

편마비환자에서 로봇 보조 상지 재활치료의 효과

서울대학교 의과대학 재활의학교실, ¹충남대학교병원 재활의학과

서한길 · 범재원¹ · 오병모 · 한태륜

Effects of Robot-assisted Upper Limb Training on Hemiplegic Patients

Han Gil Seo, M.D., Jaewon Beom, M.D.¹, Byung-Mo Oh, M.D., Ph.D. and Tai Ryoan Han, M.D., Ph.D.

Department of Rehabilitation Medicine, Seoul National University College of Medicine, ¹Chungnam National University Hospital

Objective: To investigate the effects of short-term robot-assisted upper limb training on hemiplegic patients compared to conventional physical therapy.

Method: This study was a prospective, single-blinded, randomized controlled trial. Eighteen hemiplegic patients due to brain lesions were randomly assigned to: (1) robot-assisted upper limb training and conventional upper limb physical therapy for 30 min a day, respectively (Robot group); or (2) conventional upper limb physical therapy for 30 min twice a day (Conventional group). All interventions were provided for 2 weeks, 5 times a week. Each patient was evaluated at pre- and post-treatment by the Fugl-Meyer assessment-upper extremity (FMA-UE), Jebsen hand function test (JHFT), grip power, modified Barthel index-upper extremity (MBI-UE), line bisection test, and Albert test.

Results: The Robot group showed significant improvement in FMA-UE (pre: 13.22 ± 14.20 , post: 21.67 ± 15.84 ; $p = 0.018$), MBI-UE (pre: 14.33 ± 7.42 , post: 16.56 ± 6.95 ; $p = 0.041$), and line bisection test (pre: 25.15 ± 34.48 , post: 14.93 ± 28.38 ; $p = 0.043$). The Conventional group showed significant improvement only in MBI-UE (pre: 9.22 ± 6.06 , post: 15.56 ± 6.19 ; $p = 0.008$). The improvement in MBI-UE was larger in the Conventional group than Robot group (6.33 ± 3.28 vs. 2.22 ± 2.49 ; $p = 0.014$).

Conclusion: This study suggests that short-term robot-assisted upper limb training may improve upper limb function in hemiplegic patients. However, proper physical therapy may be needed to transfer improved upper limb function to activity of daily living. In addition, goal-directed reaching tasks using a robot are expected to be a treatment option for hemineglect. (*Brain & NeuroRehabilitation* 2014; 7: 39-47)

Key Words: hemiplegia, hemispatial neglect, rehabilitation, robotics, upper extremity

서 론

상지의 마비는 뇌졸중, 외상성 뇌손상, 뇌종양 등 여러 가지 원인의 뇌손상 후 발생할 수 있는 증상이다. 가장 흔한 원인인 뇌졸중의 경우에 대부분의 환자에서 편마비측 상지 기능 장애가 동반되며,^{1,2} 상지 기능의 경미한 장애도

일상생활을 제한하고 건강과 관련된 삶의 질에 부정적인 영향을 준다고 알려져 있다.^{3,4} 상지 마비는 회복이 느리고 해결이 어려운 증상으로, 잘 회복된 뇌졸중 환자에서도 상지 기능이 감소되어 있음이 보고된 바 있다.³

뇌손상 후 반복적 훈련에 의해 유도된 뇌가소성이 회복에 기여한다는 사실이 알려지면서, 상지기능의 회복을 위한 강도 높은 반복훈련이 재활치료에 도입되어왔다.⁵ 특히, 로봇을 이용한 상지재활치료가 안전하면서도 강도 높은 반복훈련을 제공할 수 있는 방법으로 시도되고 있다. Cochrane Review는 2009년에 로봇 보조 상지 재활치료가 상지기능을 향상시켰지만 일상생활동작은 향상시키지 못하였다고 보고하였으나,⁶ 2012년에는 최근의 연구결과를 포함하여 상지기능 뿐만 아니라 일상생활동작을 향상시켰다고 보고하였다.⁷ 그러나 연구에 사용된 로봇의 특성이 다르고 훈련 기간과 강도가 다양하여 해석에 주의할

Received: August 1, 2013, Revised (1st): September 3, 2013,
 Accepted: October 11, 2013

Correspondence to: Byung-Mo Oh, Department of Rehabilitation Medicine, Seoul National University College of Medicine, Seoul National University Hospital, 101, Daehak-ro, Jongno-gu, Seoul 110-744, Korea
 Tel: 02-2072-1358, Fax: 02-743-7473
 E-mail: keepwiz@gmail.com

This study was supported by Hospi Corp. (Grant No. 2E24190-13-019).

요한다고 지적하였다.

MIT-MANUS는 가장 초기에 개발되어 발전해 온 상지 재활로봇으로, 환자가 마비측 팔로 로봇 팔의 말단장치(end-effector)를 잡고 평면상에서 어깨와 팔꿈치 관절 위주의 목표 지향적인 도달 과제(reaching task)를 수행하는 장치이다.⁸⁻¹⁰ 만성기 뇌졸중 환자를 대상으로 시행한 임상 연구에서 로봇치료 전후의 상지 기능 호전이 관찰된 바 있으나,¹⁰⁻¹² 로봇 치료와 같은 강도의 고식적인 상지 재활 치료와 비교하였을 때는 뚜렷한 차이를 보이지 않았다.^{13,14} 대부분의 연구가 일상생활 동작을 평가하지 않았으며, 연구에 따라 일상생활 동작의 호전은 관찰되지 않거나¹³ 같은 강도의 고식적 상지재활치료와 비교하여 차이가 없었다.¹⁴ 또한, 여러 방향의 도달 과제 수행을 통한 편측 무시의 호전 효과를 기대해 볼 수 있으나 이전 연구에서 평가된 적이 없었다.

본 연구의 목적은 뇌질환에 의해 발생한 편마비 환자에서 단기간의 MIT-MANUS 로봇 보조 상지 재활치료의 효과를 고식적 재활치료와 비교하여 평가하는 것이었다. 주 연구가설은 로봇 보조 상지 재활치료가 고식적 상지재활 치료보다 상지 기능 향상에 우월한 효과를 보일 것이라는 가설이다. 그리고 일상생활 동작과 편측 무시에 대한 효과를 함께 평가하였다.

연구대상 및 방법

1) 연구 대상

본 연구는 2012년 12월부터 2013년 5월까지 서울대학교병원의 재활의학과에 입원을 한 편마비 환자를 대상으로 하였다. 선정 기준은 1) 발병 후 2주 이상 지난 뇌질환 환자, 2) 모든 주요 근육의 도수근력 4등급 이하의 편측 상지마비 환자, 3) 19세 이상의 성인, 4) 환자 또는 보호자가 피험자 동의서에 서명한 경우였다. 제외 기준은 1) 상지의 주요 근육 중 하나라도 심한 경직이 있는 자(modified Ashworth scale 3등급 이상), 2) 1단계의 구두 지시를 이해 및 수행할 수 없는 자, 3) 생체 징후가 불안정하거나 긴급한 치료를 요하는 기타 질환이 있는 경우, 4) 약물 남용의 병력이 있는 경우였다. 총 18명의 환자가 등록되었으며 그 중 남자는 8명, 여자는 10명이었고, 평균 연령은 57.72세였다. 우측 편마비 6명, 좌측 편마비 12명이었고, 원인 질환은 뇌졸중 15명(허혈성 8명, 출혈성 7명), 뇌종양 3명이었다. 평균 유병기간은 337.39일(15~4,047일)이었다. 유병기간이 6개월 이상인 만성기 환자가 4명이었으며, 나머지 14명의 환자는 모두 발병 3개월 미만의 아급성기 환자였다. 본 연구는 서울대학교병원의 의

학연구윤리심의위원회의 승인을 받았으며, 모든 피험자에게 서면상의 설명에 근거한 동의를 받았다.

2) 연구 방법

본 연구의 설계는 전향적, 단일 맹검, 무작위 대조시험(prospective, single-blinded, randomized controlled trial)이었다. 연구에 참여한 환자는 블록 크기가 2인 블록 무작위 배정방법(block randomization method)에 의하여 로봇 보조 상지 재활치료군(Robot 군)과 고식적 상지 재활치료군(Conventional 군)에 1:1로 배정하였다. 로봇 보조 상지 재활치료는 MIT-MANUS의 상용화 제품인 InMotion 2.0(Interactive Motion Technologies, Watertown, MA, USA)(Fig. 1)을 이용하여 화면상에 주어지는 목표 지향적인 도달 과제를 30분간 수행하였고, 고식적 상지 재활치료는 같은 시간인 30분 동안 작업치료사에 의해 관절가동 및 근육신장, 다양한 수준의 능동적 혹은 능동-보조적 운동, 목표 지향적인 도달 과제, 일상생활 동작을 포함한 기능적 작업치료를 단계적으로 시행하였다. Robot 군에 속한 피험자는 로봇 보조 상지 재활치료와 고식적 상지 재활치료를 각각 1일 1회씩 시행하였으며, Conventional 군에 속한 피험자는 고식적 상지 재활치료를 1일 2회 시행하였다. 각 치료는 주 5회, 2주간 시행하였다.

환자평가는 치료 시작 전과 2주간의 치료 종료 후에 시행되었다. 환자 평가는 Fugl-Meyer 평가 척도 중 상지 운동 척도(Fugl-Meyer assessment-upper extremity, FMA-UE), Jebsen 손 기능 평가(Jebsen hand function test, JHFT), 악력(grip power), 수정바텔지수 중 상지 관련 항목 점수(modified Barthel index-upper extremity, MBI-UE), 선 나누기 검사(line bisection test), 알버트 검사

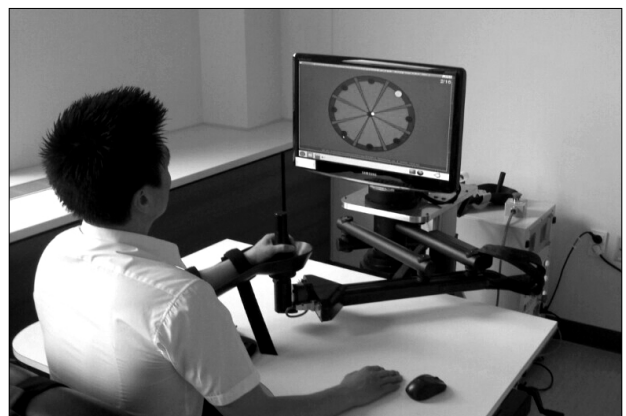


Fig. 1. InMotion 2.0 robot. Hemiplegic patients were engaged in goal-directed, planar reaching tasks that emphasized shoulder and elbow movements.

(Albert test)를 시행하였다. FMA는 뇌졸중 후 편마비측 상하지 기능을 평가하기 위해 고안된 척도이며,¹⁵ 다른 뇌질환에 의한 상지 마비의 기능 평가에도 적용할 수 있다.¹⁶ 그 중, 상지 운동 척도는 66점이 만점으로 점수가 높을수록 좋은 기능을 나타낸다. JHFT는 원위부 상지 기능을 평가하도록 고안된 7가지 세부 항목의 검사로, 각 항목의 수행시간으로 기능을 평가한다.¹⁷ 본 연구에서는 결과 비교를 용이하게 하기 위하여, 각 항목을 15점 만점으로 하여

총점 105점으로 평가하는 신점수체계를 적용하였다.¹⁸ MBI는 일상생활 동작의 수행능력을 평가하는 검사로,¹⁹ 상지 관련 항목 점수는 개인위생, 목욕, 식사, 착탈의 점수를 합산하여 총점 30점으로 평가하였다. 편측 무시를 평가하기 위해 선 나누기 검사²⁰와 알버트 검사²¹를 시행하였다. 선 나누기 검사는 평균 오차범위를 퍼센트(%)로 평가하였으며, 알버트 검사는 전체 선들 중 찾지 못한 선의 총 개수로 평가하였다. 편측 무시에 대한 평가는 우측 뇌

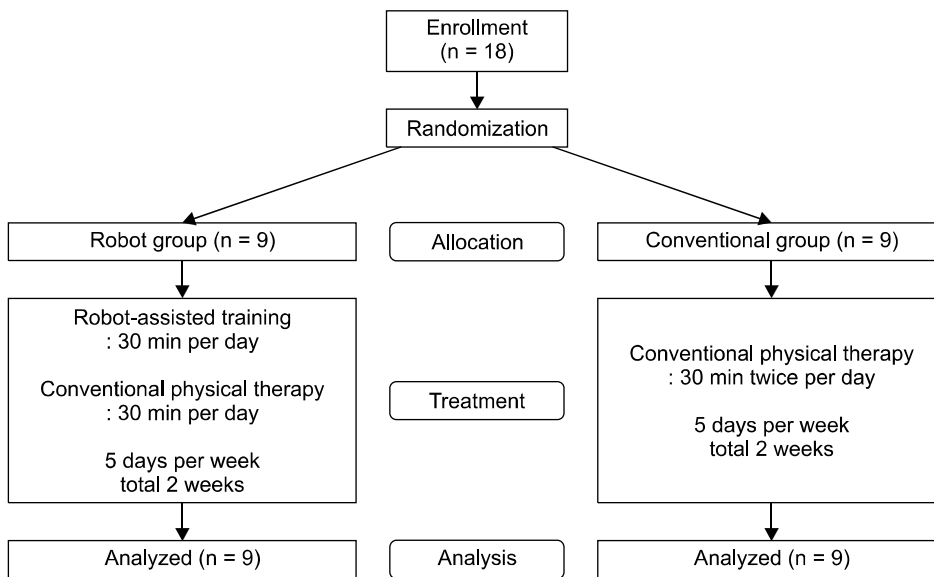


Fig. 2. Flow of participants in this study.

Table 1. Characteristics of Individual Patients

Patients	Sex	Age (years)	Diagnosis	Hemiplegic side	Duration (days)
Robot group					
P1	M	21	Intracranial germinoma	Left	370
P2	F	20	Rt. basal ganglia ICH, IVH	Left	56
P6	F	64	Rt. parietal glioblastoma	Left	19
P7	M	69	Rt. MCA infarction	Left	25
P9	M	79	Rt. MCA infarction	Right	58
P11	F	39	Multiple ICH, SDH	Right	4,047
P14	F	58	Rt. basal ganglia ICH, SAH, IVH	Left	17
P15	M	40	Rt. corona radiata infarction	Left	19
P17	F	59	Rt. ganglia infarction	Left	63
Conventional group					
P3	M	93	Rt. PCA infarction	Left	939
P4	F	27	Lt. basal ganglia ICH	Right	34
P5	M	69	Rt. multifocal infarction	Left	62
P8	F	74	Lt. frontal parasagittal meningioma	Right	15
P10	M	42	Lt. basal ganglia ICH	Right	22
P12	F	66	Rt. MCA infarction	Left	266
P13	F	78	Lt. MCA infarction	Right	16
P16	F	70	Rt. basal ganglia ICH	Left	17
P18	M	71	Rt. frontal ICH	Left	28

병변으로 인한 좌측 편마비 환자에서 모두 시행하였으며, Robot 군이 7명, Conventional 군이 5명이었다.

3) 분석 및 통계

Intention-to-treat (ITT) 원칙에 기반하여 분석을 시행하였다. 군당 피험자 수가 10명 미만으로, 비모수적 검정을 이용하여 결과를 분석하였다. 양 군의 일반적인 특성은 연

속 변수는 Mann-Whitney test를 이용하고, 그 외의 범주형 자료는 Chi-square test를 이용하여 비교하였다. 치료 전과 치료 후의 양 군 간의 평가 결과의 차이는 Mann-Whitney test를 이용하여 비교하였으며, 각 군의 치료 전후 변화는 Wilcoxon signed rank test로 분석하였다. 또한, 각 군의 만성기 환자를 제외한 아급성기 환자를 대상으로 하위그룹 분석을 추가로 시행하였다. 통계는 SPSS version 21.0

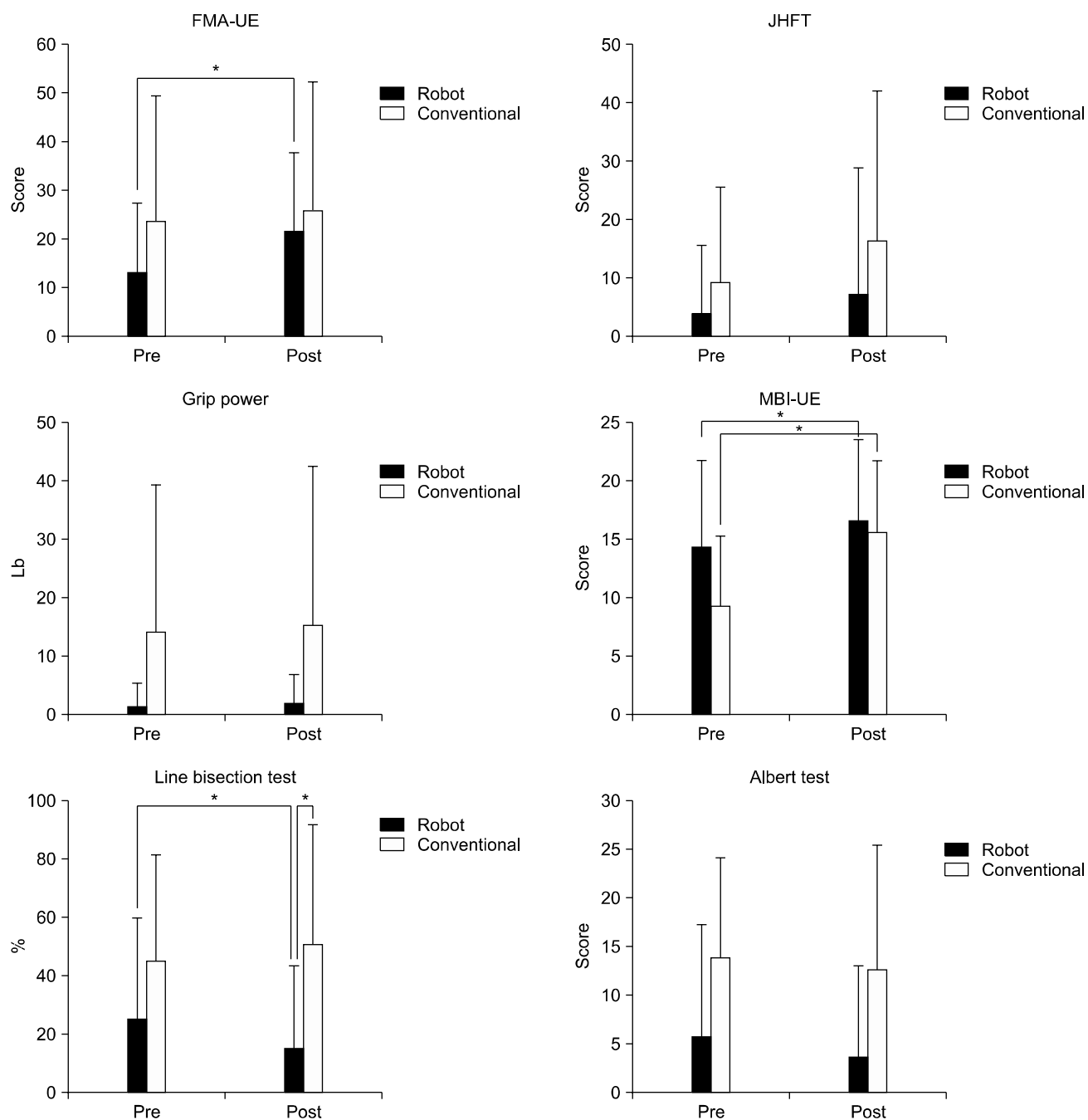


Fig. 3. Outcomes in the 2 intervention groups. FMA-UE: Fugl-Meyer assessment-upper extremity, JHFT: Jebsen hand function test, MBI-UE: modified Barthel index-upper extremity. Asterisk indicates the significant difference between two tests ($p < 0.05$).

을 이용하였고 p값이 0.05 미만일 때 유의한 것으로 판단하였다.

결 과

총 18명의 환자가 무작위로 Robot 군(n = 9) 혹은 Conventional 군(n = 9)로 배정되어 2주간 해당하는 치료를 받았다(Fig. 2). Robot 군 중 2명의 피험자는 총 10회의 로봇치료 세션 중 각각 9회와 8회를 수행하였으나, ITT 원칙에 기반하여 결과 분석에 포함하였다. 양 군의 일반적인 특성에는 통계적으로 유의한 차이가 없었으나, 연령은 Conventional 군이 Robot 군에 비해 높은 경향을 보였다(Table 1).

Fig. 3은 치료 전후의 평가 결과를 보여준다. 치료 전 평가 결과는 양 군간에 유의한 차이가 없었다. FMA-UE는 Robot 군(치료전: 13.22 ± 14.20 , 치료후: 21.67 ± 15.84 ; $p = 0.018$)에서 치료 전후의 유의미한 변화가 관찰된 반면, Conventional 군(치료전: 23.56 ± 25.76 , 치료후:

25.89 ± 26.21 ; $p = 0.093$)에서는 유의미한 변화가 없었다. 치료 전후의 변화는 Robot 군에서 8.44 ± 8.08 , Conventional 군에서 2.33 ± 3.64 로 Robot 군이 더 컸으나 통계적으로 유의하지는 않았다($p = 0.094$).

MBI-UE는 Robot 군(치료전: 14.33 ± 7.42 , 치료후: 16.56 ± 6.95 ; $p = 0.041$)과 Conventional 군(치료전: 9.22 ± 6.06 , 치료후: 15.56 ± 6.19 ; $p = 0.008$)에서 모두 치료 전후의 유의미한 변화가 관찰되었으며, 치료 전후의 변화는 Robot 군에서 2.22 ± 2.49 , Conventional 군에서 6.33 ± 3.28 로 통계적으로 유의한 차이가 있었다($p = 0.014$). JHFT와 악력은 양 군에서 모두 치료 전후의 변화가 관찰되지 않았다.

Fig. 4는 개별 환자의 FMA-UE와 MBI-UE 평가 결과를 보여준다. Robot 군은 초기 FMA-UE가 10점 미만인 환자 5명 중 4명이 치료 전후로 호전되는 양상을 보였으며, 그 중 P2는 4점에서 21점으로, P14는 7점에서 30점으로 크게 호전되는 경과를 보였다. 반면, Conventional 군은 초기 FMA-UE가 10점 미만인 환자 5명 중 뚜렷한 호전을 보인

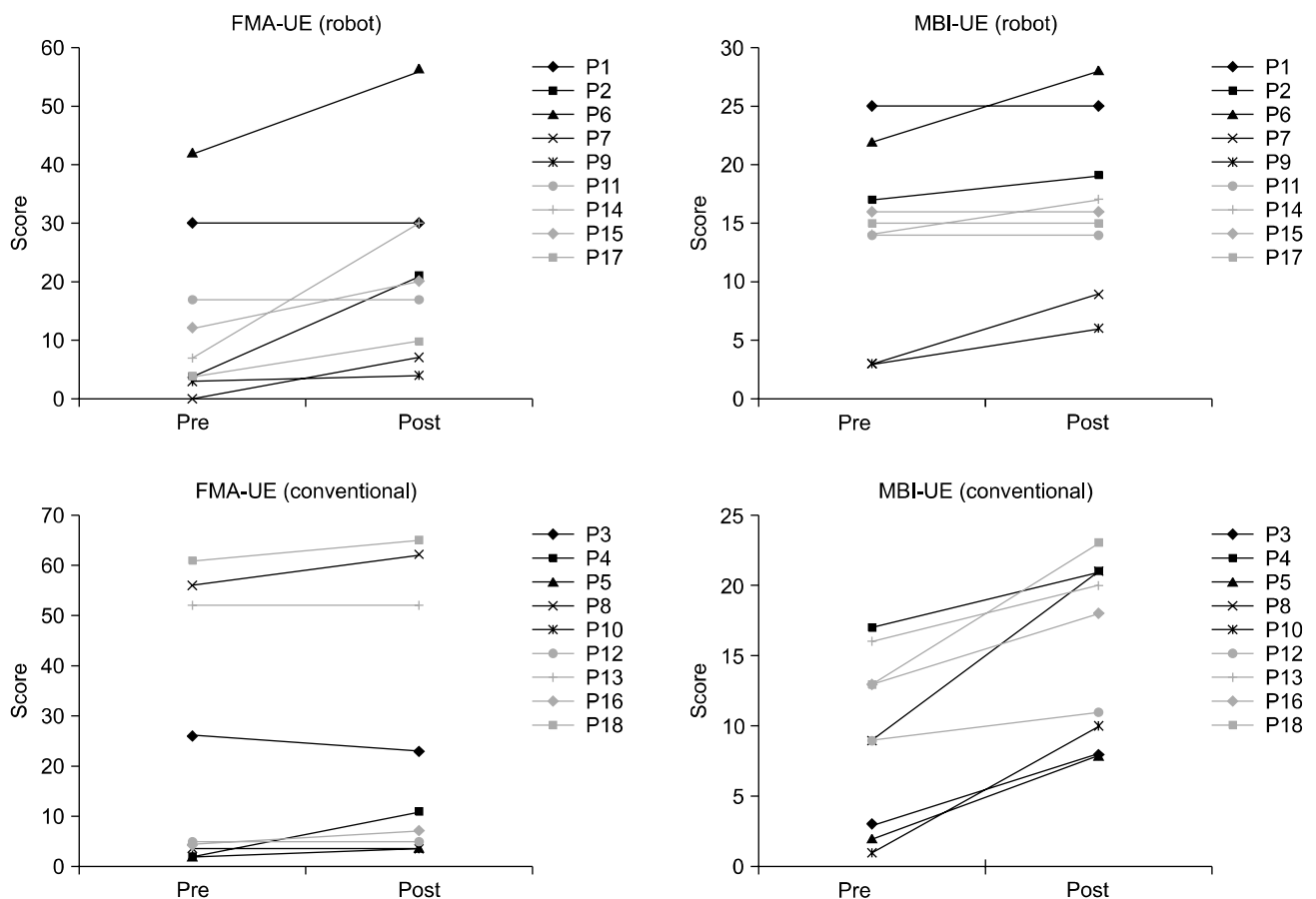


Fig. 4. FMA-UE and MBI-UE scores of individual patients. FMA-UE: Fugl-Meyer assessment-upper extremity, MBI-UE: modified Barthel index-upper extremity.

Table 2. Hemineglect Tests in Left Hemiplegic Patients

Patients	Age (years)	Duration (days)	Line bisection test (%)		Albert test	
			Pre	Post	Pre	Post
Robot group						
P1	21	370	1.34	3.53	0	0
P2	20	56	14.8	10.23	1	0
P6	64	19	8.2	2.9	0	0
P7	69	25	94.4	79	31	25
P14	58	17	48	3.6	8	0
P15	40	19	2.04	1.84	0	0
P17	59	63	7.26	3.41	0	0
Conventional group						
P3	93	939	88.22	74.5	24	25
P5	69	62	76.16	100	23	26
P12	66	266	40	61.7	15	12
P16	70	17	7.09	10.3	7	0
P18	71	28	13.5	6.54	0	0

Table 3. Subgroup Analysis on the Patients in Subacute Stage

	Robot group (n = 7)	Conventional group (n = 7)	p-value
Duration of hemiplegia (days)	36.71 ± 21.09	27.71 ± 16.64	0.383
FMA-UE			
Pre	10.29 ± 14.48	25.86 ± 28.64	0.620
Post	21.14 ± 17.86	29.29 ± 28.79	0.902
Change	10.86 ± 7.52	3.43 ± 3.26	0.038*
JHFT			
Pre	5.00 ± 13.23	11.86 ± 17.80	0.456
Post	9.29 ± 24.57	21.00 ± 27.60	0.535
Change	4.29 ± 11.34	9.14 ± 11.70	0.535
Grip power (Lb)			
Pre	1.71 ± 4.54	16.00 ± 26.70	0.383
Post	2.43 ± 5.59	20.17 ± 30.53	0.366
Change	0.71 ± 1.25	1.50 ± 2.35	0.628
MBI-UE			
Pre	12.86 ± 7.20	10.14 ± 6.44	0.318
Post	15.71 ± 7.11	17.29 ± 5.88	0.383
Change	2.86 ± 2.48	7.14 ± 3.19	0.026*

Values are mean ± standard deviation. FMA-UE: Fugl-Meyer assessment-upper extremity, JHFT: Jebsen hand function test, MBI-UE: modified Barthel index-upper extremity. Asterisk indicates the significant difference between two groups ($p < 0.05$).

환자는 P4 한명 뿐이었다. MBI-UE는 로봇 군에서는 치료 전후로 호전된 환자가 9명 중 5명이었던 반면, Conventional 군에서는 모든 환자가 호전을 보였다.

좌측 편마비 환자에서 시행한 선 나누기 검사는 Robot 군(치료전: 25.15 ± 34.48 , 치료후 14.93 ± 28.38 ; $p = 0.043$)에서 치료 전후의 유의미한 변화가 관찰되었으나,

Conventional 군(치료전: 44.99 ± 36.38 , 치료후 50.61 ± 40.93 ; $p = 0.500$)에서는 유의미한 변화가 없었다. 또한, 치료전에는 양 군간에 차이가 없었으나, 치료후에는 선 나누기 검사 결과가 Robot 군은 14.93 ± 28.38 , Conventional 군은 50.61 ± 40.93 으로 유의한 차이가 있었다($p = 0.048$). 알버트 검사 결과는 양 군에서 모두 치료 전후의 변화가 관찰되지 않았다. 각 환자의 편측 무시 평가 결과는 Table 2에 제시하였다.

양 군에서 유병기간이 3개월 미만인 아급성기 환자는 각 7명이었으며, 아급성기 환자를 대상으로 한 하위그룹 분석에서도 전체 결과와 유사한 양상을 보였다(Table 3). 아급성기 환자 분석에서는 양 군 모두 FMA-UE와 MBI-UE에서 치료 전후의 유의한 변화를 보였으나, FMA-UE의 변화는 Robot 군은 10.86 ± 7.52 , Conventional 군은 3.43 ± 3.26 으로 Robot 군에서 더 컸으며($p = 0.038$), MBI-UE의 변화는 Robot 군은 2.86 ± 2.48 , Conventional 군은 7.14 ± 3.19 로 Conventional 군에서 더 컸다($p = 0.026$). 아급성기 하위그룹에서는 좌측 편마비 환자가 Robot 군 6명, Conventional 군 3명으로 대상자 수가 적어 편측 무시 평가에 대한 통계적 분석은 시행하지 못하였다.

고 찰

본 연구 결과는 뇌질환으로 인한 편마비 환자에서 2주간의 고식적 상지 재활치료와 병행한 어깨와 팔꿈치 관절 위주의 로봇 보조 상지 재활치료가 상지기능을 호전시킬 수 있음을 시사한다. 특히, 로봇 보조 상지 재활치료는 심한 상지기능 장애를 보이는 환자에서도 치료 후 뚜렷한

기능의 향상을 유발할 수 있었다. 일상생활동작은 양 군 모두 치료 전후로 향상되었으나, 일상생활동작의 향상은 고식적 상지 재활치료만 받은 환자가 로봇 보조 상지 재활 치료를 병행한 환자보다 더 크게 나타났다. 그 밖에도, 로봇 보조 상지 재활치료는 편측 무시를 호전시키는 경향을 보였다.

반복 훈련을 통해 대뇌 피질의 재배열과 신경가소성이 유발될 수 있다는 사실이 알려지면서, 최근의 재활치료에는 반복적인 작업 특이적 훈련의 필요성이 강조된다.²²⁻²⁴ 로봇은 운동 학습 원리에 기반하여 정확하고 일정하게 반복적인 작업 훈련을 제공할 수 있다는 점에서, 로봇 보조 상지 재활치료가 뇌가소성 유발과 상지 기능회복을 위한 현실적인 방법으로 제시되고 있다.²⁵ 그러나 작업 특이적 훈련은 환자에게 필요한 일상활동에 근거하는 것이 효과적인 것으로 권장되는 반면,²⁶ 로봇 보조 상지 재활치료는 실제 세계에서 일어나는 일상 활동을 훈련하는 것은 아니다. 본 연구에서 로봇 치료를 병행한 환자는 유의미한 상지기능과 일상생활동작의 호전을 보였으나, 일상생활동작의 호전의 정도는 고식적 상지 재활치료만 적용한 환자보다 적었다. 이전의 연구에서도 상지 기능향상과 일상생활동작의 호전이 항상 일치하는 것은 아니었다.¹³ 이러한 결과는 로봇을 이용한 강도 높은 훈련으로 향상된 상지기능을 일상생활동작으로 전달할 수 있는 적절한 중재의 필요성을 시사한다.

본 연구에서 2주간의 치료 후 FMA-UE의 변화는 Robot 군에서 8.44 ± 8.08 , Conventional 군에서 2.33 ± 3.64 로 나타났다. 본 연구와 같은 InMotion 2.0을 이용한 과거 연구는 모두 발병 6개월 이상이 경과된 만성기 뇌졸중 환자를 대상으로 하였으며, 1일 치료 시간과 치료 기간이 크게 달라 직접적으로 결과를 비교하기는 어렵다. 만성기 환자에게 주 3회, 12주간 로봇 보조 상지 재활치료를 적용한 대규모 연구에서 치료 전후의 FMA-UE 변화는 1.11 ± 1.01 혹은 3.87 ± 1.05 로 나타났다.¹⁴ 본 연구의 대상자는 대부분 아급성기 환자이기 때문에, 짧은 치료 기간에도 더 큰 변화가 나타난 것으로 생각된다. 특히, 본 연구에서 아급성기 환자만을 대상으로 하였을 때 양 군 모두 치료 전후의 FMA-UE 변화가 커진 점이 이 같은 추론을 뒷받침한다. 치료전 FMA-UE가 Robot 군은 13.22 ± 14.20 , Conventional 군은 23.56 ± 25.76 으로 통계적으로 유의하지 않았으나($p = 0.666$) 다소간의 차이가 있었다. 그러나 FMA-UE의 총점은 66점으로 양 군 모두 대부분 중증도 이상의 상지기능 장애를 보이는 환자들이 포함되어 결과에 큰 영향은 없었을 것으로 판단된다.

치료 결과를 평가함에 있어 로봇의 형태도 고려를 해야

한다. 본 연구에 사용한 InMotion 2.0은 주로 어깨와 팔꿈치 관절을 이용하여 과제를 수행하는 로봇이기 때문에 손목이나 손가락 움직임의 향상은 제한된다.²⁷ 그것이 FMA-UE의 호전에 비해 JHFT의 호전이 뚜렷하지 않고 일상생활동작의 향상이 상대적으로 낮았던 원인 중의 하나일 가능성이 있다. 이에 따라 최근에는 손목 관절을 포함하는 상지 로봇^{27,28}이나 손기능 향상을 위한 로봇^{29,30}이 개발되고 있다. 향후에는 환자의 상지 기능과 치료 목표에 따라 적절한 형태의 로봇 보조 상지 재활치료를 적용하는 것이 필요할 것이다.

편측 무시는 뇌병변의 반대측에 나타나는 자극을 인지하지 못하는 현상으로, 우측 대뇌 반구 손상시 흔히 발생한다.³¹ 편측 무시에 대한 전통적인 치료적 접근은 크게 외부적(extrinsic) 혹은 하향식(top-down) 치료법과 내부적(intrinsic) 혹은 상향식(bottom-up) 치료법으로 분류된다.³² 외부적 치료법은 치료사에 의한 지속적인 되먹임, 격려, 그리고 훈련에 의존하게 되며, visual scanning training이 가장 널리 사용된다. 본 연구에서 사용된 로봇 보조 상지 재활치료는 화면상의 여러 방향에 대한 목표 지향적인 도달 과제를 수행하게 되며, 이에 따라 편측 무시가 발생한 공간에 나타나는 신호에 반응하게 되고 수행 결과에 대한 되먹임을 받게 된다. 로봇 치료를 병행한 환자군에서 편측 무시가 유의하게 호전된 것은 이와 같은 훈련의 결과로 추정할 수 있다. 다만, Conventional 군에서 치료 후 선 나누기 검사 결과가 다소 악화된 이유는 뚜렷하지 않다. 5명의 환자 중 P5, P12, P16 환자가 악화된 양상을 보였는데, Table 2에 기술된 임상적 특성을 보면 연령이나 유병기간에서 특별한 점은 없었으며, 모두 발병 1년 이내의 아급성기 혹은 만성기 뇌졸중 환자였다. 본 임상연구의 고식적 재활치료는 로봇 보조 상지 재활치료의 효과와 비교하기 위해 주로 상지 기능에 대한 치료에 중점을 두고 있었기 때문에, 편측무시에 대한 적극적인 중재가 부족하였을 가능성을 고려해 볼 수 있다.

이 연구는 몇가지 제한점을 가진다. 첫번째로 연구 대상자 수가 적다는 점이다. 대상수가 적어 비모수적 검정을 사용하였고, 이로 인해 실제 존재하는 변화나 차이를 검증하지 못하였을 가능성이 있다. 그러나 일부 주요 변수에서 통계적으로 유의한 변화를 확인하였고, 그것의 임상적 의미를 타당하게 설명할 수 있었다. 두번째로 대상자가 균질하지 않다는 점이다. 급성기 환자는 배제하였으나 유병기간이 아급성기부터 만성기까지 다양하였고, 다양한 연령대의 환자가 포함되었다. 양 군간의 일반적 특성에 통계적으로 유의한 차이는 없었다고 하더라도 Conventional 군의 나이가 더 많았고, Robot 군의 평균 유병기간이 더 길

었던 점이 결과에 영향을 주었을 가능성을 배제할 수 없다. 세번째로 뇌졸중 뿐 아니라 뇌종양 환자가 포함되었다는 점이다. 뇌종양으로 인한 상지마비 환자에 로봇 치료의 효과를 보고한 이전 연구는 없었다. 하지만 본 연구에 참여한 뇌종양 환자는 모두 수술후 회복 중이었기 때문에 뇌졸중과 비슷한 기능 회복 양상을 보였던 것으로 생각된다.

결론

뇌질환에 의한 편마비 환자에서 2주간의 고식적 재활치료와 병행한 로봇 보조 상지 재활치료는 상지기능을 호전시킬 수 있었다. 일상생활활동의 향상은 양 군에서 모두 관찰되었으나, 향상의 정도는 고식적 재활치료만 받은 환자가 로봇 치료를 병행한 환자보다 더 크게 나타났다. 본 연구 결과는 로봇을 이용한 강도 높은 훈련으로 향상된 상지기능을 일상생활활동으로 전달할 수 있는 적절한 중재의 필요성을 시사한다. 또한, 로봇 보조 상지 재활치료를 받은 환자에서 편측 무시가 호전되는 경향이 보였으며, 이는 로봇을 이용한 목표 지향적 도달과제 수행이 편측 무시에도 효과가 있을 가능성을 시사한다. 본 연구는 연구 대상자의 수가 적어 결과의 해석에 제한이 있으므로, 향후 대규모 연구를 통해 상기 결과를 확인할 필요가 있을 것이다.

참고문헌

- 1) Kwakkel G, Kollen BJ, van der Grond J, Prevo AJ. Probability of regaining dexterity in the flaccid upper limb: impact of severity of paresis and time since onset in acute stroke. *Stroke*. 2003;34:2181-2186
- 2) Hendricks HT, van Limbeek J, Geurts AC, Zwartz MJ. Motor recovery after stroke: a systematic review of the literature. *Arch Phys Med Rehabil*. 2002;83:1629-1637
- 3) Lai SM, Studenski S, Duncan PW, Perera S. Persisting consequences of stroke measured by the Stroke Impact Scale. *Stroke*. 2002;33:1840-1844
- 4) Nichols-Larsen DS, Clark PC, Zeringue A, Greenspan A, Blanton S. Factors influencing stroke survivors' quality of life during subacute recovery. *Stroke*. 2005;36:1480-1484
- 5) Volpe BT, Krebs HI, Hogan N. Is robot-aided sensorimotor training in stroke rehabilitation a realistic option? *Curr Opin Neurol*. 2001;14:745-752
- 6) 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. *Stroke*. 2009
- 7) Mehrholz J, Hadrich 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

- 8) Volpe BT, Krebs HI, Hogan N, Edelstein L, Diels CM, Aisen ML. Robot training enhanced motor outcome in patients with stroke maintained over 3 years. *Neurology*. 1999;53:1874-1876
- 9) Volpe BT, Krebs HI, Hogan N, Edelstein OL, Diels C, Aisen M. A novel approach to stroke rehabilitation: robot-aided sensorimotor stimulation. *Neurology*. 2000;54:1938-1944
- 10) Fasoli SE, Krebs HI, Stein J, Frontera WR, Hughes R, Hogan N. Robotic therapy for chronic motor impairments after stroke: Follow-up results. *Arch Phys Med Rehabil*. 2004;85:1106-1111
- 11) Fasoli SE, Krebs HI, Stein J, Frontera WR, Hogan N. Effects of robotic therapy on motor impairment and recovery in chronic stroke. *Arch Phys Med Rehabil*. 2003;84:477-482
- 12) Ferraro M, Palazzolo JJ, Krol J, Krebs HI, Hogan N, Volpe BT. Robot-aided sensorimotor arm training improves outcome in patients with chronic stroke. *Neurology*. 2003;61:1604-1607
- 13) Volpe BT, Lynch D, Rykman-Berland A, Ferraro M, Galgano M, Hogan N, Krebs HI. Intensive sensorimotor arm training mediated by therapist or robot improves hemiparesis in patients with chronic stroke. *Neurorehabil Neural Repair*. 2008;22:305-310
- 14) 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
- 15) Fugl-Meyer AR, Jaasko L, Leyman I, Olsson S, Steglind S. The post-stroke hemiplegic patient. 1. a method for evaluation of physical performance. *Scand J Rehabil Med*. 1975;7:13-31
- 16) Platz T, Pinkowski C, van Wijck F, Kim IH, di Bella P, Johnson G. Reliability and validity of arm function assessment with standardized guidelines for the Fugl-Meyer Test, Action Research Arm Test and Box and Block Test: a multi-centre study. *Clin Rehabil*. 2005;19:404-411
- 17) Jebsen RH, Taylor N, Trieschmann RB, Trotter MJ, Howard LA. An objective and standardized test of hand function. *Arch Phys Med Rehabil*. 1969;50:311-319
- 18) Kim JH, Kim IS, Han TR. New scoring system for jebsen hand function test. *J Korean Acad Rehab Med*. 2007;31:623-629
- 19) Shah S, Vanclay F, Cooper B. Improving the sensitivity of the Barthel Index for stroke rehabilitation. *J Clin Epidemiol*. 1989;42:703-709
- 20) Schenkenberg T, Bradford DC, Ajax ET. Line bisection and unilateral visual neglect in patients with neurologic impairment. *Neurology*. 1980;30:509-517
- 21) Albert ML. A simple test of visual neglect. *Neurology*. 1973;23:658-664

- 22) Nudo RJ, Milliken GW, Jenkins WM, Merzenich MM. Use-dependent alterations of movement representations in primary motor cortex of adult squirrel monkeys. *J Neurosci.* 1996;16:785-807
- 23) Teasell R, Bayona NA, Bitensky J. Plasticity and reorganization of the brain post stroke. *Top Stroke Rehabil.* 2005;12: 11-26
- 24) Turkstra LS, Holland AL, Bays GA. The neuroscience of recovery and rehabilitation: what have we learned from animal research? *Arch Phys Med Rehabil.* 2003;84:604-612
- 25) Krebs HI, Hogan N. Robotic therapy: the tipping point. *Am J Phys Med Rehabil.* 2012;91:S290-297
- 26) Hubbard IJ, Parsons MW, Neilson C, Carey LM. Task-specific training: evidence for and translation to clinical practice. *Occup Ther Int.* 2009;16:175-189
- 27) Krebs HI, Volpe BT, Williams D, Celestino J, Charles SK, Lynch D, Hogan N. Robot-aided neurorehabilitation: a robot for wrist rehabilitation. *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng.* 2007;15:327-335
- 28) Staubli P, Nef T, Klamroth-Marganska V, Riener R. Effects of intensive arm training with the rehabilitation robot ARMin II in chronic stroke patients: four single-cases. *J Neuroeng Rehabil.* 2009;6:46
- 29) Sale P, Lombardi V, Franceschini M. Hand robotics rehabilitation: feasibility and preliminary results of a robotic treatment in patients with hemiparesis. *Stroke Res Treat.* 2012;2012:820931
- 30) Hwang CH, Seong JW, Son DS. Individual finger synchronized robot-assisted hand rehabilitation in subacute to chronic stroke: a prospective randomized clinical trial of efficacy. *Clin Rehabil.* 2012;26:696-704
- 31) Bowen A, McKenna K, Tallis RC. Reasons for variability in the reported rate of occurrence of unilateral spatial neglect after stroke. *Stroke.* 1999;30:1196-1202
- 32) Marshall RS. Rehabilitation approaches to hemineglect. *Neurologist.* 2009;15:185-192