

유형에 따른 근전도 유발 신경근 전기자극치료가 뇌졸중 환자의 상지기능과 일상생활활동에 미치는 효과 비교: 전향적, 무작위 대조 연구

박지수*, 최종배**

*인제대학교 부산백병원 재활의학과 작업치료실

**경희대학교병원 재활의학과 작업치료실

국문초록

목적 : 본 연구는 두 가지 유형의 근전도 유발 신경근 전기자극치료를 이용하여 뇌졸중 환자의 마비측 상지 기능과 일상생활활동에 미치는 영향을 알아보고자 하였다.

연구방법 : 뇌졸중 발병 6개월 이내의 아급성기 뇌졸중 환자 20명을 대상으로 무작위 대조 실험을 진행하였다. 두 집단을 대상으로 근전도 유발 전기자극치료와 상상 훈련 결합된 근전도 유발 전기자극치료를 하루 20분간, 주 5회, 4주간 실시하였다. 상지기능평가로 울프운동기능평가(Wolf Motor Function Test; WMFT), Fugl-Meyer Assessment (FMA)를 사용 하였으며 일상생활활동 평가로 수정바텔지수(Modified Barthel Index; MBI)를 사용하였다.

결과 : 1) 4주간의 중재 후, 상상 훈련 결합된 근전도 유발 전기자극치료를 받은 집단에서 FMA와 WMFT의 통계학적 유의한 향상을 보였다($p<.01$). MBI 평가 역시 통계학적 유의한 향상을 보였으며 특히 개인 활동 항목에서 유의한 향상을 보였다($p<.05$). 2) 근전도 유발 신경근 전기자극치료를 받은 집단의 경우 FMA의 손목 움직임 항목과 WMFT에서 유의한 향상을 보였다($p<.05$). 또한 MBI 전체 점수에서 통계학적 유의한 향상은 없었지만 개인활동 항목에서만 통계학적 유의한 향상을 보였다($p<.05$).

결론 : 본 연구를 통해 두 유형의 근전도 유발 신경근 전기자극치료는 급성기 뇌졸중 환자의 상지 운동 회복과 일상생활활동에 효과적인 치료라는 것을 알 수 있었다.

주제어 : 근전도 유발 전기자극, 뇌졸중, 상상훈련, 상지기능

I. 서 론

뇌졸중은 뇌혈관의 출혈 또는 허혈로 인해 운동, 감각, 인지, 지각장애 등을 야기하는 질환으로 이러한 합병증은 일시적 또는 영구적인 문제로 남게 된다(Pedretti & Early, 2001). 특히 뇌졸중 발병 후 운동 기능 손상은 흔한 후유증으로 급성기 환자의 약 85%이상에서 운동장

애를 보이며(Olsen, 1990) 마비측 신체의 근 위축과 경직 그리고 근력과 관절가동범위 제한 등은 상지의 기능적인 움직임을 방해하여 재활치료에 부정적인 요소로 작용한다. 또한 뻗기(reach), 쥐기(grip), 조작하기(manipulation)와 같은 상지의 움직임 제한은 개인위생, 식사하기, 옷 입기 등의 일상생활활동을 제한하여 삶의 질에도 부정적인 영향을 미치게 된다(Park et al., 2004).

뇌졸중으로 인한 발생된 기능적 문제들을 다루기 위해 지난 수 십년 동안 재활영역에서는 많은 치료방법들이 제시되어 왔다. 그 중 신경근 전기자극치료(Neuromuscular Electrical Stimulation; NMES)는 말초신경에 전기적 자극을 통해 실질적인 근 수축을 유발시키는 방법으로 뇌졸중과 같은 신경학적 손상이 후 근력 및 관절가동범위의 증가와 근 경직의 감소등의 이유로 사용되어 왔다(Kawashima, Popovic, & Zivanovic, 2013). 특히 상지에 적용된 NMES는 물건 잡기, 손 펴기 등의 기능적 움직임을 궁극적인 목표로 적용되며(Han, Lim, Kim, & Lee, 2002) 여러 선행연구들을 통해 NMES는 마비측 상지의 기능적 움직임 향상과 일상생활활동 향상에 효과적인 치료방법 중 하나로 알려져 있다(Alan, Alon, & McCarthy, 2007). 그러나 기존에 보고되고 있는 일반적인 NMES의 경우 환자 본인의 의지와는 무관하게 주기적인 반복 형태(cyclic pattern)로 전기자극이 들어오게 되어 환자 스스로 마비측에 대한 관심과 집중에 대한 기회가 줄어든다는 단점이 있다(Cho, Chang, Kim, Kim, & Park, 2009).

최근엔 의학공학(medical engineering)의 지속적인 발달에 따라 NMES를 기반으로 근전도-생체 피드백(EMG-biofeedback)과의 결합을 통해 기존의 NMES의 단점을 보완한 도구들이 제시되고 있다. 근전도 유발 신경근 전기자극(Electromyogram-triggered Neuromuscular Electrical Stimulation; EMG-NMES)이란 환자의 수의적인 근 수축을 통해 발생된 전기적 신호가 도구에 설정한 근전도 역치에 도달 할 경우에만 전기 자극이 전달되는 방법이다(Bolton, Cauraugh, & Hausenblas, 2004; Boucher, Wang, Trudelle-Jackson, & Olson, 2009). EMG-NMES는 기존의 단순 반복 형태의 NMES와는 달리 치료에 환자의 능동적 의지를 필요로 하며 본 치료에서 마비측 상지의 집중과 실질적인 움직임을 위한 노력은 구심성 자극을 유발하기 위한 자극원으로 작용하게 된다(Cho et al., 2009). 이와 관련된 선행연구들을 살펴보면 EMG-NMES는 기존의 일반적인 NMES에 비해 마비측 상지의 뻗기와 조작 등 기능적 움직임의 향상에 있어 효과적인 방법이라고 하였으며(Bello, Rockson, & Olaogun, 2009), Lee 등(2003) 역시 EMG-NMES 치료는 관절가동범위의 증가와 근전

도 수치의 증가는 물론 병변 측의 대뇌피질 회복을 보고하였다. 또한 Kim, Han, Kim과 Jung(2005)도 역시 EMG-NMES와 일반적 NMES를 비교하여 경두개자극 자극 검사와 상지기능 평가를 통해 EMG-NMES의 효과성을 보고하였다.

EMG-NMES의 또 다른 형태로 최근 상상훈련과 결합된 근전도 유발 신경근 전기자극(Mental Imagery Training combined with Electromyography-triggered Neuromuscular Electric Stimulation; MIT EMG-NMES)치료가 Hong, Choi와 Lee(2012)에 의해 소개되었다. 이 방법 역시 근전도와와의 결합된 방법으로 신체의 전기적 신호를 통해 근전도를 유발하여 구심성 자극을 받는 EMG-NMES와 기본 원리는 동일하다. 그러나 MIT EMG-NMES의 경우 실질적인 신체적 움직임이 아닌 상상훈련(imagery training)을 통해 미세 전기적 신호를 발생시켜 실질적 근 수축을 유발하는 방법이다. 즉 본 도구는 운동에 대한 뇌-신호전달-근육-움직임의 반복을 통해 생체피드백 고리(biofeedback loop)를 형성하여 중추신경계의 변화와 신체의 기능적 변화를 목적으로 한다.

상상훈련이란 신체의 실질적인 움직임 없이 머릿속으로 목표하는 움직임을 상상하는 인지적 과정으로 정의되며(Decety & Grezes, 1999) 실제 운동수행 능력을 최대화를 위해 재활영역은 물론 스포츠 분야에서도 사용되는 방법이다(Hall, Bernoties, & Schmidt, 1995). MIT EMG-NMES는 마비측 상지의 실질적인 움직임 없이 오직 움직임의 상상훈련만을 통해 근전도를 유발시키는 방법으로 기존의 NMES보다 많은 집중과 정신적 활동(mental practice)을 필요로 한다. MIT EMG-NMES를 이용한 선행연구들을 살펴보면 기존의 NMES에 비해 마비측 상지기능 향상은 물론 대뇌피질의 운동영역과 그 주변영역의 활성화 및 재조직화에 효과적인 방법으로 보고되고 있으며(Hong et al., 2012) Park과 Choi(2013)의 연구에서도 역시 뇌졸중 환자를 대상으로 일반적 NMES와의 비교를 통해 MIT EMG-NMES가 마비측 상지기능과 일상생활활동 향상에 더 효과적인 방법이라 보고하였다.

현재 뇌졸중 환자를 대상으로 NMES의 효과를 입증하는 연구들은 지속적으로 보고되고 있으며 EMG-NMES

와의 비교를 통한 연구들 역시 보고되었다. 그러나 MIT EMG-NMES의 경우 선행연구들이 부족한 실정이며 특히 기존의 NMES와의 비교를 통한 연구는 보고 되었지만 EMG-NMES와의 비교된 연구는 전무하다. EMG-NMES와 MIT EMG-NMES는 근전도 기능이 장착되어 기존의 NMES보다 진보된 치료방법으로 환자의 자발적인 참여를 통해 근전도를 유발하여 구심성 자극을 받는 근본적 원리는 동일하다. 그러나 이 두 도구의 가장 큰 차이점은 근전도를 유발하기 위해 전기적 신호를 발생시키는 기전에 있어 실질적인 움직임이나 또는 움직임이 동반되지 않는 상상훈련이나에 따른 서로 반대개념의 방법을 사용한다.

그러므로 본 연구의 목적은 EMG-NMES와 MIT EMG-NMES의 유형에 따른 근전도 유발 신경근 전기 자극치료의 비교를 통해 급성기 뇌졸중 환자의 상지기능과 일상생활활동에 미치는 영향을 알아보고자 한다.

II. 연구 방법

1. 연구 대상

본 연구는 뇌졸중 발병 6개월 이내의 회복단계에 있는 아급성기 환자 35명을 대상으로 하였다. 연구를 진행함

에 있어 본 연구의 목적과 내용을 이해하고 적극적인 참여 의사를 보인 환자를 대상으로 하였으며 모든 환자를 대상으로 구두 동의를 받았다. 환자의 선정 기준과 제외 기준은 본 연구가 기반으로 하는 Hong 등(2012)의 연구를 근거 하였으며 선정 기준은 1) 뇌졸중(뇌경색과 뇌출혈) 발병이 3개월 이내인 자 2) 능동적 손목 신전이 가능한 자 3) 환측 상지의 경직에 수정 에스워스 척도(Modified Ashworth Scals; MAS) 2등급 이하인 자 4) 한국형 간이 정신상태 검사(Mini Mental State Examination-Korea; MMSE-K) 24점 이상으로 의사소통에 문제가 없는 자(Kang, Ku, Kim, & Park, 2011) 5) 운동장면 상상 검사(Vividness of Movement Imagery Questionnaire)에서 평균 2.26 이하인 자를 대상으로 하였다(Isaac & Marks, 1994). 제외 기준은 1) 인공심박동기를 부착한 자 2) 마비측 상지의 Medical Research Council (MRC) 등급이 0인자 3) 마비측 상지의 심한 통증을 가진 자 (Visual Analogue Scale 점수가 5점 이상인자) 4) 전극 부착부위에 피부병변이 있는 자는 제외하였다.

본 연구에 참여한 대상자 20명의 일반적 특성은 다음과 같다(Table 1).

중재 전 MIT EMG-NMES 집단과 EMG-NMES 집단의 상지 기능과 일상생활활동을 비교한 결과 통계학적 유의한 차이는 없었다($p>.05$) (Table 2).

Table 1. General Characteristics of Subjects

(N=20)

		MIT EMG-NMES group (n=10)	EMG-NMES group (n=10)
Gender	Male	3	4
	Female	7	6
Age (year)	40 ~ 49	1	2
	50 ~ 59	5	3
	60 ~ 69	3	4
	70 ~ 79	1	1
Onset (month)	1~3	7	7
	4~6	3	3
Stroke type	Hemorrhage	3	4
	Infarction	7	6
Paretic side	Right	7	5
	Left	3	5

2. 연구 설계 및 과정

1) 연구 설계

본 연구는 두 집단 검사 전-검사 후 설계(two group pretest-posttest design)를 사용하여 단일맹시험, 무작위 대조 연구(single blind, randomized controlled trial)로 진행하였다.

2) 연구 과정

실험의 모든 진행과 평가는 2인의 작업치료사에 의해 진행되었다. 두 집단 모두 임상경력 4년 이상의 1인의 작업치료사에 의해 실험이 진행되었으며, 모든 평가는 임상경력 10년 이상의 1인의 작업치료사에 의해 진행되었다. 총 20명의 입원환자를 대상으로 내원 순서에 따라 컴퓨터를 이용한 난수표를 사용하여 무작위로 두 군으로 나누어 진행하였다.

두 집단은 하루 30분씩, 주 5회, 4주간 전통적 재활치

료를 받았으며 동일기간 동안 추가적으로 각 집단은 MIT MEG-NMES와 EMG-NMES 치료를 마비측 손목 신전근에 적용하였다. 상기 기능의 향상을 평가하기 위한 첫 번째 주요 평가로 Fugl-Meyer Assessment와 윌프운동기능평가(Wolf Motor Function Test; WMFT)를 사용하였으며 두 번째 평가로 일상생활활동의 변화 정도를 평가하기 위해 수정바텔지수(Modified Barthel Index; MBI)를 사용하였다. 전반적인 연구과정은 다음과 같다(Figure 1).

3) 연구 절차

(1) MIT EMG-NMES 치료

MIT EMG-NMES는 Mentamove (Mentamove, Munich, Deutschland)를 사용하였다. 환자는 의자에 편안하게 앉은 상태에서 책상위에 상완을 올려놓은 후 주관절을 약 90도 굴곡, 내회전 시켜 놓은 자세에서 진행하였다. 전기자극의 부착 부위는 Park 등(2004)의 연구

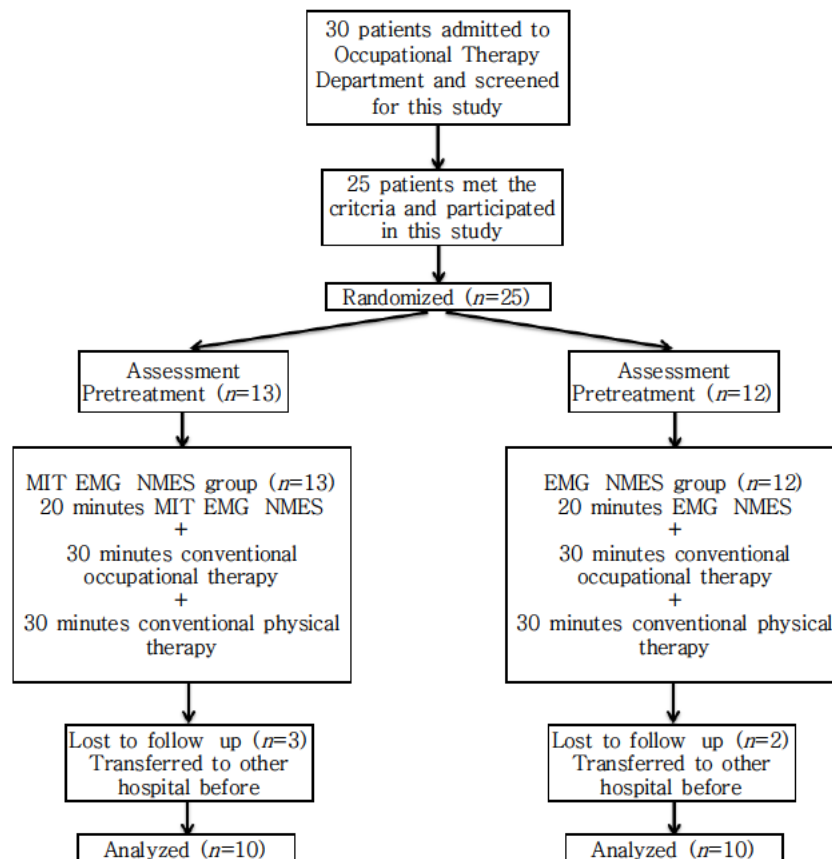


Figure 1. Flow Diagram of the Study

에서 손목 신전근의 가장 이상적인 적용 부위로 소개된 단무지신근(extensor pollicis brevis)과 장무지신근(extensor pollicis longus)의 기시부와 정지부에 활성전극(active electrode), 기준전극(reference electrode)을 부착하였다.

또한 근전도 전극(EMG-electrode)은 두 전극 사이의 전완 외측면에 부착하였으며 세 곳의 패드 부착 부위는 적용 전 펜을 사용하여 마크하였다. 실험은 Park과 Choi(2013)의 선행연구와 동일하게 50 μ V를 기준으로 상상할때 발생하는 전기적 신호에 따라 근전도 준거 역치(target threshold) 값을 각각 설정 하였다. 실험 진행 중 상상을 통해 발생 된 미세전류가 설정한 근전도 보다 너무 쉽게 도달하는 경우 마비측 상지의 움직임 상상을 최대한 이끌어 내기 위해 근전도 역치 값을 재설정하여 진행 하였다. 전기 자극의 강도는 선행연구를 근거하여 손목의 충분한 신전이 일어 날 수 있도록 15~30mA사이에서 결정 하였다(Kim, Yoon, & Chong, 2008).

MIT EMG-NMES 치료는 정신적 휴식 단계, 정신적 활성화 단계, 말초신경 자극단계로 크게 세 단계로 이루어진다. 첫째, 정신적 휴식 단계의 경우 약 12초간 정신적으로 편안한 상태를 유지한다. 둘째, 본 도구의 LCD 창에서 정신적 활성화 단계로 전환되게 되면 머릿속으로 마비측 상지의 크고 격렬한 움직임 상상을 한다(Figure 2). 셋째, 이때 만약 움직임 상상을 통해 뇌에서 발생된 미세전류가 설정된 근전도 역치에 도달할 경우 약 6초간 적용된 부위에 전기적 자극이 가해지며 이로 인해 실질적인 근 수축이 유발된다(Figure 3). 그러나 상상을 통해 발생된 미세 전류가 설정한 역치에 도달하지 못할 경우 전

기자극 없이 다시 휴식단계로 돌아가게 된다. 이때 지시 사항은 다음과 같다. “도구 전면에 표시된 휴식단계에 불이 들어오면 머릿속으로 움직임의 상상없이 편안한 상태로 계세요. 이 후 정신적 활성화 단계로 불이 바뀌게 되면 마비측 팔 전체의 크고 빠른 움직임을 머릿속으로 상상하세요.”

(2) EMG-NMES 치료

본 실험에서 EMG-NMES는 EMG FES 2000 (Walking man II, Iksan, Korea)을 사용하였다. MIT EMG-NMES 집단과 동일하게 3개의 표면 전극을 사용하여 손목 신전근에 적용하였다. 먼저 환자의 자발적인 손목 신전을 유도하여 근수축에 따른 활성화전위 수준에 따라 준거 역치를 설정 하였다. 활성화전위가 준거역치에 도달하여 전기자극이 유발되면 0.1초 상승기, 5초 수축기, 2초 하강기 과정이 적용되며, 35Hz, 펄스 폭(pulse width)은 200 μ s, 대칭성 직사격형 이상 연속 잔류(symmetric rectangular biphasic, constant current)를 사용하였다. 자극의 강도는 MIT EMG-NMES 치료군과 동일하게 15~30mA 사이로 설정하였다. 만약 근수축을 통해 발생된 활성화전위가 준거역치에 도달하지 못할 경우 20초 후 자동적으로 전기 자극이 들어오도록 설정하였으며 준거역치 설정은 치료 회기마다 재설정하였다.

(3) 전통적 재활치료

실험에 참여한 모든 환자는 전통적 재활치료를 하루 30분씩 동일 기간 적용 받았다. 작업치료는 마비측 상지의 근력훈련, 일상생활활동 훈련 등을 주로 시행하였으

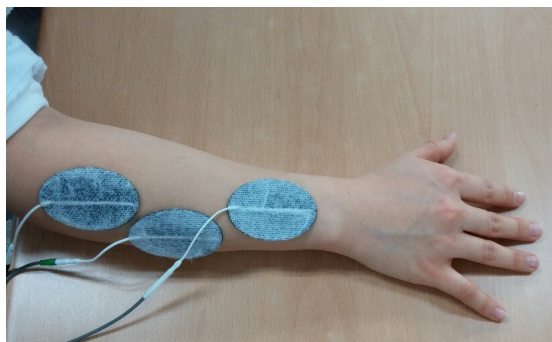


Figure 2. Mental Imagery Stage
(Approximately 12 seconds)

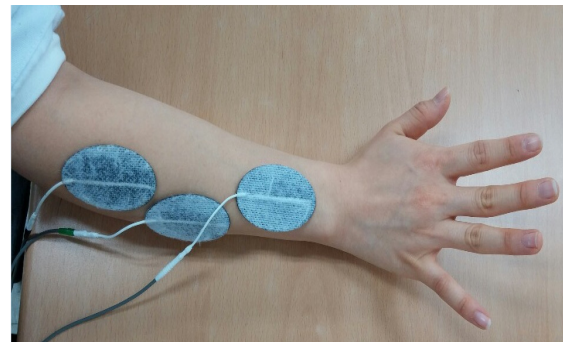


Figure 3. Electrical Stimulation Stage
(Approximately 6 seconds)

며 물리치료는 관절가동범위 운동, 보행 훈련, 열전기 치료 등을 시행하였다.

3. 평가 도구

1) Fugl Meyer Assessment (FMA)

FMA는 브룬스트롬 6단계 회복과정을 기초로 하여 뇌졸중 환자의 마비측 운동기능을 평가하는 방법으로 본 연구는 FMA의 상지 항목만을 평가 하였다. FMA의 상지 평가는 총 33항목으로 구성되며 어깨, 팔꿈치, 아래팔에서 18항목 그리고 손목 5항목, 손과 손가락에서 7항목, 협응능력 3항목으로 구성 된다. 점수는 0~2점으로 3점 척도이며, 수행의 완수 여부에 따라 점수가 부여된다. 0점은 수행 불가, 1점은 부분적 수행, 2점은 완전한 수행으로 상지기능의 총 점수는 66점으로 이루어져 있다. FMA 상지검사의 평가자간, 평가자 내 신뢰도는 .97로 매우 높은 신뢰도를 가진다(Sanford, Moreland, Swanson, Stratford, & Gowland, 1993).

3) 울프운동기능평가

(Wolf Motor Function Test; WMFT)

WMFT는 편마비 환자의 상지 운동 기능을 평가하는 방법으로 1989년 Wolf에 의해 개발되었다(Wolf, Lecraw, Barton, & Hann, 1989). 각 활동의 운동 수행 능력과 수행시간을 점수로 측정하며 단순한 동작에서 복합적 동작까지 총 17개의 과제로 이루어져있다. 점수는 0에서 5점까지 6점 척도로 이루어 지며, 0점은 수행되지 않음, 5점은 정상 움직임을 의미하여 점수가 낮을수록 운동 수행의 저하를 의미한다. 본 도구의 기능점수의 평가자간 신뢰도의 .88이며 수행시간의 평가자간 신뢰도는 .97이다(Morris, Uswatte, Crago, Cook, & Taub, 2001).

4) 수정바델지수(Modified Barthel Index; MBI)

MBI는 일상생활활동의 수행능력을 평가하는 도구로 수행의 직접적인 관찰과 면담을 통해 평가하게 된다. 항목은 개인위생, 목욕하기, 식사하기, 용변처리, 계단오르기, 옷 입기, 대변조절, 소변조절, 보행/의자차, 의자/침대 이동 10가지 영역으로 구성 된다. 점수는 0점에서 100

점 까지 이루어져있으며 일상생활활동의 독립성 정도 따라 점수가 부여된다. 일상생활활동에 있어 타인에게 완전한 의존은 0점, 완전한 일상생활의 독립 시 100점으로 평가 되며 본 도구의 평가자간 신뢰도는 .95이며 평가자 내 신뢰도는 .89이다(Granger, Albrecht, & Hamilton, 1979). 본 연구는 마비측 상지기능의 향상에 따른 일상생활활동의 변화를 확인하기 위해 MBI의 10가지 항목 중 상관관계수가 높은 항목끼리 3가지로 분류하여 평가 하였다(You, Lee, Jeon, & Kim, 2011).

4. 분석 방법

수집된 자료의 분석은 SPSS Version 18.0 통계처리 프로그램을 이용하였다. 참가자의 일반적 특성을 분석하기 위해 기술 통계를 이용하여 빈도분석을 사용하였다. 중재 전의 MIT EMG-NMES 집단과 EMG-NMES 집단의 상지 기능과 일상생활활동을 비교하기 위해 맨휘트니 검정(Mann Whitney test)을 사용하였다. 또한 중재 전·후의 상지 기능과 일상생활활동의 변화는 윌콕슨 부호순위 검정(Wilcoxon signed rank test)을 사용하였으며 통계적 유의수준 α 는 .05로 하였다.

III. 연구 결과

1. 중재 전 MIT EMG-NMES 집단과 EMG-NMES 집단의 상지기능 및 일상생활활동의 비교

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

2. MIT EMG-NMES 집단의 중재 전과 후의 상지기능 및 일상생활활동의 변화

MIT EMG-NMES 집단의 중재 전·후의 상지 기능의 변화는 FMA에서 통계학적 유의한 차이를 보였으며 특히 어깨/팔꿈치/아래팔 항목과 손목 항목에서 유의한

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

		MIT-NMES		EMG-NMES		Z	p
		$M \pm SD$		$M \pm SD$			
FMA	Shoulder	19.30	± 8.07	21.10	± 7.15	-.60	.543
	Wrist	.60	± 1.57	1.40	± 1.57	-1.71	.086
	Fingers	1.40	± 2.17	1.40	± 2.06	-.28	.776
	U/E coordination	1.60	$\pm .96$	1.40	± 1.26	-.24	.805
	Total	22.90	± 10.91	25.30	± 10.19	-.56	.570
WMFT	Total	18.20	± 13.37	17.90	± 11.32	-.26	.446
MBI	Self-care	24.50	± 7.66	23.70	± 7.42	-.37	.705
	Bowel/Bladder	17.20	± 3.88	17.70	± 3.46	-.04	.967
	Locomotion	29.50	± 8.91	28.20	± 9.78	-.38	.703
	Total	71.20	± 18.17	70.60	± 16.60	-.07	.940

Table 3. Changes of Upper Limbs Function and ADL in MIT EMG-NMES Group Before-After Intervention

		Before		After		Z	p
		$M \pm SD$		$M \pm SD$			
FMA	Shoulder	19.30	± 8.07	28.90	± 9.24	-2.55	.011*
	Wrist	.60	± 1.57	3.40	± 2.01	-2.68	.007**
	Fingers	1.40	± 2.17	1.70	± 2.49	-1.34	.180
	U/E coordination	1.60	$\pm .96$	2.00	± 1.33	-1.63	.102
	Total	22.90	± 10.91	28.90	± 13.47	-2.67	.007**
WMFT	Total	18.20	± 13.37	21.40	± 13.71	-2.67	.008**
MBI	Self-care	24.50	± 7.66	25.30	± 7.46	-2.27	.023*
	Bowel/Bladder	17.20	± 3.88	17.00	± 4.00	-1.00	.317
	Locomotion	29.50	± 8.91	29.80	± 8.82	-1.00	.317
	Total	71.20	± 18.17	72.00	± 18.11	-2.06	.039*

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

향상을 보였다($p < .01$). WMFT 역시 통계학적 유의한 차이를 보였다($p < .01$). 일상생활활동 평가 MBI에서 통계학적 유의한 차이를 보였으며 특히 개인관리 영역에서 유의한 향상을 보였다($p < .05$) (Table 3).

3. EMG-NMES 치료군의 중재 전·후의 상지기능 및 일상생활활동의 변화

EMG-NMES 집단의 중재 전·후의 상지 기능의 변화는 FMA에서 통계학적 유의한 차이를 보였으며 특히 손목 항목에서 유의한 향상을 보였다($p < .05$). WMFT

역시 통계학적 유의한 차이를 보였다($p < .05$). 일상생활활동 평가 MBI의 경우 유의한 차이는 없었지만 개인관리 영역에서 유의한 향상을 보였다($p < .05$) (Table 4).

4. 중재 후 MIT EMG-NMES 집단과 EMG-NMES 집단의 상지기능 및 일상생활활동의 비교

중재 후 MIT EMG-NMES 집단과 EMG-NMES 집단의 상지기능 및 일상생활활동의 비교 결과 통계학적으로 유의한 차이가 없었다(Table 5).

Table 4. Changes of Upper Limbs Function and ADL in EMG-NMES Group Before-after Intervention

		Before		After		Z	p
		$M \pm SD$		$M \pm SD$			
FMA	Shoulder	21.10	± 7.15	22.10	± 7.88	-1.84	.066
	Wrist	1.40	± 1.57	3.30	± 2.66	-2.38	.017*
	Fingers	1.40	± 2.06	1.80	± 2.39	-1.63	.102
	U/E coordination	1.40	± 1.26	2.00	± 2.00	-1.63	.102
	Total	25.30	± 10.19	29.20	± 12.46	-2.37	.018*
WMFT	Total	17.90	± 11.32	21.70	± 12.31	-2.53	.011*
MBI	Self-care	23.70	± 7.42	24.60	± 7.39	-2.07	.038*
	Bowel/Bladder	17.70	± 3.46	17.20	± 3.45	-1.34	.180
	Locomotion	28.20	± 9.78	28.20	± 9.44	-.00	1.000
	Total	70.60	± 16.60	71.00	± 16.62	-1.08	.279

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

Table 5. Comparison of Upper Limbs Function and ADL of MIT EMG-NMES Group and EMG-NMES Group After Intervention

		MIT-NMES		EMG-NMES		Z	p
		$M \pm SD$		$M \pm SD$			
FMA	Shoulder	28.90	$\pm$ 9.24	22.10	$\pm$ 7.88	-.076	.940
	Wrist	3.40	$\pm$ 2.01	3.30	$\pm$ 2.66	-.465	.642
	Fingers	1.70	$\pm$ 2.49	1.80	$\pm$ 2.39	-.314	.753
	U/E coordination	2.00	$\pm$ 1.33	2.00	$\pm$ 2.00	-.118	.906
	Total	28.90	$\pm$ 13.47	29.20	$\pm$ 12.46	-.038	.970
WMFT	Total	21.40	$\pm$ 13.71	21.70	$\pm$ 12.31	-.038	.970
MBI	Self-care	25.30	$\pm$ 7.46	24.60	$\pm$ 7.39	-.265	.791
	Bowel/Bladder	17.00	$\pm$ 4.00	17.20	$\pm$ 3.45	-.284	.777
	Locomotion	29.80	$\pm$ 8.82	28.20	$\pm$ 9.44	-.305	.761
	Total	72.00	$\pm$ 18.11	71.00	$\pm$ 16.62	-.038	.970

Table 6. Comparison of Change Upper Limbs Function and ADL in Before-after Intervention

		MIT-NMES		EMG-NMES		Z	p
		$M \pm SD$		$M \pm SD$			
FMA	Shoulder	2.50	$\pm$ 2.59	1.00	$\pm$ 1.88	-1.972	.049*
	Wrist	2.80	$\pm$ 1.68	1.90	$\pm$ 1.72	-1.192	.233
	Fingers	.30	$\pm$.67	.40	$\pm$.69	-.449	.654
	U/E coordination	.40	$\pm$.69	.60	$\pm$ 1.26	-.047	.963
	Total	9.10	$\pm$ 7.53	4.60	$\pm$ 3.71	-1.481	.139
WMFT	Total	3.20	$\pm$ 2.25	3.80	$\pm$ 3.42	-.192	.848
MBI	Self-care	.80	$\pm$.78	.90	$\pm$ 1.19	-.162	.871
	Bowel/Bladder	-.20	$\pm$.63	-.50	$\pm$ 1.08	-.669	.503
	Locomotion	.30	$\pm$.94	.00	$\pm$.81	-.054	.957
	Total	.80	$\pm$ 1.03	.40	$\pm$ 1.07	-.447	.655

**p* < .05

5. 중재 전과 후 상지기능 및 일상생활활동의 변화 비교

중재 전과 후의 상지기능 및 일상생활활동의 변화량 비교는 FMA의 어깨/팔꿈치/아래팔에서 유의한 차이를 보였다($p < .05$). 다른 영역에서는 통계학적으로 유의한 차이가 없었다(Table 6).

IV. 고 찰

NMES는 뇌졸중 환자의 근 경직의 감소, 관절가동범위와 근력의 증가를 통해 기능적 움직임과 일상생활활동을 향상시키기 위한 목적으로 사용된다(Chae & Yu, 2002; Powell, Pandyan, Granat, Cameron, & Stott, 1999). 특히 상지에 적용된 NMES는 뺨기, 쥐기와 같은 기능적 움직임 향상을 목적으로 사용되며(Kapadia et al., 2013) 이러한 상지기능의 움직임 향상은 일상생활 활동에도 밀접한 영향을 미친다(Mangold, Schuster, Keller, Zimmermann-Schlatter, & Ettlin, 2009). 그러므로 상지기능의 회복은 재활치료에 있어 중요한 목표 중 하나로 특히 손목과 손가락의 기능적 움직임은 상지 기능 회복의 지표가 되기도 한다(Meilink, Hemmen, Seelen, & Kwakkel, 2008; Park et al., 2004). 그러므로 본 연구는 기존에 보고되고 있는 NMES의 보다 진보된 형태의 근전도를 유발하기 위해 상상훈련을 필요로 하는 MIT EMG-NMES와 실질적인 움직임을 필요로 하는 EMG-NMES를 사용하여 뇌졸중 환자의 상지기능과 일상생활활동 향상에 미치는 영향을 알아보고자 하였다.

본 연구의 상지기능 평가 결과 MIT EMG-NMES 집단에서 FMA의 어깨와 손목 움직임 항목, WMFT에서 유의한 수준의 향상을 보였다. 또한 MBI 평가 역시 유의한 수준의 향상을 보였으며 특히 개인관리와 이동영역 항목에서 유의한 수준을 향상을 보였다. EMG-NMES 집단의 경우 FMA에서 손목 움직임 항목과 WMFT에서 유의한 수준의 향상을 보였다. 반면 MBI 평가선 유의한 수준의 점수 향상은 없었지만 개인관리 항목에서 유의한 향상을 보였다. 이러한 결과는 두 집단 모두 치료적 중재 이후 마비측 상지의 기능적 움직임과 개인위생, 옷 입기

와 같은 개인관리에서 기능이 향상되었음을 의미한다. 또한 중재 전 상지기능과 일상생활활동에서 유의한 차이가 없었던 각 집단이 중재 이 후 역시 유의한 차이가 없었으며 이는 두 치료가 상지기능과 일상생활활동에 미치는 유의 수준에는 큰 차이가 없었음을 알 수 있었다.

MIT EMG-NMES 집단의 마비측 상지의 기능회복은 손목에 적용된 NMES 효과와 함께 근전도를 유발시키기 위한 지속적인 상상훈련을 통한 대뇌의 운동피질 활성화의 복합작용으로 설명된다(Hong et al., 2012; Park & Choi, 2013). Chae, Fang, Walker와 Pourmehdi (2001)는 NMES를 통한 상지기능의 회복은 운동신경원의 직접적인 자극을 통해 근 수축은 물론 고유수용성 감각과 시각적 효과에 의한 되먹임 작용으로 설명하였다. NMES는 근 수축을 유발시키기 위한 부위에 적용하게 되며 일반적으로 마비측 상지기능의 손목과 손가락 신전근에 주로 적용된다(Park et al., 2004; Shin, 2008). 본 연구 역시 선행연구를 기반으로 손목 신전근의 근 수축을 목표로 적용하였으며 이러한 복합적인 원인에 의해 손목의 움직임 회복에 영향을 미쳤을 것으로 생각된다. 또한 근전도를 유발하기 위해 사용된 상상훈련은 대뇌피질의 운동영역 활성화를 통한(Butler & Page, 2006) 뇌 재조직화(re-organization)에 영향을 주며 이는 마비측 상지의 운동 기능의 회복과 손상된 중추신경계의 변화를 야기하는 것으로 알려져 있다(Bulter & Page, 2006; Ietswaart et al., 2011; Weiss et al., 1994; Wu, van Gelderen, Hanakawa, Yaseen, & Cohen, 2005). 상상훈련의 경우 손을 실제로 움직이지 않고 손이 움직이는 모습을 상상 하는 것만으로도 운동기능 회복에 도움이 되며(Stevens & Stoykov, 2003) 특히 마비측 상지의 부분적 움직임에 보다 전체의 큰 움직임을 상상 했을 때 운동유발전위(motor evoked potential)는 증가되는 것으로 알려져 있기에(Abbuzzese, Trompetto, & Schieppati, 1996; Brighina, La Bua, Oliveri, Piazza, & Fierro, 2000; Kuhtz-Buschbeck et al., 2003) 본 연구에서는 MIT EMG-NMES 집단에서 근전도를 유발하기 위해 마비측 상지 어깨의 크고 빠른 움직임을 상상하도록 지시 하였다. 이러한 근거와 선행연구들의 결과는 본 연구에서 MIT EMG-NMES 집단의 회복 결과를 이론적 뒷받침하는 부분이라 할 수 있다. 일상생활활동

의 경우 MBI 전체 점수에서 유의한 수준의 향상을 보였으며 특히 개인활동 영역에서 유의한 향상을 보였다. 개인활동 영역은 식사하기, 개인위생, 목욕하기, 옷 입기와 같이 주로 상지를 주로 이용하는 항목으로 구성되어 있으며 이러한 결과는 전반적인 상지기능의 움직임 향상과 일상생활활동 훈련을 통한 기술 습득 그리고 수행의 활동 시간의 단축, 도움의 양의 감소로 좀 더 독립적인 수행에 도움이 되었을 것으로 생각된다. 하지만 본 연구에서 일부 환자의 경우 실제 마비측 상지의 기능적 변화는 거의 없었지만 보상적 전략과 환경적인 적응 등을 통해 보다 독립적인 일상생활활동 향상을 보인 경우가 있었다. MBI 평가의 경우 일상생활활동의 독립성을 평가하는 도구로 마비측 상지의 기능 향상이 적더라도 비마비측을 주로 사용하여 독립성이 증가되었다면 점수의 향상이 가능한 부분이기 때문이다.

MIT EMG-NMES는 현재 선행 연구들이 부족하며 잘 알려져 있지 않은 도구이기에 본 연구는 이 도구를 사용함에 있어 몇 가지 의문점이 있었으며 첫째, 관찰 가능한 근 수축이 일어나지 않는 상상훈련 상태에서 발생한 전기적 신호의 정도와 둘째, 뇌에서부터 발생한 전기적 신호의 생성 기전 그리고 본 도구가 이를 어떻게 포착했는가 하는 점이 관심사였다.

상상동안 발생한 미세 전기적 신호의 정도를 아는 것은 본 도구를 사용함에 있어 역치수준을 설정할 때 중요한 부분으로 사용된다. Hong 등(2012)은 침 근전도(needle EMG)를 통해 손목과 같은 작은 관절의 단순 움직임을 상상 할 경우 근전도 파형을 관찰 할 수 없었지만 마비측 상지 전체의 크고 빠른 격렬한 움직임을 상상했을 경우 $50\mu V$ 이내의 신호를 확인 하였다.

뇌에서부터 발생한 전기적 신호의 생성기전과 본 도구가 이러한 미세 신호를 포착 가능한 이유는 다음과 같은 신경생리학적 원리로 설명된다. 휴식기 상태의 경우 축삭종말(axon terminal)의 시냅스 소포(synaptic vesicles) 내에서 적은 양의 아세틸콜린(acetylcholine; Ach)이 임의의 자발적인 분비가 이루어지며 그 결과 시냅스 후막(postsynaptic membrane)의 아주 작은 탈분극(depolarization)을 초래한다. 이것은 대략 $1mV$ 일 때 미세종판전위(Miniature End-Plate Potential; MEPP)라고 불리며 이는 활동전위(action potential)을 발생시

키지는 못하는 것으로 알려져 있다. 뇌로부터 활동전위 형태의 전기적 신호들이 축삭종말에 도달하면 축삭종말 내 다중 소포(vesicles)에서 Ach을 분비하며 이에 MEPP의 효과가 더해지면 종판전위(End-Plate Potential; EPP)가 생성된다. 만약 EPP가 역치에 도달하게 되면 활동전위가 발생하며 이러한 활동전위가 근막을 탈분극(depolarize)하여 축삭종말의 소포 내에서 분비된 Ach의 양이 증가하여 EPP의 변화를 초래한다(Dumitru, Amato, & Zwarts, 2002). 본 실험에서 사용된 MIT EMG-NMES는 운동단위 활동전위(motor unit action potential)의 관찰 가능한 근 수축의 역치 이하에서 EPP의 근전도 신호를 포착(pick up)하게 되며 이는 본 도구에 장착된 근전도의 경우 $2\mu V$ 이내의 미세 전기적 신호까지 민감한 포착이 가능하기 때문이다.

EMG-NMES 집단 역시 FMA의 손목 움직임 항목과 WMFT에서 유의한 수준의 향상을 보였다. Francisco 등(1998)은 일반적인 NMES에 비해 EMG-NMES에서 편마비 환자의 마비측 운동기능 향상을 보고하였으며 이는 일상생활활동의 향상에도 직접적인 영향을 미친다고 하였다. EMG-NMES의 경우 근전도를 유발하기 위해 마비측 근육을 자발적으로 움직이기 위한 집중력과 노력의 기회가 제공되며 또한 약하지만 목표 근육을 의지적으로 움직이는 운동기능의 활성화와 체성감각의 되먹임, 전기자극을 통한 실질적인 근 수축 등의 복합적인 요인으로 인해 운동기능 회복에 효과적인 방법으로 알려져 있다(Kim et al., 2005; Armagan, Tascioglu, & Oner, 2003). 또한 이러한 여러 자극을 동시에 이용하여 훈련할 경우 단일 자극에 비해 상지기능의 회복과 뇌 가소성에 더 많은 영향을 줄 수 있다(Samuelides, Doyon, Cessac, Quoy, & Dauce, 1998). 일상생활활동의 경우 MBI에서 통계학적 유의한 향상은 없었지만 MIT EMG NMES 집단과 마찬가지로 개인활동 영역에서 유의한 향상을 보였으며 이는 상지 운동기능 향상과 일상생활활동 훈련을 통한 결과로 생각된다. Chae 등(1998)은 마비측 상지에 적용된 EMG-NMES를 통한 손 기능의 회복은 일상생활활동 중 개인위생활동 향상에 밀접한 영향을 미친다고 하였으며 Rakos(1999) 역시 EMG-NMES는 근력과 관절가동범위의 증가 그리고 되먹임 효과로 인한 고수용성 감각의 증진은 일상생활활동 습득에 효과적

인 방법이라고 하였다. 이러한 선행연구의 결과는 본 연구의 결과를 근거하는 부분이라 할 수 있다.

최근에는 뇌졸중과 같은 신경학적 손상 환자의 재활치료에 있어 뇌 가소성 활성화에 초점을 맞추는 경향으로 많은 이론적 근거와 연구들이 보고되고 있으며 상상훈련과 EMG-NMES가 그 대표적인 방법이다. 뇌 가소성을 통한 신경학적 회복의 가장 중요한 요소는 환자의 적극적인 인지 기능의 참여와 재활의 동기 그리고 구심성 자극을 통한 반복적 활동이다(Nudo, Wise, SiFuentes, & Milliken, 1996). 환자의 능동적인 노력에 의해 발생된 전기적 활성화는 고유 수용성 감각을 자극하며, 구심성 자극이 체성감각영역으로 전달되어 감각운동회로를 만들게 되며 이러한 회로의 지속적인 활성화는 손상된 대뇌피질 영역의 재조직화를 돕는다(Cauraugh, Light, Kim, Thigpen, & Behrman, 2000). 특히 MIT EMG-NMES의 경우 지속적인 인지 기능을 사용과 전기자극의 복합작용을 통해 대뇌피질의 운동보완영역, 중심전회(precentral gyrus), 중심후회(postcentral gyrus)에서 포도당 대사작용(glucose metabolism)을 활성화 시키며 마비측 상지의 운동기능 역시 회복된다고 하였다(Hong et al., 2012).

본 연구에서 두 집단은 동일한 전기적 특성을 가진 NMES를 중재 받았지만 근전도를 유발하기 위해 실질적인 움직임(운동) 또는 상상이라는 반대 개념의 중재가 적용되었기에 어떠한 중재방법이 더 효과적일 것인가 하는 부분이 의문이었다. 집단 간 비교에선 두 집단은 중재 전과 후의 상지기능과 일상생활활동 평가 결과 통계학적으로 유의한 차이가 없었으며 이는 두 치료 방법이 대상자의 상지기능과 일상생활활동 향상에 미치는 영향이 통계학적 차이가 없음을 의미한다. 선행연구들에 의하면 상상훈련은 경우 상지기능의 회복에 도움이 되는 방법 중 하나로(Stevens & Stoykov, 2003) 실질적인 근 수축을 통한 회복보다 일반적으로 대뇌피질 및 피질척수로의 활성화와 같은 대뇌피질의 신경가소성에 효과적인 방법으로 알려져 있다(Saito et al., 2013). 반면 마비측 상지의 반복적 운동의 경우 실질적인 근 수축의 반복을 통해 근력을 향상 시키며 기능적 움직임에 효과적인 방법으로 알려져 있다(Park, Yoon, & Jung, 2011). 현재 뇌졸중 환자를 대상으로 반복적 운동과 상상훈련의 효과에 대한

연구들이 보고되고 있으나 두 가지 중재를 직접적으로 비교한 연구는 확인 할 수 없었다. 또한 근력 및 기능적 움직임을 향상시키기 위해선 상상훈련보다 실질적인 근 수축을 유발하는 반복적 운동이 더 효과적인 방법일 수 있으나 본 연구에 참여한 대상자는 뇌손상 6개월 이내의 아급성기 환자이기에 상상훈련과 일반적 재활치료를 통한 신경가소성 효과로 인한 회복 역시 클 것으로 생각된다.

본 연구는 MIT EMG-NMES와 EMG-NMES를 급성기 뇌졸중 환자의 마비측 상지에 적용함으로써 상지 기능과 일상생활활동에 미치는 영향을 알아보았으며 그 결과 두 집단 모두에서 유의한 향상을 확인하였다. 두 치료 방법은 모두 마비측 상지에 대한 관심과 집중을 필요로 하는 근전도 생체피드백의 치료 방법으로, Bolton 등(2004)은 근전도 생체피드백을 통한 반복적인 활동은 대뇌피질의 운동 영역 내 지속적인 운동과 감각의 적절한 통합을 유도하며 능동적인 근 활성화를 위한 인지 기능의 참여가 마비측 상지의 운동 기능 회복과 일상생활 활동 향상에 영향을 미친다고 하였다. Shin 등(2008) 역시 EMG-NMES의 근전도 생체피드백 방법은 대뇌피질의 재조직화와 재활치료에 있어 상지기능 회복에 효과적인 훈련방법임을 제시하였다.

본 연구는 MIT EMG-NMES와 EMG-NMES는 급성기 뇌졸중 환자의 운동기능 회복에 효과적인 방법임을 확인 할 수 있었으나 두 치료 방법을 적용함에 있어서는 환자의 상태에 따른 선택이 필요할 것으로 생각된다. 두 치료 방법은 모두 환자의 적극적인 참여와 집중을 요하지만 MIT EMG-NMES의 경우 특히 수행기억을 통한 마비측 신체의 움직임 상상이 가능해야하며 일정 수준의 인지기능을 가지고 있어야 적용 가능하다. 그러나 MIT EMG-NMES 경우 눈에 보이는 근 수축이 거의 없더라도 상상훈련을 통해 미세 전기신호를 생성하여 근전도를 유발하기에 근력이 거의 없는 환자(MRC 2 등급 이하)에게 적용이 가능한 장점이 있다. 반면 EMG-NMES의 경우 마비측 상지의 최소한의 잔존 근력이(MRC 2 등급 이상) 있는 환자에게 적용이 가능하기에 재활의 의지와 적절한 인지기능이 있더라도 최소한의 적용 이하의 근력일 경우 적용하기엔 제한적이다. 그러므로 이 두 가지 방법의 NMES를 적용함에 있어서는 환자의 신체적 기능, 인지 수준, 재활의 동기와 상상훈련의 가능 여부 등 많은

요소들이 충분히 고려되어야 한다.

본 연구의 제한점은 두 치료방법 모두 뇌 가소성에 이론에 근거한 방법이지만 본 연구는 뇌 영상기법을 사용하지 않았기에 중재를 통한 뇌의 변화된 효과를 확인 할 수 없었다. 또한 본 연구는 발병 6개월 이내의 급성기 환자를 대상으로 재활치료와 함께 중재하였기에 치료의 치료와 자연 회복에 대한 효과가 혼재 되었을 것으로 생각 된다. 또한 MBI 평가의 경우 마비측 상지의 기능 향상이 없더라도 비마비측 상지의 노련한 수행으로도 점수향상이 가능하기에 본 연구에서 일상생활활동의 점수 향상이 순수한 마비측 상지의 기능향상을 통한 결과로 보기는 어렵다. 마지막으로 현재 MIT EMG-NMES를 사용한 선행연구들이 부족하여 다양한 연구결과와의 직접적인 비교는 어려웠다.

V. 결 론

본 연구는 뇌졸중 환자를 대상으로 MIT-EMG NMES와 EMG-NMES를 마비측 상지에 적용하여 상지 운동 기능과 일상생활활동 회복에 미치는 영향을 알아보았다. 본 연구 결과 두 집단 모두에서 상지 기능의 유의한 향상을 보였으며 일상생활활동의 경우 상지 기능을 주로 사용하는 활동에서 유의한 향상을 보여 치료의 효과를 확인 하였다. 두 치료 방법은 휴대가 가능하여 장소의 제한 없이 사용 할 수 있으며 비침습적인 방법으로 안전하게 사용할 수 있기에 환자의 기능 적 상태에 따라 선택하여 사용가능한 방법으로 생각된다. 특히 재활치료 중 상지 기능과 일상생활활동 향상을 다루고 있는 작업치료 분야에서 적극적으로 사용한다면 더욱 긍정적인 방법이 될 것으로 생각된다.

References

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. doi:10.1007/BF00228736

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(2), 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

Boucher, T., Wang, S., Trudelle-Jackson, E., & Olson, S. (2009). Effectiveness of surface electromyographic biofeedback-triggered neuromuscular electrical stimulation on knee rehabilitation. *North American Journal of Sports Physical Therapy*, 4(3), 100-109.

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
- Chae, J., Bethoux, F., Bohine, T., Dobos, L., Davis, T., & Friedl, A. (1998). Neuromuscular stimulation for upper extremity motor and functional recovery in acute hemiplegia. *Stroke*, 29, 975–979.
- Chae, J., Fang, Z. P., Walker, M., & Pourmehdi, S. (2001). Intramuscular electromyographically controlled neuromuscular electrical stimulation for upper limb recovery in chronic hemiplegia. *American Journal of Physical Medicine and Rehabilitation*, 80, 935–941.
- Chae, J., & Yu, D. T. (2002). Neuromuscular electrical stimulation for motor restoration in hemiparesis. *Topics in Stroke Rehabilitation*, 8(4), 24–39.
- Cho, I. S., Chang, J. S., Kim, K., Kim, W. R., & Park, R. J. (2009). The effect of EMG-stim on upper limb function in chronic stroke patients. *Journal of Korean Society of Physical Therapy*, 21(1), 1–8.
- Decety, J., & Grezes, J. (1999). Neural mechanisms subserving the perception of human actions. *Trends in Cognitive Sciences*, 35(5), 172–178. doi:10.1016/S1364-6613(99)01312-1
- Dumitru, D., Amato, A. A., & Zwarts, M. (2002). *Electrodiagnostic medicine*. Philadelphia, PA: Hanley & Belfus.
- Francisco, G., Chae, J., Chawla, H., Kirshblum, S., Zorowitz, R., Lewis, G., & Pang, S. (1998). Electromyogram-triggered neuromuscular stimulation for improving the arm function of acute stroke survivors: A randomized pilot study. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 79, 570–575.
- 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.
- Hall, C., Bernoties, L., & Schmidt, D. (1995). Interference effects of mental imagery on a motor task. *British Journal of Psychology*, 86(2), 181–190.
- 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, 379–384.
- 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.
- Kang, Y. J., Ku, J., Kim, H. J., & Park, H. K.

- (2011). Facilitation of corticospinal excitability according to motor imagery and mirror therapy in healthy subjects and stroke patients. *Annals of Rehabilitation Medicine*, 35, 747–758. doi:10.5535/arm.2011.35.6.747
- Kapadia, N. M., Nagai, M. K., Zivanovic, V., Bernstein, J., Woodhouse, J., Rumney, P., & Popovic, M. R. (2013). Functional electrical stimulation therapy for recovery of reaching and grasping in severe chronic pediatric stroke patients. *Journal of Child Neurology*, 29, 493–499. doi:10.1177/0883073813484088
- Kawashima, N., Popovic, M. R., & Zivanovic, V. (2013). Effect of intensive functional electrical stimulation therapy on upper-limb motor recovery after stroke: Case study of a patient with chronic stroke. *Physiotherapy Canada*, 65(1), 20–28. doi:10.3138/ptc.2011–36
- 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.
- Kim, T. H., Han, E. T., Kim, T. H., & Jung, H. Y. (2005). Comparison of cortical excitability between the EMG-triggered Functional Electrical Stimulation (FES) and FES in hemiplegic stroke. *Korean Journal of Stroke*, 7(2), 159–164.
- 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
- Lee, Y. H., Lee, Y. T., Park, K. H., Kim, S. H., Jang, S. M., Kim, T. H., ... Lee, M. Y. (2003). Effect of EMG-triggered electrical stimulation to improve arm function in patients with chronic hemiplegia. *Annals of Rehabilitation Medicine*, 27(3), 320–328. doi:10.1177/0269215513510011
- 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
- Meilink, A., Hemmen, B., Seelen, H. A., & Kwakkel, G. (2008). Impact of EMG-triggered neuromuscular stimulation of the wrist and finger extensors of the paretic hand after stroke: A systematic review of the literature. *Clinical Rehabilitation*, 22, 291–305. doi:10.1177/0269215507083368
- Morris, D. M., Uswatte, G., Crago, J. E., Cook, E. W., & Taub, E. (2001). The reliability of the wolf motor function test for assessing upper extremity function after stroke. *Archives Physical Medicine and Rehabilitation*, 82, 750–755. doi:10.1053/apmr.2001.23183
- 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
- Olsen, T. S. (1990). Arm and leg paresis as outcome predictors in stroke rehabilitation. *Stroke*, 21, 247–251. doi:10.1161/01.STR.21.2.247
- Park, B. R., Ahn, S. H., Jeong, H. C., Chin, D. B., Kim, S. K., Lee, S. S., ... Kim, Y. K. (2004). Development of EMG-triggered FES system and optimal electrode location for chronic hemiplegia patients. *Journal of Biomedical*

- Engineering Research*, 25(2), 151–156.
- Park, J. S., & Choi, J. B. (2013). 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. *Journal of Korean Society of Occupational Therapy*, 21(4), 91–106. doi:10.14519/jksot.2013.21.4.08
- Park, M. J., Yoon, I. J., & Jung, J. I. (2011). A comparison of effects on repetitive singular exercise and task oriented exercise on upper extremity function in patients with stroke. *Journal of Korean Society of Occupational Therapy*, 19(4), 1–14.
- Pedretti, L. W., & Early, M. B. (2001). *Occupational therapy practice skills for physical dysfunction*. St. Louis, MO: Mosby.
- 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. doi:10.1161/01.STR.30.7.1384
- Rakos, M., Freudenschuss, B., Girsch, W., Hofer, C., Kaus, J., Meiners, T., ... Mayr, W. (1999). Electromyogram-controlled functional electrical stimulation for treatment of the paralyzed upper extremity. *Artificial Organs*, 23, 466–469.
- 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
- Samuelides, M., Doyon, B., Cessac, B., Quoy, M., & Dauce, E. (1998). Self-organization and dynamics reduction in recurrent networks: Stimulus presentation and learning. *Neural Networks*, 11, 521–533. doi:10.1016/S0893-6080(97)00131-7
- 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.
- Shin, H. K. (2008). The recovery of hand function induced by EMG-triggered electrical stimulation in hemiplegic finger extensor. *Journal of Korean Society of Occupational Therapy*, 16(3), 61–69.
- 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
- Stevens, J. A., & Stoykov, M. E. (2003). Using motor imagery in the rehabilitation of hemiparesis. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 84, 1090–1092. doi:10.1016/S0003-9993(03)00042-X
- 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
- Wolf, S. L., Lecraw, D. E., Barton, L. A., & Jann, B. B. (1989). Forced use of hemiplegic upper extremities to reverse the effect of learned nonuse among chronic stroke and head-injured patients. *Experimental Neurology*, 104(2), 125–132. doi:10.1016/S0014-4886(89)80005-6

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.

Abstract

A Comparison of the Effect According to Type of Electromyography-triggered Neuromuscular Electrical Stimulation on the Upper Limb Function and Activities of Daily Living in Stroke Patients: A Prospective, Randomized Controlled Pilot Trial

Park, Ji-Su^{*}, M.Sc., O.T., Choi, Jong-Bae^{**}, M.Sc., O.T.

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

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

Objective : This study aimed at investigating the effect of two types of electromyography triggered neuromuscular electrical stimulation on the upper limb function of the affected side and activities of daily living in stroke patients.

Methods : A randomized controlled study was conducted for 20 patients within 6 months of occurrence of a subacute stroke. The patients were divided into two groups as follows: those treated with electromyography triggered neuromuscular electrical stimulation (EMG NMES), and those treated with mental imagery training combined with EMG NMES (MIT EMG NMES), for 30 minutes a day, 5 days a week, for 4 weeks. For the assessment of upper limb function, the Fugl Meyer Assessment (FMA) and Wolf Motor Function Test (WMFT) were used, and for the assessment of daily living activities, the Modified Barthel Index (MBI) was used.

Results : After four weeks of intervention, the MIT EMG NMES treated group showed statistically significant improvement in the FMA and WMFT ($p<.01$), and improvement in the MBI, particularly in each of the self care scores, with a statistical significance ($p<.05$). The EMG NMES treated group showed significant improvement in wrist movement on the FMA and in the upper limb function in the WMFT ($p<.05$). There was no statistically significant improvement in the total MBI, except in the self care score ($p<.05$).

Conclusion : This study suggests that both the MIT EMG NMES and EMG NMES are beneficial in improving the upper limb function and activities of daily living in patients after an acute stroke.

Key words : Electromyogram triggered electrical stimulation, Mental imagery training, Stroke, Upper extremity function