대한물리의학회지 제6권 제3호, 2011년 8월
Vol.6, No.3, August 2011. p.277~286

만성 뇌졸중 환자의 앞정강근에 기능적 전기자극 적용이 발목관절 운동기능에 미치는 영향

조 미 숙

나사렛대학교 물리치료학과

The Effect on Ankle Joint Movement by FES Application on Tibialis Anterior Muscle in Chronic Stroke Patients

Mi-Suk Cho, PT, PhD

Department of Physical Therapy, Korea Nazarene University

<Abstract>

Purpose : This study was to investigate the prevention of spasticity with modified Ashworth scale(MAS) and range of motion(ROM) increase with goniometer in ankle joint by functional electrical stimulation(FES) and exercise for 4 weeks in chronic stroke patients.

Methods : 60 chronic stroke patients participated in this study. The subjects were divided into 3 groups, FES group(n=20), FES+exercise group(n=20) and control croup(n=20). After FES application on tibialis anterior muscle by 35Hz for 4 weeks, the change of ankle joint movement was measured by goniometer.

Results : The spasticity in ankle joint was decreased greatly in FES and FES+excercise groups($p<.05$), and the ROM of ankle joint was increased greatly in FES and FES +exercise groups($p<.05$) than control group($p>.05$).

Conclusion : It shows that FES made the angle of dorsiflexion in spastic ankle joint increase with functional improvement of tibialis anterior muscle in chronic stroke patients. This show that the FES is avaliable for facilitation of ROM and decrease of spasticity as a therapeutic tool.

Key Words : Spasticity, ROM, FES, Ankle joint, Tibialis anterior

Ⅰ. 서 론

뇌졸중(stroke, cerebrovascular accident)은 혈전에 의한 혈행막힘(ischemic stroke) 또는 혈관파열(hemorrhagic stroke)에 의해 뇌의 혈액공급이 차단되었을 때 발생된다(Granz 등, 1996). 뇌졸중으로 인해 초

교신저자 : 조미숙, E-mail: mscho@komu.ac.kr
논문접수일 : 2011년 06월 29일 / 수정접수일 : 2011년 07월 22일 / 게재승인일 : 2011년 08월 11일

래되는 기능의 변화는 뇌졸중의 유형 및 뇌손상의 정도에 따라 다양하게 나타나게 되는데, 근육마비, 언어장애, 행동양식, 사고의 변화 및 기억력과 감정의 변화 등이 수반되게 된다(Burridge 등, 2001). 만성 뇌졸중 시 운동기능의 회복은 재활영역에서 매우 중요한 임상적 요인으로 최근 많은 중재 수단들이 뇌졸중 후 신경계 보호와 재생 및 회복을 위해 다양한 방법으로 적용되고 있다. 그 중 관찰적 보행분석에 의해 나타나는 보행변이를 교정시키기 위한 치료전략에 기반을 두어 일차로 적용될 수 있는 치료적 중재가 기능적 전기자극(functional electrical stimulation, FES)이며, 과제수행 의존적 가소성(task dependent plasticity)을 유발하기 위한 단계별 운동재훈련이 이차적으로 적용될 수 있다(Bajd 등 1985, Yan 등 2005).

뇌졸중으로 인한 대부분의 편마비 환자는 폄근(extensor muscle) 공동운동을 지니고 보행한다. 폄근 공동운동은 엉덩관절 폄, 안쪽회전, 무릎관절 폄, 발의 발바닥쪽굽힘(plantar flexion), 발의 안쪽 번짐(inversion) 등을 초래한다. 이 중 발처짐(foot drop)은 발목관절의 경직(spasticity)으로 나타나며 보행을 어렵게 하는 요소 중의 하나로 발목 관절의 발등쪽굽힘근(dorsiflexor muscle)의 불활성에 의해 야기된다(Bohannon와 Larkin, 1985).

뇌손상으로 입원한 환자의 84%에서 최소 한 관절 이상의 경직이 발생되며, 그 중 76%는 발목관절의 경직이 동반되었다고 보고되고 있다(김용철 등, 2004). 발목관절의 경직은 상위 운동뉴런 증후군의 하나로서 심부힘줄반사(deep tendon reflex)의 항진, 긴장성 폄반사(extensor reflex)의 증가가 특징적으로 나타나는데 편마비 환자들의 회복과정에서 기립자세나 보행을 수행하는데 도움을 줄 수는 있으나 대부분은 관절운동을 방해하여 이차적인 관절 구축을 유발함으로써 전반적인 환자의 기능회복을 저해시킨다(최현자 등, 2003).

경직을 개선시키는 중재 방법으로는 운동치료와 전기자극 치료가 통상적으로 수행되고 있으며, 전기자극 방법은 경직근을 직접 자극하는 방법과 경직의 대항근(antagonist)을 자극하는 두 가지 방법으로 구분되지만 경직에 대한 치료적 전기자극의 효과에 대해서는 아직 논란이 있다. 선행의 연구들 중 치료적 전기자극이 중추신경계 손상 환자들의 경직 감소 및 기능향상에 효과적임이 다수 보고되었으나(Robinson 등, 1988), 오히려 악화시킨다는 연구 결과들도 보고되고 있어(Monaghan 등 2010), 이에 대한 명확한 규명이 시급한 실정이었다.

최근에는 FES를 적용하여 뇌졸중 환자의 기능과 보행을 개선하려는 많은 연구들이 보고되고 있다(Baer와 Wolf, 2008). FES는 상위 운동신경세포가 손상되어 경직을 나타내는 환자의 골격근의 수축을 유발해 기능적 회복을 야기할 수 있는데(박래준과 오정림, 2002), 자극 경로는 감각자극으로 판단되지만 감각자극에 의해 일차운동피질이 활성화되는 경로에 관해 아직도 논란의 여지가 있다.

또한, FES는 발처짐을 교정하기 위한 보행 재활에 사용되는 방법 중의 하나로 발목관절의 발등쪽굽힘을 유발시킬 수 있다(Hausdorff와 Ring, 2002). 선행의 연구들은 FES를 통해 발목관절의 경직으로 인한 발처짐 감소에 대한 효과를 보고하였으나, 아직 FES의 지속효과와 균형능력 개선을 보편화시키기에는 부족함이 있다(Lamontagne 등, 2002). 또한, FES를 이용한 기존의 연구들은 단순히 뇌졸중 후 발목관절의 경직 개선, 보행 패턴 변화, 근전도 변화 등에 대한 효과 등을 검증하였다(Bajd 등, 1985, Monaghan 등, 2010). 그러나 만성 뇌졸중 후 통상적 운동치료로 발목관절의 경직이 개선되지 않은 환자들을 대상으로 통상적 운동치료군, FES 적용군 및 FES+운동치료 적용군으로 나누어 발목관절에서 FES의 경직 개선 효과를 분석한 논문은 거의 없는 실정이었다. 따라서 본 연구는 만성 뇌졸중으로 발목관절의 경직이 심해 통상적 운동치료로 보행기능이 개선되지 않는 환자에게 기능적 전기자극 적용이 발목관절의 경직 감소와 관절 가동범위 개선에 미치는 영향을 관찰하는 것도 의미 있다 판단되어 수행되었다. 본 연구의 가설은 통상적 운동치료군, FES 적용군 및 FES+운동치료군 사이의 MAS 및 ROM 변화에는 차이가 있을 것이라고 설정하였다.

Ⅱ. 연구 방법

1. 연구대상자

만성 뇌졸중으로 인하여 D 지역 ○○병원에 내원하고 있는 편마비 환자들로 발바닥쪽굽힘근에 경직이 있는 남녀 60 명의 환자를 대상으로 하였다. 대상자는 의사소통이 가능하고 간질이 없으며, 경직 완화를 위해 약물치료를 받지 않고, 독립보행 또는 부분적인 독립보행을 할 수 있는 환자들로 제한하였고, 실험군1(FES 치료군)이 20명(남 10명, 여 10명), 실험군2(FES와 운동치료 병행군)가 20명(남 10명, 여 10명), 대조군(운동치료군)이 20명(남 10명, 여 10명)으로 분류하였다. 실험에 참여자는 실험의 목적을 충분히 인지하고 동의하였다. 연구대상자의 동질성을 확보하기 위해 동일 병원에서 재활치료와 경직에 대한 약물치료는 계속 유지한 상태로 정상적인 인지능력을 가지고 있고(MMSE-K 24점 이상), 발목관절의 경직이 수정된 Ashworth 척도(modified Ashworth scale, MAS)가 2.5이상인 뇌졸중 환자로 제한하였으며, 발목관절의 기능을 개선하기 위해 고안된 운동을 동일하게 적용하였다.

2. 실험 설계

실험전 피험자들의 긴장도를 낮추기 위해 측정항목에 대한 충분한 설명과 휴식을 취한 후 실시하였다. 각 집단은 치료전 환자의 일반적 특성을 기록하고, 경직의 정도를 나타내는 MAS와 각도계(goniometer)를 이용하여 발목관절의 ROM을 측정하였다. 실험대상자는 실험기간 중 동일시간대에 실험군1에서는 FES 치료를, 실험군2에서는 FES와 운동치료를 병행하였고, 대조군에서는 운동치료만을 실시하도록 통제하였다. 치료기간은 1일에 20분씩 2회 실시하여 4주간 지속하였으며, 치료종료 후 변화 정도를 1주 더 관찰하였다. 실험측정은 정확도를 높이기 위하여 MAS와 발목관절 ROM 측정은 3회를 실시하였고 그 평균값을 측정값으로 기록하였고, 측정인은 동일인으로 하였다.

1) 기능적 전기자극 치료(functional electrical stimulation, FES)

실험대상에게 기능적 전기자극 치료기로 발등쪽굽힘근인 앞정강근(tibialis anterior muscle)을 자극하였다. FES은 경직된 병변쪽 발바닥쪽굽힘근의 대항근인 앞정강근의 근위부에 비활성 전극을 배치하고 활성전극은 원위부에 각각 배치하였다. FES (MICROSTIM, MODEL, 독일)의 파형을 단상파형으로 치료강도는 30~70mA를 넘지 않게 환자가 참을 수 있는 범위에서 환자의 발등쪽굽힘이 최대로 일어나도록 하였고, 펄스폭은 250㎛, 펄스 주파수는 35Hz로 하였다. 자극시간은 7초, 휴식시간은 12초로 설정하여 반복하였다. 1일 20분씩 2회 적용하여 4주간 실시하였으며, 치료 종료 후 1주간 동안 MAS와 ROM 변화를 관찰하였다.

2) 운동치료

운동치료는 만성 뇌졸중으로 인해 발목관절에 경직이 심해 발등쪽굽힘의 능동운동이 불가능한 환자에게 발바닥쪽굽힘의 정도를 개선시키기 위해 장딴지근(gastrocnemius muscle)의 등척성 수축 및 앞정강근의 수축을 수동적으로 적용하였다. 즉, 치료대에 바로 누운 상태에서 발바닥쪽굽힘근의 경직이 있는 발목의 아킬레스건을 치료자의 손으로 감싸쥐고 발바닥을 치료사의 팔 안쪽부분으로 받쳐주면서 시행하였다. 운동치료는 먼저 수동적 최대 발등쪽굽힘 각도에서 정적 신장을 5초간 시행 한 후 장딴지근의 등척성 수축을 10초간 수행하였고 마지막으로 앞정강근의 수축을 5초간 시행하였다. 휴식은 40초 이상을 주었고, 10회 반복 시행하였다. 지속적으로 적용할 경우 조직의 손상이나 과운동성 등을 유발할 위험이 있어 치료의 적용시 구축 정도를 매회 비교하면서 정상범위 내에서 실시하여 역효과의 발생을 최소화 하였다.

3. 측정 항목

1) MAS(modified Ashworth scale) 측정

경직의 평가를 위한 Ashworth 척도는 주관적 판정에 다른 정량화 방법으로 초기에 5등급으로 분류되었으나 현재는 6등급으로 나누어 수정된 Ashworth 척도로 개정되었다. 0등급은 근긴장이 증가되지 않

은 상태이며, 1등급은 약간의 근긴장 증가가 있고, 병변쪽 관절을 굽힘-폄 시 운동범위의 마지막에서 약간의 저항을 느끼는 상태이다. 1+등급은 약간의 근긴장 증가가 있고, 병변쪽 관절을 굽힘-폄 시 운동범위의 1/2 이하에서 약간의 저항을 느끼는 상태이다. 2등급은 관절가동범위 전반에 걸쳐 근긴장이 증가되었으나 관절은 쉽게 움직이는 상태이며, 3등급은 현저한 근 긴장의 증가로 수동운동이 어려운 상태이며, 4등급은 병변쪽 관절을 굴곡-폄 시 강직(rigidity)을 느끼는 상태이다.

2) 발목관절의 관절가동범위(range of motion, ROM) 검사

분도기(protractor)와 팔(arm)이 두 개 달린 각도계(double armed universal goniometer)를 이용하여 발목관절의 관절 가동범위를 측정하였다. 발목관절의 발등쪽굽힘 각도를 측정하는 방법에는 여러 가지가 있지만 본 연구에서는 연구대상자들이 뇌졸중으로 편마비가 동반되어 6개월 이상 치료 중인 환자이므로 능동적 근수축이 아니라 수동적으로 시행함으로써 발바닥쪽굽힘근의 신장성(extensibility)을 좀 더 정확히 알아보려 하였다. 따라서 측정축(axis), 고정팔(stationary arm) 및 운동팔(moving arm)에 대해 국제 SFTR식(sagittal frontal transverse method)의 관절가동측정법을 참조하여 시행하였다.

특히, 수동적 발등쪽굽힘 시 발목관절의 관절가동범위가 부정확하게 측정되지 않도록 시행자의 손바닥으로 환자의 발전체를 받쳐서 천천히 발등쪽굽힘이 되도록 노력하였다. 수동적 발등쪽굽힘의 시행자와 측정자는 매 시도마다 동일인으로 하였다.

기본자세는 무릎을 편 상태에서 발뒤꿈치를 검사대 끝에 위치시켜 누운 자세를 취하고 측정도구는 각도계(goniometer)를 사용하였다. 각도계 사용법은 고정팔을 종아리뼈에 평행하게 하며, 운동팔은 발뒤꿈치 바깥쪽과 5번째 발허리뼈 머리(metatarsal head)와 연결한 선에 평행하게 측정하였다.

3) 분석 방법

실험결과 자료의 통계처리는 SPSS-PC ver 17.0 for windows 프로그램을 이용하여 실험집단간 동질성 검증을 위해서는 일원배치 분산분석(one-way ANOVA)와 MAS와 관절가동범위의 시간대별 변화 관찰을 위해 반복측정분산분석(repeated measure ANOVA)을 실시하였다. 사후검정은 Least Square Difference(LSD)를 이용하였으며, 본 연구의 통계학적 유의수준은 $p<.05$로 하였다.

Ⅲ. 연구결과

1. 연구대상의 일반적인 특성

연구대상자는 만성 뇌졸중으로 인해 발바닥쪽굽힘근에 경직이 있는 환자들로 일반적인 특성으로 평균연령, 체중 및 신장은 Table 1과 같다. 연구대상자의 뇌졸중 발병 원인은 뇌출혈이 25명(42%)이었고, 뇌경색이 35명(58%)이었다. 마비 부위는 오른쪽 편마비 환자가 38명(63%)이었고, 왼쪽 편마비 환자가 32명(37%)이었다. 뇌졸중 발병 후 기간은 17.4±8.3개월이었다. 실험집단 간의 연령, 신장 및 체중의 일원배치 분산분석 결과 통계적 유의성이 관찰되지 않았고($p>.05$), 실험 시작 전 경직의 정도도 통계적 유의성이 관찰되지 않아 세 집단 간의 일반적 특성에 대한 동질성 검증에서 유의한 차이

Table 1. General characteristics of subjects

	Control (N=20)	FES (N=20)	FES+Ex (N=20)	F	p-value
Age(years)	61.37±6.9	63.57±8.0	62.56±07	19.46	.43
Weight(kg)	59.86±69	60.58±10.9	59.68±9.3	.23.25	.54
Hight(cm)	162.25±11.6	161.61±9.9	160.78±7.8	41.62	.29

Mean±SD
FES: functional electrical stimulation
FES + Ex: FES+exercise group

가 없어 세 집단은 동질한 것으로 나타났다(p>.05) (Table 1).

2. 발바닥쪽굽힘근의 경직 수준의 변화

1) FES 치료군

MAS를 이용해 발바닥쪽굽힘근의 경직 정도를 측정한 결과 시간 경과에 따라 경직 정도가 점차 감소하다 치료 종료 후 경직이 다시 증가하는 양상으로 관찰되었다. 즉, 치료 전에 평균 등급정도는 2.1 정도였고, 치료 1주 후에는 2.0, 2주 후에는 1.6, 3주 후에는 1.3, 4주 후에는 1.1 및 치료 종료 후 1주 후에는 1.4의 결과를 나타냈다. 시간 경과에 따른 반복측정분산분석을 실시한바 시간대별 변화 사이에서 통계학적 유의성이 관찰되었다(F=34.25, p<.05).

2) FES와 운동치료 병행군

FES 치료군과 유사한 양상으로 MAS의 감소가 나타났으나 그 감소 정도는 FES 치료군 보다 효과적인 것으로 관찰되었다. 즉, 치료 전에 평균 등급정도는 2.0 정도였고, 치료 1주 후 에는 1.8, 2주 후에는 1.5, 3주 후에는 1.1, 4주 후에는 1.0이었으며, 치료 종료 후 1주 후에는 1.2의 결과를 나타냈다. 시간 경과에 따른 반복측정분산분석을 실시한 바 시간대별 변화 사이에서 통계학적 유의성이 관찰되었다(F=43.71, p<.05).

3) 운동치료군

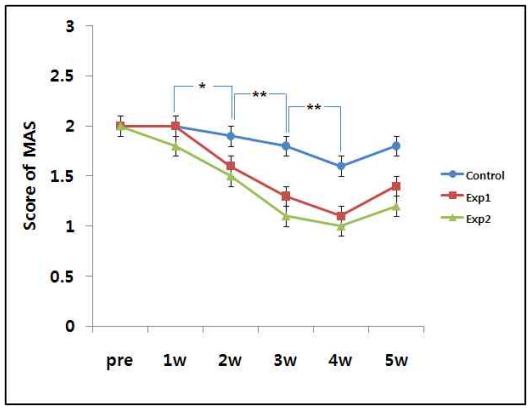
시간 경과에 따라 경직 감소는 미미하게 나타나다 치료 종료 후 치료 전의 수준으로 급격히 회귀되는 양상으로 관찰되었다. 즉, 치료 전에 평균 등급정도는 2.0 정도였고, 치료 1주 후 에는 2.0, 2주 후에는 1.9, 3주 후에는 1.8, 4주 후에는 1.6이었으며, 치료 종료 후 1주 후에는 1.8의 결과를 나타냈다. 시간 경과에 따른 반복측정분산분석을 실시한 바 시간대별 변화 사이에서 통계학적 유의성이 없었다(F=23.34, p>05)(Table 2)(Fig 1).

Table 2. The changes of MAS after FES application on tibialis anterior muscle in chronic stroke patients

(unit: score)

Group	Pre-	1wk	2wk	3wk	4wk	Post	F	p
Ex	2.0±0.4	2.0±0.2	2.0±0.2	1.8±0.2	1.6±0.2	1.8±0.4	23.34	.18
FES	2.1±0.3	2.0±0.3	1.6±0.1	1.3±0.3	1.1±0.1	1.4±0.3	34.25	.03
FES+EX	2.0±0.2	1.8±0.1	1.5±0.2	1.1±0.1	1.0±0.2	1.2±0.4	43.71	.02

MAS: modified Ashworth scale
FES: functional electrical stimulation
FES + Ex : FES+exercise group



MAS: modified Ashworth scale
Control: exercise group, Exp1: FES group,
Exp2: FES+exercise group, *: p<.05, **: p<.01

Fig 1. The change of modified Ashworth scale

Table 3. Tests of between groups effect on MAS change in spastic ankle joint

	Type III SS	df	MS	F	p
Group	9.65	2	6.35	13.62	.046
Error	15.39	24	.86		

Table 4. The changes of ROM of ankle joint after FES application on tibialis anterior muscle in chronic stroke patients

(unit: degree)

Group	Pre-	1wk	2wk	3wk	4wk	Post	F	p
Ex	-18.63±7.8	-17.45±9.2	-10.78±4.9	-6.05±2.8	2.46±0.8	-9.36±4.8	54.29	.18
FES	-18.59±9.5	-15.38±5.6	-8.45±3.2	-1.20±0.3	10.35±3.1	5.32±1.3	74.93	.04
FES+EX	-18.72±6.2	-14.64±8.1	-7.21±3.7	4.35±1.1	14.45±5.2	9.42±0.4	81.67	.02

Mean±SD
FES: functional electrical stimulation
FES + Ex : FES+exercise group

4) 실험집단의 개체간 효과 검정

운동치료군, FES 치료군 및 FES+운동치료군의 개체간 효과 검정을 비교해 본 결과 통계학적으로 유의한 차이가 있었다(p<.05)(Table 3).

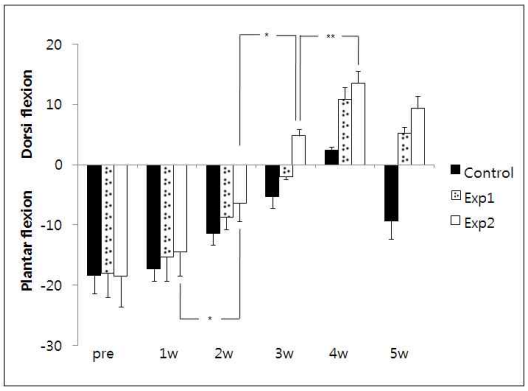
3. 발목관절의 ROM의 변화

1) FES 치료군

발목관절의 관절가동범위는 시간 경과에 따라 점차 증가되다 치료 종료 후 관절가동범위가 다시 감소하는 양상으로 관찰되었다. 즉, 치료 전에 18.59°, 1주 후에는 15.38°의 발바닥쪽굽힘을, 2주 후에는 18.45°의 발바닥쪽굽힘을, 3주 후에는 1.20°의 발바닥쪽굽힘을, 4주 후에는 10.35°의 발등쪽굽힘을 보였으며, 치료 종료 후 1주 후에는 5.32°의 발바닥쪽굽힘을 보였다. 시간 경과에 따른 반복측정분산분석을 실시한 바 시간대별 변화 사이에서 통계학적 유의성이 관찰되었다(F=74.93, p<.05).

2) FES와 운동치료 병행군

FES 치료군과 유사한 양상으로 발목관절의 관절가동범위의 증가가 나타났으나 그 증가 정도는 FES 치료군보다 다소 효과적이었다. 즉, 치료 전에 18.72° 정도의 발바닥쪽굽힘을 보였고, 치료 1주 후에는 14.64°의 발바닥쪽굽힘을, 2주 후에는 7.21°의 발바닥쪽굽힘을, 3주 후에는 4.35°의 발등쪽굽힘을, 4주 후에는 14.45°의 발등쪽굽힘을 보였으며, 치료 종료 후 1주 후에는 9.42°의 발등쪽굽힘을 보였다. 시간 경과에 따른 반복측정분산분석을 실시한 바 시간대별 변화 사이에서 통계학적 유의성이 관찰되었다(F=81.67, p<.05).



Control: exercise group, Exp1: FES group,
Exp2: FES+exercise group, *: p<.05, **: p<.01

Fig 2. The comparison of ROM of ankle joint

3) 운동치료군

시간 경과에 따라 발목관절의 관절가동범위는 다소 증가하다 치료 종료 후 치료 전의 수준으로 급격히 감소하는 양상으로 관찰되었다. 즉, 치료 전에 18.63° 정도의 발바닥쪽굽힘을 보였고, 치료 1주 후에는 17.45°의 발바닥쪽굽힘을, 2주 후에는 10.78° 의 발바닥쪽굽힘을, 3주 후에는 6.05°의 발바닥쪽굽힘을, 4주 후에는 2.46°의 발등쪽굽힘을 보였으며, 치료 종료 후 1주 후에는 9.36°의 발바닥쪽굽힘을 보였다. 시간 경과에 따른 반복측정분산분석을 실시한 바 시간대별 변화 사이에서 통계학적 유의성이 없었다(F=54.29, p.>05)(Table 4)(Fig 2).

4) 실험집단의 개체간 효과 검정

운동치료군, FES 적용군 및 FES+운동치료군의 개체간 효과 검정을 비교해 본 결과 통계학적으로 유의한 차이가 있었다(p<.05)(Table 5).

Table 5 Tests of between groups effect on ROM change in spastic ankle joint

	Type III SS	df	MS	F	p
Group	19.78	2	13.73	34.87	.031
Error	29.65	41	.98		

Ⅳ. 고 찰

운동피질(motor cortex)이나 추체바깥로(extrapyramidal tract) 병변 시 나타나는 과긴장성 형태인 경직(spasticity)은 폄반사고리(extension reflex loop)에 직접적으로 영향을 미쳐 운동의 복합통제시스템(complex regulating system)의 결함을 초래한다(Burridge 등, 2001). 일반적으로 뇌손상 후 편마비 환자에게 높은 빈도로 나타나는 경직은 심부힘줄반사의 항진, 근긴장도의 증가, 수동운동에 대한 저항의 증가, 척수 및 뇌줄기 반사의 항진 및 근육의 폄반사의 항진을 동반한 운동장애로 표현된다(Monaghan 등, 2010). 경직의 객관적 평가 방법으로는 생역학적 방법인 진자검사, 전기측각기, 등속성 역량계 등이 이용되고 있고(Robinson 등, 1988), 주관적 평가 방법으로 Fugl-Meyer 평가척도와 운동평가척도(motor assessment scale)가 뇌졸중 환자의 신체적 기능을 평가하기 위하여 고안되어 경직의 양적인 회복정도를 평가하는데 매우 유용하게 사용되고 있다(Gregson 등, 1999). 또한 뇌졸중 시 통상적으로 경직의 정도를 관찰하는 도구인 MAS(modified Ashworth scale)을 임상에서 주로 사용하고 있는 이유는 소요되는 시간이 짧고, 쉽고 간단하게 평가할 수 있기 때문이다(Bohannon 와 Smith, 1987).

경직을 완화시키는 중재 방법으로는 외과적인 수술치료, 내과적 약물치료 및 물리치료가 적용될 수 있으나, 경직을 근본적으로 치료하는 방법은 아직 없으며 단지 경직을 어느 정도 감소시켜 수의적인 운동을 촉진하고 이차적인 문제들을 미연에 방지하는데 그 목적이 있다. 이에 경직의 감소는 물리치료학적 측면에서 매우 중요한데, 경직감소를 위해 열, 한랭, 전기자극, 건 압박, 마사지, 진동자극, 탄력붕대 및 근전도 생체되먹임 등을 이용한 다양한 연구가 이루어져 왔다(박래준과 오정림, 2002).

FES는 전기자극 후 신경전달물질의 활성, 굽힘반사의 감소, Ia fiber의 지속적 과분극, 척수내 억제성 기전의 활성화 등 다양한 기전으로 경직의 감소를 유발시키므로(Davis 등, 2008), 신경근 전기자극의 형태로 말초신경 손상없이 환자의 근육강화, 관절가동범위 향상 및 유지, 근재교육, 부종감소 등의 다양한 분야에서 이용되고 있다. 또한, 편마비 환자의 경직을 개선시킬 목적으로 마비된 근육만을 선택적으로 지배하는 신경의 운동점(motor point)을 찾은 후 국소마취 하에서 주사침을 이용하여 전극을 운동점에 삽입하여 치료에 응용되는 FES를 병변쪽 종아리 신경(peroneal nerve)에 적용 시 유각기의 발처짐을 교정하는데 사용되고 있으며(Robinson 등, 1988), 단하지 보조기의 기능을 일부 대신할 수 있고, 보행 시 발등쪽굽힘과 발의 안쪽 번짐을 개선시켜 주는 효과가 있다(Popovic와 Keller, 2005). 그러나 만성 뇌졸중으로 인한 경직 유발 시 경직 감소의 치료적 중재로 FES와 통상적 운동치료를 비교 관찰한 연구는 매우 미흡한 실정이었다. 따라서 본 연구에서는 만성 뇌졸중 환자의 보행을 개선시킬 목적으로 FES 치료군, FES와 운동치료 병행군 및 운동치료군으로 구분하여 MAS와 발목관절의 ROM 변화를 비교 분석하여 재활과정에서 발처짐 현상의 주요 원인이 되는 발바닥쪽굽힘근의 경직을 완화시킬 수 있는 치료적 중재를 보편화하기 위해 실행되었다.

FES의 경직을 개선시키는 치료 효과에 대한 연구로는 넙다리네갈래근(quadriceps femoris muscle)에 경직이 있는 편마비 환자의 무릎관절 굽힘근에 매일 2회씩 30분간 전기자극을 한 결과 1개월 후 보행이 향상되었다는 보고(Schmid 등 2007), 경직이 있는 대항근인 앞정강근에 50ms로 10분 동안 적용한 후 아킬레스 건 반사의 진폭이 감소되어 발바닥쪽굽힘근의 경직 감소를 보고한 연구(Granz 등, 1996), 경직의 대항근에 단극성 배치로 100pps의 연속성 감응전류로 자극하여 경직의 감소는 FES가 대항근 운동 신경세포 활동을 교대로 억제시키는 척수 사

이신경세포를 흥분시킨다는 보고 등이 있다(Popovic와 Keller, 2005). 또한, 편마비 환자의 경직의 대항근인 팔과 다리 근육에 직각파로 20~30ms의 통전시간과 50Hz 주파수로 2초 자극, 2초 휴식의 순환주기(duty cycle)로 자극강도는 자극으로 인한 경직이 발생되지 않는 범위내로 하여 10~15분부터 2시간까지 환자의 90%에서 경직이 감소했다는 보고도 있다(Thomson와 Stein, 2004). 그러나 정상인 작용근이 전기자극에 의해 유발된 대항근의 상호억제에 관한 실험에서 어떤 근육의 전기자극은 그 근육의 수축 뿐만 아니라 그 근육의 대항근의 억제를 유발하여 대상자가 전기적으로 유발된 수축을 극복하려고 시도할 때 대항근의 수의적 수축을 방해한다는 상반된 보고도 있어(Bajd 등, 1985), FES의 경직 개선 효과의 기전은 아직 논의의 대상으로 남아 있다.

본 연구에서 MAS를 이용해 발바닥쪽굽힘근의 경직 정도를 측정한 결과 FES 치료군과 FES와 운동치료 병행군에서 시간 경과에 따라 경직 정도가 점차 감소하다 치료 종료 후 경직이 다시 증가하는 양상으로, 운동치료군에서는 시간 경과에 따라 경직 감소는 미미하게 나타나다 치료 종료 후 치료 전의 수준으로 급격히 회귀되는 양상으로 관찰된 것으로 미루어 FES가 운동치료 보다 만성 뇌졸중의 경직 개선에 보다 효과적인 것으로 나타났다. 이는 상위운동 신경세포 내에서 억제성 신경세포의 활성화 또는 신경가소성(neuroplasticity) 유발에 의한 것으로 단하지 보조기 대용으로 가능할 것으로 생각해 볼 수 있다.

이월효과(carry-over effect)는 전기자극 직후 나타나는 경직 감소 효과와 수의적 조절 능력의 증가가 한동안 지속되는 것으로 그 지속 기간에 대해서는 연구자마다 다른 보고를 하고 있다. 본 연구에서 FES에 의한 경직의 감소가 치료 종료 1주일 후에도 유지되는 이월효과가 관찰되어, 6주간의 FES 치료 후 효과가 78시간 이상 유지되었다는 선행연구(Taylor 등, 1999)와 유사한 결과를 산출하였는데, 이는 경직의 대항근에 FES을 적용한 결과 대항근 근방추의 일차종말에서 활성화된 자극이 척수에서 상호억제를 통해 과흥분된 작용근의 운동신경원 심부힘줄반사 흥분이 감소된 결과로 생각될 수 있으나 향후 많은 관련 연구가 필요할 것으로 판단된다.

한편, FES를 사용하여 일어서거나 보행을 원만히 하려면 5° 이상 발등쪽굽힘이 가능해야 하고, 무릎은 완전히 펼 수 있어야 하며, 엉덩관절은 적어도 5°의 과신전이 가능해야 한다(최현자 등, 2003). 뇌졸중 후 편마비에 의한 발목관절 ROM의 변화에 관한 연구로 18세에서 67세까지 편마비 환자 18명을 대상으로 5일간 치료 후 실험한 결과 수동적 최대 발등쪽굽힘이 개선된 증가량이 고유수용성 신경근 자극(proprioceptive neuromuscular facilitation, PNF) 치료 후 11.9±1.9(-55.9%)로, 정적 스트레칭 치료 후에는 7.7±2.2(-36.3%)로, 일반적인 전기치료 후에는 1.7±2.3(-7.8%)로 감소하였다는 보고가 있다(Sabut 등, 2010). 본 연구의 FES 치료군과 FES와 운동치료 병행군에서 시간 경과에 따라 관절가동범위가 점차 증가하다 치료 종료 후 다시 감소하는 양상으로, 운동치료군에서는 시간 경과에 따라 미미한 관절가동범위의 증가를 나타내다 치료 종료 후 치료 전의 수준으로 급격히 회귀되는 양상으로 관찰된 것으로 미루어 FES가 만성 뇌졸중 시 운동치료 보다 관절가동범위 개선에 보다 효과적인 것으로 나타났다. 그러나 FES의 경직 개선 및 관절가동범위 증가 효과를 장기간 관찰할 수 없었고, 보행 형태의 삼차원적 분석 및 H-반사 등의 변화를 관찰할 수 없었던 것이 본 연구의 제한점이었다. 향후 FES 적용 시 근전도 상 발등쪽굽힘근의 H-반사(H-reflex) 변화, 보행 개선의 삼차원적 경향 분석 및 fMRI를 이용한 대뇌피질의 활성 변화를 장기간 관찰하는 연구가 FES의 경직 개선의 기전을 규명하는데 유용할 것으로 사료된다.

V. 결 론

본 연구는 만성 뇌졸중 시 기능적 전기자극(FES)과 운동치료를 실시하여 MAS 점수와 발목관절의 관절가동범위의 변화를 통해 발바닥쪽굽힘근의 경직 개선 효과를 관찰하기 위해 수행되었다.

MAS를 이용해 발바닥쪽굽힘근의 경직 정도와 발목관절의 관절운동범위를 측정한 결과 FES 치료군과 FES와 운동치료 병행군에서 시간 경과에 따라

경직 정도가 점차 감소하였고, 관절가동범위도 발등 쪽굽힘이 점차 증가하는 양상으로 관찰되었다($p<.05$). 통상적 운동치료군에서는 시간 경과에 따라 경직 감소는 미미하게 감소하다 치료 종료 후 치료 전의 수준으로 급격히 회귀되었고, 관절가동범위도 발등 쪽굽힘이 약하게 증가되다 치료 종료 후 치료 전의 발바닥쪽굽힘으로 급격히 변환되는 양상으로 관찰되었다. 이는 물리치료 임상에서 통상적 운동치료로 만성 뇌졸중 환자의 발목관절의 운동기능 향상과 경직의 개선이 유발되지 않을 시 FES가 유용한 치료적 중재로 활용될 수 있음을 시사한다.

Acknowledgement

본 논문은 2011년도 나사렛대학교 학술연구비 지원에 의해 연구되었습니다.

참 고 문 헌

김용철, 이석민, 송창호. 기능적 전기자극 치료가 편마비 환자의 균형에 미치는 영향. 대한물리치료학회지. 2004;16(3):539-48.

박래준, 오정림. 기능적 전기자극이 뇌성마비아의 앉은 자세 균형에 미치는 효과. 대한물리치료학회지. 2002;14(4):281-6.

최현자, 오정림, 박래준. 기능적 전기자극 치료와 신경발달치료가 편마비 환자의 하지 경직에 미치는 영향. 대한물리치료학회지. 2003;15(3):645-58.

Baer HR, Wolf SL. Modified Emory functional ambulation profile: an outcome measure for the rehabilitation of poststroke gait dysfunction. Stroke. 2001;12(4):973-9.

Bajd T, Gregoric M, Vodovnik L et al. Electrical stimulation in treating spasticity resulting from spinal cord injury. Arch Phy Med Rehab. 1985; 66(8):515-7.

Bohannon RW, Smith MB. Interrater reliability of a modified Ashworth scale of muscle spasticity. Phy Ther. 1987;67(2):206-7.

Burridge JH, Wood DE, Taylor PN et al. Indices to describe different muscle activation patterns, identified during treadmill walking, in people with spastic drop-foot. Med Eng Phy. 2001;23(6):427-34.

Glanz M, Klawansky S, Stason W et al. Functional electrostimulation in poststroke rehabilitation: a meta-analysis of the randomized controlled trials. Arch Phy Medicine Rehab. 1996;77(6):549-53.

Gregson JM. Leathley M. Moore AP. Reliability of the tone assessment scale ant the modified Ashworth scale as clinical tools foe assessing poststroke spasticity. Arch Phy Med Rehab. 1999;80(2): 1023-6.

Hausdorff JM, Ring H. Effects of a new radio frequency-controlled neuroprosthesis on gait symmetry and rhythmicity in patients with chronic hemiparesis. American J Phy Med Rehab. 2008;87:4-13.

Lamontagne A, Malouin F, Richards CL. of passive stiffness to ankle plantar flexor moment during gate after stroke. Arch Phy Med Rehab. 2000;81 (3): 351-8.

Monaghan CC, Hermens HJ, Nene AV et al. The effect of FES of the tibial nerve on physiological activation of leg muscles during gait. Med Eng Phy. 2010;32(4):332-8.

Popovic MR, Keller T. Modular transcutaneous functional electrical stimulation system. Med Eng Phy. 2005;27(1):81-92.

Robinson CJ, Ket NA, Bolam JM. Spasticity in spinal cord injured patients: 1. Short-term effects of surface electrical stimulation. Arch Phy Med Rehab. 1988;69(8):598-604.

Sabut SK, Lenka PK, Kumar R et al. Effect of functional electrical stimulation on the effort and walking speed, surface electromyography activity, and metabolic responses in stroke subjects. J Electromyol Kin. 2010;20(6):1170-7.

Schmid A, Duncan PW, Studenski S et al. Improvements in speed-based gait classification are meaningful. Stroke. 2007;38(5):2096-100.

Taylor PN, Burridge JH, Dunkerley AL et al. Clinical use of the Odstock dropped foot stimulator: its effect on the speed and effort of walking. Arch Phys Med and Rehab. 1999;80(12):1577-83.

Yan T, Hui-Chan CW, Li LS. Functional electrical stimulation improves motor recovery of the lower extremity and walking ability of subjects with first acute stroke: a randomized placebo-controlled trial. Stroke. 2005;36(3):80-5.