

## 뇌졸중으로 인한 삼킴장애 환자의 경부근육전기자극치료에 따른 음성 변화

변해원<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>대림대학교 언어재활과, 아주대학교의료원 노인보건연구센터

### Voice Change Associated with Swallowing Disorder Caused by a Stroke After Neuromuscular Electrical Stimulation

Haewon, Byeon<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Language Therapy, Daelim University Collage,  
Institute on Aging, Ajou University Medical Center

**요약** 이 연구는 뇌졸중으로 인한 삼킴장애 환자를 대상으로 반복된 경부근육전기자극치료(NMES) 과정에서 나타나는 음성의 변화를 음향음성학적 분석 방법으로 분석하고, NMES 중재가 음성에 미치는 영향을 파악하고자 하였다. 2010년 2월 부터 2011년 3월까지 인천광역시 2개 병원에서 삼킴장애로 진단을 받은 발성이 가능한 15명의 남성을 대상으로 2개월 동안 반복된 경부근육전기자극치료를 실시하였다. 음성은 강도, 음도(F<sub>0</sub>), 음질(Jitter, Shimmer, NNE; Normalized Noise Energy)을 측정하였고, 중재가 종료된 1주 후에 변화된 음성이 유지되었는지를 분석하였다. 연구결과, NMES 중재 후 대상자의 삼킴 기능 회복과 함께 음성 강도가 향상되었고, 성대 진동의 주기성(Jitter, Shimmer)이 안정되었다(P<0.05). 그러나 음도는 유의한 차이가 없었고, NNE는 중재 후 향상되었지만 여전히 비정상적인 수치를 보였다. 이 결과는 반복된 경부근육전기자극치료가 삼킴 능력의 회복과 함께 음성 강도의 향상 및 성대 진동 주기성의 안정화에 영향을 미칠 수 있는 가능성을 시사한다.

**Abstract** The purpose of this study was to look into changes in voice using acoustic analysis during the process of neuromuscular electrical stimulation targeting dysphagia treatment. Fifteen man with dysphagia caused by stroke was treated neuromuscular electrical stimulation for two months and intensity of voice, F<sub>0</sub>, Jitter, Shimmer, NNE were measured. The results of this study that improvement in functions of dysphagia and Jitter, Shimmer were stabilized. But there was not significantly changes of F<sub>0</sub>. NNE was improved after the intervention, but still showed abnormal levels. This result suggests a possibility of effects that Neuromuscular electrical stimulation has on stabilization of Jitter, Shimmer and intensity of voice.

**Key Words** : Dysphagia, Neuromuscular Electrical Stimulation, Stroke, Voice Problem, Acoustic Analysis

### 1. 서론

삼킴장애(dysphagia)는 음식을 입에서부터 위장으로 옮기는 과정에서 발생하는 어려움으로 정의되며, 급성기 뇌졸중 환자에게서 빈번하게 발견된다[1]. 뇌졸중 후 삼킴장애의 발생비율은 급성기 뇌졸중 환자의 경우 37%에서 45%까지 다양하게 보고 되고 있으며[2-5], 초기 급성기 뇌졸중의 환자의 경우 음식물이 기도를 통과하는 흡

인(aspiration)이 나타날 수 있기 때문에 적극적인 재활 치료가 필요하다[4]. 뇌졸중으로 인한 구강인두 삼킴장애 환자를 위한 치료법은 전통적으로 자세변화, 음식의 양과 속도변화, 음식의 농도나 점도 변화 등의 보상적 치료기법과 온도-촉각자극법 등이 주로 시행되어 왔으며[1], 특정 삼킴 근육의 만성적인 기능장애가 원인일 경우에는 윤상인두근육 절단술(cricopharyngeal myotomy)등의 수술적 치료가 시행되기도 한다[6].

\*Corresponding Author : Haewon, Byeon

Tel: +82-10-7404-6969 e-mail: byun@ajou.ac.kr

접수일 12년 01월 03일 수정일 (1차 12년 01월 20일, 2차 12년 02월 02일, 3차 12년 02월 05일) 게재확정일 12년 04월 12일

최근에는 뇌졸중 환자의 삼킴 재활에서 경부근육전기 자극치료(Neuromuscular Electrical Stimulation)가 시행되고 있으며, 삼킴 능력의 회복에 유의한 효과가 있다는 연구결과들이 보고되고 있다[7-10]. 전통적 삼킴장애 치료법과 경부근육전기자극치료의 치료효과를 비교한 연구들에서도 맹검(blinding)이 적용된 무작위실험연구(randomized controlled trial)에서 치료효과 간의 유의한 차이가 없었으며[11], Blumenfeld 등[12]의 후향적 코호트 연구에서는 전통적 치료에 비해 경부근육전기자극치료가 삼킴 기능을 더 유의하게 향상시켰음을 보고하였다. 경부근육전기자극치료는 피부에 미세한 전류를 방출하여 근육의 기능을 회복해 주는 치료법으로 후두외부근육과 후두거상능력을 향상시켜서 삼킴 기능을 회복시키는 것으로 알려져 있다[8, 13].

경부전기자극치료가 뇌졸중 환자의 삼킴 능력의 회복에 긍정적인 영향을 미친다는 결과와 함께 흥미로운 점은 경부근육전기자극치료 과정에서 음성 변화가 발견된다는 점이다[14-15]. 음성의 산출은 소리에너지의 형성과정과 공명과정으로 구성된 음원필터이론(Source-Filter theory)으로 설명된다[16]. 소리 에너지인 음성은 성대 진동(vocal fold vibration)에 의해 생성되는데, 이 때 후두내부근육이 성대의 움직임에 담당한다. 그러나 뇌졸중 환자는 중추신경 또는 말초신경의 손상으로 인해 성대의 운동과 밀접한 관련이 있는 후두내부근육이 마비되어 음도, 강도, 음질 등이 정상 범위에서 이탈된 비정상적인 음성을 산출하게 된다.

전기 자극이 후두근육에 미치는 영향에 대한 연구들에서는 전기 자극의 위치가 후두내부근육인지 후두외부근육인지에 따라 상이한 결과가 보고되고 있다. 후두내부근육에 직접적으로 전기 자극을 실시한 실험 연구들에서는 전기 자극이 성대의 기능에 영향을 미쳤다고 보고하였다[17-18]. Zealear 등[17]의 연구에 따르면 양측성대마비환자(bilateral vocal fold paralysis)를 대상으로 후두내부근육에 전기 자극을 실시한 결과, 후운상피열근(posterior cricoarytenoid muscle)의 기능이 활성화되어 성대 외전(abduction)이 유지되었다. 또한 Bidus 등[18]에 따르면 외전형 경련성발성장애(abductor spasmodic dysphonia) 환자를 대상으로 성대 내전근을 자극한 결과 음절 지속시간(syllable duration)과 무성자음 지속시간(voicless consonant duration)이 유의미하게 향상되었다. 그러나 경부 피부에 전기 자극을 실시한 연구[13, 15]에서는 성대의 기능이나 음성에 유의미한 변화가 발견되지 않았다.

현재까지 경부근육전기자극과 음성과의 관계가 명확하게 입증되지 않았음에도 불구하고 경부근육전기자극치료 과정에서 삼킴장애환자의 음성 강도가 변화하는 사례

가 임상에서 목격되고 있다[15]. 또한 경부 전기 자극이 음성에 미치는 영향을 살펴 본 선행 연구들[14-15]은 정상인을 대상으로 일시적인 전기 자극에 의한 음성변화 결과만을 분석하였으며, 삼킴장애 환자를 대상으로 반복적인 경부 전기 자극을 실시한 음성 연구는 미흡한 실정이다. 경부전기자극치료의 이론적 근거가 반복된 훈련을 통해서 손상된 기능을 주변에서 재구성 또는 재배치하는 신경가소성의 원리에 있기 때문에[14], 일회적인 자극에 의한 반응만으로는 경부근육전기자극치료를 따른 음성의 변화를 확인하는데 제한이 있다. 이에, 이 연구는 뇌졸중으로 인한 삼킴장애 환자를 대상으로 음향음성학적 분석 방법을 이용하여 반복된 경부근육전기자극치료가 음성의 강도, 음도, 음질에 미치는 영향을 파악하는 것을 목적으로 수행되었다.

## 2. 연구방법

### 2.1 연구대상

연구 대상은 상급의료기관에서 뇌졸중으로 인한 삼킴장애 진단을 받았고, 발병 후 6개월 이내에 경부근육전기자극치료를 받기위해 인천광역시 소재 A, B 재활병원에 2010년 2월부터 2011년 3월까지 내원한 입원환자를 대상으로 하였다. 대상자의 선정 기준은 다음과 같다. 첫째, 폐질환, 후두질환 및 구강 조음 기관에 병력이 없고, 둘째, 발성이 가능하고, 셋째, 50세 이상 70세 미만의 남성이고, 넷째, 단축형정신상태검사(Mini-Mental State Examination Korean version; MMSE-K)[26] 결과 20점 이상으로 검사 방법을 이해하고 수행하는 데 어려움이 없고, 다섯째, 연구 진행일 이전까지 음성재활 및 경부근육전기자극치료를 받은 경험이 없고, 여섯째, 연구의 참여를 동의하는 자로 선정하였다. 위의 기준을 한 가지라도 만족하지 못하는 경우에는 대상에서 제외하였다. 기준에 적합한 남성 15명이 최종 연구대상으로 선정되었고, 대상자의 동의를 받아서 연구가 진행되었다.

### 2.2 연구도구

#### 2.2.1 VitalStim

삼킴장애 치료는 식약청(FDA)의 승인을 받은 경부근육전기자극치료기인 VitalStim(Chattanooga Group, Tennessee, USA)을 이용하였다[14]. 연구에서는 교류를 이용한 2채널을 사용하였고, 진동의 빈도는 80Hz, 자극폭은 300usec, 한주기당 자극은 700usec로 설정된 값으로 고정하였고, 전류의 강도는 6.5mA에서 시작하여 환자의 불편함과 통증을 견딜 수 있는 범위에서 강도를 0.5mA씩 조절하였

다. 패드는 직경 2cm 크기의 원 모양을 사용하였다.

### 2.2.2 Dr. Speech

음성의 강도, 음도, 음질 측정은 Dr. speech의 Vocal Assessment for voice(Version 4.5, Tiger Drs, Inc, USA)를 이용하였다[27]. Dr. speech는 정상과 병리적 음성을 비교하기 위해 사용되는 음성분석 프로그램으로서 2,973명의 표준음성과 902명의 병리적 음성에 대한 광범위한 데이터베이스를 기초로 하고 있다. 이 연구에서는 음성 측정을 위한 분석 지표로 강도는 mean-intensity, 음도는 mean F<sub>0</sub>, 음질은 Jitter, Shimmer, NNE(Normalized Noise Energy)를 각각 이용하였다.

## 2.3 연구절차

### 2.3.1 경부근육전기자극치료

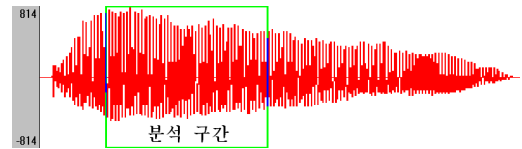
경부근육전기자극치료는 연구가 종료되는 시점까지 동일한 시간에 두 채널용 전기자극기를 이용하여 1회 25분 동안 진행되었고 전체 대상자 15명 모두 1일 간격으로 주 5회 씩 2개월 동안 총 40회의 치료를 받았다. 두 개의 전극은 Humbert 등[13]의 연구를 참고하여 설골의 상방(superior to the hyoid bone)과 갑상연골 위(superior to the thyroid notch)에 각각 부착하였다. 경부전기자극치료는 연구자의 개입을 최소화하고, 연구 기간 동안 동일한 치료를 유지하기 위해서 경부근육전기치료 전문교육을 받은 삼킴재활전문 작업치료사 1인이 각각 전담하였다. 경부근육전기자극치료 이외에 다른 재활 치료가 음성에 미치는 영향을 통제하기 위해서 연구 시작 후 종결까지 발성 훈련 및 자세변화 등의 보상적 치료기법을 시행하지 않았다.

### 2.3.2 음성분석

음성분석은 경부근육전기자극치료가 끝난 후 1시간 이내에 소음이 없는 음성검사실에서 대상자의 모음 연장발성을 음성분석프로그램에 직접 녹음하여 분석하는 방법으로 진행하였다. 대상자는 연구기간 동안 경부근육전기자극치료가 끝나고 음성분석을 실시하기 전까지 어떠한 재활치료도 받지 않았다. 이는 다른 재활치료로 인한 대상자의 피로가 음성에 미칠 수 있는 영향을 통제하고, 동일한 시간대에 음성분석을 실시함으로써 음성의 가변성을 최소화하기 위해서였다. 마이크는 Shure사의 PG48-LC를 사용하였고, 동일한 측정을 위해서 마이크와 입술간의 거리는 5cm의 거리를 유지하였다.

음성 녹음은 모음 /e/를 연장 발성하는 방법으로 실시하였다. 습관적인 음성을 유도하고자 음성 분석 전에 본

인의 이름을 먼저 말한 후에 즉시 녹음한 모음연장발성을 분석하였다. 모든 음성녹음은 1회 발성한 자료를 수집하였고, 분석 구간은 오실로그래프(oscillograph)와 기본주파수의 구간 변화점(time point of fundamental frequency)을 비교하여 발성한 모음에서 안정된 구간을 지정하여 음도와 음질을 분석하였다[그림 1].



[그림 1] 모음 /e/의 분석 구간

[Fig. 1] An acoustic analysis of the /e/ space

대상자의 증재 전의 음성 특성을 분석하기 위해서 입원 후 경부근육전기자극치료를 시행하기 전까지의 1주 이내의 기간을 기초선(baseline)으로 설정하여 3회의 음성분석을 시행하였고, 2개월 동안의 증재기간이 종료된 1주 후를 유지 기간으로 설정하고 1주일 동안 2일 간격으로 3회에 걸쳐서 음성을 분석하였다.

### 2.3.3 연하조영검사

2달 동안의 경부근육전기자극치료가 종료되면, 대상자의 삼킴 능력의 변화를 확인하기 위해서 연하조영검사(videofluoroscopy)를 시행하였다. 연하조영검사는 조영제를 섞은 음식물을 삼키는 과정을 투시촬영기를 통해서 촬영하는 검사이다. 모든 대상자의 삼킴 능력은 재활의학과 전공의가 영상을 보고 흡인-침습 척도(Penetration-Aspiration Scale; PAS)를 이용하여 평가하였다[25]. 흡인-침습 척도는 표 1에 제시하였다.

[표 1] 흡인-침습 척도

[Table 1] Penetration-Aspiration Scale

1	Material does not enter airway
2	Material enters the airway, remains above the vocal folds, and is ejected from the airway.
3	Material enters the airway, remains above the vocal folds, and is not ejected from the airway.
4	Material enters the airway, contacts the vocal folds, and is ejected from the airway.
5	Material enters the airway, contacts the vocal folds, and is not ejected from the airway.
6	Material enters the airway, passes below the vocal folds, and is ejected into the larynx or out of the airway.
7	Material enters the airway, passes below the vocal folds, and is not ejected from the trachea despite effort.
8	Material enters the airway, passes below the vocal folds, and no effort is made to eject.

Source: Rosenbek et al., A Penetration-Aspiration Scale, Dysphagia, Vol. 11, pp. 93-98, 1996.

### 2.4 자료처리 및 통계분석

이 연구에서는 경부근육전기자극 치료를 설명변수로, 음성의 강도, 음도, 음질(Jitter, Shimmer, NNE) 변수를 결과변수로 각각 정의하였다. 대상자의 기초선 특성은 기술 분석을 이용하여 평균 및 표준편차를 제시하였고, 연구의 결과 변수에 대한 관측 자료가 정규분포를 가정하는 지를 확인하기 위해서 일표본 콜모고로프-스미르노프(one-sample Kolmogorov-Smirnov) 검정을 수행하였다. 이 때, 결과 변수가 양측검정에서 유의수준 0.05 미만인 경우에는 정규분포를 가정하지 않는 비모수검정인 윌콕슨의 부호 순위 검정(Wilcoxon signed rank test)을 이용하였고, 양측 검정에서 유의수준 0.05 이상인 경우에는 정규분포를 가정하고 모수 검정인 대응표본 T검정(paired t-test)을 이용하여 기초선 기간과 유지 기간의 평균값 차이를 검정하였다. 수집된 모든 자료는 IBM SPSS version 19.0(IBM Inc., Chicago, Illinois)을 이용하여 통계 처리를 하였다.

## 3. 연구결과

### 3.1 대상자의 기초선 특성

대상자의 기초선 특성은 표 2에 제시하였다. 대상자 평균 연령은 61.5세(범위: 52~68세, 표준편차: 5.2)이었고, 평균 교육년수는 11.3년(표준편차: 2.8)이었다. 대상자의 뇌졸중 발병 후 기간은 평균 4.1개월(표준편차: 1.1)이었다. 인지능력을 판단하는 단축형정신상태검사에서 평균점수는 22.8점(표준편차: 1.9)으로 본 연구 과제의 지시를 이해하고 수행하는데 어려움이 없었다. 대상자의 삼킴 능력을 평가하는 흡인-침습 척도는 평균 6.1점(표준편차: 0.6)으로 이물질이 기도와 성대를 통과하여, 기침을 통해서만 이물질이 기도나 후두 밖으로 나올 수 있는 수준 이었다. 대상자의 평균 음도는 130 Hz(표준편차: 9.0), 평균 강도는 41.8 dB(표준편차: 3.6) 이었다. 대상자의 음질은 Jitter는 평균 1.1 dB(%), Shimmer는 평균 3.4 dB(%), NNE는 -5.7 dB(%)로서 Dr. speech에 제시되어 있는 정상 역치 기준과 비교했을 때 비정상적인 수치에 해당하였다. 일표본 콜모고로프-스미르노프 검정결과, 모든 변수가 유의수준 0.05 이상으로 정규분포를 가정하였기 때문에 모든 분석은 모수 검정인 대응표본 T검정을 이용하여 분석하였다.

[표 2] 대상자의 기초선 특성

[Table 2] Baseline characteristics of subjects

Variables	Range	mean±SD	p*
Age	53~68	61.5±5.2	0.891
Years of education	8~16	11.3±2.8	0.269
POT(month) <sup>1</sup>	3~6	4.1±1.1	0.189
MMSE-K <sup>2</sup>	20~26	22.8±1.9	0.969
PAS <sup>3</sup>	7~5	6.1±0.6	0.100
F <sub>0</sub> (Hz)	115~143	130±9.0	0.957
Intensity (dB)	36.5~48.3	41.8±3.6	0.875
Jitter (%)	0.4~1.5	1.1±0.3	0.931
Shimmer (%)	1.8~4.9	3.4±0.9	0.910
NNE (%)	-10.8~-0.5	-5.7±3.3	0.856

\* one-sample Kolmogorov-Smirnov test

<sup>1</sup> POT: Post onset time

<sup>2</sup> MMSE-K: Mini-Mental State Examination. Ranges from 0 to 30. A score of 23 or lower indicates cognitive impairment.

<sup>3</sup> PAS: Penetration-Aspiration Scale. Ranges from 1 to 8, with higher scores indicating more severe dysphagia.

### 3.2 삼킴 능력의 변화

경부근육전기자극치료에 따른 대상자의 삼킴 능력의 변화는 표 3에 제시하였다. 연하조형검사의 흡인-침습 척도 결과, 기초선 기간에 비해서 경부근육전기자극치료 이후에 삼킴 능력의 유의한 향상이 있었다(p<0.001). 전체 대상자 15명 중 4명은 흡인-침습 척도를 기준으로 삼킴 능력이 2수준 이상, 9명은 1수준 이상 향상되었고, 2명은 삼킴 능력이 향상되지 않았다.

[표 3] NMES에 따른 삼킴 기능 변화

[Table 3] Results of Penetration-Aspiration Scale after NMES<sup>1</sup>

Case	pretreatment	posttreatment	p*
1	6	4	
2	6	4	
3	6	5	
4	6	5	
5	5	4	
6	5	4	
7	6	5	
8	6	6	<0.001
9	7	5	
10	7	5	
11	6	5	
12	7	6	
13	7	6	
14	6	5	
15	6	6	

\* paired t-test

<sup>1</sup> NMES: Neuromuscular electrical stimulation

### 3.3 음성의 변화

경부근육전기자극치료에 따른 대상자자의 음성 강도, 음도, 음질에 대한 음향학적 분석 결과는 표 4에 제시하였다. 경부근육전기자극치료 이전인 기초선 기간의 음성과 치료 종료 후 유지기간의 음성에 대해서 음향학적 평가를 수행한 결과, 음도를 제외한, 강도, Jitter, Shimmer, NNE의 수치에서 통계적으로 유의미한 향상이 있었다 ( $p<0.05$ ). 음성 강도는 기초선 기간의 평균 41.8 dB에서 유지기간에는 평균 44.5 dB로 약 3dB가 증가하였다 ( $p<0.01$ ). Jitter는 기초선 기간의 평균 1.1 dB(%)에서 유지기간에는 평균 0.5 dB(%)로 감소하여( $p<0.01$ ), Dr. speech에 제시되어 있는 정상 역치 기준인 0.5 dB(%)이내에 도달하였다. Shimmer는 기초선 기간의 평균 3.4 dB(%)에서 유지기간에는 평균 2.5 dB(%)로 감소하여 ( $p<0.01$ ), Dr. speech에 제시되어 있는 정상 역치 기준인 3.0 dB(%)이내에 도달하였다. NNE는 기초선 기간의 평균 -5.7 dB(%)에서 유지기간에는 평균 -6.7 dB(%)로 향상되었지만( $p<0.05$ ), 경부근육전기자극치료 이후에도 Dr. speech에 제시되어 있는 정상 역치 기준인 -10.0 dB(%) 이상에는 미치지 못하였다.

[표 4] NMES에 따른 음성의 음향학적 결과  
[Table 4] Results of acoustic evaluations after NMES<sup>1</sup>

Parameter	pretreatment	posttreatment	t <sup>2</sup>
F <sub>0</sub> (Hz)	130.8±9.0	131.8±10.8	-0.51
Intensity (dB)	41.8±3.6	44.5±3.3	-4.12**
Jitter (%)	1.1±0.3	0.5±0.2	6.88**
Shimmer (%)	3.4±1.0	2.5±0.6	3.69**
NNE (%)	-5.7±3.3	-6.7±2.3	2.68*

<sup>1</sup> NMES: Neuromuscular electrical stimulation

<sup>2</sup> paired t-test

\*  $p<0.05$ , \*\*  $p<0.01$

## 4. 고찰 및 결론

이 연구는 2개월 동안의 반복된 경부근육전기자극치료를 받은 뇌졸중으로 인한 삼킴장애 남성 15명을 대상으로 음향음성학적 분석 방법을 이용하여 경부근육전기자극치료가 음성의 강도, 음도, 음질에 미치는 영향을 파악하였다. 이 연구결과에 기초하여 얻은 결론은 다음과 같다.

경부근육전기자극치료 이후 대상자의 음도는 유의한 변화가 없었다. 음도의 변화는 윤상갑상근(cricothyroid muscle)이 담당하는데, Vilkman 등[19]은 윤상갑상근의

경우 후두외부근육의 영향과는 무관하게 작용한다고 하였다. 따라서 본 연구에서 경부근육전기자극치료가 후두외부근육의 향상에 영향을 미쳤다고 할지라도 대상자의 음도 변화에는 큰 영향을 미치지 않은 것으로 추측된다.

음성의 강도 측면에서는 경부근육전기자극치료 이후 대상자의 음성은 삼킴 능력의 향상과 함께 음성의 강도가 평균 약 4dB 유의하게 증가하였다. 이 결과는 경부근육 전기 자극은 음성 강도의 변화에 유의한 영향을 미치지 못했다는 Fowler 등 [15]의 결과와는 상이하다. 이러한 차이는 선행연구에서는 적은 수의 정상인만을 대상으로 1회의 경부 전기 자극만을 시행하였기 때문으로 사료된다. 경부전기자극치료는 반복된 자극 과정에서 손상된 기능을 주변에서 재구성 또는 재배치하는 신경가소성의 원리에 근거하기 때문에[14] 일회적인 자극만으로는 음성의 변화를 설명하는 데 제한이 있다. Fowler 등[15]은 일시적인 경부 전기 자극 후 개별적으로는 대상자의 음성강도에 변화가 있었지만, 개인 마다 증가 및 감소의 방향이 상이하였기 때문에 통계적인 유의성이 없었다고 결론을 내리면서 반복된 경부근육자극에 따른 음성의 생리적인 변화에 대한 가능성을 제기하였다. 여러 연구들에서 경부근육 전기 자극은 후두외부근육에만 유의한 영향을 미친다고 보고되었음에도 불구하고[8, 13], 경부의 강한 전기 자극이 후두외부근육 뿐만 아니라 후두내부근육의 활성화에도 미미한 영향을 미칠 수 있는 가능성을 배제할 수 없다[13]. 따라서 이러한 가능성을 검증하기 위해서 향후 연구에서는 음향음성학적 분석과 함께 후두내부근육의 운동을 측정하는 분석이 요구된다.

음질의 측면에서는 경부근육전기자극치료를 받는 동안 대상자의 음성은 성대 진동의 주기성이 안정되었다. 대상자의 음질은 경부근육전기자극치료 이후 성대 진동의 주파수 변동(frequency perturbation)을 나타내는 Jitter와 성대 진동의 진폭변동(amplitude perturbation)을 나타내는 Shimmer의 모두 정상 수치에 도달하였다. 성대 진동의 주파수 변동은 신경학적, 기류학적, 음향학적 요인으로 발생할 수 있다. Ferrand[20]에 따르면 신경학적으로 성대 진동을 조절하는 근육에 문제가 있을 경우 성대 진동이 불안정하여 정상 보다 높은 Jitter와 Shimmer 수치를 보인다고 하였다. 또한, 후두가 상승되는 경우에도 음도가 변화하여 Jitter에 영향을 미칠 수도 있다[20]. 따라서 이 연구에서 경부근육전기자극치료로 인한 Jitter와 Shimmer의 안정화는 후두 거상 기능의 향상 또는 성대 진동을 조절하는 근육의 기능 회복에 기인하는 것으로 추측된다. 그러나 성대 진동의 주기성은 기류학적으로 폐압의 변화에도 상대적으로 영향을 받을 수 있기 때문에 [21], 후속연구에서는 성대 진동의 주파수 변동과 관련된

복합적인 요인들을 파악할 수 있도록 음향음성학적 검사 외에 공기역학적 검사가 추가로 필요하다.

성문 소음을 나타내는 NNE는 경부근육전기자극치료 후 수치가 유의미하게 향상되었지만 정상 수준에는 미치지 못하였다. NNE는 전체 발성 에너지(total vocal energy)에서 배음신호 에너지(harmonic signal energy)를 뺀 수치로서 병리학적으로 문제가 있는 음성과 정상 음성을 구분하는데 효과적으로 이용되고 있다[22-23]. 성대 마비 등으로 인해 성대에 틈이 생기면, 난기류성 소음이 생성되면서 더 많은 공기가 유출되어 음성에 소음이 증가 될 수 있다[24]. 본 연구의 경부근육전기자극치료 과정에서 NNE 수치의 유의한 향상이 있었지만, 여전히 병리학적으로 비정상적 수치였기 때문에 성대의 틈이 정상 수준으로 회복되었다고 결론을 내리기에는 제한이 있다. 따라서 이 연구의 결과를 기초로 후속연구에서 경부근육 전기자극치료에 따른 NNE의 향상을 입증하기 위해서는 2개월 이상의 중재 기간이 필요할 것이다.

이 연구의 제한점은 다음과 같다. 첫째, 이 연구는 대조군이 없기 때문에 본 연구의 결과만으로는 음성의 변화가 경부전기자극치료의 효과에 기인한 것인지 또는 자가 회복에 기인한 것인지를 확인할 수 없다. 연구 대상자들은 모두 삼킴치료가 시급하게 요구되는 급성기 또는 아급성기 삼킴장애 환자였기 때문에 치료를 시행하지 않는 통제 집단이나 다른 치료를 시행하는 위약 집단 (placebo control group)을 선정하는 것은 윤리적인 문제가 있었다. 둘째, 대상자의 수가 적기 때문에 결과를 일반화 하는데 제한이 있다. 급성기의 삼킴장애 환자들 중에는 기관절개술(tracheostomy)을 한 환자가 많기 때문에 연구 기간 동안 많은 수의 발성이 가능한 삼킴장애 환자를 모집하기에는 어려움이 있었다. 셋째, 경부근육자극 중재 동안 연구 결과에 영향을 미치는 요인을 통제하기 위해서 발성 훈련, 보상적 치료 등을 시행하지 않았고, 동일한 시간에 음성을 측정하였지만, 이 외에도 음성 변화에 영향을 미칠 수 있는 다른 요인이 존재할 가능성이 있다. 따라서 연구 결과를 해석하는데 있어서 주의가 요구된다. 넷째, 음향음성학적 분석결과만으로는 경부근육 전기자극치료와 음성에 영향을 미치는 근육의 회복 간의 인과 관계를 설명하는데 제한이 있다. 경부근육전기자극 치료와 후두내부근육의 회복 간의 인과관계를 증명하기 위해서는 후두근전도검사 또는 경부단층촬영을 이용하여 근육의 회복정도를 확인할 필요가 있다. 향후 연구에서는 경부근육전기자극치료와 음성을 산출하는 근육과의 관계를 구체적으로 파악하기 위해서 음향음성학적 분석과 신경근육검사를 함께 실시하여 상관관계를 살펴보는 실험 연구가 요구된다.

이 연구의 결과는 삼킴재활치료 과정에서 반복된 경부근육전기자극치료가 삼킴 능력의 향상과 함께 성대 진동의 주기성의 안정화에 영향을 미칠 수 있는 가능성을 시사한다. 향후 경부근육전기자극치료에 따른 음성 변화의 인과 관계를 규명하기 위해서 후두내시경이나 신경근육 검사 등을 포함한 전향적 연구가 필요하다.

## References

- [1] Logemann, J. A., "Evaluation and treatment of swallowing disorders", Texas: Pro-Ed. 1997.
- [2] Gordon, C., Hewer, R. L., & Wade, D. T., "Dysphagia in acute stroke", *BMJ*, Vol. 295, pp. 411 - 414, 1987.
- [3] Wade, D. T., & Hewer, R. L., "Motor loss and swallowing difficulty after stroke: frequency, recovery, and prognosis", *Acta Neurologica Scandinavica*, Vol. 76, pp. 50-54, 1987.
- [4] Kidd, D., Lawson, J., Nesbitt, R., & MacMahon, J., "Aspiration in acute stroke: A clinical study with videofluoroscopy", *QJ Med*, Vol. 86, pp. 825-829, 1993.
- [5] Odderson, I. R., Keaton, J. C., & McKenna, B. S., "Swallow management in patients on an acute stroke pathway: quality is cost effective", *Arch Phys Med Rehabil*, Vol. 76, pp. 1130 - 1133, 1995.
- [6] Buchholz, D. W., "Cricopharyngeal myotomy may be effective treatment for selected patients with neurogenic oropharyngeal dysphagia", *Dysphagia*, Vol. 10, No. 4, pp. 255-258, 1995.
- [7] Freed, M. L., Freed, L., Chatburn, R. L., & Christian, M., "Electrical stimulation for swallowing disorders caused by stroke", *Respiratory Care*, Vol. 46, No. 5, pp. 466-474, 2001.
- [8] Leelamanit, V., Limsakul, C., & Grater, A., "Synchronized electrical stimulation in treating pharyngeal dysphagia", *Laryngoscope*, Vol. 112, pp. 2204-2210, 2002.
- [9] Kiger, M., Brown, C. S., & Watkins, L., "Dysphagia management: an analysis of patient outcomes using VitalStim therapy compared to traditional swallow therapy", *Dysphagia*, Vol. 21, No. 4, pp. 243 - 253, 2006.
- [10] Shin, S. J., Park, J. M., Lee, D. U., Jung, M. E., YU, E. Y., & YU, M. K., "The effects of electrical stimulation on the neck muscles of patients with a swallowing disorder caused by a stroke", *The Journal of Korean Academy of Occupational therapy*, Vol. 17, No.

- 2, pp. 17-28, 2009.
- [11] Bułow, M., Speyer, R., Baijens, L., Woisard, V., & Ekberg, O., “Neuromuscular electrical stimulation (NMES) in stroke patients with oral and pharyngeal dysfunction”, *Dysphagia*, Vol. 23, pp. 302-309, 2008.
- [12] Blumenfeld, L., Hahn, Y., Lepage, A., Leonard, R., & Belafsky, P. C., “Transcutaneous electrical stimulation versus traditional dysphagia therapy: a nonconcurrent cohort study”, *Otolaryngol Head Neck Surg*, Vol. 135, No. 5, pp. 754-757, 2006.
- [13] Humbert, I. A., Poletto, C. J., Saxon, K. G., Kearney, P. R., & Ludlow, C. L., “The effect of surface electrical stimulation on vocal fold position”, *Laryngoscope*. Vol. 118, pp. 14-19. 2008.
- [14] Freed, M. L., & Wijting, Y., “Training manual for patient assessment and treatment using VitalStim electrical stimulation”, TN: Chattanooga Group, 2003.
- [15] Fowler, L. P., Gorham-Rowan, M., & Hapner, E. R., “An exploratory study of voice change associated with healthy speakers after Transcutaneous Electrical Stimulation to laryngeal muscles”, *Journal of Voice*, E-pub 2010.
- [16] Fant, G., “Acoustic theory of speech production”, The Hague: Mounton, 1968.
- [17] Zealear, D. L., Billante, C. R., Courey, M. S., Sant Anna, G. D., & Netterville, J. L., “Electrically stimulated glottal opening combined with adductor muscle botox blockade restores both ventilation and voice in a patient with bilateral laryngeal paralysis”, *Ann Otol Rhinol Laryngol*, Vol. 111, pp. 500 - 506, 2002.
- [18] Bidus, K. A., Thomas, G. R., & Ludlow, C. L., “Effects of adductor muscle stimulation on speech in abductor spasmodic dysphonia”, *Laryngoscope*, Vol. 110, pp. 1943-1949, 2000.
- [19] Vilkman, E., Sonninen, A., Hurme, P., & Kořkko, P., “External laryngeal frame function in voice production revisited: a review”, *Journal of Voice*. Vol. 10, 78-92, 1996.
- [20] Ferrand, C. T., “Speech Science: An integrated approach to theory and clinical practice(2nd ed)”, MA: Allyn and Bacon, 2006.
- [21] Titze, I. R., “Principles of voice production. Englewood Cliffs”, NJ: Prentice Hall, 1994.
- [22] Kasuya, H., S. Ogawa., K. Mashima., & Ebihara., “Normalized noise energy as an acoustic measure to evaluate pathological voice”, *J Acoust Soc Amer*, Vol. 80, pp. 1329-1334, 1986.
- [23] Lim, K. Y., Shin, M. S., An, J. B., & Jung, O. L., “The study of correlation between HNR and NNE”, *Korean Journal of Speech Sciences*, Vol. 8, No. 3, pp. 235-241, 2001.
- [24] Pabon, J. P. H., & Plomp, R., “Automatic phonetogram recording supplemented with acoustical voice quality parameters”, *J Speech Hear Res*, Vol. 31, pp. 710-722, 1988.
- [25] Rosenbek, J. C., Robbins, J., Roecker, E. V., Coyle, J. L., & Woods, J. L., “A Penetration-Aspiration Scale”, *Dysphagia*, Vol. 11, pp. 93-98, 1996.
- [26] Park, J., & Kwon Y., “Standardization of Korean Version of the Mini-Mental State Examination (MMSE-K) for use in the elderly. Part II. diagnostic validity”, *Journal of the Korean Neuropsychiatric Association*, Vol. 28, No. 3, pp. 508-513, 1989.
- [27] Huang, D. Z., Engr, E., & Engr, S. B., “Vocal assessment user’s manual, version 4.5”, WA: Tigers DRS. Inc. 1996.

**변 해 원(Haewon Byeon)**

**[정회원]**



- 2009년 8월 : 단국대학교 대학원 (이학석사)
- 2011년 8월 : 아주대학교 대학원 예방의학교실 박사 수료
- 2009년 9월 ~ 현재 : 아주대학교의료원 노인보건연구센터 연구원
- 2011년 3월 ~ 현재 : 대림대학교 언어재활과 교수

<관심분야>

음성 의학, 치매 예측 모형