

기능적 전기 자극을 사용한 호흡보조훈련이 사지마비 환자의 호흡기능에 미치는 효과

장우남*, 민원규, 이해경

연세대학교 세브란스 재활병원 물리치료실

The Effects of Assisted Respiratory Training using Functional Electrical Stimulation on Respiratory Function in Patients with Tetraplegia

Woo-Nam Chang*, Won-Kyu Min, Hye-Kyeong Lee

Department of Physical Therapy, Severance Rehabilitation Hospital, Yonsei University, Seoul, Korea

Purpose Paralysis of abdominal muscles is the main cause of respiratory dysfunctions in patients with cervical spinal cord lesion. Activation of the abdominal muscles using functional electrical stimulation (FES) improved respiratory function in these patients. However, studies evaluating the effect of assisted respiratory training using FES on abdominal muscles in tetraplegia with cervical spinal cord lesion are sparse. **Methods** FES was applied to the abdominal muscles. Respiratory function tests were performed before and after therapy, and at 2 weeks follow-up. In addition to chest physical therapy, patients received training to improve respiratory function (experimental group) or training for increasing muscle tone of lower limb (control group). Both groups received 10 hours of additional training on FES; 30 minutes a day, 5 times a week, for 4 weeks. **Results** After 4-week therapy, both groups displayed significant improvement in their MIC, FVC, FEV1, assisted PCF, and unassisted PCF ($p < 0.05$). At the follow-up test (2 weeks after 4-week therapy), the experimental group was improved cough capacity (APCF and UPCF), compared with in the control group ($p < 0.05$). **Conclusion** Our results suggest that, in addition to chest physical therapy, FES over the abdominal muscles aimed at improving respiratory function and cough capacity in cervical spinal cord injury with tetraplegia have beneficial effects on maintaining and developing a cough function.

Key words spinal cord injury, tetraplegia, functional electrical stimulation, respiratory function, cough capacity

책임 저자 Woo-Nam Chang (bobathjang@hanmail.net)

논문 접수일 2016년 4월 10일

수정 접수일 2016년 5월 13일

게재 승인일 2016년 6월 24일

1. 서론

경수 및 상부 흉수손상 환자는 복부근 및 흉곽근의 기능저하 및 기능소실에 의해 호흡기능에 문제를 발생시킨다.¹⁾ 선행연구에서는 폐활량은 30-50% 정도, 기능적 잔기량(functional residual capacity)은 25% 정도, 그리고 호기 예비량(expiratory reserve volume)은 75%까지 감소한다고 하였다.²⁻³⁾ 호흡기능의 저하는 호흡양상의 변화와 기침기능 감소로 인해 분비물 제거 기능의 약화 등을 유발하게 되고 폐렴, 무기폐 등의 합병증이 만들어지는 원인이 되며, 결국 환자를 사망에 이르게 할 수 있다.⁴⁾

기침은 유해물질에 의해 분비물이 생길 때 이 분비물을 외부로 배출시켜 폐렴 등의 합병증을 발생하지 않게 하는 우리 몸의 중요한 보호기능이다.³⁾ 이러한 기침을 효율적으로 시행하

기 위해서는 흡입(inspiratory phase), 압박(compression phase), 배출(expulsive phase)의 기침의 3단계가 정상적으로 이루어져야 한다. 그러나 척수가 손상되면 이러한 기침기전이 정상적으로 이루어지지 않기 때문에 보조적인 방법을 사용하여 기침을 유발함으로써 기도 내 분비물을 제거할 수 있다. 복부근 결핍과 가슴의 호기근 활동은 기침과 분비물 제거를 위한 능력을 감소시킨다. 비효과적인 기침과 가래의 유지는 사지마비 환자의 폐확장 부전과 폐렴과 같은 폐 합병증에 대한 주요원인이며, 기침의 효율성을 강화하는 전략들과 더불어 급성기 경수손상 환자에게 있어서 기관지 분비물의 제거를 향상시키는 전략은 매우 중요하다. 경수손상으로 인하여 늑간 및 복부근육이 마비되면 흡입 후 흡입된 공기 배출시 호기근 수축이 충분히 발생하지 않기 때문에 흡입된 공기로 팽창된 폐 및 흉곽이 수동적으로 원상태로 줄어드는 정도로 호기가 이루어짐

로 환자는 적절한 기침을 못하게 된다. 그러므로 상부 척수손상환자에 있어서 능동적인 호기능력의 증가는 기침능력을 증가시키고 객담 배출능력을 증가시킬 수 있다.¹⁾

호흡근 근력강화를 위한 치료로 복부근 부하훈련, 폐활량 측정기를 사용한 동기유발, 안면마스크, 양압 훈련과 저항을 이용한 흡기근 훈련들은 경수손상에 의한 사지마비 환자들에게 폐 기능을 향상하는데 사용되어왔다. 그러나 경수손상 환자의 폐 기능에 대한 호흡근 훈련의 효과에 대한 연구는 아직까지 미흡한 상태이며, 의견의 명확성도 떨어진다. 사지마비 환자의 능동 호기는 대흉근의 쇄골부에 대해 크게 의존한다는 것을 관찰하였다.⁵⁾ 결과적으로 이러한 근육군의 근력과 지구력 증가를 위한 구체적인 훈련프로그램을 작성하는 것들이 제안되었다. Estenne 등은 대흉근 쇄골부의 등척성 운동훈련은 사지마비 환자들을 위한 기침능력뿐만 아니라 호기 기능을 향상시킬 것이라고 하였다.^{6,7)} McBain 등은 그들의 연구에 있어서 복부를 압박하는 보조를 사용하였을 때 최대호기량이 13.8% 증가되었고, 도수압박 또는 양압 환기에 의해 증가된 기침능력을 보고 하였다.³⁾

또 다른 저자들은 사지마비 환자들의 복부근에 대한 FES를 사용하였으며, 복부근의 전기자극은 기침능력을 향상시킬 수 있다는 것을 보였다.

신경근 전기자극은 손상되거나 기능할 수 없는 신경계를 활성화시키기 위한 전류의 안전한 수준에서 적용하는 방법이다. 척수손상에 따른 신경근 전기자극의 기능적 사용은 서기, 보행, 손의 쥐기, 호흡보조, 배뇨 또는 배변과 성기능 회복에 적용되고 있다. 이 연구는 기침효력과 폐기능이 사지마비 환자들의 대흉근과 복부근에 대해 신경근 전기자극의 적용을 통해서 향상되어질 수 있을지를 알아보기 위해 설정되어졌다. 경수손상 환자의 폐 합병증을 막기 위한 신경근 전기자극의 효과를 평가한다. 선행연구들에서는 경수손상으로 인한 사지마비 환자의 호흡훈련을 위해 기능적 전기자극기(FES)를 적용한 경우 호흡기능과 관련된 측정지표들에 향상을 보였다고 하였다.^{2,3,8)}

복강근에만 기능적 전기자극을 적용하는 수동적 훈련프로그램이 사지마비로 인한 복강근의 자발적 수축을 할 수 없는 환자들에게 호흡기능 개선을 위해 효과적인지에 대한 연구는 미비한 실정이다.

본 연구는 척수손상환자의 일반적 호흡재활프로그램과 추가적인 능동 호흡패턴 훈련과 복강근에 기능적 전기자극을 사용하여 호흡패턴훈련을 하였을 때 급성기 경수손상 환자의 호흡기능에 어떤 영향을 미치는 것 알아보고자 한다.

II. 연구 방법

본 연구는 경수손상으로 인해 사지마비로 진단받고 연세대학교 세브란스병원에 입원하여 치료를 받고 25명을 대상으로 시행하였으며, 그들 중 13명은 완전손상이었다. 참여한 모든 대상자는 독립적인 호흡이 가능하였지만 복부근을 사용하여 호흡하지 못했으며 폐활량이 현저히 감소된 자들이었다. 연구제의 대상자는 휠체어 앉아서 30분이상 호흡패턴훈련을 할 수 없는 자, 척추보조기 착용으로 호흡패턴에 제한적 요소를 가진 자 등은 제외하였다. 본 연구에 참여한 자는 연구의 취지를 이해하고 동의한 자들을 대상으로 선정하였다.

연구 참여 대상자는 경수손상환자를 위한 일반적 호흡물리치료 중인 자들로 흡기근 저항운동(inspiratory resistive exercise)와 폐 유순도 유지운동(maintenance of pulmonary compliance)을 1일 10분씩 주 5회 물리치료사와 함께 훈련하였다. 연구대상자들은 추가적으로 기능적 전기자극을 사용한 호흡패턴훈련을 1일 20분씩 주 5회 실시하였다. 사전평가는 기능적 전기자극 적용 전에 하였으며, 4주간의 치료 중재 후 사후 검사를 시행하였다. 사후검사는 치료중재를 중단한 후 2주 후에 시행하는 것으로 연구를 마무리 하였다.

경피 복강 기능적 전기자극은 Microstem (SN. K12909, Germany)를 사용하여 복직근과 외복사근 위에 적용하였다. 기능적 전기자극 변수 값은 펄스폭(pulse-width) 250ms, 주파수 50Hz의 기준 값으로 설정하였으며, 자극강도는 복부 외측과 복벽의 수축변화를 시각적으로 평가하여 근수축이 호흡패턴훈련을 편안하게 지속할 수 있는 범위로 조정한다. 자극강도에 의해서 복강근 수축 외에 다른 신체분절의 변화가 나타나지 않도록 하였다. 펄스폭(pulse-width)과 주파수의 조정은 시각적 근수축의 동일한 수준을 유지하도록 조정하였다. 매 훈련시작 시 이전 강도를 적용하였으며, 가장 좋은 반응을 보이도록 전류강도 값으로 조정하였다. 전기자극은 대상자의 호기시도와 함께 동시에 이루어지도록 설정하였다.

1. 호흡기능 평가

호흡기능 평가에 사용되는 측정지표들의 향상은 호흡근 마비로 인한 호흡기능 감소와 그와 관련된 합병증의 감소에 긍정적 상관관계를 입증하는 것으로 사용되었다.^{2,3)} 본 연구의 환기용량(ventilator capacity)의 측정은 최대 주입용량(Maximum insufflation capacity, MIC), 노력성 폐활량(forced vital capacity, FVC), 1초간 노력성 호기용량(forced exhaled volume in 1 second, FEV1), 최대기침유량(Peak cough flow, PCF) 검사 등이 포함된다.

평가는 먼저 최대 주입용량(maximum insufflation capacity, MIC) 측정하였다. 최대 주입용량 측정은 앉은 자세

에서 환자가 스스로 최대로 숨을 들이 마시고, 도수 소생기 (manual resuscitator) 백으로 비구강 마스크를 통해 주입할 수 있는 양만큼 최대한 공기를 추가로 주입시킨 후 폐활량 측정기를 통해 그 용량을 측정한다. 측정은 휴대용 스파이로미터 (CareFusion U.K. 232 Ltd., UK)를 사용하였다. 노력성 폐활량(FVC), 1초간 노력성 호기용적(FEV1)과 최대 기침유량(PCF) 순으로 측정하였다. 최대 기침유량은 ASSESS FULL RANGE PEAK FLOW METER (Respironics New Jersey Inc., USA)를 사용하였으며, 앉은 자세에서 최대한 힘차게 기침을 하게 하여 최대 기침유량의 측정값을 얻었다.^{2,5,8,9)}

대상자들은 각 검사당 3회씩 측정 하였으며, 측정 값 간의 차이가 20% 이내로 측정된 3회 값의 평균값을 기록하였다. 검사는 연구자 한 사람이 하였으며, 검사 시 대상자들이 최선의 노력을 할 수 있도록 격려하였다.

2. 분석 및 결과측정

본 연구의 분석방법은 SPSS(Statistical Package for the Social Sciences) version 20을 이용하여 분석하였다. 연구대

상자의 일반적 특성은 기술통계를 사용하여 평균값과 표준편차를 구하였으며, 측정된 자료의 정규성에 대한 검증 위해 1-표본 Kolmogorov-Smirnov 분석을 실시한 결과 정규성을 확인하였다.

연구군과 대조군의 최대주입용량(Maximum insufflation capacity, MIC), 노력성 폐활량(forced vital capacity, FVC), 1초간 노력성 호기용량(forced exhaled volume in 1 second, FEV1), 최대기침유량(Peak cough flow, PCF) 검사에 대한 사전, 사후, 추적검사의 변화 값은 반복측정분산분석을 시행하였고, 양측비교 t 검정(paired t-test)으로 분석하였고, 그룹간의 변화는 독립 t 검정(independent samples t-test)으로 분석하였다. 모든 통계처리의 유의수준은 α= 0.05로 하였다.

III. 결 과

본 연구의 대상자는 연구군 10명과 대조군 10명이었으며, 남

Table 1. General characteristics of subjects

group	Subject	gender	age	height	Weight	Injury level	post injury (months)	Cause of injury	ASIA grade	FIM score	SCIM
Experimental (n=10)	1	m	33	169	56	C2	2	TA	C	18	10
	2	m	55	168	56	C4	3	FD	C	18	18
	3	f	38	156	68	T2	3	TA	A	82	37
	4	m	47	167	56	C4	2	FD	A	49	15
	5	m	48	163	67	C4	2	FD	C	48	15
	6	m	57	169	65	C2	2	FD	A	62	32
	7	f	43	160	43	C4	1	TA	A	49	11
	8	m	25	174	57	C4	2	FD	A	18	10
	9	m	54	178	80	C4	3	FD	A	48	9
	10	m	65	169	61	T3	2	FD	A	79	50
Control (n=10)	1	m	24	170	63	C7	2	FD	A	56	17
	2	m	52	165	62	C4	3	FD	A	49	11
	3	m	69	169	60	C2	3	FD	C	51	15
	4	m	57	175	68	C4	3	FD	B	53	19
	5	f	60	154	52	C2	2	FD	C	48	15
	6	f	54	169	58	C4	2	FD	B	49	11
	7	m	53	164	60	C4	2	TA	A	47	11
	8	m	59	176	67	C4	2	TA	B	52	19
	9	f	61	155	52	C2	3	TA	C	46	15
	10	f	55	168	57	C4	3	TA	B	47	11

Table 2. Functional electrical stimulation using breathing training on Climate Change and respiratory function, value comparison between the group after a breathing exercise.

Pulmonary function	Experimental group					Control group				
	Pre-test	change	Post-test	change	FU-test	Pre-test	change	Post-test	change	FU-test
MIC(cc)	1764.0±494.7	166.0±131.4	1930.0±519.0***	46.0±254.2	1976.0±612.8	2313.0±420.6	418.0±498.2	2730.0±421.8***	66.0±44.0†	2793.0±392.5***
FVC(cc)	1388.0±422.0	131.5±112.4	1519.5±383.5***	31.0±35.0†	1550.5±399.0***	1951.0±381.1	379.0±332.2	2333.0±418.5***	46.0±59.5†††	2372.0±421.2
FEV1(cc)	1071.0±401.2	30.5±143.3	1101.5±351.3	50.0±82.2	1151.5±390.0***	1735.0±429.8	269.0±243.7	1999.0±398.3**	21.0±45.6†††	2027.0±376.5
FEV1/FVC(%)	76.7±13.9	30.5±143.3	72.3±12.6	1.6±3.3	73.9±13.6	88.1±4.47	-2.3±3.2	85.8±3.4	-0.6±1.9	85.1±3.2
FVC/MIC(%)	79.9±16.7	-0.1±8.37	79.8±10.8	0.1±7.9	79.9±9.0	85.2±9.3	0.6±6.7	85.7±6.0	-0.5±1.8	85.2±6.0
APCF	180.0±56.2	37.5±40.8	217.5±62.9***	14.0±14.1	231.5±63.2***	224.0±91.7	59.0±60.1	279.0±72.8*	6.0±16.6†	284.0±70.5
UPCF	129.0±62.6	22.0±32.7	151.0±58.3**	13.5±14.3	164.5±61.8***	190.0±89.3	58.0±64.3	245.0±66.5*	3.0±17.7†	248.0±59.6

MIC: Maximum insufflation capacity; FVC: forced vital capacity; FEV1: forced exhaled volume in 1 second
 APCF: Assisted Peak Cough Flow; UPCF: Unassisted Peak Cough Flow

성 14명, 여성은 6명이었다. 연구군의 평균 나이는 60.9세이었고 55.2세이었다.

최대 주입용량은 연구군과 대조군 모두 유의한 변화가 있었다. 두 그룹간의 치료 전-후 및 추적 관찰한 검사의 결과는 다음과 같다. MIC의 경우, 실험군은 치료 전 1,764±494.7cc에서 4주간 치료 후 1,930.0±519.0cc로 유의하게 차이를 보였고, 2주 후 추적 관찰시에는 1,976.0±612.8cc로 꾸준한 증가를 보였다. 대조군은 치료 전 2,313.0±420.6cc에서 4주간 치료 후 2,730.0±421.8cc로 유의하게 차이를 보였고, 2주 후 추적 관찰시에도 2,793.0±392.5cc로 유의한 차이를 보였다.

FVC의 경우는 실험군에서 치료 전 1,388.0±422.0cc에서 4주간 치료 후 1,519.5±383.5cc로 유의하게 차이를 보였고, 2주 후 추적 관찰시에도 1,550.5±399.0cc로 유의한 차이를 보였다. 대조군은 치료 전 1,951.0±381.1cc에서 4주간 치료 후 2,333.0±418.5cc로 유의하게 차이를 보였고, 2주 후 추적 관찰시 2,372.0±421.2cc로 꾸준한 증가를 보였다.

FEV1은 실험군에서 4주간 치료 후 증가되고, 2주간 추적 관찰시에 유의한 차이를 보였다. 반면에 대조군에서는 4주간 치료 후에는 유의한 차이를 보이고, 2주간 추적 관찰 후에는 작은 차이를 보였다.

APCF의 경우는 실험군에서 치료 전 180.0±56.2L/min에서 4주간 치료 후 217.5±62.9L/min로 매우 유의하게 차이를 보였고, 2주 후 추적 관찰시에도 231.5±63.2L/min로 매우 유의한 차이를 보였다. 반면에 대조군에서는 치료 전 224.0±91.7L/min에서 4주간 치료 후 279.0±72.8L/min로 유의하게 차이를 보였고, 2주 후 추적 관찰시에 284.0±70.5L/min로 증가하였다.

UPCF의 경우는 실험군에서 치료 전 129.0±62.6L/min에서 4주간 치료 후 151.0±58.3L/min로 매우 유의하게 차이를 보였고, 2주 후 추적 관찰시에도 164.5±61.8L/min로 매우 유

의한 차이를 보였다. 반면에 대조군에서는 치료 전 190.0±89.3L/min에서 4주간 치료 후 245.0±66.5L/min로 유의하게 차이를 보였고, 2주 후 추적 관찰시에 248.0±59.6L/min로 증가하였다.

두 그룹간의 치료 전-후 및 추적 관찰한 검사의 차이값을 비교해 보면, MIC, FVC, FEV1 모두 4주간 치료 후 및 2주간 추적 관찰시에 지속적으로 증가를 보였다.

FEV1의 경우는 실험군에서 4주간 치료 후의 변화량보다 2주간 추적 관찰시의 변화량이 더 증가하였다. FEV1/FVC(%) 값의 변화를 보면, 실험군은 4주간 치료 후 및 2주간 추적 관찰시 모두 증가하여 FEV1의 상대적인 증가가 보이는 반면, 대조군은 4주간 치료 후 및 2주간 추적관찰시 모두 감소하여 FEV1보다 FVC의 증가가 더 크게 나타났다.

FVC/MIC(%)의 변화를 보면, 실험군은 감소하다가 증가, 대조군은 증가하다가 감소하여 결국 치료 전 비율과 동일한 비율을 보였다.

APCF와 UPCF 값의 변화량에서도 실험군은 4주간 치료에 증가하고, 2주간 추적 관찰시에도 꾸준한 증가를 보인 반면, 대조군에서는 4주간의 치료시에 증가한 변화량에 비해 2주간 추적 관찰시의 변화량이 실험군에 비하여 적게 증가하였다.

IV. 고 찰

호흡기능의 문제는 급성 및 만성 경수손상 환자에 있어서 사망률의 주요 원인이며, 이러한 문제는 복근, 늑간근과 횡격막 기능의 부분 또는 완전소실에 기인한다. 호흡기능의 회복을 위한 방법으로 복근 부하훈련, 폐활량 증가훈련, 폐용적 확장훈련 등이며, 이러한 양압과 저항을 이용한 훈련은 척수손상으로 인해 발생된 호흡기능에 문제가 있는 환자들의 폐 기능 향상을 위해

사용되어왔다.^{2,4,8)} 하지만 경수손상으로 인한 사지마비 환자의 폐 기능 향상에 대한 호흡기능 훈련의 효과에 대해서는 아직까지 연구가 미흡하다.

경수손상으로 인한 신체마비의 형태는 사지마비로 나타난다. 손상수준과 심각성에 따라, 사지와 체간근의 마비 정도와 감각소실에 영향을 미친다. 이러한 마비에 의해 손상 받는 주 호흡근은 횡격막, 늑간근, 복직근 등이다. 일반적으로, 경수 3번 이하의 운동신경 완전손상인 경우 인공호흡기를 사용하지 않고 호흡을 유지할 수 있을 만큼 횡격막의 기능을 가지고 있다. 하지만, 늑간근과 복강근의 마비로 인해 폐활량의 감소가 나타나고, 호흡기능 저하와 관련된 합병증으로 입원기간이 길어지거나 재입원의 주요원인이 된다.²⁾

일반적인 호흡은 흡기와 호기의 두 단계로 구분되며 흡기에 관여하는 구조로는 횡격막이 전체 흡기에서 약2/3를 담당하고, 그외 경수부 신경의 지배를 받는 호흡보조근육들이 나머지를 담당하고 있다. 호기에 관여하는 구조로는 흉수 6번에서 12번까지 신경지배를 받는 복부근육들이 가장 중요하며, 그외 늑간근, 대흉근, 광배근, 대원근 등이 보조적인 역할을 담당하고 있다. 따라서 상부척수손상 환자는 늑간근과 복근이 마비되기 때문에 호기는 주로 흉곽이 팽창되면서 생기는 탄력성에 의존하여 수동적으로 폐속의 공기가 빠져나가면서 발생한다. 이때 기도내 분비물 제거에 필수적으로 요구되는 능동적인 호기, 즉 기침 능력이 소실되게 된다.²⁾

이와 같은 호흡장애는 복강근의 마비로 인해 하위 경수 손상뿐만 아니라 상위 흉수 손상을 가진 환자에서도 발생한다. 복강근은 체간 정위자세에서 숨 내뿜기, 효과적인 숨 들이마시기와 기침을 가능하게 한다. 1993년 이후로 여러 연구에서 설명됨으로서 기침은 복강근에 부착된 FES에 의해 보조되어질 수 있었다.^{3,10-12)} 이들 모두 발표는 기침능력은 이 방법에 의해 향상되며 도수로 보조된 기침유도방법만큼 효과적이라고 제안하고 있다.⁴⁾ 호흡보조, FES 보조 기침의 효율성 향상과 지속적인 보호자의 도움이 기침을 하기 위해 필요하다.

사지마비환자의 기침능력을 향상하는 것은 그들의 폐 기능을 증강하는 것이며, 결과적으로 폐의 합병증을 예방하는 것이다. 선행연구는 사망률에 있어서 가장 높은 시기는 외상 후 초기 6-12개월 내에 나타난다고 보고하고 있다.⁵⁾ 폐 합병증과 사망률 감소를 위해서, 3개월 내에 손상을 입은 급성 경수손상 환자에게 기침능력을 향상시켜 폐합병증을 예방하는 것이 필요하다.

강제호기용량은 호흡계의 최대출력용량을 측정한다. 강제호기용량은 호흡기전에 포함된 모든 호흡요소들의 능력을 의미한다. 복부근 결핍과 가슴의 호기근 활동은 기침과 분비물 제거를 위한 능력을 감소시킨다. 비효과적인 기침과 가래의 유지는 사지마비 환자의 폐확장 부전과 폐렴과 같은 폐합병증에 대한

주요원인이며, 기침의 효과성을 강화하는 전략들과 더불어 경수손상 환자의 급성기에 있어서 기관지 분비물의 제거를 향상시키는 전략은 매우 중요하다.^{1-3,5,12,13)}

사지마비 환자의 능동 호기는 대흉근의 쇄골부에 대해 크게 의존한다는 것을 관찰하였다. 결과적으로 그들은 이러한 근육 그룹의 근력과 지구력 증가를 위한 구체적인 훈련프로그램을 작성하는 것을 제안하였고, 대흉근의 쇄골부의 등척성 운동 훈련은 사지마비 환자들을 위한 기침능력뿐만 아니라 호기 기능을 향상시킬 것이라고 하였으나,^{14,15)} 본 연구에서는 상위경수손상환자의 분포가 높아 대흉근의 근수축이 나오지 않는 경우가 대부분이라 이에 대한 연구는 제외하였다. Estenne 등은 그들의 연구에 있어서 복부를 압박하는 보조를 사용하였을 때 최대호기량이 13.8% 증가를 보였다.⁷⁾

사지마비 환자들의 복부근에 대한 FES를 사용한 선행연구에서는, 복부근의 전기자극이 기침능력을 향상시킬 수 있다고 보고되었다. 신경근 전기자극은 손상되거나 기능을 잃은 손상된 신경계를 활성화시키기 위해 안전한 수준에서의 전류를 적용하는 방법이다. 척수손상에 따른 신경근 전기자극의 기능적 사용은 서기, 보행, 손의 쥐기, 호흡보조, 배뇨 또는 배변과 성기능 회복에 적용되고 있으나,^{13,16-29)} 경수손상환자의 복부근에 신경근 전기자극에 대한 연구, 특히 일반적인 호흡운동과 비교한 연구는 미비하다.

본 연구는 기침효력과 폐기능이 사지마비 환자들의 복부근에 대해 신경근 전기자극의 적용을 통해서 향상되어질 수 있을지를 알아보고자 하였다. 또한 경수손상 환자의 폐 합병증을 막기 위한 신경근 전기자극의 효과를 평가하기 위함이다.

기침은 원칙적으로 후두, 호흡관과 기관지로부터 어떤 유해한 점액과 입자를 방출하기 위한 높은 연속적인 속도를 제공하는 강제적 호기활동이다. 분비물 조절은 폐확장 부전과 폐렴을 방지하기 위한 폐 관리에 있어서 매우 중요하다.^{6,8,15)}

환기용량(ventilator capacity)의 일반적 측정은 노력성 폐활량(forced vital capacity, FVC), 1초간 노력성 호기용량(forced exhaled volume in 1 second, FEV1), 최대 호기유량(Peak expiratory flow, PEF), 최대 호기압력(maximum expiratory pressure, MEP) 등이 포함된다. 이러한 측정은 건강한 사람과 척수손상의 결과로 사지마비가 된 환자의 호흡기능을 비교하는데 사용되어왔다. 호흡기능 평가에 사용되는 측정지표들의 향상은 호흡근 마비로 인한 호흡기능 감소와 그와 관련된 합병증의 감소에 긍정적 상관관계를 입증하는 것으로 사용되었다.^{2,3,6,8,15)}

본 연구에서도 선행연구처럼 최대 주입용량(Maximum insufflation capacity, MIC)검사와 최대 기침유량검사를 하였으며, 두 그룹 모두 최대주입용량이 모든 시기에서 증가하였다. 이는 약해진 호흡근육 뿐만 아니라 늑간근의 스트레칭도

함께 이루어지면서 최대 폐 용적까지 충분히 팽창하게 되어, 최소 잔기량까지 압축시키는 흉곽의 유순도(compliance)를 측정할 수 있다. 이러한 유순도의 변화는 기침과 객담제거 능력을 감소시킴으로써 호흡기계 위생에 심각한 문제를 일으킬 수 있다. 최대 기침유량(peak cough flow, PCF)검사를 통해 기도 분비물 배출을 충분히 시킬 수 있는지 검사할 수 있다. 기침능력은 최대 유량 측정(peak flow meter)를 사용하여 환자에게 최대한 힘차게 기침을 하게 하여 최대 기침유량을 측정함으로 파악할 수 있다. 실험군과 대조군의 최대주입용량의 평균값의 차이가 나는 것은 두 그룹간 구성원들의 호흡 능력의 차이가 있다고 볼 수 있으나, 실험군의 4주 훈련의 변화값 대비 추적관찰시 변화값의 차이가 대조군의 변화값의 차이보다 상대적으로 커서 복부근에 신경근 전기자극 훈련 후 추적관찰시에도 꾸준한 변화가 있음을 알 수 있었다.

선행연구들에서도 경수손상으로 인한 사지마비 환자의 호흡훈련을 위해 기능적 전기자극기(FES)를 적용한 경우 호흡기능과 관련된 측정지표들에 향상을 보였다고 하였다.^{1,2,5,8,30)} Linder 등은 경수손상환자의 능동적 호흡훈련 시 기능적 전기자극기를 사용하여 호기배출을 돕도록 하는 상호작용프로그램을 사용하였다.⁸⁾ McLachlan 등은 환자의 능동적 참여 없이 수동적 훈련프로그램을 사용하여 대흉근과 복강근에 대한 기능적 전기자극의 반복된 패턴을 적용했다.⁴⁾ 복강근에만 기능적 전기자극을 적용하는 수동적 훈련프로그램이 사지마비로 인한 복강근의 자발적 수축을 할 수 없는 환자에게 호흡기능 개선을 위해 효과적인지에 대한 연구는 미비한 실정이다.

본 연구에서 복부근 기능적 전기자극의 실행은 4주간의 단기간 동안 이루어졌다. 그러나 FVC, FEV1,과 PEF에 있어서 증가는 정체가 아니었으며, 이것은 호흡훈련 기간이 장기간 이루어 진다면 더 많은 변화를 얻게 될 수도 있다고 제한할 수 있을 것이다. FEV1과 PEF의 경우, 이것은 통계적으로 유의한 변화를 초래한다.

FEV1의 경우는 실험군에서 4주간 치료 후의 변화량보다 2주간 추적 관찰시의 변화량이 더 증가하였는데, 이는 초기 환자의 복부근의 긴장도가 점차적으로 증가하는 것으로 지속적인 관찰이 요구된다. FEV1은 실험군에서 4주간 치료 후에는 증가되고, 2주간 추적 관찰시에는 유의한 차이를 보여 전기자극이 복부근육의 근긴장도에 변화를 주는 것으로 보이는 반면, 복부근에 전기자극을 하지 않은 대조군에서는 4주간 치료 후에는 일반적인 호흡훈련의 결과로 유의한 차이를 보였으나, 2주간 추적 관찰 후에 작은 변화를 보인 것은 평소 호흡운동이 경수손상환자의 호흡능력에 도움을 주었을 것으로 생각된다. 지속적인 추적관찰이 있을 경우, 복부근의 신경근전기자극의 효과뿐만 아니라 일반적인 호흡운동이 경수손상환자의 폐기능 향상에 미치는 영향까지 알 수 있을 것이다.

단순수치 비교가 아닌 환자 개개인의 폐능력의 향상을 평가 위해 FEV1/FVC(%) 값의 변화를 보면, 실험군은 4주간 치료 후 및 2주간 추적 관찰시 모두 증가하면서 FEV1의 상대적인 증가가 보이는 반면, FES를 복부에 하지 않았던 대조군은 FEV1/FVC(%) 값이 4주간 치료 후 및 2주간 추적관찰시 모두 감소하였는데, 이는 기본적인 폐운동을 하게 되면서 늑간근 유순도가 증가되면서 FVC는 증가되었으나, 1초당 호기량인 FEV1은 변화가 적어 기침능력 감소에 영향을 주었다.

선행 연구에서는 추적관찰에 대한 연구가 미비하여 본 연구의 결과를 토대로 볼 때, 4주라는 짧은 기간의 복부근육에 전기자극치료를 하는 것이 복부근육의 근긴장도를 증가시켜 폐활량의 증가에 영향을 주는 것도 중요하지만, 기침을 유도하는 복부근육의 근긴장도에 기능적 전기자극이 영향을 주는 것으로 보여진다.

복부근육의 긴장도를 간접적으로 평가할 수 있는 도움받은 최대 호기유량(Assisted Peak Cough Flow, APCF)의 경우는 실험군, 대조군 모두에서 4주간 치료 후 매우 유의하게 차이를 보였으나, 2주 후 추적 관찰시에는 실험군이 매우 유의한 차이를 보인 반면에 대조군에서는 증가하였다. 이는 복부근육에 신경근 전기자극이 복부근육에 근긴장도에 영향을 주어 약간의 도움에도 기침하는 능력이 증가함을 알 수 있었다.

본 연구에서 가장 관심있게 본 것은 도움받지 않은 최대 호기유량(Unassisted Peak Cough Flow, UPCF) 값이다. 실험군과 대조군 모두에서 4주간 치료 후 매우 유의하게 차이를 보였고, 2주 후 추적 관찰시에는 실험군에서 매우 유의한 차이를 보인 반면에 대조군에서는 아주 작은 수치의 증가를 보였다. 이는 복부근육에 신경근 전기자극이 복부근육에 근긴장도에 영향을 주어 전기자극이 진행되지 않음에도 시간이 흘러도 주위의 도움없이 기침하는 능력이 증가함을 알 수 있었다. 본 실험을 계획하면서 경수손상환자에게 보호자의 도움없이 기침을 할 수 있는 능력을 키우는 것이 가장 큰 치료의 목표였으며, 이를 달성하였다. 그러나 그보다 더 의미있는 것은 실험에 참여한 환자 스스로가 기침을 할 수 있는 능력이 증가하고 있고, 그 능력이 유지되고 있다는 것을 환자가 느끼고 있던 것이다.

결론적으로 척수손상환자의 일반적 호흡재활프로그램과 추가적인 능동 호흡패턴훈련과 복강근에 기능적 전기자극을 사용하여 4주 동안의 호흡패턴훈련을 하였을 때 전기자극을 시행한 그룹의 급성기 경수손상 환자그룹이 일반적인 호흡운동을 한 그룹에 비해 호흡기능에 영향을 주었고, 2주간의 관찰 후에서도 꾸준한 증가를 보였다.

제한점으로는 입원기간의 제한으로 추적관찰의 기간이 짧아서 복부근육의 근긴장도의 변화에 대한 지속적으로 추적 관찰 연구가 필요하다.

참고문헌

1. Kandare F, Exner G, Jeraj J, et al. Breathing induced by abdominal muscle stimulation in individuals without spontaneous ventilation. *Neuromodulation*. 2002;5(3):180-5.
2. Lee BB, Boswell-Ruys C, Butler JE, et al. Surface functional electrical stimulation of the abdominal muscles to enhance cough and assist tracheostomy decannulation after high-level spinal cord injury. *J Spinal Cord Med*. 2008;31(1):78-82.
3. McBain RA, Boswell-Ruys CL, Lee BB, et al. Abdominal muscle training can enhance cough after spinal cord injury. *Neurorehabil Neural Repair*; 2013
4. McLachlan AJ, McLean AN, Allan DB, et al. Changes in pulmonary function measures following a passive abdominal functional electrical stimulation training program. *J Spinal Cord Med*. 2013;36(2):97-103.
5. Jarosz R, Littlepage MM, Creasey G, et al. Functional electrical stimulation in spinal cord injury respiratory care. *Top Spinal Cord Inj Rehabil*. 2012;18(4):315-21.
6. Estenne M, Van Muylem A, Gorini M, et al. Evidence of dynamic airway compression during cough in tetraplegic patients. *Am J Respir Crit Care Med*. 1994;150(4):1081-5.
7. Estenne M, Van Muylem A, Gorini M, et al. Effects of abdominal strapping on forced expiration in tetraplegic patients. *Am J Respir Crit Care Med*. 1998;157(1):95-8.
8. Linder SH. Functional electrical stimulation to enhance cough in quadriplegia. *Chest*. 1993;103(1):166-9.
9. Keith MW, Peljovich A. Surgical treatments to restore function control in spinal cord injury. *Handb Clin Neurol*. 2012;109:167-79.
10. Hardin E, Kobetic R, Murray L, et al. Walking after incomplete spinal cord injury using an implanted FES system: a case report. *J Rehabil Res Dev*. 2007;44(3):333-46.
11. Hoshimiya N, Naito A, Yajima M, et al. A multichannel FES system for the restoration of motor functions in high spinal cord injury patients: a respiration-controlled system for multijoint upper extremity. *IEEE Trans Biomed Eng*. 1989;36(7):754-60.
12. Onders RP. Functional electrical stimulation: restoration of respiratory function. *Handb Clin Neurol*. 2012;109:275-82.
13. Ragnarsson KT. Functional electrical stimulation after spinal cord injury: current use, therapeutic effects and future directions. *Spinal Cord*. 2008;46(4):255-74.
14. De Troyer A. [Respiration mechanics in tetraplegia]. *Bull Mem Acad R Med Belg*, 1997;152(1):91-7;discussion97-9.
15. De Troyer A, Estenne M, Heilporn A. Mechanism of active expiration in tetraplegic subjects. *N Engl J Med*. 1986;314(12):740-4.
16. Askari S, Chao T, Conn L, et al. Effect of functional electrical stimulation (FES) combined with robotically assisted treadmill training on the EMG profile. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc*. 2011;3043-6.
17. Bajd T, Cikajlo I, Savrin R, et al. FES Rehabilitative Systems for Re-Education of Walking in Incomplete Spinal Cord Injured Persons. *Neuromodulation*. 2000;3(3):167-74.
18. Braz GP, Russold M, Davis GM. Functional electrical stimulation control of standing and stepping after spinal cord injury: a review of technical characteristics. *Neuromodulation*. 2009;12(3):180-90.
19. Cikajlo I, Matjacic Z, Bajd T, et al. Sensory supported FES control in gait training of incomplete spinal cord injury persons. *Artif Organs*. 2005;29(6):459-61.
20. Donaldson N, Perkins TA, Fitzwater R, et al. FES cycling may promote recovery of leg function after incomplete spinal cord injury. *Spinal Cord*. 2000;38(11):680-2.
21. Duffell LD, Donaldson Nde N, Newham DJ. Power output during functional electrically stimulated cycling in trained spinal cord injured people. *Neuromodulation*. 2010;13(1):50-7.
22. Giangregorio L, Craven C, Richards K, et al. A randomized trial of functional electrical stimulation for walking in incomplete spinal cord injury: effects on body composition. *J Spinal Cord Med*. 2012;35(5):351-60.
23. Hamzaid NA, Pithon KR, Smith RM, et al. Functional electrical stimulation elliptical stepping versus cycling in spinal cord-injured individuals. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*. 2012;27(7):731-7.
24. Kapadia NM, Zivanovic V, Furlan JC, et al. Functional electrical stimulation therapy for grasping in traumatic incomplete spinal cord injury: randomized control trial. *Artif Organs*. 2011;35(3):212-6.
25. Martin R, Sadowsky C, Obst K, et al. Functional electrical stimulation in spinal cord injury: from theory to practice. *Top Spinal Cord Inj Rehabil*. 2012;18(1):28-33.
26. Steers WD, Wind TC, Jones EV, et al. Functional electrical

- stimulation of bladder and bowel in spinal cord injury. *J Long Term Eff Med Implants*. 2002;12(3):189-99.
27. Stein RB, Chong SL, James KB, et al. Electrical stimulation for therapy and mobility after spinal cord injury. *Prog Brain Res*. 2002;137:27-34.
 28. Taylor JA, Picard G, Widrick JJ. Aerobic capacity with hybrid FES rowing in spinal cord injury: comparison with arms-only exercise and preliminary findings with regular training. *PM R*. 2011;3(9):817-24.
 29. Thrasher TA, Ward JS, Fisher S. Strength and endurance adaptations to functional electrical stimulation leg cycle ergometry in spinal cord injury. *NeuroRehabilitation*. 2013.
 30. Carty A, McCormack K, Coughlan GF, et al. Increased aerobic fitness after neuromuscular electrical stimulation training in adults with spinal cord injury. *Arch Phys Med Rehabil*. 2012;93(5):790-5.

