

뇌졸중 환자에서 자기력에 의해 유도되는 재활운동기기

박지우 · 김민수[†]

원광대학교병원 재활의학과

Outcome of Rehabilitation Device Driven by Magnetic Force in Stroke Patients

Ji-Woo Park · Min-Su Kim[†]

Department of Rehabilitation Medicine, Wonkwang University School of Medicine

Received: September 1, 2020 / Revised: September 1, 2020 / Accepted: October 3, 2020

© 2020 J Korean Soc Phys Med

| Abstract |

PURPOSE: This study investigates the therapeutic effect of a prototype of a hand rehabilitation device based on magnetic forces.

METHODS: Using an electromagnet and permanent magnets, we developed an end effector type device that induces various movements of the finger in accordance with the magnetic field direction. A total of 26 subacute stroke patients were enrolled and assigned to two groups in this randomized controlled trial. The intervention group received 30 minutes hand rehabilitation therapy per day for 4 weeks, using the device developed by us. Conventional physical therapies were conducted equally twice a day, 30 minutes per session, during the same period in both groups.

RESULTS: After 4 weeks, rate of the Wolf Motor Function Test as a primary outcome measure showed significant improvement in the intervention group as compared to control group ($p = .036$). Scores of the Manual Function Test and

Fugl-Meyer Assessment of upper limb were also significantly increased in the intervention group as compared to control group ($p = .038$ and $p = .042$, respectively). Moreover, the Korean version of Modified Barthel Index tended to improve after subjecting to physical therapy in both groups.

CONCLUSION: Our results indicate that the novel hand rehabilitation device developed using a magnetic force, improves the hand motor functions and activities of daily life in subacute stroke patients.

Key Words: Hand, Rehabilitation, Robotics, Stroke, Upper extremity

I. 서 론

운동 기능 장애는 뇌졸중 환자의 80%에서 발견될 정도로 흔한 합병증으로 주로 일측 팔다리, 얼굴을 침범한다[1]. 팔 기능 장애는 회복이 어렵고, 일상 생활에서 타인에 대한 의존성을 심화시킨다. 한 연구에 따르면 뇌졸중 발병 3개월 후 약 20%에서 팔 기능의 회복을 보이고 팔 기능 장애가 있는 환자의 50%는 뇌졸중 발병 후 4년이 지난 이후에도 지속적으로 장애가 남아 있다고 보고되었다[2]. 손의 장애 수준은 일상생활의 수행과 관련이 깊고 삶의 질에 중대한 영향을 준다[3]. 따라서 물리치료사는 뇌졸중으로 인한 손의 기능 장애를

[†]Corresponding Author : Min-Su Kim

helmaine@naver.com, <https://orcid.org/0000-0001-9954-1445>

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

치료하기 위하여 다양한 치료 기법들을 개발해 왔다[2]. 그러나 아직까지 사람의 손의 기능은 매우 복잡하기 때문에 뇌졸중 재활에 있어서 손의 운동 기능을 회복시키는 것은 재활에 있어 큰 과제로 남아 있다[3].

뇌졸중 환자의 손 운동 기능 장애를 치료하기 위하여 최근 로봇 치료 기법이 활발하게 적용되고 있다[4-6]. 초기에는 마비로 인한 근력 약화를 보충하고 손의 움직임을 지지하기 위하여 금속을 사용한 외골격 로봇이 주로 사용되었다[4-6]. 그러나 최근 재료 공학의 발달로 인하여 액체, 젤, 폴리머와 같은 쉽게 변형이 가능한 재질로 제작한 소프트 로봇 개발이 활발하며 이러한 로봇은 실제 손의 움직임에 가깝게 운동을 수행할 수 있도록 개선되었다[7,8]. 이러한 소프트 손 로봇은 구동 장치로 주로 공기, 케이블, 유압 장치 등을 이용하고 있으며 장갑 형태의 입을 수 있는 디자인을 사용하기도 한다[7,8]. 소프트 손 로봇은 기존 외골격 손 로봇에 비하여 환자가 수행할 때 순응도를 높이는데 기여하였다[9,10]. 또한 이전 연구를 통해 뇌졸중 환자에게 기존 물리치료와 병행해서 치료하였을 때, 손 기능 회복에 있어 더욱 긍정적인 효과가 있음을 보여주었다[3,7,11].

그러나 과거 개발된 로봇과 장치들이 뇌졸중 환자에서 손 기능을 회복시키는데 높은 가능성을 보여주었지만 실제 임상에서는 여러 가지 단점으로 인하여 잘 사용되지 않는다. 예를 들어, 외골격 손 로봇은 부피가 커서 환자에게 거부감을 주며 구동 장치가 가동되지 않는 방향으로 손가락 운동이 수행되지 않아 치료효과가 제한적이다. 소프트 로봇 또한 뇌졸중 환자의 장갑 착용에 대한 불편감 호소, 공기를 압축하는데 발생하는 커다란 소음 등이 문제이다[7]. 또한 경직이 있는 뇌졸중 환자에게 소프트 로봇은 굽힘과 폼에 필요한 힘이 부족하여 운동효과가 떨어지는 경우도 보고되며 복잡한 설계는 대량으로 생산하는데 방해가 되기도 한다[7].

본 연구자는 이러한 단점이 임상에서 사용하는데 한계가 있음을 주목하고 자기력을 사용하는 기기 개발에 초점을 맞추었다. 자기력을 사용하는 기기는 여러 가지 장점이 있다. 전기 모터나 유압 시스템을 사용하지 않기 때문에 설계가 간단하고 비용이 적게 든다.

또한 장갑과 같이 손을 덧씌우지 않고 손가락에 영구 자석만 착용하면 되는 엔드 이펙터 타입이기 때문에 환자의 순응도를 높일 수 있고, 환자 스스로 가동 가능한 힘을 이용하여 스스로 운동 수준을 조절할 수 있다. 따라서 본 연구자는 자기력에 기반한 최초의 손 재활 기기를 개발하고 손 운동 기능 장애가 있는 뇌졸중 환자를 대상으로 기존 물리치료와 병행하여 재활 치료를 수행했을 때 치료적 효과를 조사하고자 하였다.

II. 연구방법

1. 손 재활기기 개발

본 연구진은 전자기 조절 시스템을 이용한 일축 손 재활기기를 개발하였다(Fig. 1A). 전자기 조절 시스템 안에 있는 코일에 전류를 흘리면 코일 내에 자기장이 형성된다. 이 자기장은 코일에서 가까우면 자기력이 강하며 멀어질수록 자기력이 저하되는 특성이 있어 경사 자기장이라고 불린다. 환자의 손 아래 있는 경사 자기장과 손가락에 착용한 영구자석 사이에는 기본 자기 현상인 인력 또는 척력이 발생하게 된다. 이 기기는 기본적으로 이 인력과 척력을 이용하여 굽힘, 폼을 포함한 여러 가지 손가락의 동작을 유도하여 운동 치료를 수행한다.

손가락에 부착된 영구 자석의 극성은 일정하며 환자의 손 아래 위치한 전자석은 전류 방향이 주기적으로 바뀌면서 N극과 S극을 번갈아 가며 띄게 된다. 즉 영구 자석과 동일한 극성을 가질 때 서로 밀어내는 힘으로 손가락을 펴고, 서로 반대되는 극성을 가지면 인력이 발생하여 손가락을 굽히는 힘을 발생시킨다. 이 힘을 이용하여 여러 가지 손가락의 동작을 유도한다. 뇌졸중 후 마비로 인하여 환자가 손가락을 움직이는데 부족한 근력은 자기력을 이용하여 보완하는 능동보조운동을 수행할 수 있다. 환자에게 필요한 자기력은 전자석에 흐르는 전류의 크기에 의해 결정되며 물리치료사는 환자 상태에 따라 조정 장치를 통해 전류량을 조절할 수 있다(Fig. 1B).

영구 자석은 3D프린터를 이용하여 제작하였고 손바



Fig. 1. Hand rehabilitation device using a magnetic force. (A) Electromagnetic fields generated in the coil and permanent magnets worn on the patient's fingers generate an attractive or repulsive force. (B) Rehabilitation therapy was performed by assisting the movement of the paralyzed finger using these magnetic forces.

닥과 코일 내에는 보조 영구자석을 설치하여 자기력을 보강하였다. 예를 들어 손바닥에 착용한 영구 자석은 인력을 이용하여 굽힘 운동을 시행할 때 더욱 효과적으로 손가락에 설치된 영구자석을 끌어당길 수 있다. 손가락을 물리치료사와 환자가 원하는 만큼 움직이는데 필요한 자기력은 코일에 흐르는 전류의 양으로 제어가 가능하다.

2. 연구대상과 방법

발병 3개월 이내의 아급성기 뇌졸중 환자 중 도수 근력 검사에서 마비 측 손을 포함한 팔 근력이 3등급인

환자를 연구대상으로 하였다. 참여자 중 modified Tardieu Scale이 3등급 이상으로 경직이 있거나 근육 단축이 심해 재활기기를 이용할 수 없는 환자, 물리치료사의 지시를 이해할 수 없는 심각한 인지 장애가 있는 환자, 앉은 자세 균형을 유지할 수 없는 환자, 폐렴 등과 같이 심각한 내과적 질환으로 인하여 적절하게 재활 치료를 받을 수 없는 환자는 연구에서 제외하였다. 이 연구는 연구자 소속 기관의 기관 윤리 위원회의 승인을 받았으며, 모든 참여 환자에게 연구의 목적과 방법에 대한 설명 후에 서면 동의서를 받고 수행되었다(IRB No. 2017-07-023).

참여 환자는 중재군과 대조군으로 무작위로 나누어 배정되었다. 두 군에 속한 환자들은 모두 마비된 팔과 다리 근력을 회복하고 보행 기능을 향상시키기 위한 뇌졸중 운동 재활 치료를 동일한 시간 동안 받았다. 신경발달치료, 팔다리 스트레칭 및 근력 강화 운동, 보행 훈련 등의 뇌졸중 재활 운동 치료를 물리치료사에 의해 하루 2회, 각각 1시간씩 중재군과 대조군 환자 모두에게 실시하였다.

중재군에서는 자기력 기반 손 재활기기를 이용한 재활 치료를 추가적으로 받았다. 이 손 재활기기를 이용한 재활 운동은 1) 손가락 전반의 굽힘/펼 운동, 2) 엄지손가락과 각 손가락을 이용하여 'O'를 만드는 맞섬 동작, 3) 중 수지 관절의 비틀림 운동으로 구성하였다. 손가락의 굽힘/펼 동작은 손의 고유수용성 감각을 자극하고 손가락 근육의 단축을 예방하기 위한 스트레칭 운동을 자기력을 이용하여 실시하였다. 엄지손가락과 나머지 네 개의 개별 손가락을 이용하여 맞섬 동작 운동은 기능적 집게 동작을 보조하기 위한 목적으로 수행되었다. 중 수지 관절의 비틀림 운동은 손의 원위부 관절의 스트레칭을 목적으로 실시하였다. 모든 운동 프로토콜은 환자가 최대한 자신이 움직일 수 있는 만큼의 동작을 수행하고 자기력이 보완되는 형태인 능동보조운동 방식으로 설계하였다. 환자의 근육 단축으로 인해 펼 동작에 더 많은 보조가 필요할 경우 적절히 자기력을 조절하여 운동을 실시하였다. 중재군에서 이 기기를 이용한 재활 운동은 각 프로토콜 당 10분씩 시행

하였으며 1회 치료는 약 30분이 소요되었다. 이 중재는 4주간 시행되었으며, 연구가 수행되는 기간 동안 통증, 부종, 이상 움직임 등과 같은 부작용에 발생에 대처하기 위하여 물리치료사, 재활의학과 의사, 기기 개발 엔지니어가 함께 치료 시간 동안 상주하며 관찰하였다.

중재군과 대조군의 치료 효과를 비교하기 위하여 WMFT (Wolf Motor Function Test)를 일차 결과 지표로 선택하였다. WMFT는 근위 지관절 부위부터 원위 지관절의 복잡한 움직임으로 진행되는 15가지의 기능 검사와 2가지의 근력 측정 검사로 이루어져 있어 팔 기능을 전체적으로 평가할 수 있는 도구이다[12]. 15개 각각의 평가 항목은 환자가 완전하게 수행할 수 있을 때까지의 시간을 측정하며 최대 측정 가능 시간은 120초이다. WMFT 점수는 여러 가지 평가 작업들을 수행하는 동안 환자 손의 움직이는 수준을 반영하며, 수행 여부 외에 추가적으로 15개 각각의 평가 항목은 환자가 완전하게 수행할 수 있을 때까지의 시간을 함께 측정한다[13]. WMFT는 심각하게 팔 기능 장애가 있는 환자를 대상으로 평가했을 때에도 높은 신뢰도와 타당도가 검증되어 있는 유효한 평가 도구이다[13]. WMFT는 0-75점까지 점수화되며, 점수가 높을수록 우수한 팔 기능을 보인다는 것을 의미한다.

이차 결과 지표로서 MFT (Manual Function Test), FMA (Fugl-Meyer Assessment)의 팔 운동 평가 항목, K-MBI (Korean version of Modified Barthel Index)를 사용하였다. MFT는 뇌졸중 후 편마비가 있는 환자의 팔 기능을 평가하기 위하여 개발된 도구이다[14,15]. MFT는 중대한 편마비가 있는 뇌졸중 환자를 대상으로 팔 기능 평가를 시행했을 때 높은 신뢰도와 타당도가 보고되었다[15]. 점수는 0점부터 100점까지 분포하며 점수가 높을수록 좋은 손 기능을 시사한다. FMA는 뇌졸중 환자의 감각 운동 기능 장애를 평가하기 위하여 널리 사용되는 도구이다[16]. 각 항목에 당 3점이 배정되어 있는 서수 척도로서 팔 운동 기능 평가 최대 점수는 66점이다[16].

일차, 이차 결과 지표는 모두 중재 시작 전, 4주간의 치료 후 총 2회 평가하였다. 참여 환자의 나이, 성별,

뇌졸중 타입, 우세 손 방향, 뇌졸중 방향, 뇌졸중 발병 후 치료 시작 전까지의 기간, 경직 수준, 초기 NIHSS (National Institutes of Health Stroke Scale), K-MMSE (Korean version of Mini Mental Status Examination)을 기본 정보로서 치료 시작 전 조사하였다.

3. 통계분석

환자의 기본 특성과 결과 지표의 정규성 검증을 위하여 Kolmogorov-Smirnov 검정을 사용하였다. 중재군과 대조군 간의 환자 기본 특성 지표 간의 차이를 조사하기 위하여 연속 변수는 Independent t-test를, 범주형 변수의 경우 Chi-square test를 시행하였다. 중재 후 결과 지표 변화를 확인하기 위하여 Paired t-test를 이용하여 분석하였으며, 그룹 간 치료 효과를 비교하기 위하여 Independent t-test를 사용하였다. 모든 통계 분석은 SPSS 22.0 (SPSS Inc., USA)를 이용하였으며, $p < .05$ 일 때 통계적으로 유의하다고 정의하였다.

III. 연구결과

1. 연구대상자의 특징

총 26명의 환자가 모집되었으며 13명의 환자는 중재군으로, 나머지 환자는 대조군으로 배정되었다. 연구 기간 중 중도 탈락한 환자는 없었으며 손 재활기기 사용 중 통증, 과도한 수지 관절 스트레칭, 관절 아탈구 등의 부작용은 보고되지 않았다. 환자는 평균적으로 뇌졸중 발병 후 30.01 ± 6.80 일째 중재를 시작하였으며, 평균 나이는 66.34 ± 8.82 세였다. 참여 환자의 인구학적, 임상적 소견은 중재군과 대조군 간에 유의한 차이가 관찰되지 않았다. 또한 두 군 간에 NIHSS, K-MMSE, 경직 수준과 같은 기능 지표와 후유증 수준도 유의한 차이를 보이지 않았다(Table 1).

2. 치료 효과 비교

중재군과 대조군 사이에 치료 시작 전 WMFT, MFT, FMA, K-MBI 점수는 유의한 차이가 관찰되지 않았다. 4주간의 재활 치료 후 WMFT 점수는 중재군은 13.42

Table 1. Baseline Characteristics of the Participants

		Intervention Group (n = 13)	Control Group (n = 13)	p-value
Age	Years	67.14 ± 10.31	65.54 ± 10.10	.450
Sex	Male	6 (46)	7 (54)	.695
	Female	7 (54)	6 (46)	
Stroke type	Ischemic	8 (62)	9 (69)	.695
	Hemorrhagic	5 (38)	4 (31)	
Dominant hand	Right	12 (92)	13 (100)	.975
	Left	1 (8)	0 (0)	
Affected side	Right	4 (31)	5 (38)	.835
	Left	9 (69)	8 (62)	
Period after onset	Days	30.80 ± 6.24	31.14 ± 7.13	.432
NIHSS		10.42 ± 4.03	10.90 ± 4.63	.520
K-MMSE		24.61 ± 4.13	25.03 ± 5.21	.330
Spasticity [†]	MTS ≥ 1	5 (38)	4 (31)	.695
	MTS = 0	8 (62)	9 (69)	

Continuous values are presented as mean ± standard deviation and categorical values as number (%).

NIHSS, National Institute of Health Stroke Scale; K-MMSE, Korean version of Mini Mental Status Examination; MTS, Modified Tardieu Scale.

*p < .05

†: Elbow, wrist, and finger flexor muscles of the affected side were evaluated. Even if a single muscle showed spasticity, it was determined positive.

± 3.61점에서 20.92 ± 4.02점으로(p < .001), 대조군에서 13.14 ± 4.04점에서 15.23 ± 3.81점으로(p = .008) 두 군 모두 유의하게 증가하였다(Fig. 2). WMFT 시간은 중재군은 88 ± 12초에서 67 ± 13초로, 대조군은 89 ± 10초에서 73 ± 11초로 유의하게 감소하였다(p < .001, p = .004). 또한 두 군의 치료효과를 비교했을 때 중재군에서 대조군에 비하여 WMFT 점수는 유의하게 더욱 향상되었다(p = .036). 그러나 WMFT 시간의 경우 각 군의 향상된 정도는 통계적으로 유의한 차이가 관찰되지 않았다(p = .174).

MFT는 4주 치료 후 중재군에서 22.50 ± 2.91점에서 39.31 ± 3.54점으로 유의하게 향상되었으며(p < .001), 대조군에서도 23.13 ± 3.12점에서 31.71 ± 3.43점으로(p = .012) 유의한 향상을 보였다(Table 2). 두 군 간의 치료

효과를 비교했을 때 중재군에서 대조군에 비하여 유의하게 MFT가 더 향상되었다(p = .038). 다른 이차 결과 지표인 팔 운동 기능 FMA는 중재군에서 23.82 ± 2.93점에서 33.03 ± 3.44점으로 통계적으로 유의하게 증가하였으며(p = .002), 대조군에서 22.94 ± 2.51점에서 26.83 ± 3.00점으로(p = .034) 유의하게 호전되었다. 두 군의 치료 효과를 비교했을 때 중재군에서 FMA 점수가 유의하게 더욱 호전된 것을 확인하였다(p = .042). K-MBI는 중재군에서 46 ± 7점에서 68 ± 10점으로(p < .001), 대조군에서 47 ± 8점에서 60 ± 10점으로(p = .004) 두 군 모두 유의하게 중재 후 증가하였다. 두 군 간의 치료 효과의 차이는 통계적으로 유의하지는 않았으나(p = .487) 중재군에서 K-MBI는 좀더 많은 향상되는 경향을 보였다.

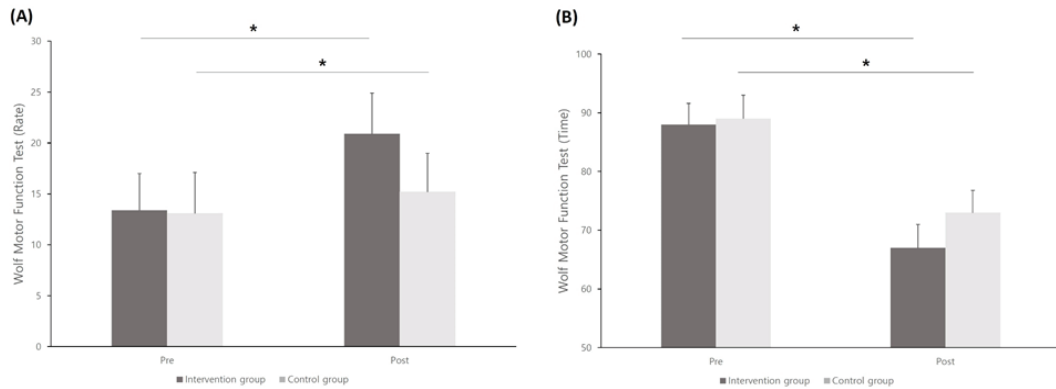


Fig. 2. Change of WMFT rate and time after the 4-week intervention. (A) The WMFT rate significantly increased in both the intervention and control groups. (B) The WMFT time also significantly decreased in both groups. Compared to control group, patients in the intervention group showed a more remarkable improvement of WMFT rate and time.

Table 2. Comparison of Outcome Measures between the Intervention Group and the Control Group

	Intervention Group		Control Group		p-value [‡]
	Pre	Post [†]	Pre	Post [†]	
MFT	22.50 ± 2.91	39.31 ± 3.54*	23.13 ± 3.12	31.71 ± 3.43*	.038*
FMA (upper limb)	23.82 ± 2.93	33.03 ± 3.44*	22.94 ± 2.51	26.83 ± 3.00*	.042*
K-MBI	46 ± 7	68 ± 10*	47 ± 8	60 ± 10*	.487

Values are presented as mean ± standard deviation.

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

*p < .05

†: analyzed by paired t-test

‡: analyzed by independent t-test

IV. 고 찰

최초의 자기력 기반 손 재활기기를 적용한 뇌졸중 환자들은 4 주간의 재활 치료 후 기존 재활 치료만 단독으로 받은 환자들보다 더 좋은 손 운동기능 회복을 보였다. 마비된 손 운동 기능 회복은 뇌졸중 환자가 더욱 독립적으로 일상 생활을 수행할 수 있는데 기여하였다.

자기력 기반 손 재활기기는 모터와 같은 기계 부품을 사용하지 않고 구동 코일에서 발생하는 전자기장과 손가락에 부착된 영구 자석 사이의 자기력 크기와 방향에 따라 다양한 손가락의 움직임을 유도하여 재활 치료를 수행할 수 있다. 이러한 자기력의 방향과 크기는 적절

하게 제어되어야 굽힘, 폼, 비틀림은 비롯한 여러 가지 손가락의 동작들을 구현할 수 있다. 본 연구진은 정상 성인을 대상으로 선행 실험 연구를 수행하여 손 운동 기능 수준에 따라 재활 치료에 필요한 자기력을 제어할 수 있는 시스템을 선행적으로 개발하여 이번 연구에 적용하였다[17].

본 연구에서 손 재활기기가 손의 운동 재활 치료를 수행하는데 기존 소프트 로봇이나 외골격 로봇에 비해 여러 가지 장점이 있다. 코일과 영구자석을 이용하여 근마비가 있는 손의 움직임을 유도하는 간단한 기전을 이용하기 때문에 제작이 쉽고 부피가 작다. 또한 착용하고 벗는데 많은 시간이 소요되는 기존 손 로봇이나

재활기기와 달리 간단하게 영구 자석을 착용하는 것으로 충분하다. 특히 노인 환자의 경우 장갑 형태의 재활 치료 기기를 착용하는데 거부감을 갖고 있으며, 장갑 형태는 감염과 위생에도 취약하다. 이러한 착용 시 편리한 점은 환자의 치료 순응도를 높이는데 도움이 되었을 것으로 생각된다. 또한 다양한 움직임을 구현하고 환자가 굽힘/펴 등 운동 시 자신의 남아 있는 근력을 최대한 활용할 수 있는 것도 중요한 장점이다. 기존 로봇은 축이 일정하게 고정되어 있어 환자와 물리치료사에게 치료 방법의 다양성을 확보할 수 없었다. 그러나 단순히 자기력의 방향에 원하는 움직임을 맞추기만 하면 되기 때문에 단순한 쥐기, 펴기 동작 외에도 내전, 비틀림, 손 맞닿기 등과 같은 여러 가지 손 동작 운동을 시도할 수 있다.

자기력 기반 손 재활 치료를 기존 뇌졸중 운동 치료와 병행해서 시행했을 때 4주 후 기존 운동 치료만 단독으로 수행했을 때 보다 손의 운동 기능과 일상생활 동작을 더욱 향상시켰다. 본 재활기기가 제공할 수 있는 몇 가지 기전이 손 기능 회복에 기여했을 것으로 생각된다. 먼저 재활기기는 물리치료사의 큰 노력 없이도 추가적으로 일정한 시간 동안 반복적으로 운동 치료를 수행할 수 있다[18]. 집중적이고 반복적인 재활 치료 패턴을 구사할 수 있으며, 이러한 치료 기법은 운동 학습을 효과적으로 환자들에게 제공했을 것이라고 생각된다[9]. 또한 환자는 자신의 손의 근력 수준에 맞추어 자기력을 보조적으로 사용하여 굽힘과 펴 동작을 비롯한 여러 가지 손가락의 능동보조운동을 수행할 수 있다. 감각이 저하된 환자 역시 직접 눈으로 보며 자신의 남은 힘에 따라 움직일 수 있는 수준을 쉽게 파악할 수 있다. 이러한 점은 환자가 치료를 받는데 심리적으로 안정감을 주고 동기부여가 될 수 있어 긍정적인 치료 효과를 보이는데 기여했을 것으로 생각된다[19].

연구 결과 WMFT, MFT, FMA는 자기력 기반 재활 치료를 받은 환자가 대조군 환자에 비해 중재 후 더 많은 향상을 보였지만 K-MBI는 유의한 차이를 보이지 않았다. 이것은 손의 기능을 중점적으로 평가하는 WMFT, MFT와 손의 운동 기능을 평가하는 FMA와 다

르게 K-MBI는 전반적인 일상생활의 독립성을 평가하는 도구이기 때문인 것으로 생각된다. 뇌졸중 후 손의 기능이 많이 회복되더라도 일상생활을 독립적으로 영위하는데 보행, 대소변 조절, 식사하기 등 여러 가지 요인이 영향을 준다[20]. 그러나 K-MBI는 두 군에서 모두 중재 연구 후 유의하게 향상되었으며, 재활기기가 자체가 일상생활의 독립성 증진에 부정적 영향을 끼치지 않는다는 점을 확인하였다. 따라서 뇌졸중 재활 시 환자는 본 기기를 이용한 손 재활 치료 외에도 운동치료, 작업치료를 필수적으로 받아야 하며 본 기기는 손 기능 향상에 보조적으로 도움이 될 수 있을 것이다.

자기력을 이용한 손 재활기기는 초기 형태로 기존 개발된 다른 재활 로봇과 달리 물리치료사를 대신하여 치료하는 기기는 아니다. 그러나 본 기기의 뇌졸중 환자에 대한 치료적 효과는 향후 자동화된 로봇화가 가능해질 경우 물리치료사의 로딩을 줄여주고 더 다양한 치료 옵션을 제공할 수 있을 것으로 생각된다. 현재 기기는 초기 형태로 물리치료사가 직접 중재 치료를 시행하는 것에 비하여 준비하고 수행하는데 더 많은 시간과 노력이 필요하다. 그러나 본 연구 결과는 자기력도 모터와 와이어 등과 같은 기존 기기를 대신할 수 있는 동력으로 사용할 수 있고 향후 충분히 효과적인 치료 기법의 가능성이 있다고 판단된다.

이 연구는 몇 가지 제한점이 있다. 본 연구는 4주간 치료 전후 결과를 이용하여 치료 효과를 분석하였는데, 치료 종결 후에도 그 치료적 효과가 지속되는지에 대한 장기 효과에 대해 조사하지 않았다. 또한 손 재활을 포함한 로봇이나 기기를 이용한 재활 훈련은 물리치료사에 의한 치료 프로토콜도 중요한 역할을 하는데 이 연구의 치료 프로토콜이 자기력 기반 손 재활기기에 최적화된 재활 치료 기법인지 대해 조사하지는 않았다. 그러나 이 연구는 최초의 자기력 기반 재활기기가 앞으로 임상에서 재활 치료 기기로 활용될 수 있는 가능성을 확인하기 위한 목적으로 중간 결과를 보고하는 연구로서 향후 더 큰 규모의 임상 연구를 수행 시 이러한 점을 고려하여 연구가 진행되어야 할 것으로 생각된다.

V. 결 론

본 연구진은 자기력에 기반한 최초의 손 재활기기 프로토타입을 개발하였다. 이 기기는 잡기, 펴기, 손가락 맞닿기, 비틀림 등 여러 가지 손가락 동작을 구현할 수 있으며 부작용 없이 보조적 능동 운동을 환자는 수행할 수 있다. 4 주간 뇌졸중 환자에게 기존 고식적 운동 치료와 병행하여 이 기기를 이용한 손 재활 치료를 적용하였을 때 단독 치료에 비해 더 효과적으로 환자의 손 운동 기능을 회복시켰다. 따라서 앞으로 자기력 기반 손 재활기기는 근 마비가 있는 환자에게 적용하여 손 기능을 회복시키는데 유용하게 사용될 수 있을 것으로 기대된다.

Acknowledgment

이 논문은 2018년도 교육부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업입(No. 2018R1D1A1A02048673).

References

- [1] Langhome P, Coupar F, Pollock A. Motor recovery after stroke: a systematic review. *Lancet Neurol.* 2009;8(8):741-54.
- [2] Pollock A, Farmer SE, Brady MC, et al. Interventions for improving upper limb function after stroke. *Cochrane Database Syst Rev.* 2014;2014(11):Cd010820.
- [3] Yue Z, Zhang X, Wang J. Hand Rehabilitation Robotics on Poststroke Motor Recovery. *Behav Neurol.* 2017; 2017:3908135.
- [4] Godfrey SB, Holley RJ, Lum PS. Clinical effects of using HEXORR (Hand Exoskeleton Rehabilitation Robot) for movement therapy in stroke rehabilitation. *Am J Phys Med Rehabil.* 2013;92(11):947-58.
- [5] Ben-Tzvi P, Ma Z. Sensing and Force-Feedback Exoskeleton (SAFE) Robotic Glove. *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng.* 2015;23(6):992-1002.
- [6] Ma Z, Ben-Tzvi P, Danoff J. Hand Rehabilitation Learning System With an Exoskeleton Robotic Glove. *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng.* 2016;24(12):1323-32.
- [7] Chu CY, Patterson RM. Soft robotic devices for hand rehabilitation and assistance: a narrative review. *J Neuroeng Rehabil.* 2018;15(1):9.
- [8] Radder B, Prange-Lasonder G, Kottink AIR, et al. Feasibility of a wearable soft-robotic glove to support impaired hand function in stroke patients. *J Rehabil Med.* 2018;50(7):598-606.
- [9] Vanoglio F, Bernocchi P, Mulè C, et al. Feasibility and efficacy of a robotic device for hand rehabilitation in hemiplegic stroke patients: a randomized pilot controlled study. *Clin Rehabil.* 2017;31(3):351-60.
- [10] Bernocchi P, Mulè C, Vanoglio F, et al. Home-based hand rehabilitation with a robotic glove in hemiplegic patients after stroke: a pilot feasibility study. *Top Stroke Rehabil.* 2018;25(2):114-9.
- [11] Mehrholz J, Pohl M, Platz T, et al. Electromechanical and robot-assisted arm training for improving activities of daily living, arm function, and arm muscle strength after stroke. *Cochrane Database Syst Rev.* 2018;9(9): Cd006876.
- [12] Colomer C, Noé E, Llorens R. Mirror therapy in chronic stroke survivors with severely impaired upper limb function: a randomized controlled trial. *Eur J Phys Rehabil Med.* 2016;52(3):271-8.
- [13] Hodics TM, Nakatsuka K, Upreti B, et al. Wolf Motor Function Test for characterizing moderate to severe hemiparesis in stroke patients. *Arch Phys Med Rehabil.* 2012;93(11):1963-7.
- [14] Michimata A, Kondo T, Suzukamo Y, et al. The manual function test: norms for 20- to 90-year-olds and effects of age, gender, and hand dominance on dexterity. *Tohoku J Exp Med.* 2008;214(3):257-67.
- [15] Miyamoto S, Kondo T, Suzukamo Y, et al. Reliability and validity of the Manual Function Test in patients

- with stroke. *Am J Phys Med Rehabil.* 2009;88(3):247-55.
- [16] Santisteban L, Térémetz M, Bleton JP, et al. Upper Limb Outcome Measures Used in Stroke Rehabilitation Studies: A Systematic Literature Review. *PLoS One.* 2016;11(5): e0154792.
- [17] Baek IC, Kim MS, Kim SH. A novel nonmechanical finger rehabilitation system based on magnetic force control. *J MAGN.* 2017;22(1):155-61.
- [18] Mehrholz J, Pohl M, Platz T, et al. Electromechanical and robot-assisted arm training for improving activities of daily living, arm function, and arm muscle strength after stroke. *Cochrane Database Syst Rev.* 2015;2015(11): Cd006876.
- [19] Rowe JB, Chan V, Ingemanson ML, et al. Robotic Assistance for Training Finger Movement Using a Hebbian Model: A Randomized Controlled Trial. *Neurorehabil Neural Repair.* 2017;31(8):769-80.
- [20] Jung HY, Park BK, Shin HS, et al. Development of the Korean Version of Modified Barthel Index (K-MBI): Multi-center Study for Subjects with Stroke. *Ann Rehabil Med.* 2007;31(3):283-97.