

복부 기능적전기자극이 목척수손상환자의 최대기침유량과 노력성폐활량에 미치는 효과

안혜인¹ · 고영범¹ · 윤선화¹ · 차수환¹ · 전용진^{2*}

¹세브란스재활병원 물리치료실 물리치료사, ^{2*}경동대학교 물리치료학과 교수

Effects of Abdominal Functional Electrical Stimulation on Peak Cough Flow and Forced Vital Capacity in Patients with Cervical Spinal Cord Injury

An Hyein, PT¹ · Ko Youngbum, PT¹ · Youn Sunhwa, PT¹ · Cha Suhwan, PT¹
Jeon Yongjin, PT, Ph.D.^{2*}

¹*Dept. of Physical Therapy, Severance Rehabilitation Hospital, Physical Therapist*

^{2*}*Dept. of Physical Therapy, Kyungdong University, Professor*

Abstract

Purpose : The purpose of this study was to investigate the effects of abdominal functional electrical stimulation on peak cough flow and forced vital capacity in patients with cervical spinal cord injury.

Methods : The study examined 20 patients with cervical spinal cord injury. The subjects were randomly divided into two groups. All subjects performed conservative physical therapy for 30 minutes. The experimental group also underwent abdominal functional electrical stimulation for at least 20 minutes per day. Abdominal functional electrical stimulation was applied to the rectus abdominis muscle twice each day, three times a week, for four weeks. In all subjects, the peak cough flow was measured using a peak flow meter and forced vital capacity was assessed using a spirometer.

Results : The experimental group showed a significant increase in peak cough flow and forced vital capacity in pre-post measurements ($p < .05$), while the control group showed a significant increase only in peak cough flow.

Conclusion : These findings suggest that conservative physical therapy in combination with the abdominal functional electrical stimulation can improve peak cough flow and forced vital capacity in patients with cervical spinal cord injury.

Key Words : cervical spinal cord injury, forced vital capacity, functional electrical stimulation, peak cough flow

*교신저자 : 전용진, tonkey91@hanmail.net

I. 서론

1. 연구의 배경 및 필요성

호흡은 인체에 있어서 중요한 역할을 한다. 호흡이란 산소를 들이마시고 이산화탄소를 내보내는 가스교환을 통하여 생물이 유기물을 분해하여 생활에 필요한 에너지를 만드는 과정이다. 들숨에는 일회호흡량의 65~75 %를 가로막이 작용하고 나머지 부분들은 바깥갈비사이근과 보조근들이 만들어내며 날숨에는 속갈비사이근, 배곧은근, 배바깥빗근, 배속빗근, 배가로근, 큰가슴근이 작용한다(Winslow & Rozovsky, 2003). 이러한 배근육들의 작용이 미세순환을 가능하게 하고 기침반사 동안 분비물을 배출시키는데 주요한 기능을 한다(Ball, 2001). 따라서 목척수손상환자의 효과적인 기침이 가능할 때 작은 말초 기도의 분비물까지 제거되어 폐의 기능이 향상되고 호흡 보조장비 없이 독립적인 호흡이 가능해진다(Braverman & Ehlen, 2009).

목척수손상환자는 몸통과 사지의 기능 및 감각 소실 뿐만 아니라 호흡근의 마비를 동반한다(Kandare 등, 2002). 호흡장비에 의존해야 하는 목척수손상환자는 무기폐, 점액 전색, 폐렴과 같은 다양한 폐 합병증을 보인다(Gutierrez 등, 2010). 폐렴은 상위수준의 목척수손상환자의 주요 합병증이라면 무기폐는 하위수준의 목척수손상환자의 합병증 중 하나이며 사망에 이르는 주된 원인이다(Cardenas 등, 2004; Jackson & Groomes, 1994). 갈비사이근과 배근육의 마비는 기침 및 기도 분비물 배출에 어려움을 야기하며 환기능력 감소의 원인이 되고 이는 호흡기계 합병증을 유발하여 재입원율을 증가시킨다(Cardenas 등, 2004). 목척수손상환자를 위해 지속적이고 강력한 호흡치료는 폐기능을 향상시키고 기계를 통한 호흡장치를 제거하는데 도움을 줄 수 있다(Wallbom 등, 2004). 폐합병증을 예방하기 위해 척수손상 후 즉시 호흡치료가 시작되어야 하고 아급성기와 만성기에도 지속되어야 한다(Kacmarek 등, 2009). 호흡부전을 강화하기 위한 치료의 목적은 호흡기능 향상, 분비물 제거를 위한 효과적인 기침, 자율신경 기능장애로 인한 분비물을 감소시키기 위한 것이다(Galeiras 등, 2013).

목척수손상환자의 호흡기능 향상을 위해 제공되는 많은 치료가 제공되고 있으며 새로운 치료방법으로 복부 기능적 전기자극(abdominal functional electrical stimulation)을 이용하여 호흡을 보조하고 분비물을 제거하는 방법이 있다. 기능적전기자극이란 정상적인 신경 지배를 받지 못하는 근육에 전기 자극을 가하여 근육의 수축을 유도하고 이를 통해 기능적인 움직임을 만들어내는 방법이다(Sheffler & Chae, 2007). 기능적전기자극은 상위 운동신경원 손상 환자들에게 적용하여 마비된 근육군의 1형 섬유가 2형 섬유로 변성되는 것을 막아주며, 근육의 위축 방지, 근력강화 효과가 있다(McLachlan 등, 2013). 복부 기능적전기자극의 반복은 배근육의 양과 긴장도를 증가시키고, 효율적인 가로막 호흡을 위한 위치에 놓아줄 수 있다(McLachlan 등, 2013). 초기 복부 기능적전기자극은 호흡기능 측정과 기침, 호흡보조기와 기관절개술 제거하기 위한 기계적 결과값을 유도하는데 사용되었다(Gollee 등, 2007). 현재는 만성 척수손상환자에게 사용하는 호흡기능을 향상시키는 많은 연구들이 진행되고 있다(Butler 등, 2011; Gollee 등, 2007; Hascakova-Bartova 등, 2008; McBain 등, 2013).

복부 기능적전기자극이 최대기침유량(Peak cough flow; PCF)의 증진에 기여하여 목척수손상환자의 분비물 배출에 도움이 된다는 많은 선행연구가 있었다(Butler 등, 2011; Gollee 등, 2007; McBain 등, 2013). 하지만, 환기능력을 측정하는 지표에는 최대기침유량 뿐만 아니라 여러 지표가 있고, 그 중 가장 일반적인 지표는 노력성 폐활량(forced vital capacity; FVC), 1초간 노력성폐활량(forced expiratory volume in a one second; FEV₁)이 사용된다(McLachlan 등, 2013). 최대기침유량이란 기침동안 폐로부터 내뿔을 수 있는 최대 공기압이다. 노력성폐활량이란 전체 폐용량까지 숨을 마신 후 가능한 한 강하게 내쉴 때의 총 공기용량이며 1초간 노력성호기용량이란 노력성폐활량의 첫 1초 동안 빠져나가는 공기용량 값이다.

2. 연구의 목적

복부 기능적전기자극이 뇌졸중(Jung 등, 2014), 외상성 뇌손상(Na 등, 2014)과 만성폐쇄성폐질환 환자(Ito 등,

2015)의 호흡 기능 향상에 효과가 있다는 선행연구는 많지만, 척수손상환자에게 복부 기능적전기자극의 적용이 미치는 영향에 대한 연구는 아직까지 부족한 실정이다 (Cheng 등, 2006; McBain 등, 2013; McLachlan 등, 2013). 따라서, 본 연구의 목적은 복부 기능적전기자극이 목적수손상환자들의 최대기침유량과 노력성폐활량에 미치는 효과를 알아보고자 하였다.

II. 연구방법

1. 연구 대상

본 연구는 서울시에 위치한 S병원에 입원중인 성인 목척수손상환자 중 연구의 선정조건을 만족하는 20명 (C2 1명, C3 2명, C4 10명, C5 4명, C6 3명)을 대상으로 실시하였다. 선정 조건은 목척수손상으로 인해 사지마비 진단을 받은 환자 중 최대기침유량과 노력성폐활량 측정값이 연령별 표준 이하인 환자로 하였다. 압박성 궤양이 있는 환자, 폐쇄성폐질환 등 호흡 기능에 영향을 줄 수 있는 합병증이 있는 환자, 척추보조기 착용 등으로 호흡 양상에 제한을 줄 수 있는 요소가 있는 환자는 제외되었으며, 기능적 전기 자극의 금기증에 해당하는 심박조정기, 실험이 진행이 어려운 과긴장 또는 저긴장 환자, 암 또는 감염부위, 정확한 피드백을 전달 받을 수 없는 경우에도 연구에서 제외되었다. 모든 대상자는 실험 방법과 절차, 안전성에 대해 설명을 충분히 들었으며 실

험에 참여할 것을 동의한 후 실험을 진행하였다. 본 연구에 참여한 대상자들의 일반적 특징은 Table 1과 같다.

2. 실험 방법

대상자들은 일반적 특성을 조사한 후 무작위로 배곧은근에 기능적전기자극을 동반한 실험군과 기능적전기자극을 제공받지 않는 대조군으로 배정하였다. 복부 기능적전기자극을 시행하기 전 실험군과 대조군의 최대기침유량과 노력성폐활량을 측정하였고, 중재 4주 후 같은 항목을 재평가하여 측정하였다. 실험 대상자들 모두 매일 30분간 기본적인 운동치료를 받았으며, 실험군에게는 추가로 1일 2회, 주 3회 배곧은근에 기능적전기자극을 각 회당 20분씩 4주간 연구자의 관리하에 적용하였다.

복부 기능적전기자극은 microstim(Microstim, Medel GmbH, Germany)을 사용하여(Fig 1) 배곧은근에 적용하였다. 근육이 가장 활성화되는 부위에 표면 전극을 부착하였고 전극 부착 전 피부저항을 최소화하기 위해 부착 부위를 면도하고 알코올로 피부표면의 지방을 제거한 후 전극을 부착하였다. 배곧은근의 전극은 배꼽부위 기준으로 양쪽 방향으로 2 cm 떨어진 곳에 전극을 배치하여 부착하였다(Neumann & Gill, 2002)(Fig 2). 기능적전기 자극은 펄스폭 250~700 μ s, 주파수 35~50 Hz의 사이의 값에서 동일한 근 수축 수준을 유지하도록 설정하였다. 자극 강도는 복부 근수축이 호흡패턴을 편안하게 지속할 수 있는 범위 내에서 가시적으로 수축 양상이 보이는 정도로 조정하였다. 이 때 기능적전기자극으로 인하여 다른 신체분절의 변화가 나타나지 않게 하였다.

Table 1. General characteristics of subjects

(n=20)

	Experimental group	Control group	p
Gender (male/female)	10/0	9/1	
Age (years)	51.8±17.3 [†]	52.8±19.4	0.905
Height (cm)	167.3±6.6	172.6±9.8	0.171
Weight (kg)	62.1±7.6	69.3±19.4	0.301

[†] mean±standard deviation

3. 측정 도구 및 측정 방법

최대기침유량을 측정하기 위해 휠체어에 앉은 자세에서 ASSESS FULL RANGE PEAK FLOW METER(Respironics, New Jersey Inc, USA)를 이용하였다(Fig 3). 측정을 위한 자세는 휠체어 등받이 각도 조절장치를 이용하여 60° 정도 상체를 세워 대상자가 충분히 이완하도록 하였고 입으로만 호흡할 수 있도록 코마개를 이용하여 코를 막은 후 측정하였다. 대상자는 우선 평상시와 같이 3회 이상 호흡을 실시한 후 숨을 최대한 들이마시고 기침을 할 때 최대한 힘차게 복부를 밀어주면서 측정하였다.

노력성폐활량을 측정하기 위해 폐활량계(spirometer, CareFusion UK 232 Ltd, United Kingdom)를 사용하였고(Fig 4) 최대기침유량과 같은 자세로 측정하였다. 대상자는 최대한 공기를 들이마신 다음 최선을 다해 빠르고 강하게 공기를 내쉬어 노력성폐활량을 측정하였다(Lee & Hwang-bo, 2015). 최대기침유량과 노력성폐활량 모두 3회 측정하여 평균값을 사용하였고 측정 도중 흉곽호흡, 몸통 근육의 보상작용이 일어나지 않도록 하였다.



Fig 3. Spirometer

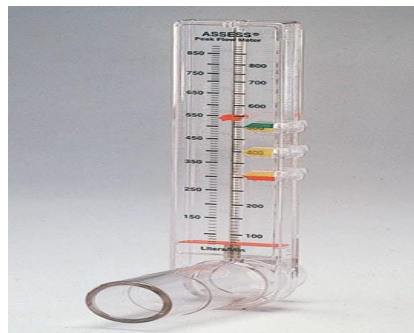


Fig 4. Peak flow meter

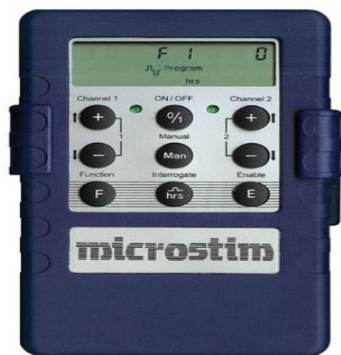


Fig 1. Electromyography

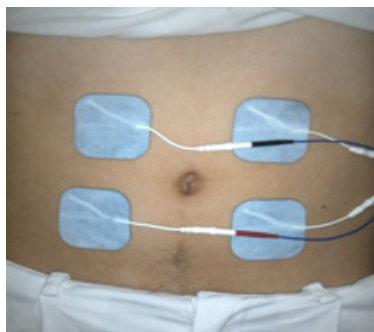


Fig 2. Electrode Attachment

4. 자료 분석

이 연구에서 측정된 자료는 윈도우용 SPSS ver. 21.0을 이용하여 통계 처리하였다. 수집된 자료의 변수는 평균 및 표준편차를 산출하였고 연구대상의 일반적 특성을 알아보기 위해 기술통계를 사용하였다. 복부 기능적전기 자극 측정값의 정규분포를 확인하기 위해 1-표본 Kolmogorov-Smirnov 분석을 이용하였고 그 결과 유의수준이 .05 이상으로 나타나 모수적 방법인 t-test를 실시하였다. 실험군과 대조군의 나이, 키, 몸무게의 동질성검사는 독립 T-test를 실시하였다. 복부 기능적전기 자극의 적용 유무에 따른 중재 전과 후의 최대기침유량과 노력성폐활량을 비교하기 위해 대응 t-test를 이용하였고, 그룹 간 변화량 비교를 위해서 독립 t-test를 사용하여 비교분석하였다. 모든 통계학적 유의수준 $\alpha = .05$ 로 설정하였다.

III. 결과

목척수손상환자에게 복부 기능적전기자극의 유무에 따른 최대기침유량과 노력성폐활량의 사전평가에 대한 사후평가 점수 변화를 실험군과 대조군 사이에 비교한 결과, 최대기침유량의 점수 변화가 실험군에서는 41 L/min이었고($p<.05$), 대조군에서는 13 L/min이었으며($p<.05$), 노력성폐활량 점수 변화는 실험군에서 252 mL

이었고($p<.05$) 대조군에서 42 mL으로 나타나 대조군의 노력성폐활량 점수 변화를 제외한 모든 결과가 통계학적으로 유의한 차이를 보였다(Table 2). 또한 최대기침유량과 노력성폐활량에 대한 그룹 간 변화량의 비교를 분석한 결과 최대기침유량과 노력성폐활량 모두 실험군과 대조군에서 통계학적으로 유의한 차이가 있었다($p<.05$)(Table 3).

Table 2. Effects of intervention between pre and post test

		Experimental group (n ₁ =10)	Control group (n ₂ =10)
PCF (L/min)	Pre	136±65.5	194.5±55.2
	Post	177.3±69.3	207±65.8
	<i>p</i>	0.001*	0.041*
FVC (mL)	Pre	1590±454.5	1862±597.5
	Post	1842±445.4	1905±650.2
	<i>p</i>	0.001*	0.171

Data were expressed as mean±standard deviation

* $p<.05$.

PCF; Peak cough flow, FVC; Forced vital capacity

Table 3. Comparison of PCF and FVC between experimental group and control group

	Experimental group (n ₁ =10)	Control group (n ₂ =10)	t	<i>p</i>
PCF (L/min) (post-pre)	41.30±16.16	12.50±16.54	3.938	0.001*
FVC (mL) (post-pre)	252.00±43.00	166.71±91.29	3.477	0.001*

Data were expressed as mean±standard deviation

* $p<.05$.

IV. 고찰

복부 근육들은 기침을 유발하는데 필요한 주요 날숨 근육이다. 상위 수준의 척수손상환자들은 복부 근육의 마비와 기침 능력의 감소로 폐렴과 무기폐 발생의 위험을 증가시키기 때문에 호흡기 합병증으로 인한 급성기 사망의 주요 원인이 된다(McCool, 2006). 인간의 생명을 유지하기 위해 가장 중요한 문제인 호흡에 대해 기능적

능력과 질환의 진단, 예후 및 정도를 정확하게 측정하여 파악하는 것이 필요하다(Skinner, 2005). 이에 따라 본 연구는 복부 기능적전기자극이 목척수손상환자들의 최대기침유량과 노력성폐활량에 미치는 영향을 알아보기 위해 4주간 실험군에는 배곧은근에 기능적전기자극을 1일 2회 주 3회 제공하였고 대조군에는 일반적인 물리치료만 제공하여 목척수손상환자들의 호흡에 미치는 효과를 확인하고자 하였다.

본 연구에서는 복부 기능적전기자극의 영향을 알아보기 위해 대상자의 최대기침유량 검사와 노력성폐활량 검사를 실시하였다. 기능적전기자극은 마비된 팔과 다리 근육의 기능을 재교육시키고 회복을 촉진시키기 위해 다양하게 사용되고 있지만 최근에 마비된 복부 근육에 자극을 제공하기 위한 장비로 이용되는 연구가 증가하면서 효과적인 기침을 수행하는데 성과를 보이고 있다 (DiMarco 등, 2006; Estenne 등, 2000; Taylor 등, 2002). 이와 같은 근거를 바탕으로 본 연구에서는 복부에 기능적전기자극을 제공하여 최대기침유량과 노력성폐활량을 비교하였다. 최대기침유량은 복부와 가슴안 압력 증가와 반사적 기침의 유발하기 위해 필수적인 가로막과 갈비 사이 근육을 비롯한 핵심근육(core muscles)의 적절한 근력이 동반되어야 하며(Kim과 Cynn, 2018), 노력성폐활량 검사는 폐기능검사 중 가장 기본적이고 종합적인 방법으로 기도질환 진단과 평가에 활용할 수 있으며 최대 들숨 후 노력성 들숨을 수행하여 측정할 수 있는 검사 방법으로(Jack, 2012) 척수손상환자의 기침 능력과 호흡기능의 변화와 향상 정도를 검사할 수 있는 척도로 사용되고 있다. 목척수손상환자들을 대상으로 복부 기능적전기자극을 제공한 본 연구의 결과값은 실험군과 대조군에서 최대기침유량의 통계학적 유의한 차이와 실험군의 노력성폐활량에서 통계학적 유의한 차이를 보여 주었다.

상위 수준의 척수손상환자에게 복부 근육에 기능적전기자극의 적용은 기침을 유발하기 위한 기계적 작용을 증대시킨다고 하였다(McBain 등, 2013; McCaughey 등, 2018; Okuno 등, 2017). 이를 바탕으로 한 본 연구에서 목척수손상환자들에게 복부 근육에 기능적전기자극을 시행하였을 때 최대기침유량의 변화는 실험군에서 30.2%의 증가를 보였고 대조군에서 6.7%의 증가를 보여 두군에서 모두 유의한 차이를 보였다. 복부 근육에 기능적전기자극을 적용한 후 나타난 최대기침유량의 증가는 최대날숨유량의 증가와 기침 시 평균 날숨유량의 증가된 결과로 볼 수 있을 것이다. 본 연구의 결과는 날숨 시 배 근육에 전기자극을 제공했을 때 최대기침유량이 31%~54%까지 증가하였고 이러한 결과는 급성기와 만성기 목척수손상환자들의 분비물 제거와 환기 능력의 증가를 얻었다고 제시한 Gollee 등(2007)의 연구결과와 일치한다.

또한, 본 연구에서 목척수손상환자들에게 복부 기능적전기자극을 시행하였을 때 노력성폐활량의 변화는 실험군에서 15.9%의 증가를 보였고($p<.05$) 대조군에서 2.3%의 증가를 보였다. 실험군과 대조군에서 보였던 노력성폐활량의 증가는 물리치료를 통해 근력강화와 들숨과 날숨에 관여하는 근육들의 강화가 함께 유발되었을 것으로 사료되며 복부 근육에 기능적전기자극을 제공했던 실험군에서 통계학적으로 유의한 차이를 보인 결과는 효과적인 노력성폐활량을 증가시키기 위해 유익한 치료 중재였음을 제시한다고 볼 수 있다. 이러한 결과는 Cheng 등(2006)의 연구에서 4주간 큰가슴근과 복부근육에 신경근육전기자극(neuromuscular electrical stimulation)을 시행하여 최대날숨유량(peak expiratory flow), 1초간 노력날숨폐활량, 노력성폐활량 등에서 유의한 향상을 보였던 선행연구와 일치하는 결과이다. 복부 근육에 기능적전기자극을 제공하여 노력성폐활량의 증가를 보였던 연구(Butler 등, 2011; Gollee 등, 2007)들이 본 연구의 결과를 지지한다.

Jeon 등(2010)은 기침의 효율성과 호흡기 감염의 관리를 위해 날숨기능을 향상시키는 선택적 호흡치료의 중요성을 강조하였다. 복부 근육들은 기침을 수행하기 위한 날숨을 만들어 내기 위해 중요한 근육이지만 효과적인 기침을 위한 최상의 방법은 아직 분명하지 않다(Lim 등, 2007). Butler 등(2011)은 배 근육에 전기자극을 제공했을 때 척수손상환자들의 기침 기능을 강화시키는 결과를 얻었고 기능적전기자극의 적용이 척수손상환자들의 기침을 보조하는데 필요한 치료로 활용할 것을 강조하였다. 이에 따라 본 연구에서는 복부 근육에 자극을 강화시키고 효과적인 기침을 수행할 수 있도록 기능적전기자극을 시행하였고 연구 결과 효과적인 기침에 영향을 주는 인자인 최대기침유량과 노력성폐활량의 증가를 보였다. 이러한 결과는 척수손상환자들의 기능적 기침뿐 아니라 기능적 독립을 위해 개별적으로 제공될 수 있는 효과적인 장비로 사용될 수 있을 것이다.

본 연구의 결과를 통하여, 목척수손상환자에게 복부 기능적전기자극을 제공하는 것은 최대기침유량과 노력성폐활량을 증가시키는데 효과적인 방법이라고 생각되며 기능적전기자극을 통한 복부 근육의 강화가 추천될 수 있다. 본 연구의 제한점은 다음과 같다. 첫째, 두

참고문헌

집단 간 동질성검정을 실시한 결과 키, 나이, 몸무게에 차이가 없었으나 척수손상등급 척도에서 차이가 있는 것으로 나타났다. 이것은 대상자의 수가 적은 상황에서 컴퓨터를 이용한 실험군과 대조군을 무작위로 구분하는 과정에서 생겨난 일로 사료되며 앞으로는 대상자의 수를 추가하여 두 집단 간 동질성을 확보하는 것이 고려하여야 할 것이다. 두 번째, 실험 대상자의 수가 적고 대부분 남성으로 구성되어 연구 결과를 일반화하기에 어려움이 있었다. 추후 연구에서는 통계적 검정력 분석을 통해 얻어진 표본 수에 근거하여 실험 대상자의 수와 특성에 따라 다양하게 연구되어야 하며, 본 연구에 적용하였던 4주간의 치료중재 기간도 여러 기간으로 늘려 보다 장기적인 영향에 대한 연구가 필요할 것이다. 세 번째, 노력성폐활량 외 호흡기계 합병증과 관련된 다양한 환기능력 지표를 보다 세부적으로 구분하여 더 많은 결과값으로 제시하여야 할 것으로 사료된다. 그리고 기침 능력에 영향을 주는 다양한 복부 근육에 기능적전기자극을 제공하고 선택적 전극의 위치를 다양하게 측정하여 효율적인 기침을 유발하는 방법에 대해 연구되어야 할 것이다.

V. 결론

본 연구는 목척수손상환자들에게 복부 기능적전기자극의 적용이 최대기침유량과 노력성폐활량에 미치는 영향을 알아보기 위해 실시하였다. 목척수손상환자 20명을 대상으로 4주간 실험군에게는 20분씩, 1일 2회, 주 3회 복부 기능적 전기 자극을 적용하였고 대조군에게는 기본적인 운동치료를 적용하여 비교한 결과 실험군에서 최대기침유량과 노력성폐활량에서, 대조군은 최대기침유량에서 유의한 차이를 보였다. 이러한 결과는 복부 기능적전기자극이 목척수손상환자들의 기침 능력과 호흡기능 향상뿐 아니라 호흡기계 합병증 예방에도 도움을 줄 수 있을 것으로 생각된다.

- Ball PA(2001). Critical care of spinal cord injury. *Spine*, 26(24), 27-30.
- Braverman J, Ehlen J(2009). Cervical spinal cord injury: The role of high frequency chest compression therapy in the management of respiratory complication. *Respir Ther*, 4(5), 27-31.
- Butler JE, Lim J, Gorman RB, et al(2011). Posterolateral surface electrical stimulation of abdominal expiratory muscles to enhance cough in spinal cord injury. *Neurorehabil Neural Repair*, 25(2), 158-167.
- Cardenas DD, Hoffman JM, Kirshblum S, et al(2004). Etiology and incidence of rehospitalization after traumatic spinal cord injury: a multicenter analysis. *Arch Phys Med Rehabil*, 85(11), 1757-1763.
- Cheng PT, Chen CL, Wang CM, et al(2006). Effect of neuromuscular electrical stimulation on cough capacity and pulmonary function in patients with acute cervical cord injury. *J Rehabil Med*, 38(1), 32-36.
- DiMarco AF, Kowalski KE, Geertman RT, et al(2006). Spinal cord stimulation: a new method to produce an effective cough in patients with spinal cord injury. *Am J Respir Crit Care Med*, 173(12), 1386-1389.
- Estenne M, Pinet C, De Troyer A(2000). Abdominal muscle strength in patients with tetraplegia. *Am J Respir Crit Care Med*, 161(3), 707-712.
- Galeiras VR, Rascado SP, Mourelo FM, et al(2013). Respiratory management in the patient with spinal cord injury. *Biomed Res Int*, 2013, Published Online.
- Gollee H, Hunt KJ, Allan DB, et al(2007). A control system for automatic electrical stimulation of abdominal muscles to assist respiratory function in tetraplegia. *Med Eng Phys*, 29(7), 799-807.
- Gutierrez CJ, Stevens C, Merritt J, et al(2010). Trendelenburg chest optimization prolongs spontaneous breathing trials in ventilator-dependent patients with low cervical spinal cord injury. *J Rehabil Res Dev*, 47(3),

- 261-272.
- Hacakova-Bartova R, Dinant JF, Parent A, et al(2008). Neuromuscular electrical stimulation of completely paralyzed abdominal muscles in spinal cord-injured patients: a pilot study. *Spinal Cord*, 46(6), 445-450.
- Ito K, Nozoe T, Okuda M, et al(2015). Electrically stimulated ventilation feedback improves the ventilation pattern in patients with COPD. *J Phys Ther Sci*, 27(2), 325-330.
- Jackson AB, Groomes TE(1994). Incidence of respiratory complications following spinal cord injury. *Arch Phys Med Rehabil*, 75(3), 270-275.
- Jack W(2012). *Pulmonary function testing: A practical approach*. 3rd ed, Sudbury, Jones & Bartlett Learning, pp.3.
- Jeon YJ, Oh DW, Kim KM, et al(2010). Comparison of the effect of inhalation and exhalation breathing exercises on pulmonary function of patients with cervical cord injury. *Phys Ther Korea*, 17(1), 9-16.
- Jung JH, Shim JM, Kwon HY, et al(2014). Effects of abdominal stimulation during inspiratory muscle training on respiratory function of chronic stroke patients. *J Phys Ther Sci*, 26(1), 73-76.
- Kacmarek RM, Durbin CG, Barnes TA, et al(2009). Creating a vision for respiratory care in 2015 and beyond. *Respir Care*, 54(3), 375-389.
- Kandare F, Exner G, Jeraj J, et al(2002). Breathing induced by abdominal muscle stimulation in individuals without spontaneous ventilation. *Neuromodulation*, 5(3), 180-185.
- Kim BNR, Cynn HS(2018). Effects of five-month training of playing harmonical on pulmonary function in patients with neuromuscular disease: A pilot study. *Phys Ther Korea*, 25(3), 60-67.
- Lim J, Gorman RB, Saboisky JP, et al(2007). Optimal electrode placement for noninvasive electrical stimulation of human abdominal muscles. *J Appl Physiol*, 102(4), 1612-1617.
- McBain RA, Boswell-Ruys CL, Lee BB, et al(2013). Abdominal muscle training can enhance cough after spinal cord injury. *Neurorehabil Neural Repair*, 27(9), 834-843.
- McCaughey EJ, Boswell-Ruys CL, Hudson AL, et al(2018). Optimal electrode position for abdominal functional electrical stimulation. *J Appl Physiol*, 125(4), 1062-1068.
- McCool FD(2006). Global physiology and pathophysiology of cough: ACCP evidence-based clinical practice guidelines. *Chest*, 129(1), 48-53.
- McLachlan AJ, McLean AN, Allan DB, et al(2013). Changes in pulmonary function measures following a passive abdominal functional electrical stimulation training program. *J Spinal Cord Med*, 36(2), 97-103.
- Lee MH, Hwang-Bo G(2015). Effects of the neck stabilizing exercise combined with the respiratory reeducation exercise on deep neck flexor thickness, forced vital capacity and peak cough flow in patients with stroke. *Phys Ther Korea*, 22(1), 19-29.
- Na EH, Han SJ, Yoon TS(2014). Effect of active pulmonary rehabilitation on pulmonary function in patients with brain lesion. *NeuroRehabilitation*, 35(3), 459-466.
- Neumann P, Gill V(2002). Pelvic floor and abdominal muscle interaction: EMG activity and intra-abdominal pressure. *Int Urogynecol J Pelvic Floor Dysfunct*, 13(2), 125-132.
- Okuno Y, Takahashi R, Sewa Y, et al(2017). Functional electrical stimulation to the abdominal wall muscles synchronized with the expiratory flow does not induce muscle fatigue. *J Phys Ther Sci*, 29(3), 484-486.
- Sheffler LR, Chae J(2007). Neuromuscular electrical stimulation in neurorehabilitation. *Muscle Nerve*, 35(5), 562-590.
- Skinner JS(2005). *Exercise testing and exercise prescription for special cases: theoretical basis and clinical application*. 3rd ed, Philadelphia, Lippincott Williams & Wilkins, pp.3-4.
- Taylor PN, Tromans AM, Harris KR, et al(2002). Electrical

stimulation of abdominal muscles for control of blood pressure and augmentation of cough in a C3/4 level tetraplegic. *Spinal Cord*, 40(1), 34-36.

Wallbom A, Naran B, Thomas E(2004). Acute ventilator management and weaning in individuals with high

tetraplegia. *Top Spinal Cord Inj Rehabil*, 10(3), 1-7.

Winslow C, Rozovsky J(2003). Effect of spinal cord injury on the respiratory system. *Am J Phys Med Rehabil*, 82(10), 803-814.