

뇌졸중 환자의 인두기능 회복을 위한 전기자극기 설계

김성민 #, 유지혜 *, 배하석 **

Electrical Stimulation System Design for Pharyngeal Dysfunction of Stroke Patients

S. M. Kim #, J. H. Yoo *, H. S. Bae **

ABSTRACT

The purpose of this study is to design electrical stimulation system for pharyngeal dysfunction(dysphagia) in stroke patients. Pharyngeal muscle group activity is important, because contracting muscles provide the driving force at the initiation of the swallow and generate the pressure gradients necessary for bolus movement into the esophagus. Although we have many treatment methods for dysphagia, electrical stimulation system will be useful for stroke patients having dysphagia. Electrical stimulation can be divided into the body stimulation and electrodes. The body stimulation is divided again into frequency counter, time control and current measurement part. These parts are to control the current intensity, frequency and stimulating time. And they can be variable according to the patient's clinical assessment. The electrode plays a role to deliver the current from the system to the muscle. Also the position of the electrode can be variable according to the treatment method. We performed the clinical experiment with the stroke patient who has swallowing disorder. The videofluoroscopy was used for the observation. From the result of clinical experiment based on electrical stimulation, we expected that the dysfunction(in pharynx) level of the patient can be improved. However we could not have enough effectiveness of the treatment because of the number of patients, patient's adaptation and treatment period. We will design the optimized electrical stimulation system based on enough clinical experiment in the future.

Key Words : Dysphagia(연하곤란), Swallowing(연하작용), Stroke(뇌졸중), Electrical stimulation(전기적인 자극)

1. 서론

현재 많은 환자들이 인두 또는 식도의 염증 및 병변으로 음식물 섭취가 곤란하거나, 두부의 외상, 뇌졸중, 뇌혈관사고 등으로 인한 마비,

교신저자 : 건국대학교 의과대학 의학공학부

E-mail : smkim@kku.ac.kr

* 건국대학교 의과대학 의학공학부

** 연세대학교 의과대학 재활의학교실

근무력증, 근긴장이상 등의 질환으로 정상적인 저작 및 연하작용에 장애를 겪고 있다. 이런 원인에 의한 연하장애 및 흡인은 탈수를 가져와 혈액농축이나 뇌혈류 순환장애, 신부전을 유발할 뿐 아니라 흡인성 폐렴을 동반하기도 하고, 영양실조(malnutrition) 같은 합병증을 일으키

며 심한 경우 사망의 원인이 되기도 한다.³ 또한 연하 장애는 환자의 QOL(Quality of life), 치료 비용적인 측면에서 중요하다.

많은 연하곤란(dysphagia) 환자들은 주로 약물 치료와 물리치료 또는 신경학적 수술 등에 의존해 왔지만 그 효과를 기대하기는 어려웠다. 하지만 최근 여러 연구결과 전기자극기를 이용한 치료의 효용성이 입증되고 있다.¹ 이러한 연하장애 치료의 한 측면으로 촉각자극(Tactile stimulation) 및 전기적인 자극(electrical stimulations) 자체가 동물 실험 등을 통하여 연하작용(swallowing)을 유발한다는 보고가 있어 왔다. (Miller.1972, 1982, 1986, 1999; Kessler and Jean, 1985) 이에 우리는 연하곤란 치료의 중요성을 알고 뇌졸중 및 뇌손상 같은 신경학적 이상의 치료에 유용한 전기자극시스템(Electrical Stimulation system)에 대하여 설계하고자 한다. 즉, 임상 실험을 바탕으로 하여 연하곤란(dysphagia) 환자의 피부표면(surface muscle)에 전극(electrodes)을 부착하는 방식의 치료에 가장 적합한 전기자극기를 설계한다.

2. 근수축 기전 및 전기자극의 원리

근육의 수축은 그곳에 분포되어 있는 운동신경이 활동전압을 일으켜 근섬유의 세포막을 흥분시킴으로써 일어난다. 신경섬유나 근섬유는 자극이 없는 상태에서 생체막을 기준으로 세포안쪽은 음(-)전하를, 세포바깥쪽은 양(+)전하를 띠고 있는데 이것을 분극(polarization)이라고 한다. 신경세포에 어떠한 자극(역치이상의 자극)이 주어지면 막의 투과성이 변하여 세포안쪽과 바깥쪽의 전하가 바뀌게 되며 이를 탈분극(depolarization)이라고 하며 이때의 전하를 활동전위라 한다. 이러한 탈분극이 신경전달과 근수축을 일으키는 기전이 된다.(Fig.1 참조) 따라서 Fig.2와 같이 전기자극기를 이용하여 마비된 근의 지배신경을 흥분시켜 수동적인 근수축을 유발할 수 있음을 알 수 있다. 연하곤란(dysphagia) 환자의 목(neck) 피부표면에 전극(electrodes)을 부착하여 인두수축근 및 신경을 자극하는 방식의 치료에 가장 적합한 전기자극기를 설계한다. 전기자극기의 적용은 환자의 인두(pharynx) 수축에 필요한 근육의 마비도와 삼킴작용(swallowing)의 장애부위에 따라 자극강도와 자극부위, 자극시간 등을 다르게 한다. 또한 환자에 따라 치료를 위한 적응기간이 달라질 수 있다.

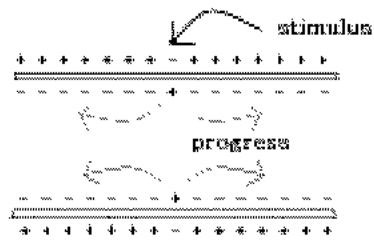


Fig. 1 Depolarization travels along the nerve, from its initial point



Fig. 2 Electrical current flows from one pole to the other. The current flows through the tissues (reference : VitalStim Therapy training manual p.73)⁶

3. 실험방법

전기자극기는 전체적으로 자극기 본체와 전극 부분으로 나눌 수 있다. 자극기 본체는 다시 시간 조절, 주파수카운터, 전류측정 부분으로 나뉘며 전극(electrodes)으로 출력되는 전류의 강도와 주파수를 측정하고 시간을 제어 할 수 있다.(Fig.3에 전기자극기의 간략도를 나타내었다.) 자극기 본체 부분은 프로그램이 내장된 마이크로칩(microchip)으로 구성하였다. 자극기의 크기는 휴대하기 편리하도록 작은 크기로 제작한다.

3.1 시간제어 설계

시간제어 부분은 전기자극의 지속시간과 휴지시간 그리고 치료에 걸리는 총 시간을 설정할 수 있다. 지속시간과 휴지시간은 1초에서 9분 59초까지 조절 가능하며 총 치료시간은 1분에서 99분까지 설정 가능하다. 환자의 호전상태에 따라 치료시간에 변화를 줄 수 있다. (총60분의 치료시간 동안 1분의 자극시간과 매 분 마다 1초의 휴지시간으로 치료된 연구결과가 보고 된 바 있다.)¹

3.2 주파수 카운터 설계

주파수카운터 부분은 피부로 전해지는 자극주파수를 측정하여 보여준다. 환자의 적합여부와 통

증정도에 따라 주파수를 조절하여 적용한다. 본 자극기에서의 주파수카운터의 측정 범위는 1Hz에서 10000Hz 까지 측정이 가능하다. 연하곤란 치료를 위한 생체자극은 30Hz에서 80Hz의 주파수범위가 가장 적합하다는 연구결과가 있다.¹

3.3 전류측정 설계

전류측정 부분은 자극 강도를 결정하는 매우 중요한 부분이다. 측정 범위는 mA 단위로 0-999 mA 까지 측정이 가능하게 설계되었다. 전기자극기에서는 환자에게 따르는 위험성을 감안하여 전극(electrodes)으로 나오는 전류는 치료에 필요한 전류크기로 제한한다.

연하곤란(dysphagia) 환자의 경우 보통 10-30mA 정도의 자극강도가 치료에 필요하다. (최고 25mA의 전류강도로 치료된 연구결과가 보고 됨바 있다.)¹

3.4 전극(electrodes)

전기자극기로부터 출력되는 전류를 전달하는 부분으로 피부와 직접 접촉하는 부분이기 때문에 인체에 무해한 성분으로 되어있어야 한다. 또한 자극기로부터 전류 전달 시 발생할 저항을 최소화 줄일 수 있어야 한다. 전극의 개수는 독립된 두 개의 채널인 Bipolar 2 channels 의 형태가 가장 적합하다.

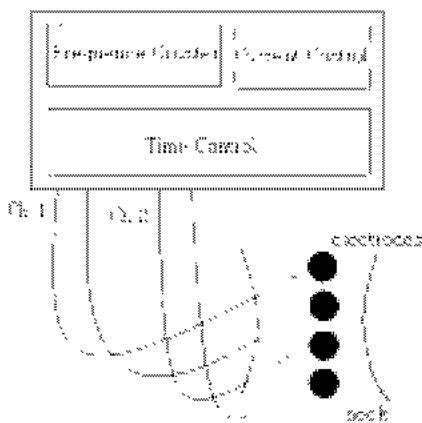


Fig. 3 Block diagram of electrical stimulation and bipolar 2 channel of electrodes

4. 임상 평가 및 결과

4.1 임상실험대상

신촌 세브란스 재활병원에 뇌경색으로 입원해

있는 환자 중 연하과정의 기능이 떨어져 있는 환자를 대상으로 하였다. 연하상태와 연하속도 측정을 위해 비디오 투시검사(videofluoroscopy)를 실시하였다.⁷ Table 1 은 본 임상 실험의 실험 데이터를 정리한 것이다.

중례1

66세 남자로 저작운동 능력이 저하되어 평소 음식을 곱게 갈아서 섭취하였고 액체 삼킴 시 기침을 하였다. 특히 연하단계 중 인두기에서의 연하속도가 지연되는 (delayed pharyngeal swallowing reflex) 연하장애를 보였다.

중례2

78세 남자로 입술폐쇄가 어렵고 혀의 움직임이 둔하여 음식물을 삼킨 후에도 입안에 잔존물이 남아있었다. 이 환자 또한 인두기에서의 연하속도가 저하되어 있었다.

Table 1 Protocol of clinical experiment

	Case1	Case2
Sex/Age(y)	M/66	M/78
Degree of dysphagia	normal	severe
Frequency/Ampere	30Hz/20mA	30Hz/15mA
Duration time/Rest time	5sec/5sec	5sec/5sec
Size/Number of electrodes	radius 1cm/4	radius 1cm/4
Position of electrodes	both side of the hyoid bone	
Transit time(initial)	1.20sec	1.15sec
Transit time(after)	no changed	no changed

4.2 실험방법

비디오투시검사는 환자가 앉은 자세에서 측면을 촬영하는 방법으로 실험을 진행하였다. 자극 전, 후 인두기에서의 연하속도 비교를 위해 전기 자극 치료 전과 후에 비디오 투시검사를 실시하였다. 인두기에서 연하시간은 hyoid bone이 올라갔다 체자리로 내려오는 동안의 시간(transit time)을 측정하였다.

중례1

hyoid bone을 중심으로 반지름 1cm의 전극 4개를 두 개씩 평행으로 부착하였다. (전극 부착 방법을 나타낸 Fig.4(a), Fig.4(b)중 Fig.4(b)의 방법 사용) 이와 같은 전극부착 방법은 인두수축과 후두올림을 담당하는 혀인두 신경(cranial nerveIX)을 자극하며 hyoid bone 주변 근육인 mylohyoid muscle, stylohyoid muscle, sternohyoid muscle에 영향을 줄 수 있다. 이러한 자극은 인두를 수축하기 위해 hyoid bone을 들어올리거나 내릴 수 있다. 전

기자극의 강도는 1mA에서부터 서서히 증가하여 20mA를 주었고 주파수는 30Hz로 파형(waveform)은 대칭형 양상맥동(symmetry biphasic pulse wave)로 하였다. 상승시간(자극강도가 일정크기에 이르는 시간)과 하강시간(어떤 크기의 강도가 0으로 되는 시간)은 각각 0.5초로 하였으며, 자극시간은 지속시간 5초와 휴지시간 5초로, 실험하는 동안 지속적으로 반복하였다. 자극이 들어가는 시간(지속시간)에 비디오 투시 검사를 위한 조영제(바륨 10cc)를 환자 스스로 삼키도록 하였다. 즉, 전기자극과 환자의 삼킴작용과 비디오투시 검사를 위한 촬영이 동시에 이루어졌다.

증례2

앞의 환자와 동일한 방법으로 진행되었으며 환자의 고통 호소로 자극강도만 15mA로 다르게 주었다.

4.3 실험결과

전기자극을 하기 전의 인두기에서 연하시간은 증례1, 증례2 의 환자가 각각 1.20초와 1.15초로 측정되었다. 이는 인두기 연하가 정상인 사람의 1초 보다 느린 시간이다.

실험을 통하여 전기자극 치료이후 인두기에서의 연하시간 단축과 환자의 고통 없는 음식물 연하를 기대하였으나 환자 수, 환자적응과 치료기간 등의 이유로 만족된 결과를 얻을 수 없었다.

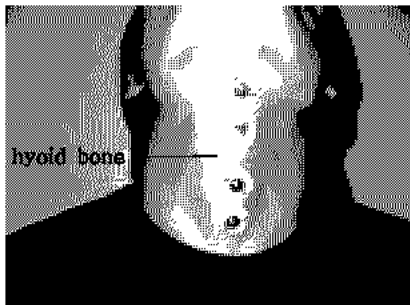


Fig. 4(a) Electrodes placement Ex1. Electrodes attach to the length around the hyoid bone.



Fig. 4(b) Electrodes placement Ex2. Electrodes

attach to the across around the hyoid bone.

5. 결론 및 향후연구과제

본 연구에서는 연하곤란(dysphagia) 환자 치료의 중요성과 이에 따른 인두기능(pharyngeal function) 향상을 위한 전기자극기 설계를 제시하였다. 임상 실험결과가 만족스럽지 않았지만 향후 연구로 향상될 것으로 본다. 더 발전된 연구를 위해서는 많은 환자를 대상으로 다양한 실험 protocol을 바탕으로 진행되어야 할 것이다. 그 결과를 통해 연하곤란 환자의 인두기능(pharyngeal function)향상에 가장 적합한 전기자극기를 설계할 수 있을 것으로 기대된다.

후기

실험을 도와주신 연세대학교 신촌 세브란스 재활병원의 배하석 교수님과 남희승 선생님께 감사드립니다.

참고문헌

1. Marcy L Feed, Robert L Chatburn, "Electrical Stimulation for Swallowing Disorders Caused by Stroke" *Respiratory care*, Vol. 46, No. 5, pp. 466-474, May 2001
2. Paula Leslie, BSc, Michael J. Drinnan, PhD, Gary A. Ford, FRCP, and Janet A. Wilson, FRSC, "Swallow Respiration Patterns in Dysphagic Patients Following Acute Stroke" *Dysphagia*, Vol.17, pp.202-207, 2002
3. Teresa Biber □□Neuromuscular Electrical Stimulation for the Muscle Re-Education for the Muscle Re-Education of the Swallowing Process□□
4. Vitoon Leelamanit "Synchronized Electrical Stimulation in Treating Pharyngeal Dysphagia" *Laryngoscope* 112, pp. 2204-2210, December 2002
5. Humbert,I. & Ludlow,C. "Electrical Stimulation Aids Dysphagia" *The Asha leader*, pp.1-3 March 2004
6. "VitalStim therapy VitalStim Certification Program : Training Manual for the use of Electrical Stimulation on the treatment of Dysphagia " pp.72-76, pp.106-110, 2004
7. Yang, Ji-Hyung "Oral and Pharyngeal Swallowing Analysis on adults with dysphagia post PAP(Palatal Augmentation Prosthesis):Videofluoroscopic Analysis" *The Korean Association of Speech Sciences* Vol.22 November 2002