

고빈도 경피신경전기자극이 편마비 환자의 하지 경직과 균형에 미치는 즉각적 효과

조휘영 · 인태성 · 이순현 · 이규창 · 신원섭 · 이용우 · 송창호

삼육대학교 물리치료학과

Immediate effects of High-Frequency Transcutaneous Electrical Nerve Stimulation on the Lower Limb Spasticity and the Balance in the Stroke Patient

Hwi-young Cho, PT, MS, Tae-sung In, PT, MS,
Soon-hyun Lee, PT, MS, Gyu-chang Lee, PT, PhD,
Won-seob Shin, PT, PhD, Yong-woo Lee, PT, MS, Chang-ho Song, PT, PhD

Department of Physical Therapy, Sahm Yook University

<Abstract>

Purpose : To investigate the immediate effects of transcutaneous electrical nerve stimulation(TENS) on the spasticity and the balance in the stroke patients.

Methods : 26 subjects with spasticity over lower limbs were allocated randomly into two groups : (1) TENS group, (2) placebo-TENS group. TENS was applied on the both gastrocnemius for 60 minutes(100 Hz, 0.25 ms, 2 times sensory threshold). The modified Ashworth Scale(MAS) and Manual Muscle Tester were used to assess the spasticity of the ankle plantar flexors. Static balance under three conditions was measured by force-plate; in (1) the condition of standing with eyes opened, (2) with eyes closed and (3) the condition of standing on unstable surface with eyes opened

Results : When compared with the pre and post TENS application, TENS showed significant reduction of ankle spasticity in MAS and MMT measurement. Also, Application of high-frequency TENS improved the balance under three conditions.

Conclusion : A single session of TENS to stroke patients could reduce spasticity and improve the balance.

Key Words : TENS, Spasticity, Balance, Stroke

I. 서 론

뇌졸중은 뇌로 가는 혈류의 차단으로 인해 발생되며 현대 사회에서 장애의 유발 및 사망의 주된 원인이 되는 질환이다(Feigin, 2005). 뇌졸중은 감각기능의 이상이 나타나며, 특히 얼굴, 팔, 다리에 나타나는 마비와 경직 같은 운동기능 장애는 이동 및 움직임의 제한과 근육 조절의 기능적 제한을 초래하여 장애와 불구의 주된 원인이 되고 있다(Langhorne 등, 2009). 뇌졸중 편마비 환자들은 비대칭적인 정렬과 신체 한 부분의 마비로 인하여 비대칭적인 자세가 유발되어 균형 능력이 감소되고, 이러한 균형 장애는 일상생활 동작의 회복을 방해하고 낙상의 주된 원인이 된다(Lamb 등, 2003; Nyberg와 Gustafson, 1995).

뇌졸중, 척수손상, 다발경화증, 외상성 뇌손상과 같은 상위운동신경원병은 종종 경직(spasticity)을 동반한다. 경직은 운동성질환으로 신장반사의 과흥분으로 인하여 근육 및 건의 신장 속도에 비례한 근육긴장의 증가를 특징으로 한다(Lance, 1980). 이러한 경직은 정상 움직임에 대항하는 움직임을 증가시켜 운동기능의 방해를 유발하여 보행 장애뿐만 아니라 통증과 구축을 유발한다(Lundqvist 등, 1991; Skold 등, 1999). 또한, 경직에 의한 근육긴장의 증가는 자가 관리 활동(self-care activity)을 방해하고 균형 장애를 유발하여 일상생활 동작의 독립성을 방해하거나 의존도를 높인다(Middleton 등, 1996). 따라서 경직의 증가는 상위운동신경원 환자의 삶의 질 개선과 기능 회복에 반드시 필수적이다.

경직의 임상적인 치료방법으로 운동치료, 항경직제, 수술적 방법 등이 시행되고 있다. 보툴리눔독소(botulinum toxin), 화학적 신경 차단마취, 약물치료와 신경외과적 치료는 효과적으로 경직을 감소시키지만 근위약이나 마비를 유발할 수 있다(Carmick, 1993). 또한, 바클로펜(baclofen), 티자니딘(tizanidine), 디아제팜(diazepam), 모르핀(morphine)과 같은 항경직제는 구강 및 척수강내로 투여되어 효과적으로 경직을 감소하지만 내성이나 약물의 부작용으로 인하여 지속적인 사용이 곤란하므로(Satkunam, 2003) 효과적인 경직의 증제를 위한 수술적 증제 및 약물

요법의 대안적인 방법이 더욱 요구되는 실정이다.

경피신경전기자극치료(transcutaneous electrical nerve stimulation; TENS)는 물리치료에서 가장 보편적으로 사용되는 비침습적인 치료 방법이다. TENS는 척수, 전복측 연수(rostral ventromedulla)와 수도관주위 회색질(periaqueductal gray)에서 아편유사제(opioids) 및 감마아미노부티르산(gamma amino butylic acid; GABA) 작용제(agonists)와 같은 억제성 신경전달물질의 분비와 내림 억제(descending inhibition)에 관여하여 통증을 증대한다(Desantana 등, 2009; Kalra 등, 2001; Sluka 등, 1999). TENS는 이처럼 큰 지름을 가진 A β 체성감각 구심성 섬유를 자극하여 통증을 증대할 뿐만 아니라 Ia 섬유가 증대하는 연접 전 억제를 통해 H-반사를 지연하였다(Hiraoka, 2002). Ng과 Hui-Chan(2007, 2009)은 TENS가 만성 편마비 환자의 경직 감소, 관절 움직임과 보행 능력을 향상시켰다고 보고하였고, Chung과 Cheng(2010)은 척수손상 환자에서 TENS의 적용은 경직과 발목간대성 경련(ankle clonus)를 감소시켰다고 보고하였으나 Miller(2007)와 Armutlu(2003)는 다발경화증 환자에서 TENS의 적용은 경직감소에 효과가 없었다고 보고하였다. 이처럼 TENS가 경직에 미치는 효과는 명확하지 않으며 연구가 부족한 실정이다. 또한, TENS는 정상인과 노인의 자세 균형의 증진에 도움이 된다고 보고하였으나(이승원 등, 2007; Dickstein 등, 2006) TENS가 편마비 환자의 균형 능력에 미치는 효과에 대한 연구는 전무하다.

이에 본 연구는 하지에 경직이 나타나고 균형 능력에 결손이 있는 편마비 환자에게 TENS를 적용하여 경직과 균형 능력에 미치는 효과를 알아보고자 하며 편마비 환자의 경직감소와 균형능력 향상을 위한 재활방법에 기초자료로 삼고자 한다.

II. 연구 방법

1. 연구 대상 및 실험 설계

본 연구는 경기도에 소재한 D재활병원에 입원 중인 뇌졸중 환자 26명을 대상으로 실시하였다. 실험 전에 본 연구의 목적과 방법에 대한 설명을 충

분히 듣고 실험 참여에 자발적인 동의가 있는 자를 대상으로 하였다. 선정기준은 인공 심장 박동기나 금속 이식물(metal implant)을 삽입하지 않은 자, 의 사소통에 제한이 없고 표면자극에 대한 내성이 없는 자, 이전에 TENS 치료 경험이 없는 자를 대상으로 하였다.

실험 설계는 단일 고빈도 TENS가 편마비 환자의 경직과 균형에 미치는 효과를 알아보기 위하여 치료 전후를 비교하였으며 무작위임상시험(randomized-control trial)과 속임 조절 연구(placebo-controlled trial)로 설계하였다.

2. 실험 방법

선정기준에 의해 선별된 26명을 대상으로 선정 편견(selection bias)을 최소화하기 위해 무작위 추출하여 두 군으로 나누어 중재 방법에 따라 TENS군과 속임TENS군에 14명과 12명을 배치하였다. 무작위 추출은 SPSS 프로그램의 무작위 표본추출을 이용하여 시행하였다. TENS를 적용하기 전과 후에 모든 대상자에게 경직과 균형능력을 검사하였다. 실험 전 대상자는 눈을 뜬 상태, 눈을 감은 상태, 불안정한 지면에서 눈을 뜬 상태에서 자세 동요를 측정하였으며, 도수근력계와 MAS를 통해 경직 지수(spasticity score)를 평가 하였다. 측정자는 대상자들이 속한 군을 알지 못하도록 하였고 측정자와 TENS 적용자를 달리 하였다. TENS군은 자극을 양하지 비복근의 근복 내외측에 60분간 적용하였고, 속임TENS군은 전극만 붙인 채로 자극 없이 60분을 적용하였다. 실험 후 도수근력계와 MAS를 통해 경직지수를 측정하였고 각각의 상태에서 자세동요를 측정하였다. TENS 자극을 위해 2채널 TENS(TENS-7000, Koalaty Products Inc., USA)를 사용 하였다. 주파수 100Hz, 맥폭은 200 μ s으로 고정하였고, 자극 전 각 대상자의 감각 역치를 측정하기 위해 0.01mA 부터 시작하여 대상자가 느낌을 느끼는 역치를 조사한 후 자극 시 각 개인의 감각 역치의 두 배 크기(amplitude)로 60분간 자극하였다(Chung와 Cheng, 2010).

3. 측정 및 도구

1) 힘판

자세동요를 측정하기 위해 힘판(PDM Multifunction Force Measuring Plate; Zebris, Germany)을 사용하였다. 32 \times 47cm의 판에 1cm² 당 1개씩 총 1504개의 압력센서(force sensor)가 선 자세나 보행 시 발의 정적, 동적인 압력을 측정한다. 모든 센서는 각각 독립적으로 측정된다. 측정압력의 범위는 1~120N/cm² 이고 정적표본압력추출 속도는 2~5Hz, 동적표본압력추출 속도는 약 90Hz이고 정확도는 \pm 5%이다.

대상자는 팔을 편안하게 내린 채 힘판 위에 서도록 하였으며 눈을 뜬 상태에서의 측정 시 3m 전방에 준비된 직경 15cm의 점을 주시하도록 하였고, 눈을 감은 상태에서의 측정 시 대상자의 안전을 위하여 보조자가 옆에 있었다. 발의 위치는 양쪽 내과(medial malleolar)사이가 8cm가 되도록 하였고, 발의 벌어진 각도는 10°를 유지하도록 하였다. 모든 대상자는 30초간 동요거리(cm)가 측정되었고, 3회 반복 측정하여 평균값을 구하였다. 힘판의 자료는 30초간 750Hz의 비율로 힘판과 연결된 소프트웨어인 FootPrint(Zebris, Germany)에 의해 수집되었다. 데이터의 수집은 ASCII파일로 추출하였고 추출된 데이터를 Excell v2007프로그램에 입력하여 계산식에 의해 자세동요거리와 자세동요속도를 구하였다. 모든 절차는 연구자에 의해 직접 시행되었다.

2) 경직 지수(spastic score)

경직 지수를 평가하기 위해 도수근력계(Model 01163 Lafayette, USA)와 MAS(Modified Ashworth Scale)를 이용하여 발목의 수동적 배측 굴곡에 대한 저항량을 측정하였다. 똑바로 누운 자세에서 발의 중수지절관절에 대하여 수직으로 근력계의 손잡이를 잡은 채로 최대 관절 가동범위까지 수동으로 배측 굴곡을 했을 때 최대 저항량을 측정하였다.

MAS(Modified Ashworth Scale)는 경직을 측정하는 주관적인 방법으로 타당도가 검증된 측정방법이다(Pizzi 등, 2005). MAS는 최대 저축굴곡상태에서 통증이 없는 범위까지 저축굴곡근을 수동신장 하는

Table 1. Baseline Characteristics of each groups. (N=26)

	TENS group (n=14)	Placebo TENS group (n=12)	t/ χ^2	p
Age(year)	53.07±11.64 ^a	52.17±9.20	.217	.826
Sex(%)	Male	8(66.67)	1.321	.365
	Female	4(33.33)		
Lesion side(%)	Right	3(25.0)	.910	.429
	Left	9(75.0)		
Time since onset(month)	18.00±4.21	15.50±4.96	1.319	.191

Note: ^a mean±S.D, ^b number(%)

것으로 0, 1, 1+, 2, 3, 4로 총 6단계로 이루어져 있고, 0은 정상이거나 매우 낮은 근긴장이며 4는 수동 신장이 불가능한 상태이다. 검사자는 환자를 바로 눕게 하여 한쪽 손으로 무릎이 구부러지지 않도록 종아리부분을 살짝 감싸고 반대쪽 손으로 발목을 배측굴곡 시켜 3회 반복하여 측정하였다. 측정 시 하지의 근긴장도를 높이지 않도록 환자에게 긴장을 풀도록 지시하여 능동적 수축으로 인한 변수를 제거시켰다.

4. 분석 방법

본 연구의 모든 통계적 분석은 SPSS 15.0을 이용하였다. Shapiro-Wilk 검정방법을 통해 변수들의 정규성 검정을 하였고, 결과 모든 변수가 정규분포 하였다. 대상자의 일반적 특성은 기술통계를 사용하였고, 집단간 차이를 알아보기 위해 독립표본 t검정과 카이검정을 시행하였다. TENS의 효과를 비교하기 위해 대응표본 t검정을 실시하여 적용 전후를 비교하였고, 자료의 모든 통계적 유의수준(α)은 0.05 이하로 하였다.

III. 결 과

1. 연구 대상자의 일반적 특성

연구에 참가한 대상자의 일반적 특성을 보면 성별의 경우 TENS군의 경우 남자가 12명, 여자가 2명 이었고, 속임TENS군은 남자가 8명, 여자가 4명

이었다. 평균 연령은 TENS군은 53.07세, 속임TENS군은 52.16세 이었다. 유병 기간을 보면 TENS군이 18.0개월, 속임TENS군이 15.5개월 이었고, 손상부위는 TENS군이 우측이 6명, 좌측이 8명 이었고, 속임TENS군은 우측이 3명, 좌측이 9명으로 두 군 간의 일반적 특성에는 유의한 차이가 없었다(Table 1).

2. 고빈도 TENS가 균형에 미치는 효과

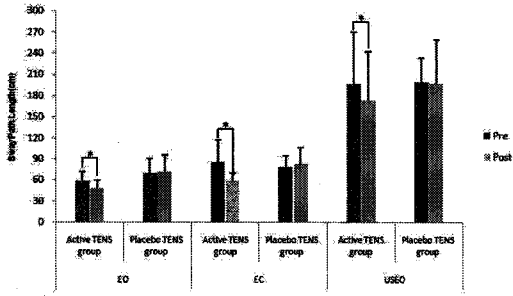
TENS가 균형에 미치는 효과는 눈을 뜬 상태와 눈을 감은 상태 그리고 불안정한 지면에서 눈을 뜬 상태, 예서 좌우, 전후, 총동요거리로 측정하였다.

눈을 뜬 상태에서 TENS군은 전후 동요거리가 38.59cm에서 32.74cm로 약 15.16%감소되었지만 유의하지 않았고, 좌우 동요거리는 32.74cm에서 29.98로 약 16.14% 유의하게 감소되었다. 눈을 감은 상태에서는 TENS의 적용에 의하여 전후 이동거리는 48.66cm에서 36.08cm로 약 25.85% 유의하게 감소되었으며 좌우 이동거리 또한 59.56cm에서 39.17cm로 약 34.23% 유의하게 감소되었다. 불안정한 지면에서 눈을 뜬 상태의 대상자에게 TENS의 적용은 눈을 뜬 상태에서 TENS의 적용과 비슷하게 전후 및 좌우 동요거리가 감소되었지만 좌우에서만 유의하였다. 총동요거리에서 TENS군은 적용 전 눈을 뜬 상태와 눈을 감은 상태에서 각각 58.58cm와 85.60cm를 나타냈고 적용 후 각각 49.34cm와 59.25cm으로 약 15.78%와 30.78%의 유의한 차이가 나타났다 ($p<0.05$). 불안정한 지면에서 눈을 뜬 상태에서도 적용 전 197.45cm에서 적용 후 172.99cm으로 12.39%

Table 2. The effects of TENS on the balance. (N=26)

Sway Length(cm)		Active TENS group (n=14)	Placebo TENS group (n=12)	t	p	
EO	AP	pre	38.59±9.57	50.27±20.18	1.873	0.074
		post	32.74±7.03	50.86±11.13		
		pre-post	5.85±4.92	0.59±16.92	1.315	0.201
		t	4.290	0.121		
	ML	p	0.001	0.906		
		pre	35.75±9.18	38.19±8.74	0.679	0.504
		post	29.98±7.99	40.93±6.28		
		pre-post	5.77±5.79	2.73±6.46	3.473	0.002
	Total	t	3.597	1.475		
		p	0.004	0.171		
		pre	58.58±13.62	70.10±20.08	1.691	0.104
		post	49.34±11.04	72.22±23.46		
	pre-post	9.24±7.44	2.12±11.29	2.994	0.006	
	t	4.479	0.652			
	p	0.001	0.529			
	EC	AP	pre	48.66±13.36	57.00±13.26	1.566
post			36.08±6.25	61.31±22.42		
pre-post			12.58±10.77	4.31±9.18	4.202	0.000
t			4.213	1.639		
ML		p	0.001	0.132		
		pre	59.56±30.39	41.91±6.86	1.963	0.062
		post	39.17±9.44	43.35±6.84		
		pre-post	20.39±28.56	1.45±3.96	2.621	0.015
Total		t	2.574	1.273		
		p	0.024	0.232		
		pre	85.60±31.72	78.55±16.07	0.691	0.496
		post	59.25±10.18	82.79±23.94		
	pre-post	26.35±29.59	4.24±8.27	3.453	0.002	
	t	3.210	1.790			
	p	0.007	0.104			
	USEO	AP	pre	152.95±63.02	158.75±24.74	0.298
post			134.08±61.60	149.63±59.54		
pre-post			18.87±20.73	9.11±18.07	1.249	0.224
t			3.281	1.762		
ML		p	0.007	0.108		
		pre	95.11±30.64	89.82±23.81	0.479	0.636
		post	85.00±28.41	86.01±26.32		
		pre-post	10.10±6.13	3.81±8.21	2.158	0.042
Total		t	5.899	1.619		
		p	0.000	0.136		
		pre	197.45±72.56	199.16±35.00	0.074	0.942
		post	172.99±69.43	198.53±60.94		
	pre-post	24.46±27.70	0.63±28.89	2.105	0.046	
	t	3.184	0.076			
	p	0.008	0.946			

Note: Values are mean±S.D, *means the significant changes between pre and post TENS application(p<0.05)
EO:Eye Open, EC:Eye Closed, USEO: Unstable Surface with Eye Open, ML:Mediolateral, AP: Anterioposterior



* Significance at $p < 0.05$.

Fig 1. Comparison of Sway Path Length between Active TENS group and Placebo TENS group

의 유의한 차이가 나타났다($p < 0.05$).

반면, 속임TENS군은 눈을 뜬 상태, 눈을 감은 상태 그리고 불안정한 지면에서 눈을 뜬 상태의 총동요거리에서 적용 전 각각 70.10cm, 78.55cm, 199.16cm을 나타냈으며 속임 TENS 적용 후 각각 72.35cm, 82.79cm, 198.53cm로 유의한 차이를 보이지 않았다. 좌우 및 전후 동요거리에서도 모두 유의한 차이가 나타나지 않았다. 두 군간 실험 전후의 자세동요의 변화량을 비교한 결과 속임TENS군에 비해 TENS군에서 눈을 뜬 상태와 눈을 감은 상태 그리고 불안정한 지면에서 눈을 뜬 상태 모두 좌우, 전후, 총동요거리의 더 유의한 감소를 보였다($p < 0.05$)(Table 2, Figure 1).

3. 고빈도 TENS가 경직에 미치는 효과

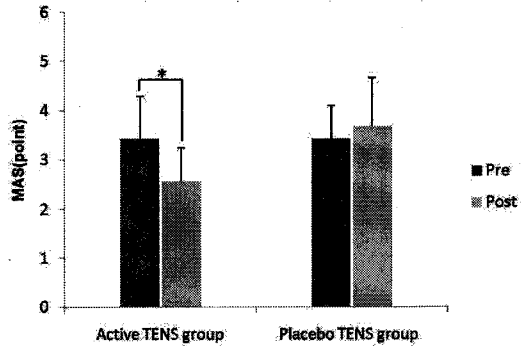
Table 3. The effects of TENS on spasticity. (N=26)

	Active TENS group (n=14)	Placebo TENS group (n=12)	t	p	
MAS(point)	pre	3.43±0.85	3.42±0.67	0.031	0.975
	post	2.57±0.65	3.67±0.99		
	pre-post	0.86±2.57	0.25±0.29	4.368	0.000
	t	4.837	1.402		
	p	0.000	0.191		
Resistance(kg)	pre	12.47±3.92	15.60±7.33	1.351	0.189
	post	9.05±4.01	14.53±6.32		
	pre-post	3.67±2.79	1.07±6.97	1.509	0.144
	t	4.525	0.254		
	p	0.001	0.805		

Note: Values are mean±S.D, *means the significant changes between pre and post TENS application($p < 0.05$)

TENS군은 실험 전 도수 근력계를 통한 발목의 수동적 배측 굴곡에 대한 저항량이 12.47kg에서 적용 후 9.05kg으로 유의하게 감소되었다($p < 0.05$). MAS 역시 3.43점에서 적용 후 2.57점으로 유의하게 감소되었다. 속임TENS군의 경우 도수 근력계의 저항 수치와 MAS는 15.60kg과 3.42점으로 나타났고 각각 14.53kg과 3.67점으로 나타났으며 통계적으로 유의하지는 않았다.

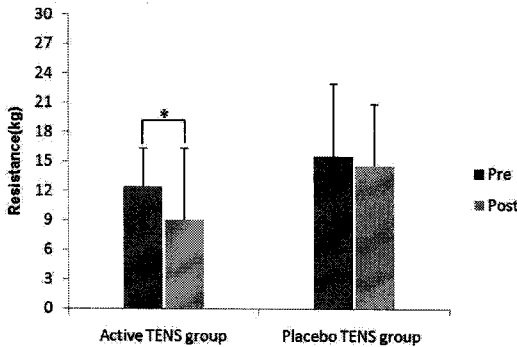
두 군간 실험 전후의 MAS와 도수근력계의 저항수치의 변화량을 비교한 결과 속임TENS군에 비해 TENS군에서 MAS의 더 유의한 감소를 보였으나 ($p < 0.05$), 도수근력계의 저항수치는 유의한 차이를 보이지 않았다(Table 3, Figure 2, 3).



* Significance at $p < 0.05$.

Fig 2. Comparison of MAS between Active TENS group and Placebo TENS group

고빈도 경피신경전기자극이 편마비 환자의 하지 경직과 균형에 미치는 즉각적 효과



* Significance at $p < 0.05$.

Fig 3. Comparison of Resistance between Active TENS group and Placebo TENS group

IV. 논 의

본 연구 결과는 60분간의 단일 고빈도 TENS 자극이 편마비 환자의 경직과 다양한 상태의 균형 능력 개선에 효과적임을 증명하였다.

본 연구는 경직이 유발된 편마비 환자에게 단일 고빈도 TENS를 적용하여 MAS에서 유의한 감소와 도수근력계를 이용한 배측굴곡 저항량의 감소를 입증하였고, 이를 통해 TENS의 항경직 효과를 확인하였다.

앞선 여러 연구에서도 본 연구 결과와 마찬가지로 고빈도 TENS의 항경직 효과를 보고하였다. Aydin(2005)은 척수손상 환자에서 고빈도 TENS의 항경직 효과가 바클로펜과 비슷하였고, Chung과 Cheng(2010)도 척수손상 환자에서 단일 TENS 자극의 항경직 효과를 보고하였다. Ng과 Hui-Chan(2007, 2009)과 Sonde 등(2000)은 편마비 환자에서 고빈도 TENS의 항경직 효과를 보고하였다.

경직을 감소시키기 위하여 임상에서 다양한 항경직제가 사용되고 있으며(Satkunam, 2003), 바클로펜은 가장 많이 사용되는 약물로서 뇌졸중, 척수손상, 다발경화증과 같은 다양한 상위운동신경원 질환자에서 강력한 항경직 효과를 나타낸다(Lewis와 Mueller, 1993). 바클로펜은 GABA 수용체 작용제로 척수의 등쪽बाट에서 단일연접 및 다중연접의 척수반사를 억제한다(Kita와 Goodkin, 2000). GABA 수용체는 척수의 전·후 연접(pre and post-synapse)에 존재하며

연접전 종말(presynaptic terminal)을 과분극시켜 흥분성 신경전달 물질의 분비를 억제하고 알파 운동신경 활동(alpha motor neuron)을 억제시킨다(Milanov, 1992). 또한, Ia 원심성 섬유는 연접후 종말의 칼슘이온 전도성을 증가시켜 과분극을 유발하며, 감마 운동신경 활동의 억제를 유발한다(Harrison, 1982). 동물 연구에 따르면, 쥐에게 고빈도 TENS의 적용은 척수 후각에서 억제성 GABA 신경전달물질의 분비를 증가시켜 신경흥분을 감소시켰고(Macdai 등, 2007), 신경병증성 통증이 유발된 쥐에서도 TENS는 GABA의 시냅소솜 내용물(synaptosomal content)를 유의하게 증가시켜 신경흥분을 감소시켰다(Somers와 Clemente, 2009). 따라서, TENS는 강력한 항경직제인 바클로펜처럼 척수에서 GABA의 활성화를 통해 경직을 감소시켰을 것으로 생각한다.

모르핀은 강력한 아편유사작용제로서 현재까지 가장 강력한 진통 효과를 나타내는 약물이며 다양한 통증을 증대한다(Dickenson, 1991). 또한, 모르핀은 척수강이나 경막외로 주입 시 다발경화증 환자와 척수손상 환자에서 강력한 항경직 효과를 나타냈고(Penn와 Kroin, 1987; Struppler 등, 1983), 바클로펜 내성이 유발된 환자에서도 강력한 항경직 효과를 보였다(Soni 등, 2003). 이러한 효과는 척수 후각의 Aδ 나 C 섬유와 연관된 다중연접반사에 영향을 미쳐 반사궁을 억제하였기 때문이다(Erickson 등, 1985). 쥐를 이용한 동물 연구에서도 척수손상으로 인하여 경직이 유발되면 아편유사제 전구체인 내재성 디놀핀(dynorphin)의 발현이 흥수와 요수에서 유의하게 감소되었고 아편양유사 작용제나 고빈도 TENS를 적용하면 근육연축이 유의하게 감소되었으며(Dong 등, 2005), 관절염 쥐에서 TENS에 의한 효과가 아편양길항제에 의하여 차단되었다(Kalra 등, 2001). 사람 연구에서도 고빈도 TENS는 뇌척수액과 혈류에서 아편양펩티드의 발현을 증가시켰다(J. S. Han 등, 1991). 즉, 우리의 연구에서 고빈도 TENS는 중추신경계 내 아편양제제의 활성을 증가시켜 경직을 감소시켰을 것이다.

바클로펜은 주로 구강으로 주입되어 체내로 흡수되지만 혈액뇌장벽을 투과하지 못하여 심한 경직이나 지속적 증세에 제한이 따르고 척수강내 주입은

적은 용량으로도 지속적인 증체에 효율적이지만 근 약화, 저혈압과 같은 부작용 및 내성이 유발되어 사용에 제한이 따른다(Kita와 Goodkin, 2000; Satkunam, 2003). 또한, 아편양유사작용제도 지속적인 주입에 의하여 내성이 유발되어 지속적인 사용에 제한이 따른다(Erickson 등, 1985). 하지만, 고빈도 TENS 적용은 2주부터 3달까지 적용을 하여도 내성이 유발되지 않았으며 치료 이후에도 경직 감소효과가 나타났다(Ng와 Hui-Chan, 2007, 2009; Sonde 등, 2000). 그러므로, 고빈도 TENS는 적용이 용이하고 비침습적이며, 항경직에 효과적으로 경직의 의학적 치료에 효율적인 보충장비가 될 것이다.

본 연구는 TENS의 항경직 효과를 GABA와 아편양 수용체에 의한 것으로 추정하였다. 하지만, 본 연구는 TENS의 항경직 효과에 대한 명확한 기전 제시에 제한이 따르며, 추후 동물 연구를 통해 TENS의 항경직 효과에 관여하는 신경전달 물질에 대한 기전연구가 필요하다고 사료된다.

TENS는 편마비 장애인(Ng와 Hui-Chan, 2007; Yan과 Hui-Chan, 2009), 척수손상 환자(Chung과 Cheng, 2010), 뇌성마비(Alabdulwahab과 Al-Gabbani, 2010)에서 효과적인 항경직 효과를 나타냈다. 경직이 유발된 근육은 과흥분성 신장반사가 나타나며, TENS는 구심성 Ia 신경을 활성화하여 연결전 억제회로를 통해 경직이 유발된 근육의 신장반사를 억제하였을 것으로 사료된다. H-반사 크기의 감소는 이것을 대변하는 분명한 예로, TENS는 건강한 사람에서 구심성 Ia 신경 활성화를 통해 연결전 억제회로에 관여하여 H-반사를 지연시켰고(Hiraoka, 2002), 편마비 환자에서도 H-반사의 크기와 경직을 모두 효과적으로 감소시켰다(Bakhtary와 Fatemy, 2008). 따라서, TENS는 척수의 억제성 회로를 통하여 경직을 감소하였을 것이다.

단일 고빈도 TENS 자극은 경직의 경감뿐만 아니라 다양한 자세에서 균형 능력을 증진시켰다. 우리의 연구와 비슷하게, Dickstein(2006)은 정상인에게 TENS를 적용하였더니 기립자세에서 평균 동요 속도, 내외 및 전후 동요 속도 감소가 나타났으며, 이승원 등(2007)은 노인에게 고빈도 TENS를 적용하였더니 자세동요가 감소되었음을 보고하였다. 편마

비 환자에서도 TENS의 적용은 신장반사의 감소, 경직의 감소와 수의적 수축과 같이 운동 기능의 향상을 나타냈고(Levin와 Huichan, 1992), 보행 속도와 보행 지구력이 향상되었다(Ng와 Hui-Chan, 2007, 2009). 동물 연구에서도 고빈도의 전기자극은 발디딤력(steping force)을 증가시켰다(Hahm, 2007).

신체의 균형 능력은 하지의 체성감각 중 고유감각에 기인한다(Lord 등, 1991). 하지에 적용된 TENS의 전기적 자극은 하지에서 중추신경계로 가는 체성감각 정보를 증가시켰을 것이다. 동물연구에 따르면, 뇌에서 체성감각 피질은 운동 피질영역과 연결이 되어있어 감각 자극으로 운동 영역에 영향을 미칠 수 있음을 보고하였다(Farkas 등, 1999). 따라서, 본 연구에서 양측 비복근에 적용된 TENS 자극은 하지의 증가된 체성감각 유입을 통하여 뇌의 운동 기능 영역을 재조직화하여 운동 생산량(motor output)을 증가시켜 균형 능력이 향상되었을 것으로 생각한다.

경직은 움직임과 사지의 기능을 제한하고, 비대칭적인 정렬을 유발하여 균형 능력에 감소를 유발할 수 있다(Lamb 등, 2003; Langhorne 등, 2009). 우리는 TENS를 편마비 환자의 경직이 유발된 비복근에 부착하여 경직을 감소시켰고, 비복근 경직의 완화는 비대칭 정렬의 개선과 움직임 및 사지 기능의 제한을 경감시켜 정적 및 동적 기립 균형을 향상시켰을 것이다.

TENS는 다양한 지표들이 있고 각기 다른 효과를 유발한다. 고빈도와 저주파 전기자극은 신경계에서 다른 신경전달물질을 분비하였고(Z. Han 등, 1999), 중추신경계의 활성화부위(Zhang 등, 2003)와 말초조직 반응이 다르다(Hahm, 2007). 또한, TENS의 적용 방법은 지속이나 파열 같은 출력의 형태와 경혈점, 통증부위, 손상부위, 이환부와 동일한 신경지배의 근위부 같은 적용 부위 그리고 맥박폭, 전극의 모양과 적용 시간 및 기간 등에 따라 다양하다(Sluka, 2009). 이런 다양한 지표들과 표준 치료 규례(standard treatment protocol)의 부재는 TENS에 근거한 연구들의 분석을 어렵게 한다(Carroll 등, 1996). 앞선 연구에서 고빈도 TENS가 편마비 환자의 경직 감소에 효과적임을 보고하였지만 무작위임상시험이 시행되

지 않았다(Sonde 등, 2000). 실험자의 선입견은 실험에 영향을 미칠 수 있다(Eisenach와 Lindner, 2004). 본 연구와 Ng과 Hui-Chan(2007, 2009)은 무작위임상시험을 시행하여 피실험자의 적절한 그룹 배열과 측정자의 주관적 개입을 배제하였다. 또한, 속임 조절 연구를 통해 고빈도 TENS가 편마비 환자의 항경직에 효과적임을 입증하였다.

우리는 Ng과 Hui-Chan(2007, 2009)의 연구와 동일하게 감각 역치 두 배 강도의 고빈도 TENS를 편마비 환자에게 적용하여 유의한 항경직 효과를 입증하였다. 하지만, 우리의 연구는 경직이 나타나는 비복근의 근복에 단일 적용한 반면, Ng과 Hui-Chan(2007, 2009)은 4주간 적용하였고 전극의 부착부위가 경혈점이었다. Chung과 Cheng(2010)은 우리와 동일하게 감각 역치 두 배 강도의 단일 고빈도 TENS 자극이 항경직에 효과적임을 보고하였지만 피실험자가 척수손상 환자였고 부착부위는 종아리뼈머리부 후면의 온종아리신경 주행부였다. 따라서, 본 연구를 통해 편마비 환자의 경직에 대한 고빈도 TENS의 효과에서 자극 기간 및 적용 부위에 대한 효과와 단일 고빈도 TENS 자극이 상위운동신경원 질환자의 경직에 미치는 효과에서 적용 부위와 손상 형태에 따른 효과는 명확하지 않다.

본 연구결과를 통해 편마비 환자에게 고빈도 TENS의 단일 자극이 경직 완화와 정적 및 동적 균형 향상에 효과적임을 입증하였다. 이 결과는 편마비 환자 및 상위운동신경원 질환자의 경직 중재와 균형 능력 향상을 위한 재활 및 치료적 중재방안을 제시하였고 TENS의 표준 치료 규제 확립에 유용한 자료가 될 것으로 기대한다. 향후 연구에서는 TENS의 적용 부위와 적용 기간에 따른 효과를 검증하는 연구가 필요하다고 생각한다.

V. 결 론

본 연구는 고빈도 TENS 단일 자극이 편마비 환자의 경직과 균형 능력에 미치는 효과를 알아보기 위하여 실시하였다. 뇌졸중 환자 26명을 대상으로 두 군으로 나누어 중재 방법에 따라 TENS군에는 60분간 TENS 자극을 속임TENS군에는 자극을 주지

않았다. 실험 전후에 균형과 경직을 검사하여 다음의 결론을 얻어서 고빈도 TENS는 편마비 환자의 경직을 유의하게 감소시키며 편마비 환자에서 정적 및 동적 균형 능력을 유의하게 향상시켰다.

본 연구의 결과에 따라 편마비 환자의 비복근에 고빈도 TENS 단일 자극은 경직 감소와 균형 능력 향상에 즉각적인 효과를 확인했다. 또한, 본 연구 결과를 통해 편마비 환자의 경직감소와 균형향상을 위한 재활 분야에서 TENS의 사용에 대한 가능성을 열었으며 향후 지속적인 효과, 장기간의 효과 등 많은 연구의 필요하리라 생각한다.

참 고 문 헌

- 이승원, 김남조, 박대성 등. 정상인군과 노인군의 TENS 적용을 통한 자세동요 비교. 한국스포츠리서치. 2007;18(5):659-668.
- Alabdulwahab SS, Al-Gabbani M. Transcutaneous electrical nerve stimulation of hip adductors improves gait parameters of children with spastic diplegic cerebral palsy. *NeuroRehabilitation*. 2010; 26(2):115-22.
- Armutlu K, Meric A, Kirdi N, et al. The effect of transcutaneous electrical nerve stimulation on spasticity in multiple sclerosis patients: a pilot study. *Neurorehabilitation and Neural Repair*. 2003;17(2):79-82.
- Aydin G, Tomruk S, Keles I, et al. Transcutaneous electrical nerve stimulation versus baclofen in spasticity: Clinical and electrophysiologic comparison. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*. 2005;84(8):584-592.
- Bakhtiar AH, Fatemy E. Does electrical stimulation reduce spasticity after stroke? A randomized controlled study. *Clin Rehabil*. 2008;22(5):418-25.
- Carmick J. Clinical Use of Neuromuscular Electrical-Stimulation for Children with Cerebral-Palsy .1. Lower-Extremity. *Physical Therapy*. 1993;73(8): 505-513.
- Carroll D, Tramer M, McQuay H, et al. Randomization

- is important in studies with pain outcomes: Systematic review of transcutaneous electrical nerve stimulation in acute postoperative pain. *British Journal of Anaesthesia*. 1996;77(6):798-803.
- Chung BPH, Cheng BKK. Immediate effect of transcutaneous electrical nerve stimulation on spasticity in patients with spinal cord injury. *Clinical Rehabilitation*. 2010;24(3):202-210.
- Desantana JM, Da Silva LFS, De Resende MA, et al. Transcutaneous Electrical Nerve Stimulation at Both High and Low Frequencies Activates Ventrolateral Periaqueductal Grey to Decrease Mechanical Hyperalgesia in Arthritic Rats. *Neuroscience*. 2009;163(4):1233-1241.
- Dickenson AH. Mechanisms of the Analgesic Actions of Opiates and Opioids. *British Medical Bulletin*. 1991;47(3):690-702.
- Dickstein R, Laufer Y, Katz M. TENS to the posterior aspect of the legs decreases postural sway during stance. *Neuroscience Letters*. 2006; 393(1):51-55.
- Dong HW, Wang LH, Zhang M, et al. Decreased dynorphin A(1-17) in the spinal cord of spastic rats after the compressive injury. *Brain Research Bulletin*. 2005;67(3):189-195.
- Eisenach JC, Lindner MD. Did experimenter bias conceal the efficacy of spinal opioids in previous studies with the spinal nerve ligation model of neuropathic pain? *Anesthesiology*. 2004;100(4): 765-767.
- Erickson DL, Blacklock JB, Michaelson M, et al. Control of Spasticity by Implantable Continuous-Flow Morphine Pump. *Neurosurgery*. 1985;16(2): 215-217.
- Farkas T, Kis Z, Toldi J, et al. Activation of the primary motor cortex by somatosensory stimulation in adult rats is mediated mainly by associational connections from the somatosensory cortex. *Neuroscience*. 1999;90(2):353-361.
- Feigin VL. Stroke epidemiology in the developing world. *Lancet*. 2005;365(9478):2160-2161.
- Hahn TS. The effect of 2 Hz and 100 Hz electrical stimulation of acupoint on ankle sprain in rats. *Journal of Korean Medical Science*. 2007;22(2): 347-351.
- Han JS, Chen XH, Sun SL, et al. Effect of Low-Frequency and High-Frequency Tens on Met-Enkephalin-Arg-Phe and Dynorphin-a Immunoreactivity in Human Lumbar Csf. *Pain*. 1991;47(3):295-298.
- Han Z, Jiang YH, Wan Y, et al. Endomorphin-1 mediates 2 Hz but not 100 Hz electroacupuncture analgesia in the rat. *Neurosci Lett*. 1999;274(2): 75-78.
- Harrison FG. The Effects of Baclofen on Gamma-Motoneurons Supplying Gastrocnemius-Muscle in the Rabbit. *Neuropharmacology*. 1982;21(10):973-979.
- Hiraoka K. Neural mechanisms underlying the effect of transcutaneous electrical nerve stimulation in humans. *Electromyogr Clin Neurophysiol*. 2002;42 (6):359-366.
- Kalra A, Urban MO, Sluka KA. Blockade of opioid receptors in rostral ventral medulla prevents antihyperalgesia produced by transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS). *J Pharmacol Exp Ther*. 2001;298(1):257-263.
- Kita M, Goodkin DE. Drugs used to treat spasticity. *Drugs*. 2000;59(3):487-495.
- Lamb SE, Ferrucci L, Volapto S, et al. Risk factors for falling in home-dwelling older women with stroke - The women's health and aging study. *Stroke*. 2003;34(2):494-500.
- Lance JW. Symposium synopsis, in Feldman RG, Young RR, Koella WP. Spasticity: Disordered Motor Control. Chicago, Yearbook Medical Publishers. 1980.
- Langhorne P, Coupar F, Pollock A. Motor recovery after stroke: a systematic review. *Lancet Neurology*. 2009;8(8):741-754.
- Levin MF, Huichan CWY. Relief of Hemiparetic

- Spasticity by Tens Is Associated with Improvement in Reflex and Voluntary Motor Functions. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*. 1992;85(2):131-142.
- Lewis KS, Mueller WM. Intrathecal Baclofen for Severe Spasticity Secondary to Spinal-Cord Injury. *Annals of Pharmacotherapy*. 1993;27(6):767-774.
- Lord SR, Clark RD, Webster IW. Physiological Factors Associated with Falls in an Elderly Population. *Journal of the American Geriatrics Society*. 1991;39(12):1194-1200.
- Lundqvist C, Siosteen A, Blomstrand C, et al. Spinal-Cord Injuries - Clinical, Functional, and Emotional Status. *Spine*. 1991;16(1):78-83.
- Maedai Y, Lisi TL, Vance CGT, et al. Release of GABA and activation of GABA(A) in the spinal cord mediates the effects of TENS in rats. *Brain Research*. 2007;1136(1):43-50.
- Middleton JW, Siddall PJ, Walker S, et al. Intrathecal clonidine and baclofen in the management of spasticity and neuropathic pain following spinal cord injury: A case study. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*. 1996;77(8):824-826.
- Milanov IG. Mechanisms of Baclofen Action on Spasticity. *Acta Neurologica Scandinavica*. 1992;85(5):305-310.
- Miller L, Mattison P, Paul L, et al. The effects of transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) on spasticity in multiple sclerosis. *Multiple Sclerosis*. 2007;13(4):527-533.
- Ng SSM, Hui-Chan CWY. Transcutaneous electrical nerve stimulation combined with task-related training improves lower limb functions in subjects with chronic stroke. *Stroke*. 2007;38(11):2953-2959.
- Ng SSM, Hui-Chan CWY. Does the use of TENS increase the effectiveness of exercise for improving walking after stroke? A randomized controlled clinical trial. *Clinical Rehabilitation*. 2009;23(12):1093-1103.
- Nyberg L, Gustafson Y. Patient Falls in Stroke Rehabilitation - a Challenge to Rehabilitation Strategies. *Stroke*. 1995;26(5):838-842.
- Penn RD, Kroin JS. Long-Term Intrathecal Baclofen Infusion for Treatment of Spasticity. *Journal of Neurosurgery*. 1987;66(2):181-185.
- Pizzi A, Carlucci G, Falsini C, et al. Evaluation of upper-limb spasticity after stroke: A clinical and neurophysiologic study. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*. 2005;86(3):410-415.
- Satkunam WE. Rehabilitation medicine: 3. Management of adult spasticity. *Canadian Medical Association Journal*. 2003;169(11):1173-1179.
- Skold C, Levi R, Seiger A. Spasticity after traumatic spinal cord injury: Nature, severity, and location. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*. 1999;80(12):1548-1557.
- Sluka KA. MEchanisms and Management of Pain for the Physical Therapist. Chapter 8: Transcutaneous Electrical Nerve Stimulation and Interferential Therapy. Seattle, IASP Press. International Association for the Study of Pain. 2009.
- Sluka KA, Deacon M, Stibal A, et al. Spinal blockade of opioid receptors prevents the analgesia produced by TENS in arthritic rats. *Journal of Pharmacology and Experimental Therapeutics*. 1999;289(2):840-846.
- Somers DL, Clemente FR. Contralateral High or a Combination of High- and Low-Frequency Transcutaneous Electrical Nerve Stimulation Reduces Mechanical Allodynia and Alters Dorsal Horn Neurotransmitter Content in Neuropathic Rats. *Journal of Pain*. 2009;10(2):221-229.
- Sonde L, Kalimo H, Viitanen M. Stimulation with High-frequency TENS-Effects on Lower Limb Spasticity after Stroke. *Advances in Physiotherapy*. 2000;2:183-187.
- Soni BM, Mani RM, Oo T, et al. Treatment of

- spasticity in a spinal cord-injured patient with intrathecal morphine due to intrathecal baclofen tolerance - a case report and review of literature. *Spinal Cord*. 2003;41(10):586-589.
- Struppler A, Burgmayer B, Ochs GB, et al. The Effect of Epidural Application of Opioids on Spasticity of Spinal Origin. *Life Sciences*. 1983; 33:607-610.
- Yan T, Hui-Chan CW. Transcutaneous electrical stimulation on acupuncture points improves muscle function in subjects after acute stroke: a randomized controlled trial. *J Rehabil Med*. 2009; 41(5):312-6.
- Zhang WT, Jin Z, Cui GH, et al. Relations between brain network activation and analgesic effect induced by low vs. high frequency electrical acupoint stimulation in different subjects: a functional magnetic resonance imaging study. *Brain Research*. 2003;982(2):168-178.