

상상훈련과 근전도 유발 신경근전기자극의 결합된 치료가 만성 뇌졸중 환자의 상지기능과 일상생활활동에 미치는 영향: 무작위 대조연구

박지수*, 최종배**

*인제대학교 부산백병원 재활의학과 작업치료실

**경희대학교병원 재활의학과 작업치료실

국문초록

목적: 본 연구는 만성 뇌졸중 환자를 대상으로 상상훈련과 근전도 유발 신경근전기자극의 결합된 치료가 마비측 상지 기능과 일상생활활동에 미치는 영향을 알아보고자 하였다.

연구방법: 2012년 8월부터 2013년 2월까지 K의료원에 외래 치료 중인 44명의 만성 뇌졸중 환자를 대상으로 무작위 대조 실험을 하였다. 두 집단은 전통적 재활치료와 함께 실험군은 상상 훈련과 근전도 유발 전기자극의 결합된 치료를, 대조군은 일반적인 전기자극치료를 회당 30분간, 주 5회, 6주간 실시하였다. 상지기능평가로 Fugl-Meyer Assessment (FMA)와 Manual Function Test (MFT)를 사용 하였으며 일상생활활동 평가로 수정바텔지수(Modified Barthel Index: MBI)를 사용하여 중재 전·후 평가를 실시하였다.

결과: 1) 6주간의 중재 후 실험군의 FMA, MFT 점수의 비교 결과 통계학적 유의한 변화를 보였다($p<.01$). 2) 실험군의 MBI 점수의 비교 결과 통계학적 유의한 변화는 없었다. 하지만 개인위생과 옷 입기 항목에서 통계학적 유의한 변화를 보였다($p<.05$). 반면 대조군의 경우 약간의 점수 향상은 있었지만 모든 평가에서 통계학적 유의한 변화는 없었다.

결론: 만성 뇌졸중 환자를 대상으로 상상훈련과 근전도 유발 전기자극의 결합된 치료가 기능적 전기자극치료에 비해 뇌졸중 환자의 마비측 상지기능을 향상 시킨다는 것을 확인하였으며, 손의 움직임과 관련된 일상생활활동 수행능력에도 영향을 미친다는 것을 알 수 있었다.

주제어: 근전도 유발 전기자극, 뇌졸중, 상상훈련, 상지기능

I. 서 론

뇌졸중은 뇌혈관의 문제로 인해 뇌 기능이 손상되어 운동감각장애, 인지장애, 언어장애 등의 다양한 신경학적 증상을 야기하는 질환이다. 뇌졸중 환자의 70~90%는 편마비로 인해 상·하지 운동기능장애가 나타나고 이는 일상생활에 많은 제한을 야기한다(Lee & Jung, 2008). 특히 하지에 비해 상지의 느린 신경학적 회복은 식사하기, 옷 입기, 치장하기 등의 일상생활활동에 많은 제한을 준다

(Gowland et al., 1993). 이러한 운동기능의 문제는 발병 후 3개월 이내의 80~95%까지 빠른 회복이 가능하다고 보고되고 있지만(Nakayama, Jorgensen, Raaschou, & Olsen, 1994) 발병이 1년이 지나 만성으로 접어들수록 상지의 기능적인 회복은 보다 어렵기 때문에 만성 편마비 환자의 상지 회복은 재활치료에 있어 중요한 목표가 된다(Cauraugh, Light, Kim, Thigpen, & Behrman, 2000).

뇌졸중 환자의 상지기능 회복을 위한 치료로 신경근 재교육을 기반으로 한 치료와 뇌 가소성을 기반으로 하는 치

료 등 여러 치료법들이 다양한 형태로 이루어지고 있다 (Seok, Kim, Jang, Lee, & Kim, 2010). 그 예로 강제유도 운동치료(constraint-induced movement therapy), 신경근 전기자극(neuromuscular electrical stimulation; NMES) 치료와 동작관찰(action observation), 상상훈련(imagery training), 거울치료(mirror therapy) 등과 같은 정신적 훈련(mental practice) 등의 방법이 임상에서 많이 사용되고 있다(Mangold, Schuster, Keller, Zimmermann-Schlatter, & Ettlin, 2009; McIntyre et al., 2012).

이 중 NMES 치료는 신경학적 손상 환자의 근 위축 예방, 근력의 증가, 구축 예방 등의 효과로 상지 기능 향상을 위해 적용되며(Chantraine, Baribeault, Uebelhart, & Gremion, 1999), Alan, Alon과 McCarthy(2007)는 마비측 상지의 NMES 치료는 상지의 뻗기와 쥐기 기능을 향상시켜 일상생활활동 향상에 효과적 치료법이라고 하였다. 하지만 일반적인 NMES 치료는 본인의 환측팔을 자발적으로 움직이기 위한 집중과 노력에 관계없이 주기적으로 말초신경을 자극하여 근 수축을 유발시키게 된다. NMES 치료의 또 다른 형태로 근전도 유발 전기자극(electromyogram-triggered neuromuscular electrical stimulation; EMG-NMES) 역시 뇌졸중 환자의 상지 재활치료에 있어 많이 사용되는 방법으로 이는 기존의 NMES 치료처럼 단순 반복자극과는 달리 환자의 동기와 마비측을 스스로 움직이기 위한 능동적 의지를 필요로 한다. 즉 자발적 움직임의 노력으로 발생된 전기적 신호가 근전도에 설정된 역치값을 넘어가게 되면 말초신경에 전기적 자극이 전달되어 근 수축을 유발하는 방법이다(de Kroon & IJzerman, 2008). EMG-NMES 치료는 환자의 마비측 상지의 자발적인 움직임을 유도하는 방법으로 마비측의 능동적인 움직임을 유도함으로써 대뇌피질의 운동영역 자극과 운동학습 등 신경학적 회복에 효과적이라고 알려져 있으며(Shin et al., 2008), Bello, Rockson과 Olaogun(2009)은 EMG-NMES 치료는 마비측 상지의 뻗기와 조작 능력에 효과적이며 상지기능 회복에 중요한 역할을 한다고 보고하였다. 또한 Cauraugh 등(2000) 역시 EMG-NMES 치료가 만성 뇌졸중 환자의 상지기능 특히 손목과 손의 신전 기능에 있어 효과적이라고 하였다.

최근엔 이러한 신체적 활동 및 자극을 통한 상지 기능의 치료뿐만 아니라 정신적 훈련(mental practice)을 이용한 치료와 연구들이 이루어지고 있다(Choi et al., 2008). 정

신적 훈련은 일명 정신적 심상(mental imagery) 또는 상상훈련(imagery training) 이라고도 불리며 실질적인 신체의 움직임 없이 수행기억을 통해 머릿속으로 신체의 움직임을 상상하는 인지적 연습과정으로 정의 된다(Braun, Beurskens, Borm, Schack, & Wade, 2006; Saito et al., 2013). 이 방법은 뇌졸중 환자의 운동기능 회복을 위한 신경재활(neurorehabilitation) 접근법으로 뇌 가소성(neuroplasticity) 이론에 근거한다(Braun et al., 2006). 상상훈련의 효과는 크게 신체적 향상과 뇌의 운동관련 영역의 변화를 야기하며 Deutsch와 Newell(2004)은 상상훈련이 뇌졸중 환자의 운동회복에 있어 상지기능의 향상은 물론 근력 향상까지 가능하다고 하였다. 또한 상상훈련 동안 뇌 영상 연구 결과 실질적인 신체적 활동을 할 때와 유사하게 대뇌피질의 동일 영역에서 활성화가 일어나게 되며(Malouin, Richards, Desrosiers, & Doyon, 2004) 피질척수로(corticospinal tract) 역시 활성화 되는데 이는 대뇌피질의 가소성(cortical plasticity)을 암시하는 것이라고 하였다(Saito et al., 2013). 경두개 자기자극을 이용한 선행연구를 살펴보면 상상훈련 동안 운동관련 영역 중 특히 일차운동영역(primary motor area)에서 많은 활성화가 일어난다고 보고 하였다(Choi et al., 2008). 또 다른 선행 연구에 의하면 상상훈련을 하는 동안 일차운동영역, 운동보조영역(supplementary motor cortex) 그리고 전운동영역(premotor cortex)과 같은 운동담당 영역 뿐만 아니라 두정엽, 기저핵 그리고 소뇌와 같이 움직임과 관련 있는 주변 영역에서도 활성화가 일어난다고 하였다(Guillot et al., 2009; Hanakawa, Dimyan, & Hallett, 2008; Lacourse, Orr, Cramer, & Cohen, 2005). 그러나 이와 같은 방법은 대뇌피질의 운동관련 영역과 피질척수의 활성화로 중추신경계의 신경학적 변화는 나타내지만 NMES 치료처럼 말초신경으로부터 들어오는 실질적인 감각자극(전기적 자극)이 존재 하지 않는다. 또한 이는 손상된 상지의 근 수축을 일으키지 않기 때문에 기능적인 움직임을 유도하지 못하는 단점을 가지고 있다(Saito et al., 2013).

이러한 문제를 해결하기 위해 최근 Hong, Choi와 Lee(2012)는 상상훈련과 근전도 유발 전기자극의 결합된 치료(mental imagery training combined with electromyography-triggered neuromuscular electric stimulation; MIT EMG-NMES)를 보고 하였다. MIT

EMG-NMES란 상상훈련과 근전도 유발 전기자극치료를 결합한 방법으로 신경근 재교육과 뇌 가소성 원리를 기반으로 한 치료로 마비측 상지의 실질적인 움직임 없이 움직임 상상만을 통해 유발된 미세 전기적 신호를 감지하여 말초신경에 전기자극을 가하는 방법이다. 이 방법은 기존의 수의적인 근 수축을 유발하여 운동단위 활동전위(motor unit action potential)를 통해 근전도 신호를 유발하는 기존의 EMG-NMES를 기본으로 하고 있지만 MIT EMG-NMES의 경우 오직 움직임의 상상만을 통해 근전도 신호를 유발하기에 보다 많은 집중과 정신적 활동이 필요하다. 최근 Hong 등(2012)은 MIT EMG-NMES 치료 효과를 보고 하였으며 그 결과 MIT EMG-NMES 치료가 일반적 NMES 치료에 비해 마비측 상지 기능 향상과 대뇌피질의 운동영역 활성화 및 재조직화에 효과적이라고 하였다.

하지만 Hong 등(2012)의 선행 연구의 경우 실험에 참가한 환자 수가 극히 제한적인 예비연구이며 상지의 기능 회복 평가와 일상생활활동 평가에서 총점만을 제시하여 어떠한 항목의 향상이 있었는지 확인 할 수 없다. 따라서 본 연구는 최근 새롭게 보고된 MIT EMG-NMES 치료의 이론적 배경과 적용방법을 소개하고 본 치료가 임상적으로 자연적인 신체적 회복이 거의 보이지 않는 만성 뇌졸중 환자를 대상으로 마비측 상지의 기능적 변화와 일상생활 활동 변화를 알아보고자 하였다. 본 연구는 일반적인 NMES 치료를 중재 받은 환자군보다 MIT EMG-NMES 치료를 중재 받은 환자군에서 마비측 상지의 움직임 회복에 있어 더 효과적일 것이라는 첫 번째 가설과 일상생활 활동 역시 긍정적인 영향을 미칠 것이라는 두 번째 가설을 세우며 기존의 NMES 치료와 비교하고자 하였다.

II. 연구 방법

1. 연구 대상

본 연구는 2012년 6월부터 2013년 3월까지 서울 소재의 K의료원 외래환자 중 발병이 1년이 지난 만성 뇌졸중 환자를 대상으로 하였다. 연구의 시행에 있어 자발적 대상자를 모집하여 본 연구의 목적과 내용을 이해하고 적극적인 참여 의사를 보인 환자를 대상으로 하였다. 총 50명 중 본 연구에 적합하지 않은 3명의 환자를 제외하고 47명의

환자를 내원 순서에 따라 컴퓨터를 이용한 난수표를 사용하여 무작위로 두 군으로 나누어 전향적 연구를 수행 하였다. 각 군은 어떠한 중재를 받게 되는지 알려주고 서면 동의를 받았으며 실험의 모든 절차는 생명윤리 심의위원회의 승인을 받았다. 환자의 선정 기준과 제외 기준은 본 연구가 기반으로 하는 Hong 등(2012)의 연구를 근거 하였으며 다음과 같다.

선정 기준

- 1) 뇌졸중(뇌경색과 뇌출혈) 발병이 1년을 경과한 자
- 2) 능동적 손목 신전이 가능한 자
- 3) 환측 상지의 경직이 Modified Ashworth Scales (MAS)로 2등급 이하인 자
- 4) MMSE-K 24점 이상으로 의사소통에 문제가 없는 자
- 5) 운동장면 상상 검사에서 평균 2.26 이하인 자

제외 기준

- 1) 인공심박동기를 부착한 자
- 2) 마비측 상지의 Medical Research Council (MRC) 등급이 0인자
- 3) 마비측 상지의 심한 통증을 가진 자(VAS 점수가 5점 이상인자)
- 4) 전극 부착부위에 피부병변이 있는 자

본 연구에 참여한 대상자 44명의 일반적 특성은 다음과 같다(Table 1).

모든 대상자들의 상지 기능 향상을 알아보기 위해 Fugl-Meyer Assessment (FMA)와 Manual Function Test (MFT) 그리고 수정바텔지수(Modified Barthel Index; MBI)를 실시하였다. 중재 전 MIT EMG-NMES 치료군과 일반적 NMES 치료군의 상지 기능과 일상생활활동을 비교한 결과 통계학적 유의한 차이는 없었다($p>.05$) (Table 2).

2. 연구 방법 및 과정

1) 연구 방법

실험의 모든 평가와 절차는 1인의 재활의학과 의사와 2인의 작업치료사에 의해 진행되었다. 본 실험에 앞서 마비측 팔의 상상 동안 발생하는 근전도 신호(EMG-signal) 정도를 관찰하기 위해 수지신근(extensor digitorum)에

Table 1. General Characteristics of Subjects

(N=44)

		MIT EMG-NMES group		General NMES group	
		<i>n</i>	%	<i>n</i>	%
Gender	Male	10	45.5	13	59.1
	Female	12	54.5	9	40.9
Age (year)	20	3	13.6	2	9.1
	30	2	9.1	1	4.5
	40	4	18.3	2	9.1
	50	5	22.7	7	31.9
	60	5	22.7	6	27.3
	70	2	9.1	3	13.6
	80	1	4.5	0	0.0
	90	0	0.0	1	4.5
Onset (month)	13~18	9	40.9	8	36.4
	19~24	6	27.3	8	36.4
	25~36	7	31.8	6	27.2
Stroke type	Hemorrhage	11	50.0	13	59.1
	Infarction	11	50.0	9	40.9
Paretic side	Right	10	45.5	11	50.0
	Left	12	54.5	11	50.0
Total		22	100.0	22	100.0

침 근전도를 사용하여 확인하였다. 그 결과 손목의 단순한 신전과 같은 간단한 움직임은 상상 했을 경우 근전도에서 증폭된 파형을 관찰 할 수 없었지만 마비측 상지 전체의 빠르고 격렬한 움직임을 상상 했을 경우 50 μ V 이하에서 작은 파형을 관찰 할 수 있었으며 즉 마비측 상지의 실제적인 근 수축이 아닌 움직임 상상만을 통해서도 근전도 신호가 발생한다는 것을 확인할 수 있었다.

실험에 참가한 만성 뇌졸중 환자 44명을 무작위 배정하여 실험군과 대조군으로 나누어 진행 하였다. 두 그룹은 하루 30분씩, 주 5회, 6주간 전통적 재활치료(작업치료, 물리치료)를 받았으며 추가적으로 실험군은 MIT EMG-NMES, 대조군은 일반적 NMES 치료를 중재 받았다. 모든 평가는 경력 5년 이상 1인의 작업치료사에 의해 평가 되었다. 상지 기능회복 정도를 평가하기 위한 첫 번째 주요 평가로 FMA와 MFT를 이용하였으며 두 번째 평가로

일상생활활동의 변화정도를 평가하기 위해 MBI를 사용하였다. 전반적인 연구과정은 다음과 같다(Figure 1).

2) 연구 절차

(1) MIT EMG-NMES 치료

실험은 작업치료실 내 위치한 일대일 치료실에서 단독으로 진행 하였으며 주변 환경의 영향을 받지 않도록 외부 환경을 최소화 하였다. 환자는 의자에 편안하게 앉아 책상에 양팔을 올려놓고 시작 전 5분간 휴식을 가지며 심박동 그리고 호흡의 안정 상태를 유지하기 위해 명상을 하였다. MIT EMG-NMES는 Mentamove (Mentamove, Munich, Deutschland)를 사용 하였으며 시작 전 패드 부착 부위를 알코올 솜으로 닦은 후 1인의 작업치료사에 의해 손목 신전근에 부착 하였다. 50 μ V를 기준으로 환자마다 발생하는 전기적 신호에 따라 근전도 역치 값을 각각 적용 하였으며

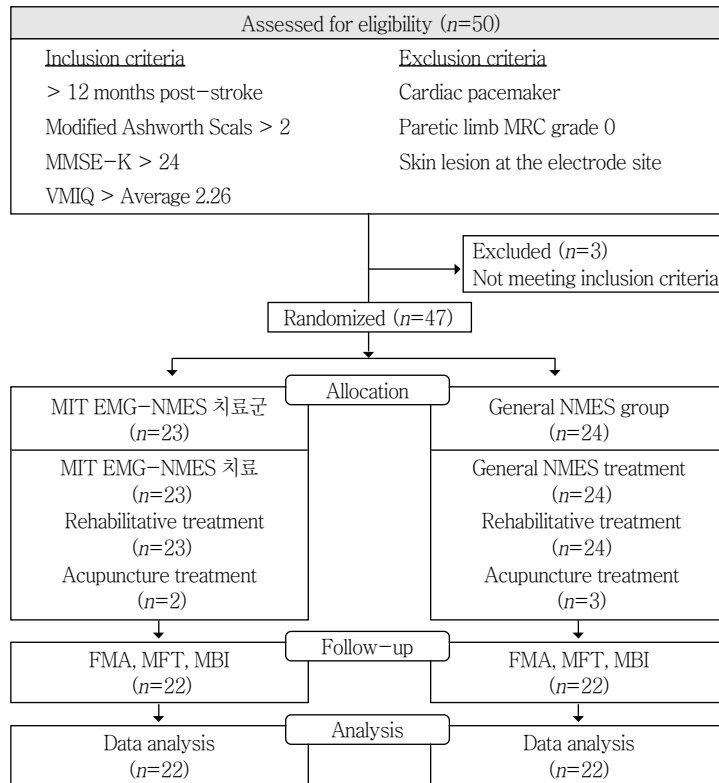


Figure 1. Flow diagram

실험 진행중 상상을 통해 발생된 미세전류가 설정한 근전도 보다 너무 쉽게 도달하는 경우 마비측 상지의 움직임 상상을 최대한 이끌어 내기 위해 근전도 역치 값을 재설정하여 진행하였다. 자극의 강도는 손목의 충분한 신전이 일어날 수 있도록 설정하였으며 선행연구를 근거하여 일반적으로 15~30mA 사이에서 적용하였다(Han, Lim, Kim, & Lee, 2002; Kim, Yun, Jung, & Jung, 2008).

MIT EMG-NMES 치료의 절차는 정신적 휴식 단계, 정신적 활성화 단계, 말초신경 자극단계로 크게 세 단계로 이루어지며 순서는 다음과 같다.

- 1) 기계 본체의 휴식 단계에 불이 들어오면 약 12초간 움직임의 상상 없이 편안한 상태를 유지한다.
- 2) 그 후 정신적 활성화 단계로 바뀌게 되면 머릿속으로 마비측 상지의 크고 격렬한 움직임 상상을 한다 (Figure 2).
- 3) 움직임 상상을 통해 발생된 미세전류가 근전도에 설정한 역치 값을 넘을 경우 약 6초간 말초신경에 전기적 자극이 가해져 실질적인 근 수축이 유발된다(Figure

3). 하지만 상상을 통해 발생된 미세 전류가 설정한 역치 값 보다 낮을 경우 전기자극 없이 다시 휴식단계로 돌아가며 이와 같은 과정을 30분간 반복하였으며 이때 지시사항은 다음과 같다. “지금부터 마비측 팔의 움직임을 머릿속으로 상상하세요. 이때 마비측 팔의 일부분이 아닌 어깨와 손 전체가 빠르고 격렬한 움직임을 상상해야 합니다.”

(2) 일반적 NMES 치료

신경근 전기자극치료는 임상에서 흔히 사용하는 Microstim (Microstim, Berlin, Deutschland)을 사용하여 MIT EMG-NMES 치료군과 동일한 환경에서 진행하였으며 1인의 물리치료사에 의해 동일한 손목 신전근에 부착하였다. 이상성파(biphasic wave)를 이용하여 자극 빈도는 35Hz, 펄스 폭(pulse width)은 200μV를 12초간 적용하였으며 자극의 강도 역시 동일하게 15~30mA 사이로 설정하였다.



Figure 2. Motor imagery stage



Figure 3. Electrical stimulation stage

(3) 전통적 재활치료

모든 환자는 일반적인 작업치료와 물리치료를 하루 30분씩 치료받았다. 작업치료는 마비측 상지의 근력훈련, 일상생활활동 훈련, 미세 조작 훈련 등을 주로 시행하였으며 물리치료는 관절가동범위 운동, 마비측 상지의 근력훈련, 자세 조절 훈련 등을 시행하였다.

3. 연구 도구

1) 상상 훈련과 근전도 유발 전기자극 치료의 결합도구 (MIT EMG-NMES device)

본 실험은 MIT EMG-NMES 치료도구인 Mentamove를 사용하였다. 본 도구는 상상훈련과 함께 말초신경에 전기적 자극을 적용하는 방법으로 기존의 상상훈련과 근전도 유발 전기적 자극치료를 보완하여 결합 시킨 도구이다 (Hong et al., 2012). 상상훈련 동안 마비측 상지의 격렬한 움직임을 머릿속으로 상상했을 때 미세한 전기적 신호가 발생하게 되며 도구에 장착된 근전도가 이를 감지하게 된다. 발생된 전기적 신호가 도구에 설정한 역치값을 넘게 되면 말초신경에 전기적 자극을 가하는 방법으로 이는 도구에 장착된 근전도 기능이 $2\mu V$ 이내의 미세 전기적 신호까지 감지가 가능하기 때문이다. 본 도구는 휴대가 용이하고 쉽게 조작이 가능하여 시설이 아닌 외부에서도 사용 가능한 장점이 있으며 본체 전면에 LCD panel을 통해 현재 발생하고 있는 전기적 신호의 수준을 즉각적으로 확인 가

능하여 시각적 피드백이 가능하다. MIT EMG-NMES의 원리는 다음과 같다(Figure 4).

2) Fugl-Meyer Assessment (FMA)

FMA는 뇌졸중 환자의 운동기능을 평가하기 위해 1975년 Fugl-Meyer에 의해 고안된 평가도구이다 (Fugl-Meyer, Jaasko, Leyman, Olsson, & Steglind, 1975). 상지 검사는 총 33항목으로 이루어져 있으며 어깨, 팔꿈치, 아래팔에서 18항목 그리고 손목 5항목, 손과 손가락에서 7항목, 협응능력 3항목으로 구성 된다. 수행정도에 따라 항목 별 0~2점을 부여하며 0점은 수행 불가, 1점은 부분적 수행, 2점은 완전한 수행으로 상지기능 점수는 66점으로 이루어져 있다. FMA 상지검사의 평가자간 신뢰도와 평가자 내 신뢰도는 $r=.97$ 로 매우 높은 신뢰도를 가진다 (Sanford, Moreland, Swanson, Stratford, & Gowland, 1993). 대상자의 운동기능의 평가하기 위해 FMA 중 상지 부분만 이용하여 마비측 상지의 중재 전과 후를 평가하였다.

3) Manual Function Test (MFT)

MFT는 뇌졸중 환자의 상지기능을 평가하기 위해 일본의 동북대학에서 개발한 평가도구로 국내엔 김미영 (1994)에 의해 한글로 번역 되었다. 본 평가는 상지운동 4항목, 파악 2항목, 손가락 조작 2항목으로 구성되어 있으며 상지의 대동작에서 소동작까지 평가 할 수 있는 도구로

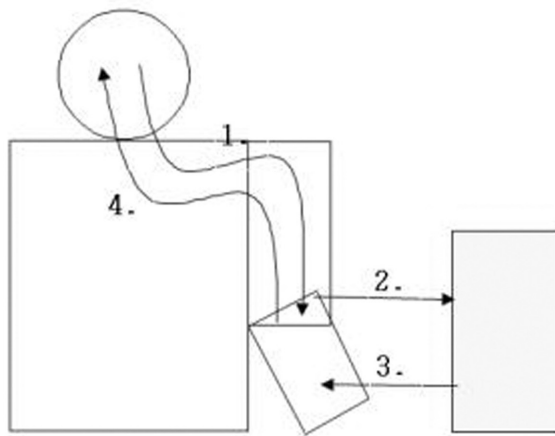


Figure 4. Principle of MIT EMG-NMES

1. During motor imagery, Action potentials from the brain reach axon terminal on arm, and a change of end-plate potential (EPP), non-propagating reversals of the EPP, occurs.
2. The instrument pick up these EPP on the arm.
3. When the potentials reach a preset threshold, automatic electrical stimulation was triggered.
4. The cortical activation occurs by somatosensory and visual feedback.

본 평가의 평가자간, 평가자내 신뢰도 모두 $r=.95$ 로 높은 수준의 신뢰도를 가진다(Miyamoto, Kondo, Suzukamo, Michimata, & Izumi, 2009).

4) 수정바델지수(Modified Barthel Index; MBI)

MBI는 일상생활활동의 수행능력을 평가하는 도구로 Mahoney와 Barthel(1965)에 의해 개발 되었다. 직접적인 관찰과 면담을 통해 평가하게 되며 개인위생, 목욕하기, 식사하기, 용변처리, 계단오르기, 옷 입기, 대변조절, 소변조절, 보행/의자차, 의자/침대 이동 10가지 영역으로 구성 된다. 본 평가 점수는 0점에서 100점 까지 이루어져 있으며 일상생활활동의 독립성 여부에 따라 점수가 부여 된다. 일상생활활동에 있어 타인에게 완전한 의존은 0점, 완전한 일상생활의 독립 시 100점으로 평가 되며 본 도구의 평가자간 신뢰도는 $r=.95$ 이며 평가자 내 신뢰도는 $r=.89$ 이다(Granger, Albrecht, & Hamilton, 1979).

5) 운동장면 상상 검사(Vividness of Movement Imagery Questionnaire; VMIQ)

대상자가 본 실험에 필요한 운동장면의 상상이 가능한지 여부를 알아보기 위해 VMIQ를 실시하였다. 이 검사는 동작 상상 능력을 알아보는 도구로 총 24항목으로 이루어져 있으며 검사-재검사 신뢰도는 .76이다. Isaac과 Marks(1994)의 선행 연구를 기반으로 하여 정상성인의

평균 2.26을 기준으로 그 이하의 점수 즉, 상상능력에 있어 문제가 없는 사람을 대상으로 하였다.

4. 분석 방법

수집된 자료의 분석은 SPSS Version 18.0 통계처리 프로그램을 이용하였다. 참가자의 일반적 특성을 분석하기 위해 기술 통계를 사용하였다. 중재 전·후의 MIT EMG-NMES 치료군과 일반적 NMES 치료군의 상지 기능과 일상생활활동을 비교하기 위해 독립표본 t 검정(independent t -test)을 사용하였다. 또한 중재 전·후의 상지 기능과 일상생활활동의 변화는 대응표본 t 검정(paired samples t -test)을 실시하였다.

III. 연구 결과

1. 중재 전 MIT EMG-NMES 치료군과 일반적 NMES 치료군의 상지기능 및 일상생활활동의 비교

중재 전 MIT EMG-NMES 치료군과 일반적 NMES 치료군의 상지기능 및 일상생활활동의 비교 결과 통계학적으로 유의한 차이가 없었다(Table 2).

Table 2. Comparison of ADL and Upper Limbs Function of MIT EMG–NMES Group and General NMES Before Intervention

		MIT EMG–NMES group	General NMES group	<i>t</i>	<i>p</i>
		<i>M</i> ± <i>SD</i>	<i>M</i> ± <i>SD</i>		
FMA	Shoulder	19.91 ± 8.62	22.41 ± 9.26	.92	.35
	Wrist	3.27 ± 3.02	4.14 ± 2.85	.97	.33
	Fingers	1.91 ± 2.44	1.91 ± 2.24	.00	1.00
	U/E coordination	1.36 ± 1.39	1.59 ± 1.26	.56	.57
	Total	26.59 ± 13.28	30.05 ± 14.39	.82	.41
MFT	Shoulder flexion	2.86 ± 1.16	3.23 ± 1.19	1.02	.31
	Extension	1.95 ± 1.13	2.59 ± 1.29	1.73	.09
	External rotation	2.27 ± 1.07	2.86 ± 1.24	1.68	.10
	Internal rotation	2.23 ± 1.19	2.82 ± 1.22	1.62	.11
	Grasp	1.32 ± 1.46	1.59 ± 1.33	.64	.52
	Pinch	0.41 ± 0.73	0.59 ± 0.73	.82	.41
	Cube carry	0.18 ± 0.39	0.27 ± 0.55	.62	.53
	Pegboard	0.00 ± 0.00	0.09 ± 0.29	1.44	.16
	Total	11.23 ± 6.14	14.05 ± 6.83	1.43	.15
MBI	Total	69.68 ± 20.98	74.55 ± 20.92	.77	.44

Table 3. Comparison of ADL and Upper Limbs Function of MIT EMG–NMES Group and General NMES Group After Intervention

		MIT EMG–NMES group	General NMES group	<i>t</i>	<i>p</i>
		<i>M</i> ± <i>SD</i>	<i>M</i> ± <i>SD</i>		
FMA	Shoulder	20.32 ± 8.52	22.64 ± 9.69	.84	.40
	Wrist	3.95 ± 3.15	4.27 ± 3.01	.34	.73
	Fingers	2.05 ± 2.55	2.00 ± 2.18	−.06	.95
	U/E coordination	1.45 ± 1.47	1.68 ± 1.32	.53	.59
	Total	27.91 ± 13.46	30.55 ± 14.99	.61	.54
MFT	Shoulder flexion	2.95 ± 1.17	3.32 ± 1.08	1.06	.29
	Extension	2.00 ± 1.15	2.73 ± 1.31	1.94	.05
	External rotation	2.32 ± 1.04	2.91 ± 1.26	1.68	.09
	Internal rotation	2.32 ± 1.12	2.82 ± 1.36	1.32	.19
	Grasp	1.91 ± 1.37	1.64 ± 1.36	−.66	.51
	Pinch	0.77 ± 0.92	0.64 ± 0.79	−.52	.60
	Cube carry	0.41 ± 0.66	0.36 ± 0.65	−.22	.82
	Pegboard	0.00 ± 0.00	0.18 ± 0.39	2.16	.04*
	Total	12.68 ± 6.32	14.59 ± 7.20	.93	.35
MBI	Total	69.95 ± 21.19	74.91 ± 20.86	.78	.43

**p*<.05

2. 중재 후 MIT EMG-NMES 치료군과 일반적 NMES 치료군의 상지기능 및 일상생활활동의 비교

중재 후 MIT EMG-NMES 치료군과 일반적 NMES 치료군의 상지기능은 MFT 페그보드 꼽기 항목에서 0.00 ± 0.00 과 0.18 ± 0.39 로 유의한 차이를 보였다($p < .05$). 일상생활활동을 비교해 본 결과 통계학적으로 유의한 차이가 없었다(Table 3).

3. MIT EMG-NMES 치료군의 중재 전과 후의 상지기능 및 일상생활활동의 변화

MIT EMG-NMES 치료에 의한 중재 전·후의 상지기능의 변화는 FMA의 총점이 26.59 ± 13.28 에서 $27.91 \pm$

13.46 로, MFT의 총점이 11.23 ± 6.14 에서 12.68 ± 6.32 로 향상됨으로써 상지 기능의 유의한 향상을 보였다($p < .05$). 특히 FMA의 손목과 손가락 항목, MFT의 쥐기, 집기, 입방체 운반 항목에서 유의한 차이를 보였다($p < .01$). 일상생활활동 평가 MBI에서는 69.68 ± 20.98 에서 69.95 ± 21.19 으로 유의한 차이는 없었으나 개인위생과 옷 입기의 세부항목에서 유의한 향상을 보였다($p < .05$) (Table 4).

4. 일반적 NMES 치료군의 중재 전·후의 상지기능 및 일상생활활동의 변화

일반적 NMES 치료군의 중재 전·후의 상지기능 및 일상생활활동 변화의 유의한 차이는 없었다(Table 5).

Table 4. Changes of ADL and Upper Limbs Functions in MIT EMG-NMES Group Before/After Intervention

	Items	Pre-test		Post-test		<i>t</i>	<i>p</i>
		<i>M</i> ± <i>SD</i>		<i>M</i> ± <i>SD</i>			
FMA	Shoulder	9.91 ± 8.62		20.18 ± 8.46		−1.54	.13
	Wrist	3.27 ± 3.02		4.05 ± 3.30		−2.94	.00**
	Fingers	1.91 ± 2.44		2.09 ± 2.58		−2.16	.04*
	U/E coordination	1.36 ± 1.39		1.45 ± 1.47		−1.44	.16
	Total	26.59 ± 13.28		27.91 ± 13.46		−2.94	.00**
MFT	Shoulder flexion	2.86 ± 1.16		2.95 ± 1.17		−1.00	.32
	Extension	1.95 ± 1.13		2.00 ± 1.15		−.56	.57
	External rotation	2.27 ± 1.07		2.32 ± 1.04		−1.00	.32
	Internal rotation	2.23 ± 1.19		2.32 ± 1.12		−1.44	.16
	Grasp	1.32 ± 1.46		1.91 ± 1.37		−2.52	.02*
	Pinch	0.41 ± 0.73		0.77 ± 0.92		−2.93	.00**
	Cube carry	0.18 ± 0.39		0.41 ± 0.66		−2.48	.02*
	Pegboard	0.00 ± 0.00		0.00 ± 0.00		—	—
	Total	11.23 ± 6.14		12.68 ± 6.32		−3.04	.00**
MBI	Personal hygiene	3.86 ± 1.37		4.00 ± 1.38		−2.21	.03*
	Dressing	6.41 ± 3.06		6.84 ± 2.90		−2.09	.04*
	Total	69.68 ± 20.98		69.95 ± 21.19		−2.02	.05

* $p < .05$, ** $p < .01$

Table 5. Changes of ADL and Upper Limbs Functions in General NMES Group Before/After Intervention

	Items	Pre-test	Post-test	<i>t</i>	<i>p</i>
		<i>M</i> ± <i>SD</i>	<i>M</i> ± <i>SD</i>		
FMA	Shoulder	22.41 ± 9.26	22.64 ± 9.69	-.77	.44
	Wrist	4.14 ± 2.85	4.27 ± 3.01	-1.82	.08
	Fingers	1.91 ± 2.24	2.00 ± 2.18	-1.44	.16
	U/E coordination	1.59 ± 1.26	1.68 ± 1.32	-1.44	.16
	Total	30.05 ± 14.39	30.55 ± 14.99	-1.41	.17
MFT	Shoulder flexion	3.23 ± 1.19	3.32 ± 1.08	-.62	.54
	Extension	2.59 ± 1.29	2.73 ± 1.31	-1.82	.08
	External rotation	2.86 ± 1.24	2.91 ± 1.26	-1.00	.32
	Internal rotation	2.82 ± 1.22	2.82 ± 1.36	.00	1.00
	Grasp	1.59 ± 1.33	1.64 ± 1.36	-.56	.57
	Pinch	0.59 ± 0.73	0.64 ± 0.79	-1.00	.32
	Cube carry	0.27 ± 0.55	0.36 ± 0.65	-1.44	.16
	Pegboard	0.09 ± 0.29	0.18 ± 0.39	-1.44	.16
	Total	14.05 ± 6.83	14.59 ± 7.20	-1.86	.07
MBI	Total	74.55 ± 20.92	74.91 ± 20.86	-2.01	.05

p*<.05, *p*<.01

IV. 고 찰

뇌졸중 후 운동기능의 회복은 하지에 비해 상지기능의 회복이 느린 것으로 알려져 있으며 특히 손가락의 신전 기능은 가장 늦게 회복되는 부분 중 하나이다(Trombly & Quintana, 1983). 상지운동 기능은 독립적인 일상생활에 영향을 미치는 부분으로 식사하기, 개인위생, 옷 입기 등의 기본적 일상생활활동에 중요한 요소이다(You, Lee, Jeon, & Kim, 2011). 따라서 재활치료에 있어 상지기능의 회복은 중요한 목표 중 하나로 이를 위해 임상에서 많은 치료적 방법과 접근법들이 시도되고 있으며 그 중 본 연구는 최근에 새롭게 제시된 MIT EMG-NMES 를 사용하여 뇌졸중 환자의 상지기능의 회복과 일상생활활동 향상에 미치는 영향을 알아보고자 하였다.

MIT EMG-NMES 치료는 기존에 보고된 상상훈련과 신경근 전기자극치료를 기반으로 뇌 가소성 이론에 근거를 두고 있다. 이 방법은 운동기능 향상은 물론 손상된 뇌의 변화를 목적으로 한다(Guillot, Tolleran, & Collet,

2010; Sun et al., 2013). 이와 관련된 선행연구를 살펴보면 Ietswaart 등(2011)은 뇌졸중 환자를 대상으로 4주간 상상훈련의 적용했을 때 마비측 상지의 기능적인 움직임 회복과 일상생활활동 향상을 보고 하였으며 Butler와 Page (2006)는 상상훈련을 시행하는 동안 대뇌피질의 운동관련 영역 활성화를 보고 하였다. 이처럼 상상훈련을 통해 유발된 뇌의 활성화는 신경 재조직화(re-organization)에 영향을 미치며 이는 손상된 중추신경계의 변화를 의미하는 것으로(Bulter & Page, 2006; Weiss et al., 1994) Yoo와 Jung(2001)은 상상훈련이 뇌졸중 환자의 운동수행능력 향상에 영향을 줄 수 있는 재활치료 방법 중 하나라고 하였다.

NMES는 신경근 재교육 통해 기능적인 움직임을 회복시키기 위한 목적으로 사용 되며 뇌졸중 환자의 마비측 근 수축을 통한 운동 기능회복에 효과적이라는 방법으로 알려져 있다(Mangold et al., 2009). 특히 본 도구와 같은 원리인 EMG-NMES 치료는 환자의 자발적인 노력과 동기를 부여하여 환자 스스로가 치료에 참여하는 적극적인 치

료법으로 일반적 NMES치료 보다 효과적이라고 알려져 있으며(Armagan, Tascioglu, & Oner, 2003; Bolton, Cauraugh, & Hausenblas, 2004), Nudo, Wise, SiFuentes와 Milliken(1996)은 마비측 상지의 신경학적 회복을 위한 가장 중요한 요소는 환자의 자발적인 동기와 구심성 자극을 위한 반복적 활동이라고 하였다.

하지만 상상훈련과 NMES 치료는 뇌졸중 환자의 상지 기능 회복에 효과적이라는 보고와 함께 제한점 역시 보고되고 있다(Lord & Hall, 1986; Saito et al., 2013). Hong 등(2012)은 이러한 기존 치료법에 대한 효율성 문제를 지적하며 MIT EMG-NMES 치료를 보고 하였으며 그 결과 마비측 상지의 운동회복과 함께 대뇌피질의 운동보완영역, 중심전회(precentral gyrus), 중심후회(postcentral gyrus)에서 많은 활성화가 일어난다고 하였다.

본 연구는 이러한 Hong 등(2012)의 예비연구를 바탕으로 MIT EMG-NMES 치료를 6주 동안 주 5회, 하루에 30분씩 손목 신전근에 MIT EMG-NMES 치료를 시행하였다. 실험 전-후 상지의 기능적 변화를 알아보기 위해 FMA와 MFT를 이용하여 그 변화를 평가 하였으며 일상생활활동 변화 여부를 평가하기 위해 MBI를 이용하여 두 군간 점수를 비교 하였다. 또한 상지기능 변화의 민감한 평가를 위해 FMA, MFT, MBI 평가는 총점과 함께 항목별로 비교 하였다.

본 연구의 결과에서 MIT EMG-NMES 치료군에서 마비측 상지의 FMA와 MFT에서 유의한 수준의 향상을 보였다. 특히 FMA의 경우 손가락과 손목 움직임 항목 그리고 MFT는 쥐기, 집기, 입방체 운반 항목에서 유의한 수준의 향상을 보였다. 이러한 결과는 상상훈련을 통한 대뇌의 운동 관련 영역의 활성화(Hong et al., 2012), 운동영역과 체성감각영역의 재조직화(Wu, van Gelderen, Hanakawa, Yaseen, & Cohen, 2005), 그리고 전기자극의 직접적인 적용 부위가 손목과 손가락 신전근이었기 때문이며(Inmann & Haugland, 2012), 이러한 선행연구들의 보고는 본 연구 결과를 지지하는 부분이라 할 수 있다. 또한 MIT EMG-NMES 치료는 환자의 자발적인 참여와 함께 근전도 생체 피드백의 장점이 제공되기에 상상훈련의 효과와 함께 구심성으로 전달되는 근전도 생체 피드백의 신호를 이용한 NMES 치료의 복합작용으로도 설명된다. 본 실험은 MIT EMG-NMES 치료의 상상단계에서 환자의 마비측 상지의 크고 격렬한 움직임을 상상하도록 지시 하였다. 마비측

상지의 움직임을 상상 하는 동안 손의 근육에서 역동적 조절과 변화를 나타내는 것으로 알려져 있으며(Hashimoto & Rothwell, 1999; Kasai, Kawai, Kawanishi, & Yahagi, 1997), 단순 움직임 보다 복잡하고 격렬한 움직임을 상상했을 때 운동유발전위(motor evoked potential)가 증가되고 뇌척수로의 흥분성을 증가 시킨다고 하였다(Abbuzzese, Trompetto, & Schieppati, 1996; Brighina, La Bua, Oliveri, Piazza, & Fierro, 2000; Kuhtz-Buschbeck et al., 2003). 본 연구 역시 근전도상에서 마비측 상지의 크고 격렬한 움직임 상상을 했을 때 뇌에서 마비측 상지로 전달되는 미세전류의 증가를 확인 할 수 있었다. 일반적 NMES 치료군의 경우 상지기능 평가에서 약간의 점수 향상은 보였지만 유의한 수준의 향상은 보이지 않았다. 반면 Powell, Pandyan, Granat, Cameron과 Stott(1999)는 뇌졸중 환자를 대상으로 일반적 NMES 치료를 시행 이후 손목 신전근의 근력과 움직임의 유의한 수준의 향상을 보고 하였다. 이는 본 연구와는 다른 결과지만 환자의 연령, 초기 기능적 움직임 정도와 뇌졸중 발병 부위, 발병일에 따라 회복정도의 차이가 있을 것으로 생각되며 본 연구는 발병이 1년이 지난 만성 뇌졸중 환자였으며 예전부터 시행받고 있던 일반적 NMES 치료로 마비측 상지의 움직임 변화를 이끌어 내기에는 어려움이 있었다.

Park(2004)은 FMA와 MFT에서 마비측 상지의 양적 움직임의 향상이 있더라도 이러한 움직임이 일상생활활동까지 이어지지 않는다면 이것은 마비측 상지의 단순 움직임의 증가로 실질적인 상지기능의 향상이라고 볼 수 없다고 하였다. 이에 본 연구는 MBI를 이용하여 일상생활활동의 변화를 평가 하였으며 그 결과 두 군 모두 일상생활활동의 통계학적 유의한 향상은 보이지 않았다. 하지만 세부 항목별 변화에 있어 MIT EMG-NMES 치료군의 경우 개인위생과 옷 입기 항목에서 통계학적 유의한 향상을 확인할 수 있었다. 개인위생과 옷 입기 활동은 일상생활활동 중 양쪽 상지를 모두 사용하는 활동으로 MIT EMG-NMES 치료군에서 중재 후 재평가에서 마비측 상지의 기능적 향상으로 인해 수행의 활동 시간이 단축되거나 타인의 도움의 양이 줄어들어 좀 더 독립적인 수행이 가능해진 결과로 생각된다. 그러므로 본 결과는 MIT EMG-NMES 치료가 일반적 NMES 치료보다 상지를 주로 이용하는 일상생활활동 수행능력을 향상시킨다고 할 수 있다.

이러한 본 결과는 Hong 등(2012)이 보고한 MIT

EMG-NMES 치료가 만성 뇌졸중 환자의 상지기능에 긍정적인 효과를 보인다는 결과와 일치하는 부분으로 본 연구 결과를 지지한다고 볼 수 있다. 본 연구는 PET와 같은 영상기법을 이용하지 않았지만 본 연구가 기반으로 하는 선행연구에서 MIT EMG-NMES 치료군의 대뇌 포도당 대사작용(glucose metabolism)이 활성화 된다고 하였다. 하지만 현재 MIT EMG-NMES 치료를 사용하여 보고된 연구는 Hong 등(2012)의 연구 외에는 보고된 연구가 없어 다양한 연구들과의 비교는 어려운 점이 있다.

MIT EMG-NMES는 기존의 EMG-NMES를 기본으로 하지만 후자의 경우 일반적으로 근력이 최소 poor 등급 이상(MRC grade>2)일 경우 적용 가능하다고 알려져 있다(Schuhfried, Crevenna, Fialka-Moser, & Paternostro-Sluga, 2012). 반면 MIT EMG-NMES 경우 눈에 보이는 근 수축이 거의 없더라도(MRC grade<2) 적용이 가능하다. 또한 치료사의 특별한 도움이나 장소의 제한 없이 안전한 방법으로 시행 할 수 있는 재가 훈련이 가능한 방법으로 적극적인 재활치료와 병행한다면 환자의 마비측 상지의 운동기능 향상에 효과적인 치료가 될 수 있을 것이라 생각된다.

본 연구의 제한점은 MIT EMG-NMES를 사용한 선행연구가 부족하여 많은 연구결과들과 직접적인 비교는 어려웠으며 선행연구와 같이 PET와 같은 뇌 영상기법을 사용하지 않았기에 본 연구를 통해 뇌의 변화를 확인 할 수 없었다. 또한 본 연구는 재활치료와 함께 일부 환자의 경우 한방치료(침 치료)를 병행 하였기에 순수한 MIT EMG-NMES 치료의 효과라고 볼 순 없을 것이다. 마지막으로 본 연구는 일반적 NMES 치료와는 비교 하였지만 EMG-NMES 치료와의 비교는 이루어 지지 않았다. 본 연구는 최근에 소개된 MIT EMG-NMES 치료의 기초자료로써 향후 더 많은 환자를 대상으로 이러한 제한점을 보완한다면 더욱 가치 있는 연구가 될 것으로 생각된다.

V. 결 론

본 연구는 만성 뇌졸중 환자를 대상으로 최근 새롭게 보고된 MIT-EMG NMES 치료가 마비측 상지기능과 일상생활활동 회복에 미치는 영향을 알아보았다. 만성 뇌졸중 환자를 대상으로 실험군과 대조군으로 나누어 6주간 실시

하였으며 마비측 상지의 기능적 변화와 일상생활활동 변화를 평가하기 위해 중재 전과 후 FMA, MFT와 MBI를 평가하였다. 그 결과 MIT-EMG NMES 치료군에서 일반적 NMES 치료군에 비해 유의한 상지 기능 향상을 알 수 있었다. 특히 MIT-EMG NMES 치료군에서 FMA의 손목과 손의 움직임 항목과 MFT의 쥐기, 집기, 입방체 운반 항목에서 유의한 변화가 있었다. 또한 MBI에서 개인위생과 옷 입기 항목에서 유의한 변화가 있었다. 본 연구는 자연적 회복이 거의 이루어지지 않는 만성 뇌졸중 환자를 대상으로 MIT EMG-NMES 치료를 시행하여 그 효과를 확인하였으며 본 연구의 치료는 만성 뇌졸중 환자뿐만 아니라 비교적 빠른 신경학적 회복을 보이는 급성기 뇌졸중 환자 에게도 효과적인 치료법이 될 것으로 생각된다.

Reference

- Abbruzzese, G., Trompetto, C., & Schieppati, M. (1996). The excitability of the human motor cortex increases during execution and mental imagination of sequential but not repetitive finger movements. *Experimental Brain Research*, 111, 465-472.
- Alan, F. L., Alon, G., & McCarthy, P. A. (2007). Functional electrical stimulation enhancement of upper extremity functional recovery during stroke rehabilitation: A pilot study. *Neurorehabilitation and Neural Repair*, 21, 207-215. doi:10.1177/1545968306297871
- Armagan, O., Tascioglu, F., & Oner, C. (2003). Electromyographic biofeedback in the treatment of the hemiplegic hand: A placebo-controlled study. *American Journal of Physical Medicine and Rehabilitation*, 82, 856-861. doi:10.1097/01.PHM.0000091984.72486.E0
- Bello, A. I., Rockson, B. E., & Olaogun, M. O. (2009). The effects of electromyographic-triggered neuromuscular electrical muscle stimulation on the functional hand recovery among stroke survivors. *Africa Journal of Medicine and Medical*

- Sciences*, 38, 185–191.
- Bolton, D. A., Cauraugh, J. H., & Hausenblas, H. A. (2004). Electromyogram-triggered neuromuscular stimulation and stroke motor recovery of arm/hand functions: A meta-analysis. *Journal of the Neurological Sciences*, 223(2), 121–127. doi:10.1016/j.jns.2004.05.005
- Braun, S. M., Beurskens, A. J., Borm, P. J., Schack, T., & Wade, D. T. (2006). The effects of mental practice in stroke rehabilitation: A systematic review. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 87, 842–852. doi:10.1016/j.apmr.2006.02.034
- Brighina, F., La Bua, V., Oliveri, M., Piazza, A., & Fierro, B. (2000). Magnetic stimulation study during observation of motor tasks. *Journal of the Neurological Sciences*, 174(2), 122–126. doi:10.1016/S0022-510X(00)00271-9
- Butler, A. J., & Page, S. J. (2006). Mental practice with motor imagery: Evidence for motor recovery and cortical reorganization after stroke. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 87(2), 2–11. doi:10.1016/j.apmr.2006.08.326
- Cauraugh, J., Light, K., Kim, S., Thigpen, M., & Behrman, A. (2000). Chronic motor dysfunction after stroke: Recovering wrist and finger extension by electromyography-triggered neuromuscular stimulation. *Stroke*, 31, 1360–1364. doi:10.1161/01.STR.31.6.1360
- Chantraine, A., Baribeault, A., Uebelhart, D., & Gremion, G. (1999). Shoulder pain and dysfunction in hemiplegia: Effects of functional electrical stimulation. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 80, 328–331. doi:10.1016/S0003-9993(99)90146-6
- Choi, E. H., Yoo, W. K., Jung, K. I., Park, D. S., Nam, H. S., & Jun, A. Y. (2008). The modulation of cortical excitability by observation and/or imagery of action. *Annals of Rehabilitation Medicine*, 32(4), 388–393.
- de Kroon, J. R., & IJzerman, M. J. (2008). Electrical stimulation of the upper extremity in stroke: Cyclic versus EMG-triggered stimulation. *Clinical Rehabilitation*, 22, 690–697. doi:10.1177/0269215508088984
- Deutsch, K. M., & Newell, K. M. (2004). Changes in the structure of children's isometric force variability with practice. *Journal of Experimental Child Psychology*, 88, 319–333. doi:10.1016/j.jee.2004.04.003
- Fugl-Meyer, A. R., Jaasko, L., Leyman, I., Olsson, S., & Steglind, S. (1975). The post-stroke hemiplegic patient. 1. A method for evaluation of physical performance. *Scandinavian Journal of Rehabilitation Medicine*, 7(1), 13–31.
- Gowland, C., Stratford, P., Ward, M., Moreland, J., Torresin, W., Van Hullenar, S., ... Plews, N. (1993). Measuring physical impairment and disability with the Chedoke-McMaster Stroke Assessment. *Stroke*, 24(1), 58–63.
- 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.
- Guillot, A., Collet, C., Nguyen, V. A., Malouin, F., Richards, C., & Doyon, J. (2009). Brain activity during visual versus kinesthetic imagery: An fMRI study. *Human Brain Mapping*, 30, 2157–2172. doi:10.1002/hbm.20658
- Guillot, A., Tollerón, C., & Collet, C. (2010). Does motor imagery enhance stretching and flexibility? *Journal of Sports Sciences*, 28, 291–298. doi:10.1080/02640410903473828
- Han, T. R., Lim, S. J., Kim, D. Y., & Lee, K. J. (2002). Stimulation intensity of functional electrical stimulation on hemiplegic upper extremity. *Annals of Rehabilitation Medicine*, 26(4), 379–384.
- Hanakawa, T., Dimyan, M. A., & Hallett, M. (2008). Motor planning, imagery, and execution in the

- distributed motor network: A time-course study with functional MRI. *Cerebral Cortex*, 18, 2775–2788. doi:10.1093/cercor/bhn036
- Hashimoto, R., & Rothwell, J. C. (1999). Dynamic changes in corticospinal excitability during motor imagery. *Experimental Brain Research*, 125(1), 75–81. doi:10.1007/s002210050660
- Hong, I. K., Choi, J. B., & Lee, J. H. (2012). Cortical changes after mental imagery training combined with electromyography-triggered electrical stimulation in patients with chronic stroke. *Stroke*, 43, 2506–2509. doi:10.1161/STROKEAHA.112.663641
- Ietswaart, M., Johnston, M., Dijkerman, H. C., Joice, S., Scott, C. L., MacWalter, R. S., ... Hamilton, S. J. (2011). Mental practice with motor imagery in stroke recovery: Randomized controlled trial of efficacy. *Brain*, 134, 1373–1386. doi:10.1093/brain/awr077
- Isaac, A. R., & Marks, D. F. (1994). Individual differences in mental imagery experience: Developmental changes and specialization. *British Journal of Psychology*, 85, 479–500.
- Inmann, A., & Haugland, M. (2012). Regulation of FES-induced grasp force based on cutaneous nerve signals: Experiments and modelling. *Medical Engineering and Physics*, 34(1), 46–55. doi:10.1016/j.medengphy.2011.06.016
- Kasai, T., Kawai, S., Kawanishi, M., & Yahagi, S. (1997). Evidence for facilitation of motor evoked potentials (MEPs) induced by motor imagery. *Brain Research*, 744(1), 147–150. doi:10.1016/S0006-8993(96)01101-8
- Kim, M. Y. (1994). A study of Manual Functional Test for CVA. *Journal of Korean Society of Occupational Therapy*, 26(4), 19–26.
- Kim, J. H., Yoon, Y. S., & Chong, B. H. (2008). The effect of functional electrical stimulation on arm motor function in patients with chronic hemiplegia. *Journal of Korean Society of Occupational Therapy*, 16(4), 19–29.
- Kuhtz-Buschbeck, J. P., Mahnkopf, C., Holzknecht, C., Siebner, H., Ulmer, S., & Jansen, O. (2003). Effector-independent representations of simple and complex imagined finger movements: A combined fMRI and TMS study. *European Journal of Neurosciences*, 18, 3375–3387. doi:10.1046/j.1460-9568.2003.03066.x
- Lacourse, M. G., Orr, E. L., Cramer, S. C., & Cohen, M. J. (2005). Brain activation during execution and motor imagery of novel and skilled sequential hand movements. *Neuroimage*, 27, 505–519. doi:10.1016/j.neuroimage.2005.04.025
- Lee, J. J., & Jong, H. Y. (2008). The correlation of hemiplegic upper limb recovery with SEP and MEP in subject with a stroke. *Annals of Rehabilitation Medicine*, 32, 512–517.
- Lord, J. P., & Hall, K. (1986). Neuromuscular reeducation versus traditional programs for stroke rehabilitation. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 67, 88–91.
- Malouin, F., Richards, C. L., Desrosiers, J., & Doyon, J. (2004). Bilateral slowing of mentally simulated actions after stroke. *Neuroreport*, 15, 1349–1353. doi:10.1097/01.wnr.0000127465.94899.72
- Mangold, S., Schuster, C., Keller, T., Zimmermann-Schlatter, A., & Ettlin, T. (2009). Motor training of upper extremity with functional electrical stimulation in early stroke rehabilitation. *Neurorehabilitation and Neural Repair*, 23(2), 184–190. doi:10.1177/1545968308324548
- McIntyre, A., Viana, R., Janzen, S., Mehta, S., Pereira, S., & Teasell, R. (2012). Systematic review and meta-analysis of constraint-induced movement therapy in the hemiparetic upper extremity more than six months post stroke. *Topics in Stroke Rehabilitation*, 19, 499–513. doi:10.1310/tsr1906-499
- Miyamoto, S., Kondo, T., Suzukamo, Y., Michimata, A., & Izumi, S. (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
- Nakayama, H., Jorgensen, H. S., Raaschou, H. O., & Olsen, T. S. (1994). Recovery of upper extremity function in stroke patients: The Copenhagen stroke study. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 75, 394–398.
- Nudo, R. J., Wise, B. M., SiFuentes, F., & Milliken, G. W. (1996). Neural substrates for the effects of rehabilitative training on motor recovery after ischemic infarct. *Science*, 272, 1791–1794. doi:10.1126/science.272.5269.1791
- Park, J. M. (2004). *The effect of virtual reality program for chronic stroke patients* (Master's thesis). University of Deagu, Deagu.
- Powell, J., Pandyan, A. D., Granat, M., Cameron, M., & Stott, D. J. (1999). Electrical stimulation of wrist extensors in poststroke hemiplegia. *Stroke*, 30, 1384–1389.
- Saito, K., Yamaguchi, T., Yoshida, N., Tanabe, S., Kondo, K., & Sugawara, K. (2013). Combined effect of motor imagery and peripheral nerve electrical stimulation on the motor cortex. *Experimental Brain Research*, 227, 333–342. doi:10.1007/s00221-013-3513-5
- 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, 447–454.
- Schuhfried, O., Crevenna, R., Fialka-Moser, V., & Paternostro-Sluga, T. (2012). Non-invasive neuromuscular electrical stimulation in patients with central nervous system lesions: An educational review. *Journal of Rehabilitation Medicine*, 44(2), 99–105. doi:10.2340/16501977-0941
- Seok, H., Kim, S. H., Jang, Y. W., Lee, J. B., & Kim, S. W. (2010). Effect of mirror therapy on recovery of upper limb function and strength in subacute hemiplegia after stroke. *Annals of Rehabilitation Medicine*, 34(5), 508–512.
- Shin, H. K., Cho, S. H., Jeon, H. S., Lee, Y. H., Song, J. C., Jang, S. H., ... Kwon, Y. H. (2008). Cortical effect and functional recovery by the electromyography-triggered neuromuscular stimulation in chronic stroke patients. *Neuroscience Letters*, 442(3), 174–179. doi:10.1016/j.neulet.2008.07.026
- Sun, L., Yin, D., Zhu, Y., Fan, M., Zang, L., Wu, Y., ... Hu, Y. (2013). Cortical reorganization after motor imagery training in chronic stroke patients with severe motor impairment: A longitudinal fMRI study. *Neuroradiology*, 55, 913–925. doi:10.1007/s00234-013-1188-z
- Trombly, C. A., & Quintana, L. A. (1983). The effects of exercise on finger extension of CVA patients. *American Journal of Occupational Therapy*, 37, 195–202.
- Weiss, T., Hansen, E., Beyer, L., Conradi, M. L., Merten, F., Nichelmann, C., ... Zippel, C. (1994). Activation processes during mental practice in stroke patients. *International Journal of Psychophysiology*, 17(1), 91–100. doi:10.1016/0167-8760(94)90059-0
- Wu, C. W., van Gelderen, P., Hanakawa, T., Yaseen, Z., & Cohen, L. G. (2005). Enduring representational plasticity after somatosensory stimulation. *Neuroimage*, 27, 872–884. doi:10.1016/j.neuroimage.2005.05.055
- You, D. H., Lee, J. S., Jeon, B. J., & Kim, S. K. (2011). Effect of task-oriented training on upper extremity during functional electrical stimulation in stroke patients. *Journal of Korean Society of Occupational Therapy*, 19(4), 25–39.
- Yoo, E. Y., & Jung, M. Y. (2001). Mental practice and its potential for stroke rehabilitation. *Journal of Korean Society of Occupational Therapy*, 9(1), 153–161.

Abstract

Effects of Mental Imagery Training Combined With Electromyogram-Triggered Electrical Stimulation on Upper Extremity Motor Function and Activities of Daily Living in Chronic Stroke Patients: A Randomized Controlled Trial

Park, Ji Su^{*}, B.H.Sc., O.T., Choi, Jong Bae^{**}, B.H.Sc., O.T.

^{*}Dept. of Occupational Therapy, Inje University Busan Paik Medical Center

^{**}Dept. of Occupational Therapy, Kyunghee University Medical Center

Objective : This study aimed to determine the effects of mental imagery training combined with electromyography-triggered electrical stimulation on the paretic upper extremity functions in chronic stroke patients.

Methods : Randomized and controlled trials were conducted on 44 chronic stroke outpatients at the K clinic between August 2012 and February 2013. The patients were divided into two groups: an experimental group was given mental imagery training combined with electromyography-triggered electrical stimulation, and a control group was given common functional electrical stimulation. The trials lasted for six weeks, consisting of 30-min treatment sessions conducted five days/week. As assessment tools, a Fugl-Meyer Assessment (FMA) and Manual Function Test (MFT) were used to assess the upper extremity functions, and a Modified Barthel Index (MBI) was used for pre- and post-intervention assessment of activities of daily living.

Results : 1) After the six-week intervention, the FMA and MFT scores of the experimental group presented a statistical significant change ($p < .05$). 2) The MBI pre-post score comparison of the experimental group did not show any statistically significant changes, except for personal hygiene and clothing items ($p < .05$). On the other hand, the control group showed a slight improvement in scores after intervention, but the difference was not statistically significant for all items.

Conclusion : The results of treatment with mental imagery training combined with electromyography-triggered electrical stimulation in chronic stroke patients demonstrated that this combined therapy is more effective than functional electrical stimulation for an improvement of the paretic upper extremity functions in stroke patients, and that it was also effective in enhancing the performance of hand manipulation-associated activities of daily living.

Key words : Electromyogram-triggered electrical stimulation, Imagery training, Stroke, Upper extremity function