봇을 이용한 재활 치료는 치료가 실시하는 고식적 재활 치료와 유사한 결과를 가져다 준다고 바꾸어 생각할 수 있다. 또한 2010 Lo³⁴의 12주 이후 실시한 평가에서는 운동 기능에서 로봇 재활 치료군과 고식적 재활 치료군에서 차이가 없었으나 36주에 추적

검사를 하였을 때 로봇 재활 치료군이 고식적 재활 치료군 보다는 유의미하게 운동 기능이 향상 되고 같은 강도로 치료사가 치료한 군과는 거의 차이가 없었다. 이는 본 연구와 관련하여 두 가지 측면에서 의미 있게 생각해볼 수 있다. 첫 번째는 중증도가 높은 뇌졸중 환자의 운동 기능 개선을 판단하기에는 4주 후의 평가가 다소 짧았으며 추후 장기간 추적 관찰을 하는 것이 필요하겠다. 두 번째로는 로봇을 이용한 상지 재활 치료의 유용성은 치료의 강도 및 시간에 따라 달라진다는 것이다. 고식적 치료와의 단순 비교보다는 로봇 재활 치료의 강도와 양을 조절하여 환자의 근력, 기능, 일상생활 동작 수행 능력을 의미 있게 향상 시키는 정도를 찾는 것이 보다 의미 있는 연구가 될 것으로 생각된다.

로봇을 이용한 재활 치료 시 집중력, 주의력의 호전이 있을 것으로 가정하고 본 연구에서는 K-MMSE와 CNT검사²⁴를 시행하였다. 그러나 연구 결과 두 그룹간의 의미 있는 차이는 없었다. 이는 치료 기간이 4주로 짧았기 때문으로 향후 장기간의 치료에 대한 효과 판정이 필요할 것으로 생각된다.

본 연구는 국내의 아급성기 뇌졸중 환자를 대상으로 상지 로봇 재활 치료의 효과를 고식적 재활 치료를 받은 환자군과 비교하였다는 데 의의가 있다. 그러나 대상 환자 수가 31명으로 비교적 적고 특히 대조군이 8명으로 치료군에 비해 적었으며, 치료 전 대조군과 로봇 재활 치료군 간에 통계학적으로 유의한 나이 차이가 있었으며, 4주 이후의 기능 평가만이 이루어졌던 것이 제한 점 등이 있다. 두 군간의 나이 차이는 상지 로봇 치료에 동의한 환자를 치료군에 포함시킴으로서 젊은 연령 층에서 더 많은 참여가 이루어 졌기 때문으로 생각된다. 또한 기존의 연구를 토대로 생각해 볼 때 앞으로의 연구는 강도와 기간을 얼마로 하는 것이 가장 효과적인지와 두 치료군의 순응도에 대한 평가 및 치료 모드를 어떻게 할 것인가 등이 논의 대상이 되어야 할 것으로 생각한다. 더불어 비교적 정형화된 움직임을 가지고 있는 보행과 달리 상지는 다양한 목적적인 움직임으로 이루어져 있으므로 로봇을 이용한 상지 재활에 어떤 동작을 적용할 수 있을지에 대한 연구도 함께 진행되어야 할 것으로 생각한다.

결 론

본 연구 결과 아급성기 뇌졸중 환자에서 재활 로봇 치료군과 고식적 재활치료군 모두에서 상지 기능의 유의미한 호전을 보였으나, 임상 지표의 개선 정도는 두 군 간에 유의미한 차이를 보이지는 않았다. 향후 다양한 대상군과 로

봇 치료의 양과 방법 등에 대한 지속적인 연구가 필요할 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

- 1) Skilbeck CE, Wade DT, Hewer RL, Wood VA. Recovery after stroke. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*. 1983;46:5-8
- 2) Geddes JM, Fear J, Tennant A, Pickering A, Hillman M, Chamberlain MA. Prevalence of self reported stroke in a population in northern England. *J Epidemiol Community Health*. 1996;50:140-143
- 3) Gowland C, Stratford P, Ward M, Moreland J, Torresin W, Van Hullenaar S, Sanford J, Barreca S, Vanspall B, Plews N. Measuring physical impairment and disability with the Chedoke-McMaster Stroke Assessment. *Stroke*. 1993;24:58-63
- 4) Twitchell TE. The restoration of motor function following hemiplegia in man. *Brain*. 1951;74(4):443-480.
- 5) Bobath B. Observations on adult hemiplegia and suggestions for treatment. *Physiotherapy*. 1959;45:279-289
- 6) Flanagan EM. Methods of facilitation and inhibition of motor activity. *Am J Phys Med*. 1967;46:1006-1011
- 7) Basmajian JV, Gowland CA, Finlayson MA, Hall AL, Swanson LR, Stratford PW, Trotter JE, Brandstater ME. Stroke treatment: comparison of integrated behavioral-physical therapy vs traditional physical therapy programs. *Arch Phys Med Rehabil*. 1987;68:267-272
- 8) Basmajian JV, Gowland C, Brandstater ME, Swanson L, Trotter J. EMG feedback treatment of upper limb in hemiplegic stroke patients: a pilot study. *Arch Phys Med Rehabil*. 1982;63:613-616
- 9) Dickstein R, Hocherman S, Pillar T, Shaham R. Stroke rehabilitation. Three exercise therapy approaches. *Phys Ther*. 1996;66:1233-1238
- 10) Lord JP, Hall K. Neuromuscular reeducation versus traditional programs for stroke rehabilitation. *Arch Phys Med Rehabil*. 1986;67: 88-91
- 11) Stern PH, McDowell F, Miller JM, Robinson M. Effects of facilitation exercise techniques in stroke rehabilitation. *Arch Phys Med Rehabil*. 1970;51:526-531
- 12) Wagenaar RC, Meijer OG, van Wieringen PC, Kuik DJ, Hazenberg GJ, Lindeboom J, Wichers F, Rijswijk H. The functional recovery of stroke: a comparison between neuro-developmental treatment and the Brunnstrom method. *Scand J Rehabil Med*. 1990;22(1):1-8
- 13) Büttefisch C, Hummelsheim H, Denzler P, Mauritz KH. Repetitive training of isolated movements improves the outcome of motor rehabilitation of the centrally paretic hand. *J Neuro Sci*. 1995;130:59-68
- 14) Blanton S, Wolf SL. An application of upper-extremity con-

- straint-induced movement therapy in a patient with subacute stroke. *Phys Ther.* 1999;79:847-853
- 15) Chae J, Yu D. A critical review of neuromuscular electrical stimulation for treatment of motor dysfunction in hemiplegia. *Assist Technol.* 2000;12(1):33-49
 - 16) X-angli C, Yiqi Z, CuiPeng Z, Xiaohua F. Design of an upper limb rehabilitation robot based on medical therapy. *Procedia Engineering.* 2011;15:688-692
 - 17) Kahn LE, Zygmant ML, Rymer WZ, Reinkensmeyer DJ. Robot-assisted reaching exercise promotes arm movement recovery in chronic hemiparetic stroke: a randomized controlled pilot study. *J Neuroeng Rehabil.* 2006;Jun 21;3:12
 - 18) Lo AC, Guarino PD, Richards LG, Haselkorn JK, Wittenberg GF, Federman DG, Ringer RJ, Wagner TH, Krebs HI, Volpe BT, Bever CT Jr, Bravata DM, Duncan PW, Corn BH, Maffucci AD, Nadeau SE, Conroy SS, Powell JM, Huang GD, Peduzzi P. Robot-assisted therapy for long-term upper-limb impairment after stroke. *N Engl J Med.* 2010; 362:1772-1783
 - 19) Lum PS, Burgar CG, Van der Loos M, Shor PC, Majmundar M, Yap R. MIME robotic device for upper-limb neurorehabilitation in subacute stroke subjects: A follow-up study. *J Rehabil Res Dev.* 2006;43(5):631-642
 - 20) Mehrholz J, Platz T, Kugler J, Pohl M. Electromechanical and robot-assisted arm training for improving arm function and activities of daily living after stroke. *Cochrane Database Syst Rev.* 2008 Oct 8;(4):CD006876
 - 21) Mehrholz J, Hädrich A, Platz T, Kugler J, Pohl M. Electromechanical and robot-assisted arm training for improving generic activities of daily living, arm function, and arm muscle strength after stroke. *Cochrane Database Syst Rev.* 2012;6:CD006876
 - 22) Sanchez RJ, Reinkensmeyer D, Shah P, Liu J, Rao S, Smith R, Cramer S, Rahman T, Bobrow J. Monitoring functional arm movement for home based therapy after stroke. *Proceedings of the 26th international conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society San Francisco.* 2004 4787-4790
 - 23) Sanchez RJ, Liu J, Rao S, Shah P, Smith R, Rahman T, Cramer SC, Bobrow JE, Reinkensmeyer DJ. Automating arm movement training following severe stroke: functional exercises with quantitative feedback in a gravity-reduced environment. *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng.* 2006;14(3):378-389
 - 24) Kim YH. Cognitive assessment for patient with brain injury by computerized neuropsychological test. *J Korean Acad Rehab Med.* 2001;25:209-216
 - 25) Cauraugh J, Light K, Kim S, Thigpen M, Behrman A. Chronic motor dysfunction after stroke: recovering wrist and finger extension by electromyography-triggered neuromuscular stimulation. *Stroke.* 2000;31:1360-1364
 - 26) Le YH, Lee YT, Pa RK, KH, Kim SH, Jang SM, Kim TH, Lee MY. Effect of EMG-triggered electrical stimulation to improve arm function in patients with chronic hemiplegia. *J Korean Acad Rehab Med.* 2003;27:320-328
 - 27) Son MO, Kim ES, Park SW, Kim KM, Jang SJ, Oh JK. The Effect of Modified Constraint-induced Movement Therapy for the Stroke Patients in Inpatient Setting. *J Korean Acad Rehab Med.* 2007; 31(1);56-62
 - 28) Reinkensmeyer DJ. Robotic assistance for upper extremity training after stroke. *Stud Health Technol Inform.* 2009;145:25-39
 - 29) Brewer BR, McDowell SK, Worthen-Chaudhari LC. Poststroke upper extremity rehabilitation: A review of robotic systems and clinical results. *Top Stroke Rehabil.* 2007;14(6):22-44
 - 30) Cameirão MS, Badia SB, Duarte E, Frisoli A, Verschure PF. The Combined impact of virtual reality neurorehabilitation and its interfaces on upper extremity functional recovery in patients with chronic stroke. *Stroke.* 2012;43:10:2720-2728
 - 31) Merlo A, Longhi M, Giannotti E, Prati P, Giacobbi M, Ruscelli E, Mancini A, Ottaviani M, Montanari L, Mazzoli D. Upper limb evaluation with robotic exoskeleton. Normative values for indices of accuracy, speed and smoothness. *Neurorehabilitation.* 2013:13
 - 32) Burgar CG, Lum PS, Scremin AM, Garber SL, Van der Loos HF, Kenney D, Shor P. Robot-assisted upper-limb therapy in acute rehabilitation setting following stroke: Department of Veterans Affairs multisite clinical trial. *J Rehabil Res Dev.* 2011;48(4):445-58
 - 33) Masiero S, Armani M, Rosati G. Upper-limb robot-assisted therapy in rehabilitation of acute stroke patients: focused review and results of new randomized controlled trial. *J Rehabil Res Dev.* 2011;48(4): 355-366
 - 34) Lo AC, Guarino PD, Richards LG, Haselkorn JK, Wittenberg GF, Federman DG, Ringer RJ, Wagner TH, Krebs HI, Volpe BT, Bever CT Jr, Bravata DM, Duncan PW, Corn BH, Maffucci AD, Nadeau SE, Conroy SS, Powell JM, Huang GD, Peduzzi P. Robot-assisted therapy for long-term upper-limb impairment after stroke. *N Engl J Med.* 2010; 362(19):1772-1783