

흉골설골근 근전위 제어형 전기 인공후두의 pitch 제어법

민 혜정, 봉 정표*, 최 홍식**, 윤 형로

연세대학교 의공학 연구소

*연세대 원주의과대학 이비인후과

**연세대 영동세브란스병원 이비인후과

“Pitch control methods of an electrolarynx controlled by the sternohyoid muscle”

H. J. Min, J. P. Bong*, H. S. Choi**, H. R. Yoon

Medical Engineering Research Institute, Yonsei University

*Dept. of Otolaryngology, Wonju College of Medicine, Yonsei University

**Dept. of Otolaryngology, Yongdong Severance Hospital, Yonsei University

ABSTRACT

We have been studying an implantable electrolarynx controlled by the EMG of the sternohyoid muscle(SH). Generally, the pitch control methods of the electrolarynx by SH EMG have two types. In the first pitch control method, the pitch of the electrolarynx increases according to the decrease in amplitude of the SH EMG, and vice versa. In the second pitch control method, the pitch of the electrolarynx decreases according to the decrease in amplitude of the SH EMG, and vice versa.

We carried out four physiological experiments about two pitch control method. Also, we made two electrolarynges with two type pitch control, and tested those electrolarynges.

From the result of the experiments, we found that the developed electrolarynx have a good property by the first pitch control method more than the second pitch control method.

서론

종래의 전기 인공후두 단점^{1,2,3,4)}을 개선하기 위해, 흉골설골근 근전위에 의해 제어되는 인공후두를 제작하여 이미 보고한 바 있으며, 본 논문에서는 우리가 이미 사용한 pitch 제어 방식에 대하여 검증하는 것을 주목적으로 한다.

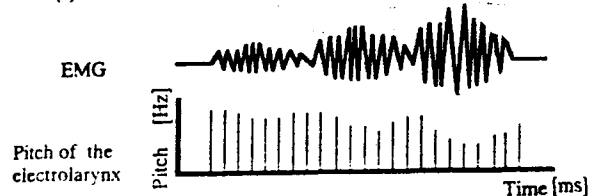
일상 회화에서 억양에 따라 긍정과 의문 등의 문법상의 차이를 표현할 수 있으며, 또한 의미가 다름을 또는 감정을 나타낼 수 있다. 억양을 주로 변화시키는 요소로서 pitch 주파수가 있다. 후두기능이 정상인 사람에게서 음성의 pitch 주파수는 성대의 진동수에 해당한다⁵⁾. 또한 억양이 변화한다면, pitch 주파수도 변화한다. 한편, 전기 인공후두를 사용하는 경우에 있어서는 성대의 진동대신에 인공후두의

진동자가 진동하므로, 그 진동주파수가 pitch 주파수로 된다. 전기 인공후두를 사용한 음성이 후두 기능이 정상인 사람의 음성과 같이 자연스럽게 위해서는 전기 인공후두의 진동 주파수를 어떤 방식으로 결정하는가가 요점이 된다.

일반적으로 흉골설골근 근전위에 의해 제어되는 인공후두의 pitch 제어 방식은 그림 1과 같이 크게 2가지로 생각할 수 있다. 즉, 근전위의 진폭이 작게 됨에 따라 pitch를 높아지게 하는 방식(이하 반비례 V-F pitch 제어 방식)과, 근전위의 진폭이 크게 됨에 따라 pitch도 높아지게 하는 방식(이하 비례 V-F pitch 제어 방식)이다.

본 연구에서는 상기 2종류의 pitch 제어를 위한 흉골설골근의 특성을 검토하고, 실제 이 2종류의 pitch 제어 방식으로 동작되는 인공후두를 각기 제작하여 그 성능을 검사하였다.

(a)



(b)

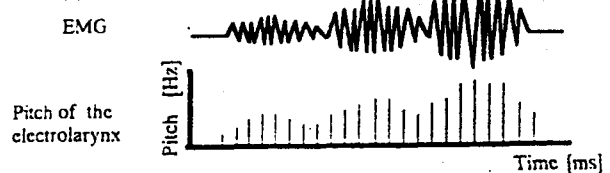


그림 1 흉골설골근 근전위를 이용한 전기 인공후두의 pitch 제어

(a) 반비례 V-F pitch 제어방식

(b) 비례 V-F pitch 제어방식

본론

1. 실험 방법

2종류의 제어방식에서의 홍골설골근 근전위의 특성을 검사하기 위한, 실험 시스템을 그림 2(a)에 나타낸다. 실험장치는 표면전극으로부터 도출한 홍골설골근의 근전위를 증폭기(전압이득: 66dB, 주파수 대역: 16Hz~5kHz)를 통해서 컴퓨터(A/D 변환기 분해능: 12bits, 샘플링 주파수: 10kHz) 및 데이터 레코더에 기록함과 동시에 피험자의 음성도 마이크를 통하여 증폭하여 데이터 레코더에 기록하였다.

각 제어방식에 의한 전기 인공후두를 제작하여, 그 제작된 인공후두의 pitch 제어의 성능을 검사하기 위한, 실험 시스템을 그림 2(b)에 나타내었다. 홍골설골근의 근전위를 증폭기를 통해서 컴퓨터 및 데이터 레코더에 기록함과 동시에 제작된 인공후두를 사용한 음성도 마이크를 통하여 증폭하여 데이터 레코더에 기록하였다.

피험자는 컴퓨터 제어에 의한 시각 신호에 따라 근수축 또는 발성을 행하였으며, 제시음으로서 전자피아노의 도(C3=130.8Hz), 레(D3=146.8Hz), 미(E3=164.8Hz), 파(F3=174.6Hz)를 사용하였다. 피험자로서는 23~26세의 4명의 후두기능이 정상인 남자이며, 전 실험의 계측은 20회 이상 반복하여 실행하였다.

각 실험에 임하기 전에 각 피험자의 근활동 강도의 평가를 위해 피험자별로 기준 전위를 구하였다. 기준 전위를 구하는 절차는, 실험자가 피험자의 하악을 상방향으로 부하를 줌과 동시에, 피험자는 하악이 올라가지 않도록 입을 벌림으로써, 아래 방향으로 힘을 주도하도록 하였을 때, 근활동의 시작으로부터 2초간의 근전위를 기록하였다. 이때의 2초간의 홍골설골근 근전위에서 절대 평균 진폭을 구한다. 이를 이하 $|EMGstndrd|_{avg}$ 라한다.

각 실험에서의 측정된 근전위에서 절대 평균 진폭을 구해, $|EMGstndrd|_{avg}$ 로 정규화 하였다.

1-1. 반비례 V-F pitch 제어 방식의

홍골설골근의 특성 (실험1)

그림 1(a)과 같이 pitch를 제어할때, 발성중의 근전위 진폭과 음성 pitch 주파수와와의 관계에 대해, 하악이 비교적 안정한 상태 및 불안정한 상태에서 실험하였다.

도, 레, 미, 파의 제시음을 피험자에게 들려준 후, 그 제시음과 똑같은 음정으로, 피험자가 /i/를 발성하며, 그와 동시에 근수축을 행하도록 지시했다. 그때, 도, 레, 미, 파의 순으로 근전위의 진폭을 점점 작아지게 하도록 지시했다. 근전위의 데이터 처리 구간은 /i/의 음성이 지속하고 있는 구간과 같다. 여기서 /i/를 선택한 이유는 하악이 거의 움직이지 않기 때문이다.

또한, 하악이 불안정한 상태의 실험에서는 /i/가 아닌 발성을 피험자가 자유롭게 선택하도록 하여, 똑같은 실험을 행하였다.

1-2. 비례 V-F pitch 제어 방식의

홍골설골근의 특성 (실험2)

실험2는 그림 1(b)과 같이 pitch를 제어할 때, 하악이 비교적 안정한 상태 및 불안정한 상태에서 발성중의 근전위 진폭과 음성 pitch 주파수와와의 관계에 대해 실험하였다. 실험방법은 상기의 실험1과 동일하며, 도, 레, 미, 파의 제시음의 순에 따라 근전위

진폭을 점점 커지게 하도록 지시하였다.

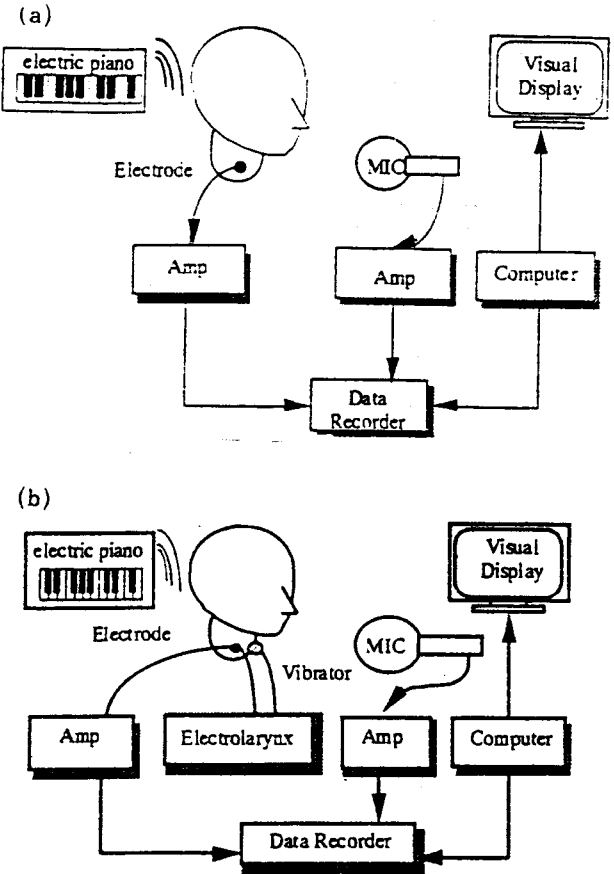


그림 2 각 pitch 제어방식을 검사하기 위한 실험 시스템

- (a) 홍골설골근 근전위 특성에 따른 실험 시스템
- (b) 제작된 인공후두를 사용한 실험 시스템

1-3. 2 종류의 인공후두의 동작 특성(실험3)

홍골설골근의 근전위 제어형 전기 인공후두의 시스템은 표면전극으로부터 도출되어진 근전위를 전치 증폭기를 통하여, 전파 정류하여 포락선을 검출한다. 검출해진 포락선을 슈미트트리거 회로를 통해 인공후두의 음원의 ON/OFF를 제어한다. 또한, 인공후두의 pitch 주파수 제어를 위해 그 포락선을 PPM(펄스 위치 변조기) 회로에서 진동자의 구동 주파수(주파수 대역: 57Hz-167Hz)를 결정한다. 홍골설골근 근전위 진폭이 낮아짐에 따라 진동자의 구동 주파수도 크게 했다. 또한 비례 V-F pitch 제어 방식의 인공후두에서는 PPM의 앞에 inverter를 두어서, 홍골설골근 근전위 진폭이 높아짐에 따라 진동자의 구동 주파수도 크게 했다.

실험3은 근전위의 진폭과 2종류의 인공후두에 의한 음성의 pitch를 검사한다. 제시음을 피험자에게 들려준 후, 그 제시음과 똑같은 음정으로, 조음기관을 /i/의 발성과 똑같은 형태로 하여, 제작된 인공후두를 사용하여 음을 내도록 지시하였다.

2. 결과

반비례 V-F pitch 제어방식을 고려한 홍골설골근의

특성을 실험한 결과는 그림 3과 그림 4이다. 그림 3은 /i/를 발성한 결과이며, 그림 4는 하악이 불안정한 상태의 결과이다. 이 두 결과들로부터 피험자가 발성시 음성의 pitch의 변화와 근전위의 평균진폭과의 관계를 보면, 4명의 피험자가 부(負)의 상관을 보였다.

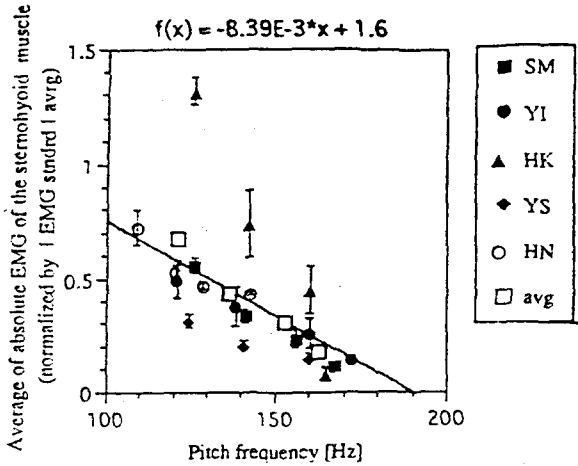


그림 3 /i/ 발성시의 반비례 V-F pitch 제어방식에 관한 특성

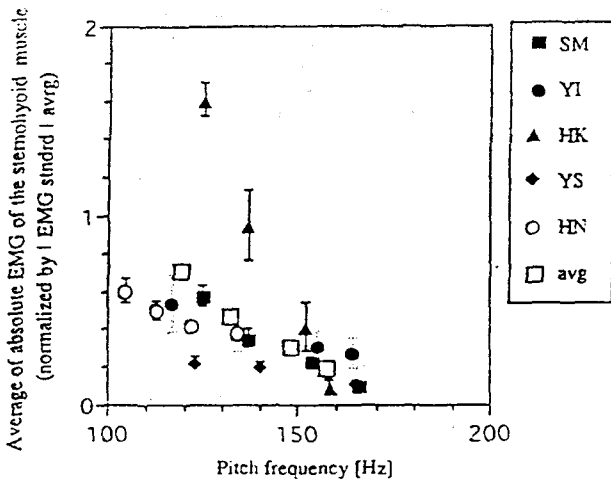


그림 4 피험자가 자유롭게 선택한 음을 발성시의 반비례 V-F pitch 제어방식에 관한 특성

비례 V-F pitch 제어방식을 고려한 흉골설골근의 특성을 실험한 결과는 그림 5와 그림 6이다. 그림 5는 /i/를 발성한 결과인데, 전 피험자가 정(正)의 상관관계를 보이고 있다. 그러나 하악이 불안정한 상태의 결과인 그림 6은 3사람의 피험자중 2사람의 피험자의 결과가 선형적으로 증가 하지않음을 알 수 있다.

2종류의 인공후두를 가지고 시험한 결과는 그림 7과 그림 8에 제시한다. 그림 7은 반비례 V-F pitch 제어방식 인공후두에 의한 음성의 pitch 주파수와 근전위의 평균치와의 관계를 나타내며, 전 피험자에게서 부의 상관 관계가 나타났다. 또한, 평균 85Hz로부터 143Hz의 pitch 주파수를 변화시키는 것이 가능했다.

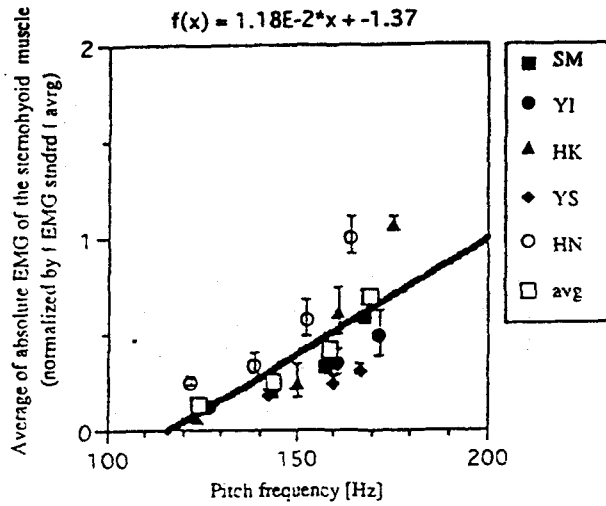


그림 5 /i/ 발성시의 비례 V-F pitch 제어방식에 관한 특성

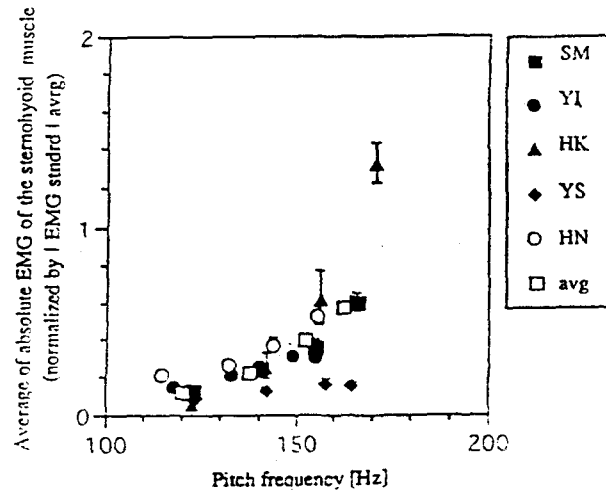


그림 6 피험자가 자유롭게 선택한 음을 발성시의 비례 V-F pitch 제어방식에 관한 특성

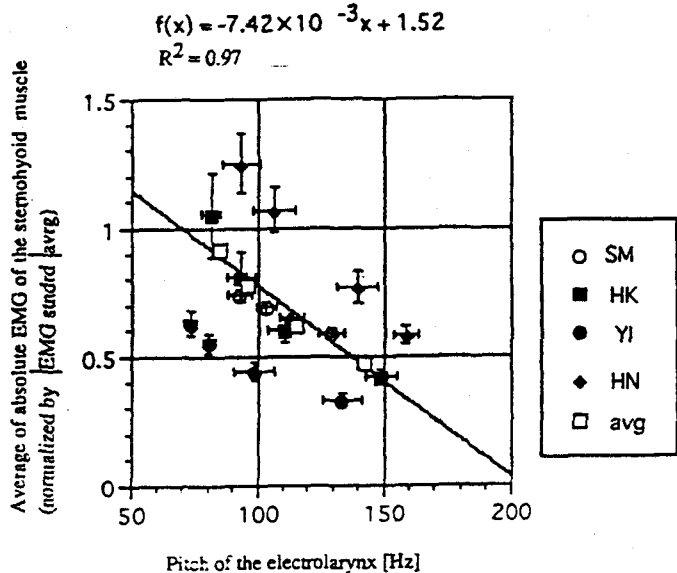


그림 7 C3에서 F3까지의 pitch 주파수 변화에 따른 반비례 V-F pitch 제어방식의 인공후두 pitch와 흉골설골근의 근전위

홍골설골근 근전위 제어형 전기 인공후두의 pitch 제어법

그림 8은 비례 V-F pitch 제어방식 인공후두에 의한 음성 pitch 주파수와 근전위의 평균치와의 관계를 나타내며, 정의 상관관계를 나타낸다

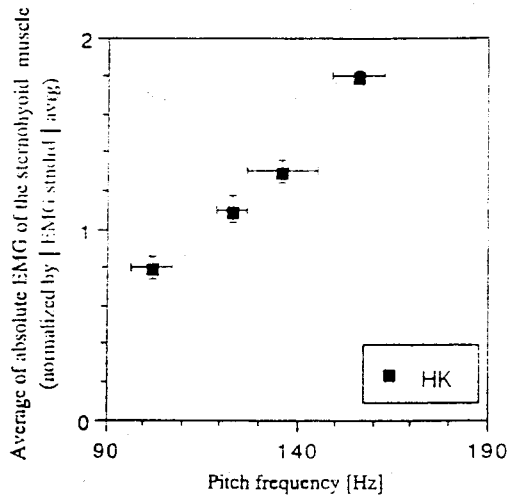


그림 8 C3에서 F3까지의 pitch 주파수 변화에 따른 비례 V-F pitch 제어방식 인공후두의 pitch와 홍골설골근 근전위

결론

홍골설골근 근전위에 의해 인공후두 pitch 주파수를 제어하는 데는 크게 2종류의 제어 방식을 생각할 수 있으며, 본 논문에서는 2종류의 pitch 제어방식을 홍골설골근의 특성에 따라 검토한 후, 2종류의 인공후두를 제작하여 성능을 검사하였다. 본 논문에서 얻은 결과를 정리해보면 아래와 같다.

- 1) 반비례 V-F pitch 제어방식을 홍골설골근 근전위 제어형 전기 인공후두에 사용할 수 있다.
- 2) 비례 V-F pitch 제어방식은 홍골설골근 근전위 제어형 전기 인공후두에 사용 가능하나, 하악이 불안정해지는 경우에 대해 충분한 고려가 요구되어진다.

참고 문헌

- [1] H. Fukuda, "Today and tomorrow of alaryngeal voice with an artificial larynx", The journal of the Acoustical society of Japan, Vol. 44, no. 2, pp130-134, 1988
- [2] 高橋宏明, "無喉頭發聲-治療の一環として", 音聲言語醫學, vol. 28, pp. 132-134, 1987
- [3] M. S. Weiss and A. G. Basili, "Electrolaryngeal speech produced by laryngectomized subjects: perceptual characteristics", J. Speech Hearing Res. vol. 28, pp. 294-300 (1985)
- [4] 大森孝一, 兒島久剛, "振動部からみた喉摘後の大用音聲," 耳鼻臨床, 83, 945-952 (1990)
- [5] 廣瀬肇, ことばの科學入門, 東京, 日本製版, 84-6, 1984